

BARGCOM



نشریه علمی تخصص برق کام

انجمن علمی - دانشجویی مهندسی برق و کامپیوتر |
شماره سوم | بهار ۱۴۰۲ | سالنامه | ۱۲۰ صفحه | رایگان | دو زبانه |



معرفی دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه تربیت مدرس | مقالات علمی در حوزه های مختلف مهندسی برق و کامپیوتر | دانستنی های علمی |
مصاحبه با ریاست محترم بخش ایران IEEE، پروفسور وحید احمدی | مصاحبه با ریاست محترم پارک علم و فناوری دانشگاه تربیت مدرس، پروفسور نادری منش |
آموزش یادگیری ماشین | معرفی شاخه IEEE و انجمن علمی برق و کامپیوتر دانشگاه تربیت مدرس |

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

يَرْفَعِ اللَّهُ الَّذِينَ آمَنُوا مِنْكُمْ
وَالَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ دَرَجَاتٍ

خداوند رتبه و درجه دانشمندان
و کسانی که ایمان آوردند را رفیع و بلند می‌گرداند.

سوره مبارکه مجادله، آیه شریف ۱۱.

شناسنامه نشریه علمی تخصصی برقکام

انجمن علمی دانشجویی مهندسی برق و کامپیوتر
دانشگاه تربیت مدرس تهران - انتشارات الکترونیک

BARGHCOM MAGAZINE

صاحب امتیاز:

انجمن علمی دانشجویی مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه تربیت مدرس
(معاونت دانشجویی فرهنگی اجتماعی)

مدیرمسئول: لیلا سادات ساجدی سردبیر: فاطمه جلیلی
صفحه آرا: حامد جعفری جاهد طراح جلد: حسین طیبی - محسن بروغنی
مدیر داخلی: محمد استوار ویراستار علمی: مهدی غفوری وایقان

اساتید همکار:

پروفیسور وحید احمدی، استاد تمام دانشگاه تربیت مدرس، تهران / پروفیسور حسین نادری منش، استاد تمام دانشگاه تربیت مدرس، تهران / پروفیسور نوشین بیگدلی، استاد تمام دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین / دکتر بیژن عباسی آرند، دانشیار دانشگاه تربیت مدرس، تهران / دکتر سجاد ازگلی، دانشیار دانشگاه تربیت مدرس، تهران / دکتر مجتبی شمسایی، دانشیار دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران / دکتر سعید ستایشی، دانشیار دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران / دکتر حسین کاظمی کارگر، دانشیار دانشگاه شهید بهشتی، تهران / دکتر امین رضانی، استادیار دانشگاه تربیت مدرس، تهران / دکتر صادق بلوکی، استادیار دانشگاه پلی تکنیک، مونتال / دکتر ساسان احمدیان نمین، استادیار پژوهشگاه دانش های بنیادی، تهران / دکتر آرش صادقی پناه، استادیار پژوهشگاه دانش های بنیادی، تهران / دکتر زهرا رضایی، محقق ارشد پژوهشگاه دانش های بنیادی، تهران / انسیه قاسمی میزوجی، دانش آموزخته دکترا دانشگاه تربیت مدرس، تهران /

دانشجویان همکار:

طاهره طالعی، دانشجوی دکترا دانشگاه تربیت مدرس، تهران / زهرا پویان راد، دانشجوی دکترا دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران / بشیر فعله گری، دانش آموزخته کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس، تهران / فرشاد ارغنده، دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس، تهران / حسین طیبی، دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس، تهران / مینا خادم، دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس، تهران / سید شهاب زارع حسینی، دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس، تهران / امیرحسین فلاح باقری، دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس، تهران / هومن شاکری، دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه علم و صنعت، تهران / محمد امین مسلمی وایقان، دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس، تهران / علی صنعتی، دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران / محمد امین رضائی گزیک، دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه شهید بهشتی، تهران / محمد صفرپور، دانش آموزخته کارشناسی ارشد دانشگاه سمنان، سمنان / محمد مهدی باقی آبادی، دانش آموزخته کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد علوم و تحقیقات، تهران / سید مرتضی احتشامی، دانش آموزخته کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد علوم و تحقیقات، تهران / مهدی غفوری وایقان، دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس، تهران / لیلا سادات ساجدی، دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس، تهران / فاطمه جلیلی جشن آبادی، دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس، تهران / محمد استوار، دانش آموزخته کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس، تهران /

نشریه علمی تخصصی برقکام آماده دریافت آثار علمی اساتید، صاحب نظران و دانشجویان تمامی مقاطع در سطح کشور میباشد. علاقه مندان جهت همکاری از طریق درگاه های زیر ارتباط برقرار نمایند.



Barghcom.elecom@gmail.com

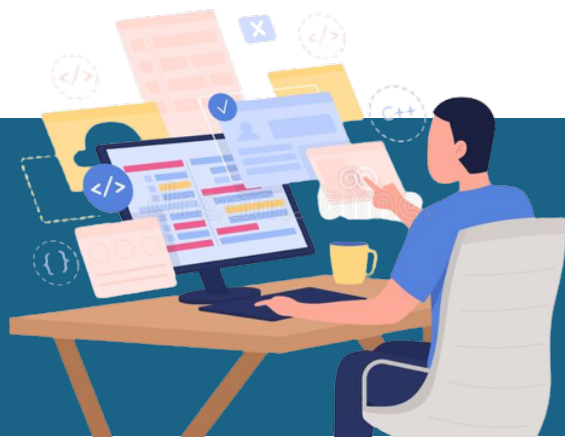


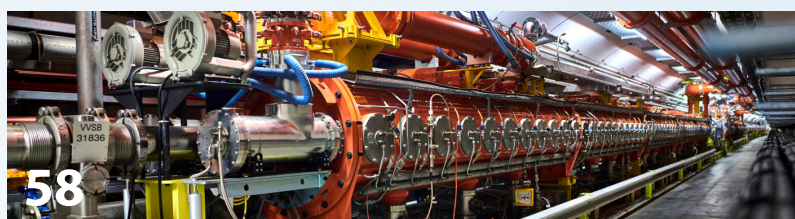
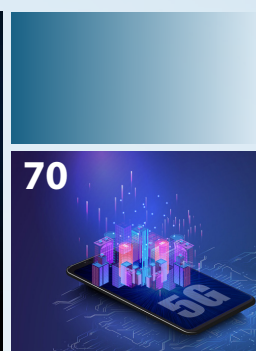
tmu.ieee.org.ir

این نشریه دارای شماره مجوز ۳۹۱۵/۲۲۸۵ به تاریخ ۱۳۹۹/۰۴/۰۱ از معاونت دانشجویی فرهنگی اجتماعی دانشگاه تربیت مدرس می باشد.



نشریه علمی تخصصی برقکام





۶ سخن مدیر مسئول

۸ معرفی دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه تربیت مدرس

۱۴ فهرست اساتید

۲۵ فصل اول: مقالات علمی تخصصی

۲۶ * نظریه مدل‌سازی و کنترل سرطان به روش درمان ترکیبی با کنترل بهینه

۳۶ * طراحی روش درمان جدید برای پرتودرمانی با الکترون حین عمل جراحی (IOERT) با استفاده از برد الکترونیکی

۴۲ * مروری بر روش‌های تصویر برداری مدرن

۴۷ * مروری به کارهای انجام گرفته مبتنی بر ساختارهای جعلی پلاسمون پلاریتونه‌های جعلی به منظور افزایش عملکرد آنتن‌ها

۵۱ * یک طرح حفاظت جدید برای خطوط انتقال HVDC بر اساس توان ظاهری فیلتر DC

۵۸ * اندازه‌گیری مدهای طولی کاواک بارگذاری خازنی به روش خط هم محور و بررسی اثر پلاننر بر آن‌ها

۶۳ * افزایش بازدهی نیروگاه‌های خورشیدی

۶۶ * ساخت یک کرنل : پیاده‌سازی مد واقعی و مد محافظت شده

۷۰ * شبکه‌های غیرزمینی در 5G

۷۷ * طراحی آنتن BTS در نسل پنجم مخابراتی 5G

۸۴ فصل دوم: دانستنی های علمی در حوزه علم و فناوری

۸۵ * تولید تابشی ۱۰ میلیارد برابر درخشانتر از نور خورشید در سطح زمین توسط شتابدهنده ذرات

۹۰ * کاربرد رباتیک در صنعت پرورش دام و طیور

۹۶ * تحول در سازوکار بازرگانی برق در سطح شبکه‌های توزیع

۹۹ * تحلیل و کنترل وضعیتی بدن انسان جهت توان‌بخشی

۱۰۹ * طبقه‌بندی تصاویر نانو ساختار به وسیله الگوریتم‌های یادگیری عمیق

table of contents ...

۱۱۸ ----- فصل سوم: مصاحبه

۱۱۹ * مصاحبه با پروفسور وحید احمدی، ریاست محترم بخش ایران IEEE

۱۲۵ * مصاحبه با پروفسور نادری منش رئیس محترم پارک علم و فناوری دانشگاه تربیت مدرس

۱۲۹ ----- فصل چهارم: معرفی نرم افزارهای گرایش های مهندسی برق و آموزش نرم افزار

۱۳۰ * آموزش یادگیری ماشین و یادگیری عمیق

۱۳۶ * معرفی نرم افزارهای گرایش های مهندسی برق و کامپیوتر

۱۴۶ ----- معرفی انجمن



زدانش بود دل و جان را فروغ

سپاس بی کران پروردگار یکتا را که هستی مان بخشید و به طریق علم و دانش رهنمونمان شد.

توفیقی حاصل شد تا ادامه دهنده‌ی سالنامه‌ی علمی تخصصی برقکام باشیم و بسیار خرسندیم که شماره دیگری بر نشریه پرافتخار برقکام افزوده شد.



همانند شماره‌ی اول، مفتخریم اعلام کنیم که شماره‌ی دوم نشریه برقکام نیز، به لطف خداوند متعال و با همکاری طیف وسیعی از دانشجویان، دانش آموختگان و اساتید عزیز در جشنواره‌های داخلی و بین‌المللی حرکت حائز رتبه‌های ممتاز

گردید و جزو نشریات برتر علمی-تخصصی در حوزه‌ی برق و کامپیوتر شناخته شد. شایان ذکر است که این دستاورد، بدون تلاش و همکاری تیم تحریریه و حمایت و دلگرمی‌شان میسر نبود.

از نقاط برجسته‌ی این شماره از نشریه، می‌توان به گردآوری مقالات از دانشجویان سراسر کشور، همکاری با اساتید برجسته و صاحب‌نام، مصاحبه با رئیس IEEE بخش ایران، مصاحبه با رییس پارک علم و فناوری دانشگاه تربیت مدرس، پرداختن به موضوعات به‌روز عرصه‌ی تکنولوژی و هوش مصنوعی اشاره کرد. امید است که همانند گذشته، بار دیگر با همراهی و استقبال گرم شما مخاطبان و سروران گرامی، زحمات بی‌شائبه و تلاش‌های بی‌بدیل همکاران و تیم اجرایی نشریه برقکام به ثمر بنشیند.

همچنین نشریه علمی تخصصی برقکام جهت بهبود و احترام به نگاه با ارزش مخاطبان، همواره پذیرای نظرات و پیشنهادات می‌باشد. صاحب نظران عرصه مهندسی برق و کامپیوتر می‌توانند با ارسال نظرات خود به ایمیل رسمی انجمن به نشانی tmu@stu.ieee.org.ir ما را از بیانات مفیدشان مستفیض نمایند.

در پایان از اعضای محترم هیئت تحریریه به ویژه تیم اجرایی، اعضای شوری مرکزی انجمن علمی دانشجویی مهندسی برق و کامپیوتر، شاخه IEEE دانشگاه تربیت مدرس، مجموعه‌ی محترم معاونت دانشجویی و فرهنگی-اجتماعی دانشگاه تربیت مدرس، بخش ایران IEEE، تیم محترم طراحی و ویراستاری و تمام تلاش‌ها بی‌وقفه و داوطلبانه دوستان و بزرگان کمال سپاس و قدردانی را دارم که بدون یاری این عزیزان امکان فراهم نمودن این نشریه مقدور نبود.

لیلا سادات ساجدی
مدیر مسئول نشریه برقکام



نشریه علمی تخصصی برق کام

BARGHCOM MAGAZINE





معرفی دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه تربیت مدرس در طول نزدیک به سه دهه فعالیت، دوره‌های کارشناسی‌ارشد و دکتری را در گرایش‌های مختلف مهندسی برق و کامپیوتر عرضه نموده است. این گرایش‌ها شامل: الکترونیک، مخابرات، کامپیوتر، کنترل، قدرت، مهندسی پزشکی و گرایش‌های جدید بین رشته‌ای نانوالکترونیک، فناوری اطلاعات و فناوری ارتباطات و اطلاعات می‌باشد.

دانشکده همکاری‌های تحقیقاتی متعددی را با صنایع مختلف برق، مخابرات و کامپیوتر دارد که این حرکت، زمینه لازم جهت افزایش قابلیت‌های پژوهشی دانشجویان در فرآیند انجام پروژه‌ها را موجب گردیده است. در این راستا «مرکز ملی مطالعات و برنامه‌ریزی شبکه‌های قدرت»، «مرکز نوآوری سامانه‌های ارتباطی سیار» و «مرکز تحقیقات مبارزه با هرزنامه» در این مجموعه مشغول به فعالیت هستند.

تلاش‌های بی‌وقفه علمی-پژوهشی اعضای هیأت علمی موجب شده است که پروژه‌های تحقیقاتی، مورد حمایت مالی-تجهیزاتی صنایع مختلف و دستگاه‌های ذیربط قرار گیرند. امکانات مالی و اعتبارات پژوهشی متعددی در جهت انجام پروژه‌ها و توسعه آزمایشگاه‌های پیشرفته دریافت شده است که در حال گسترش و توسعه می‌باشند. تاکنون مجموعاً ۲۶ آزمایشگاه در گرایش‌های مختلف راه‌اندازی شده و مشغول فعالیت هستند که برخی از آن‌ها در سطح کشور کم‌نظیرند.

۱- تاریخچه

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه تربیت مدرس از سال ۱۳۶۲ به عنوان یک بخش در دانشکده فنی و مهندسی فعالیت‌های علمی خود را با ۶ گروه آموزشی الکترونیک، کنترل، قدرت، مخابرات، مهندسی پزشکی و کامپیوتر آغاز کرد و در تیرماه سال ۱۳۸۸ به‌عنوان یک دانشکده مستقل فعالیت خود را ادامه داد.

تعداد اعضای هیأت علمی رسمی و پیمانی دانشکده در حال حاضر ۳۹ نفر می‌باشد که ۱۱ نفر دارای مرتبه استادی، ۸ نفر با مرتبه دانشیاری، ۲۰ نفر با مرتبه استادیاری می‌باشند. برای ایجاد زمینه مناسب جهت انجام امور آموزشی، پژوهشی و توسعه تکنولوژی بیش از ۲۶ آزمایشگاه در دانشکده فعال است. تعداد مقالات چاپ شده در مجلات علمی-پژوهشی و با کیفیت توسط اعضای هیأت علمی و دانشجویان دانشکده در هر سال بیش از ۶۰ عنوان و مقالات ارائه شده در کنفرانس‌های داخلی و خارجی به بیش از ۲۶۰ مقاله می‌رسد.

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر از سال ۱۳۷۸ اقدام به انتشار مجله برق مدرس نموده که در سال ۸۳ موفق به کسب اعتبار علمی-پژوهشی شده است و به صورت فصل‌نامه منتشر می‌شود. دانشکده در خصوص ارتباط با صنعت، با صنایع بزرگ کشور همکاری‌های نزدیکی دارد. از اهم پروژه‌های در دست انجام مرتبط با صنعت دانشکده می‌توان به طرح فلاگ شیپ اشاره کرد. از فعالیت‌های مهم دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر در سال‌های اخیر پرداختن به مباحث نوین مدیریتی در اداره آن می‌باشد. این دانشکده افتخار را دارد که به عنوان اولین نهاد آموزشی کشور با طراحی و پیاده‌سازی مدل سرآمدی و حضور در جایزه ملی بهره‌وری و تعالی سازمانی و کسب گواهینامه تعهد به تعالی در سال ۱۳۸۶ خود را به عنوان یکی از دانشکده‌های الگو در زمینه مدیریت مطرح کند.



۲- چشم انداز

۱-۲ دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه تربیت مدرس پیشتاز در فناوری‌های نو

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر در پژوهش‌های مرتبط با فناوری‌های نو در سطح ملی و منطقه‌ای با هدف ایجاد تحول و ارتقای جایگاه کشور در فناوری‌های نو به سطح جهانی، پیشتاز خواهد بود. دانشکده، شناخته شدن به عنوان برجسته‌ترین مرکز پژوهشی و آموزش بین رشته‌ای برای حل مشکلات واقعی صنعت و فناوری، و برخوردار از اساتید محقق و آگاه به مسائل توسعه صنعتی و مسلط بر آموزش با محوریت یادگیری و برخاسته از تحقیق را آرمان قرار داده است.

دانش‌آموختگان این دانشکده در زمره بهترین متخصصان در موقعیت‌های شغلی کشور قرار خواهند گرفت و از بیشترین بودجه سرانه در سطح کشور، قابل قیاس با دانشگاه‌های معتبرتر جهانی در دوران تحصیل برخوردار خواهند شد. برای تحقق چشم‌انداز فوق که تصویر مثبت همه ما از آینده است، همه مسئولان، اساتید، دانشجویان و کارکنان دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر پیمان بسته‌اند که در ۵ محور چشم‌انداز پژوهش، چشم‌انداز آموزش، چشم‌انداز استاد، چشم‌انداز دانشجو و چشم‌انداز بودجه، آینده را تبیین و از هر تلاشی برای نیل به آن فروگذار ننمایند.

۳- مأموریت

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه تربیت مدرس متعهد به توسعه مرزهای دانش از طریق ایجاد محیط مناسب پژوهشی است. دانشکده ارائه آموزش‌های منعطف با محتوای روزآمد، کاربردی و برخاسته از پژوهش را به جامعه فنی کشور، دولت و منطقه را رسالت خود قرار داده، دانشجویانی با هدف و انگیزه، اعتمادبه‌نفس و خودباور را تربیت می‌نماید.

ارتباط قوی با صنعت و دولت به منظور انجام پژوهش‌های کاربردی و کسب درآمدهای اختصاصی با حفظ شأن استاد و دانشجو در جامعه و بدون دغدغه مالی سرلوحه فعالیت‌های دانشکده است. ارزش‌های سازمانی دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه تربیت مدرس به طور قطع تحقق مأموریت‌های دانشکده در گرو ایجاد زیرساخت‌های مدیریتی و سازمانی و فرآیندهای روان و پویای کار است. مهمترین زیرساخت‌های سازمانی، فرهنگ سازمان و مجموعه‌ای از اصول اخلاقی و ارزش‌های بنیادین نهادینه شده است که می‌تواند در تمامی مراحل کار به خصوص در هنگام بحران‌ها، راهنما و نجات‌بخش باشد. اصول و ارزش‌های سازمانی نقش قطب‌نما را ایفا می‌کند و عملکرد افراد در دانشکده، نه تنها باید در چارچوب این ارزش‌ها صورت گیرد که بایستی به تقویت و نهادینه‌سازی آن‌ها کمک کند.

۱۰ ارزش پایه برای تحقق اهداف راهبردی دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر به قرار زیر است:

* محور قرار دادن تخصصی کار کردن و ارتباط متقابل آموزش-پژوهش موثر در سطح کشور و بین‌المللی

* حاکمیت تفکر علمی در دانشکده (کار در دانشگاه عبادت است).

* خلاقیت و نوآوری

* تفکر بلندمدت و آینده‌نگری

* تکامل خواهی و تعالی در علم

* یادگیری سازمانی و نشر یافته‌ها، دانسته‌ها و توانمندی‌های علمی-پژوهشی استاد و دانشکده

* مسوولیت‌پذیری و حساس بودن نسبت به جامعه

* اعتقاد به شأن و منزلت استاد در دانشکده (مادی و معنوی)

* انسجام سازمانی و فرهنگ کار گروهی

* برتری کیفیت بر کمیت

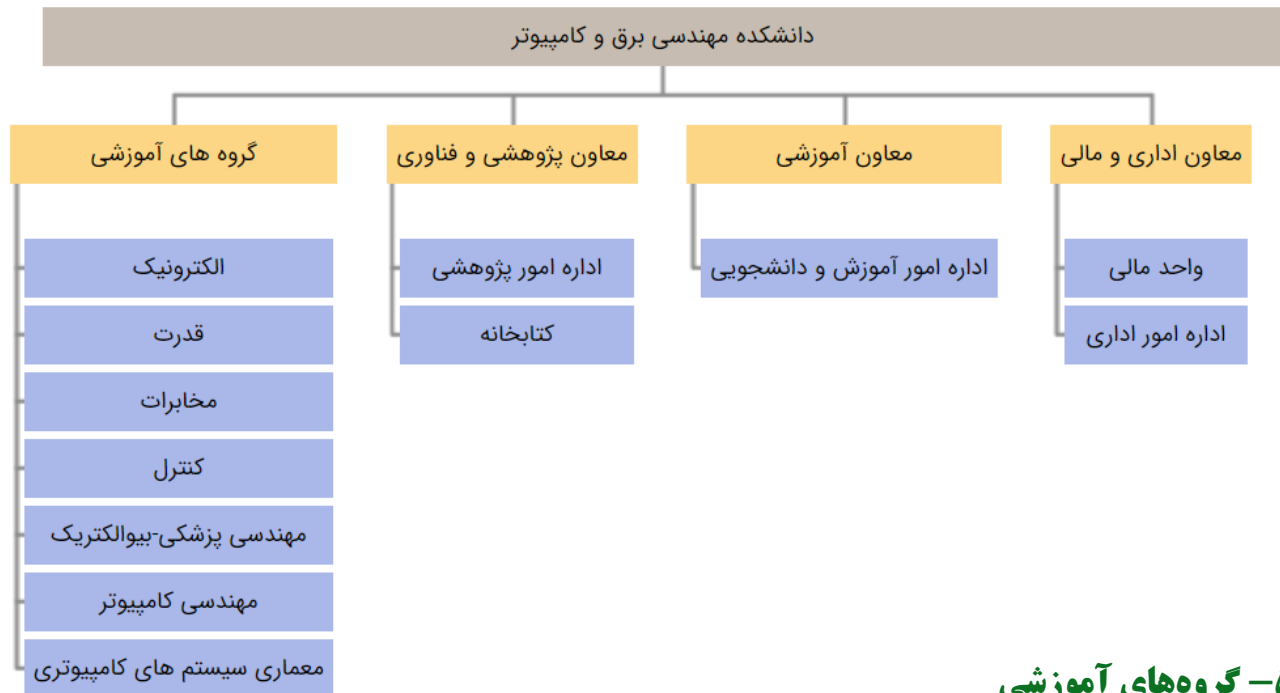
۷	گروه‌های آموزشی
۵۱	اعضای هیأت علمی
۲۵۱	دانشجویان
۹۹۹	دانش‌آموختگان

۴- معرفی

۴-۱- هیئت رئیسه دانشکده

رئیس دانشکده	دکتر سجاد ازگلی
معاون آموزشی	دکتر پاییز عزمی
معاون پژوهشی	دکتر بابک محمدزاده اصل

۴-۲- ساختار سازمانی



۵- گروه های آموزشی

۵-۱- الکترونیک

گروه مهندسی الکترونیک دانشگاه تربیت مدرس یکی از گروه های مطرح کشور در حوزه سیستم ها ، مدارها و افزاره های الکترونیک است. این گروه در ایجاد محیط علمی پر نشاط برای دانشجویان و تربیت مدرسین و پژوهشگران کارآمد برای دانشگاه ها و صنایع کشور بسیار موفق عمل کرده است. گروه مهندسی الکترونیک دانشگاه تربیت مدرس با نزدیک به سه دهه فعالیت، شامل دو گرایش «افزاره های میکرو و نانو الکترونیک» و «طراحی مدارهای مجتمع الکترونیک» است. زمینه های تخصصی گرایش افزاره های میکرو و نانو الکترونیک شامل: طراحی، شبیه سازی و ساخت ادوات فتونیک، نانوفتونیک، نانو الکترونیک، بیوالکترونیک و میکروالکترومکانیک است. زمینه های تخصصی گرایش «طراحی مدارهای مجتمع الکترونیک» شامل: مدارهای مجتمع آنالوگ، فرکانس بالا و میکروویو، سیستم های مخابرات بی سیم، سیستم های مخابرات نوری، رادیوی نرم افزاری، مبدل های داده، بازشناسی الگو، پردازش تصویر، پردازش صوت و پردازنده های دیجیتال است. گروه الکترونیک تمرکز خود را بر ارائه راهکارهای نوین در حوزه تخصصی و حوزه های بین رشته ای، تولید دانش فنی و پیاده سازی ایده ها قرارداد و متعهد به توسعه مرزهای دانش در همه حوزه های صنعت الکترونیک است.

گروه های آموزشی	دکتر وحید احمدی
اعضای هیأت علمی	۹
دانشجویان	۴۸
دانش آموختگان	۱۸۷

۵-۲- قدرت

صنعت برق در دنیای امروز، با تحولات شگرفی مواجه بوده است. تبدیل شدن برق به کالایی که مورد خرید و فروش در بازارهای برق کشورهای مختلف دنیا قرار گرفته است، موجب تحولات عمده‌ای در کنترل و بهره‌برداری سیستم‌های قدرت گردیده است. از طرفی محدودیت در منابع انرژی الکتریکی، همچنین مشکلات آلودگی و زیست‌محیطی، منجر به تأسیس شاخه‌های جدید در رشته قدرت از جمله مدیریت انرژی، تولید پراکنده و توزیع گردیده است. پیشرفت روزافزون علم عناصر نیمه‌هادی و الکترونیک، منجر به پیدایش گرایش جدیدی در رشته قدرت به نام الکترونیک قدرت گردیده است. تحولات مهم در عرصه تولید خودروهای برقی، کاهش حجم دستگاه‌های الکترونیکی و گسترش علم سیستم‌های انتقال انعطاف‌پذیر FACTS، مرهون نتایج تحقیقات جهانی در این رشته است. اعضا هیئت‌علمی گروه قدرت، نظر به رویکردهای جدید در عرصه تولید، انتقال، توزیع و مصرف انرژی الکتریکی و در راستای مسئولیت‌های خود در قبال جامعه، در جهت آشنایی با عرصه‌های مختلف فناوری انرژی الکتریکی و ترویج آن در داخل کشور به تحقیق و آموزش می‌پردازد.

به‌طور خلاصه اولویت‌های تحقیقاتی گروه قدرت عبارت‌اند از:

* بازار برق

* مدیریت انرژی

* تولید پراکنده

* توزیع

* الکترونیک قدرت

گروه قدرت دارای چهار آزمایشگاه تحقیقاتی است و تأسیس مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی سیستم‌های قدرت با مساحت ۴۰۰ مترمربع حاصل زحمات اعضاء هیئت‌علمی این گروه است.

دکتر محمد کاظم شیخ الاسلامی	گروه‌های آموزشی
۷	اعضای هیأت علمی
۴۱	دانشجویان
۱۸۷	دانش‌آموختگان

۵-۳- کنترل

گروه کنترل دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر از برترین گروه‌های آموزشی کشور در حوزه سیستم‌های کنترل می‌باشد که از ابتدای تشکیل تاکنون دستاوردهای ارزشمندی ارائه کرده است. پیشتازی، روزآمدی و پویایی در آموزش و پژوهش از مولفه‌های اصلی این گروه تخصصی بوده و فضای صمیمی بین اساتید و دانشجویان، محیطی دلچسب و به یادماندنی برای اکثر دانش‌آموختگان به یادگار گذاشته است. در حال حاضر فارغ‌التحصیلان این گروه در قریب به اتفاق گروه‌های کنترل دانشگاه‌های کشور به عنوان عضو هیات علمی حضور فعال دارند. گروه کنترل دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر اولین گروهی است که در راستای رفع نیاز صنعت اتوماسیون کشور به ایجاد گرایش «اتوماسیون صنعتی» در دوره کارشناسی ارشد اقدام کرده است و این گرایش در کنار گرایش «نظریه کنترل» در حال حاضر در این گروه فعال است. فعالیت در زمینه‌های تحقیقاتی نوظهور، ایجاد بستر تبادل افکار و یافته‌های علمی با برگزاری همایش‌ها و کنفرانس‌های مختلف از دیگر شاخصه‌های این گروه است. زمینه‌های پژوهشی اعضای هیات علمی این گروه در حال حاضر اغلب زمینه‌های نظری و کاربردی مهندسی کنترل را پوشش می‌دهد. به عنوان نمونه در حال حاضر اغلب زمینه‌های نظری و کاربردی مهندسی کنترل را پوشش می‌دهد. به عنوان نمونه در حال حاضر این گروه در زمینه‌های نظری کنترل مقاوم، کنترل غیرخطی، کنترل تطبیقی، شناسایی سیستم‌ها، کنترل سیستم‌های آشفته تکین، کنترل شبکه‌های ارتباطی، سیستم‌های هوشمند، کنترل فرایند، کنترل متحمل عیب و کنترل وقایع گسسته فعال است. از نظر کاربردی در حال

حاضر پروژه‌های دانشجویان در زمینه سیستم‌های صنعتی و اتوماسیون، ابزار دقیق، شبکه‌های ارتباطی، مکترونیک و رباتیک، سامانه‌های زیستی، مدلسازی و کنترل بیماری‌ها و غیره تعریف شده و در حال انجام است. این گروه در فعالیت‌های بین‌رشته‌ای بسیار فعال است و اساتید گروه در شکل‌گیری گروه‌های آموزشی «مکترونیک»، «زیست محاسباتی» و «ساختمان و سازه هوشمند» در دانشگاه تربیت مدرس نقش موثری را ایفا نموده‌اند.

دکتر مهدی سجودی	گروه‌های آموزشی
۷	اعضای هیأت علمی
۴۷	دانشجویان
۱۸۹	دانش آموختگان

۴-۵- مخابرات

گروه مخابرات دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه تربیت مدرس بزرگترین گروه این دانشکده با ۱۰ عضو هیأت علمی، و از گروه‌های پیشرو مخابرات در سطح کشور است. گروه دارای ۲ گرایش میدان‌ها و امواج الکترومغناطیسی، و سیستم‌های مخابراتی است. در گرایش میدان ۱ استاد تمام، ۳ دانشیار عضویت دارند. همچنین در گرایش سیستم ۳ استاد تمام و ۳ دانشیار عضویت دارند. این گروه دارای ارتباطات قوی با صنعت بوده و پروژه‌های متعددی با کارفرمایی شرکت ارتباطات سیار ایران، صنایع الکترونیک شیراز و صنایع مخابراتی ایران به انجام رسانده است.

دکتر نادر مکاری یامچی	گروه‌های آموزشی
۱۰	اعضای هیأت علمی
۴۵	دانشجویان
۹۲	دانش آموختگان

۵-۵- مهندسی پزشکی - بیوالکترونیک

فعالیت‌های گروه مهندسی پزشکی در دو زمینه سیستم‌های ابزار دقیق و نیز پردازش و آنالیز سیگنال‌های حیاتی متمرکز می‌باشد که در هر دو زمینه تحقیقات بنیادی و کاربردی متعددی در طی سالیان اخیر صورت پذیرفته و دانشجویان فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد و دکتری در زمینه‌های مربوطه تربیت یافته‌اند.

در زمینه سیستم‌های ابزار دقیق، به تحقیق در حوزه‌های اپتیک پزشکی، فراصوت، تصویرگری و تشخیص به کمک کامپیوتر و مدلسازی سیستم‌های بیولوژیکی و همچنین در زمینه پردازش و آنالیز سیگنال، به تحلیل سیگنال‌های حیاتی از قبیل سیگنال‌های قلبی، مغزی، ماهیچه‌ای و تصاویر پزشکی از قبیل اولتراسوند، MRI و CT پرداخته می‌شود.

این گروه در زمینه پردازش سیگنال‌های اولتراسوند و شکل‌دهی پرتو اولتراسوند یکی از گروه‌های تحقیقاتی پیشرو و شناخته شده است و با آزمایشگاه‌های مجهز و معروف اولتراسوند در اروپا و آمریکا همکاری نزدیکی دارد.

دکتر علی محلوچی فر	گروه‌های آموزشی
۴	اعضای هیأت علمی
۲۱	دانشجویان
۷۶	دانش آموختگان

۵-۶- مهندسی کامپیوتر

این گروه در زمینه هوش مصنوعی، شبکه‌های عصبی، گرافیک کامپیوتری سیستم‌های هوشمند، معماری کامپیوتر، پردازش تصویر داده‌کاوی، امنیت شبکه و VLSI، پردازش موازی و توزیع شده کامپایلرها مهندسی نرم‌افزار، شبکه‌های کامپیوتری شبیه‌سازی و مدل‌سازی می‌نماید.

دکتر محمد صنیعی آباده	گروه‌های آموزشی
۵	اعضای هیأت علمی
۳۰	دانشجویان
۱۶۳	دانش‌آموختگان

۵-۷- معماری سیستم‌های کامپیوتری

این گروه جهت تحصیل در گرایش‌های رایانش امن و معماری سیستم‌های کامپیوتری در مقطع تحصیلی کارشناسی ارشد و در دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشجو می‌پذیرد. جامعه هدف و ورودی‌های این گرایش‌ها از میان دانش‌آموختگان مقطع کارشناسی کلیه رشته‌های مهندسی کامپیوتر، علوم کامپیوتر و مهندسی برق می‌باشند. فارغ‌التحصیلان با کسب دامنه وسیعی از تخصص‌ها و توانمندی‌های فنی، فرصت‌های درخشان کاری را در صنایع مختلف، کارخانجات و سازمان‌های دولتی و خصوصی به دست می‌آورند.

دکتر مهدی آبادی	گروه‌های آموزشی
۷	اعضای هیأت علمی
۱۹	دانشجویان
۵	دانش‌آموختگان

دانشگاه تربیت مدرس




فهرست اساتید – گروه الکترونیک

moravvej@modares.ac.ir

زمینه کاری: افزاره‌های نانو الکترونیک و نانو فوتونیک: افزاره‌های پلاسمونی و فرا ماده‌ی نوری
افزاره‌های تمام نوری بر پایه‌ی بلورهای فوتونی و فیبر نوری
گرافن و نانو لوله‌های کربنی
افزاره تراهرتز



استاد
محمد کاظم
مروج فرشی

سوابق تحصیلی: دکتری (۱۳۶۶) افزاره‌های میکرو الکترونیک نیم رسانا نیوسوت ویلز، سیدنی، استرالیا
کارشناسی‌ارشد (۱۳۵۹) افزاره‌های میکرو واپتو الکترونیک نیم رسانا، کالیفرنیا در سانتا باربارا، سانتا باربارا،
کالیفرنیا، آمریکا
کارشناسی‌ارشد (۱۳۵۷) ماده چگال و لیزر، کالیفرنیا جنوبی، لوس آنجلس، کالیفرنیا، آمریکا
کارشناسی (۱۳۵۵) ماده چگال، صنعتی شریف، تهران، ایران

kabir@modares.ac.ir

زمینه کاری: تحلیل و بازشناسی تصویر مستندات
تحلیل و بازشناسی دستنوشته



استاد احسان الله کبیر

سوابق تحصیلی: دکتری (۱۳۶۹) - مهندسی برق، دانشگاه اسکس، کولچستر، انگلستان
کارشناسی‌ارشد (۱۳۶۴) - کارشناسی ارشد پیوسته در مهندسی برق، دانشگاه تهران، تهران، ایران

v_ahmadi@modares.ac.ir

زمینه کاری: اپتو الکترونیک
افزاره‌های کوانتومی نوری
افزاره‌های مبتنی بر میکرو حلقه‌ها
افزاره‌های پلاسمونی و فراماده نوری



استاد
وحيد احمدی

سوابق تحصیلی: دکتری (۱۳۷۳) مهندسی برق - الکترونیک (اپتوالکترونیک) کیوتو، ژاپن
کارشناسی‌ارشد (۱۳۶۸) - مهندسی برق - الکترونیک دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
کارشناسی (۱۳۶۵) مهندسی برق - الکترونیک - دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران

abdoln@modares.ac.ir

زمینه کاری:
طراحی مدارهای مجتمع آنالوگ، دیجیتال و فرکانس بالا (RFIC) با تاکید بر کاربردهای موج
میلی‌متری و تراهرتز
کاهش اثرات غیر ایده آلی در مدارها و سیستم‌های فرکانس بالا به کمک یادگیری ماشین



استاد عبدالرضا نبوی

سوابق تحصیلی: دکتری (۱۳۷۲) - الکترونیک، مک گیل، مونترال، کانادا

فهرست اساتید – گروه الکترونیک

jannesari@modares.ac.ir

زمینه کاری: طراحی مدارهای مجتمع آنالوگ و دیجیتال فرکانس بالا (RFIC)

طراحی فرستنده – گیرنده های مخابراتی
مدارات و سیستم های مجتمع الکترونیکی برای کاربردهای ایمپلنت پزشکی



دانشیار
ابومسلم جان نثاری

سوابق تحصیلی: دکتری (۱۳۸۶) – مهندسی برق، دانشگاه تهران، ایران
کارشناسی ارشد (۱۳۷۸) – مهندسی برق – الکترونیک، دانشگاه صنعتی شریف،
کارشناسی (۱۳۷۶) – مهندسی برق – الکترونیک، دانشگاه صنعتی شریف،

saeed.saeedi@modares.ac.ir

زمینه کاری: مدارهای مجتمع آنالوگ

مدارهای مجتمع فرکانس بالا (RFIC) و مایکروویو (MMIC)
گیرنده – فرستنده های مخابراتی
مدارهای الکترونیکی با کاربرد زیستی



استادیار
سعید سعیدی

سوابق تحصیلی: دکتری (۱۳۸۸) مهندسی برق – الکترونیک، دانشگاه صنعتی شریف.
کارشناسی ارشد (۱۳۸۲) – مهندسی برق – الکترونیک، دانشگاه صنعتی شریف،
کارشناسی (۱۳۸۰) – مهندسی برق، دانشگاه صنعتی شریف.

d.fathi@modares.ac.ir

زمینه کاری: ساخت و شبیه سازی سلول های خورشیدی نانو ساختار پروسکائیتی
طراحی و تحلیل ساختارهای نوری مبتنی بر روش های عددی اپتیک – فوتونیک محاسباتی.
طراحی و تحلیل ساختارهای مبتنی بر فوتونیک، لیزر و فیبر نوری.
ساخت و طراحی افزاره های میکرو فلونئیدیک



دانشیار
داوود فتحی

سوابق تحصیلی: دکتری (۱۳۸۹) – نانوفناوری – مهندسی الکترونیک، دانشگاه تهران، ایران.
کارشناسی ارشد (۱۳۷۳) – مهندسی برق – مهندسی پزشکی – بیوالکترونیک، دانشگاه صنعتی شریف.
کارشناسی (۱۳۶۹) – مهندسی برق – الکترونیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

s.darbari@modares.ac.ir

زمینه کاری: سامانه های اپتوفورسیس و انبرک های پلاسمونی
ادوات امواج آکوستیک سطحی (SAW) و سامانه های آکوستوفورسیس
ادوات تراشه های فوتونیک مجتمع
حسگرها و آشکارسازها



دانشیار
سارا درباری کوزه کنان

سوابق تحصیلی: دکتری (۱۳۹۰) – مهندسی برق – الکترونیک، دانشگاه تهران، ایران.
کارشناسی ارشد (۱۳۸۶) – مهندسی برق – الکترونیک، دانشگاه تهران، ایران.
کارشناسی (۱۳۸۳) – مهندسی برق – الکترونیک، دانشگاه تهران، ایران.

فهرست اساتید – گروه الکترونیک

nik@modares.ac.ir

زمینه کاری:

طراحی مدارهای مجتمع آنالوگ، RF، موج میلیمتری
طراحی مدارهای مجتمع سیگنال مخلوط
حلقه‌های قفل فاز و سنتز کننده فرکانس



استادیار امیر نیک پیک

سوابق تحصیلی: دکتری (۱۳۹۴) – الکترونیک، تربیت مدرس، تهران، ایران

فهرست اساتید – گروه قدرت

parsa@modares.ac.ir

زمینه کاری:

شبکه‌های قدرت آینده
شبکه‌های هوشمند
سیستم‌های چندحاملی انرژی
مدیریت انرژی
انرژی‌های تجدیدپذیر در سیستم قدرت.



استاد
محسن پارسا مقدم

سوابق تحصیلی: دکتری (۱۳۶۷) – مهندسی برق، توهوکو، ژاپن
کارشناسی ارشد (۱۳۶۴) – مهندسی برق، صنعتی توپوهای، ژاپن
کارشناسی (۱۳۵۸) – مهندسی برق، دانشگاه صنعتی شریف

seifi_ho@modares.ac.ir

زمینه کاری:

برنامه‌ریزی در سیستم‌های قدرت
دینامیک سیستم‌های قدرت
بازار برق / بهره‌برداری سیستم‌های قدرت



استاد
حسن سیفی

سوابق تحصیلی: دکتری (۱۳۶۸) – مهندسی برق، منچستر، انگلستان
کارشناسی ارشد (۱۳۶۶) – مهندسی برق، منچستر، انگلستان
کارشناسی (۱۳۵۹) – مهندسی برق، دانشگاه شیراز

haghifam@modares.ac.ir

زمینه کاری:

طراحی و بهره‌برداری شبکه‌های توزیع
امنیت، تاب‌آوری و قابلیت اطمینان سیستم‌های قدرت
شبکه‌های هوشمند
برنامه‌ریزی و طراحی مبتنی بر ریسک سیستم‌های قدرت



استاد
محمود رضا حقی فام

سوابق تحصیلی: دکتری (۱۳۷۴) – مهندسی برق، تربیت مدرس، تهران، ایران
کارشناسی ارشد (۱۳۶۹) – مهندسی برق، دانشگاه تهران، تهران، ایران
کارشناسی (۱۳۶۶) – مهندسی برق-قدرت، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

فهرست اساتید – گروه قدرت

yazdian@modares.ac.ir

زمینه کاری: الکترونیک صنعتی و درایو

سیستم‌های سایبر-فیزیکی انرژی
حفاظت و امنیت شبکه‌های انرژی



دانشیار
علی یزدیان ورجانی

سوابق تحصیلی: دکتری (۱۳۷۸) - مهندسی برق، دانشگاه ولنگنگ، ولنگنگ، استرالیا
کارشناسی ارشد (۱۳۷۳) - مهندسی برق، دانشگاه ولنگنگ، ولنگنگ، استرالیا
کارشناسی (۱۳۶۸) - مهندسی برق - قدرت، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران

aleslam@modares.ac.ir

زمینه کاری:

بازارهای برق
بهره‌برداری از سیستم‌های قدرت



دانشیار
محمد کاظم شیخ الاسلامی

سوابق تحصیلی: دکتری (۱۳۸۴) - مهندسی برق - قدرت، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
کارشناسی ارشد (۱۳۷۹) - مهندسی برق - قدرت، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
کارشناسی (۱۳۷۱) - مهندسی برق - قدرت، دانشگاه تهران، تهران، ایران

beiranvand@modares.ac.ir

زمینه کاری: روش‌های کلیدزنی نرم، مبدل‌های تشدید، و مبدل‌های سوئیچ-خازنی
مبدل‌های نوین الکترونیک قدرت: (AC/AC, AC/DC, DC/DC, DC/AC) توپولوژی، مدلسازی،
و روش‌های مختلف کنترل آنها
باتری شارژرها-متعادل سازها، انتقال توان القایی و بیسیم
منابع تغذیه سوئیچینگ



دانشیار
رضا بیرانوند

سوابق تحصیلی: دکتری (۱۳۸۹) - مهندسی برق - الکترونیک، دانشگاه صنعتی شریف.
کارشناسی ارشد (۱۳۷۸) - مهندسی برق - الکترونیک، دانشگاه صنعتی شریف.

h.delkhosh@modares.ac.ir

زمینه کاری: امنیت سایبری - فیزیکی شبکه‌ی قدرت
بهره‌برداری و کنترل فرکانس سیستم‌های قدرت
سیستم‌های پایش و کنترل شبکه
بهینه‌سازی در شبکه‌های قدرت



استادیار
حامد دلخوش

سوابق تحصیلی: دکتری (۱۳۹۸) - مهندسی برق - سیستم‌های قدرت، دانشگاه تربیت مدرس، ایران
کارشناسی ارشد (۱۳۹۴) - مهندسی برق - سیستم‌های قدرت، دانشگاه صنعتی شریف، ایران
کارشناسی (۱۳۹۲) - مهندسی برق - قدرت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ایران

فهرست اساتید – گروه کنترل

momeni_h@modares.ac.ir

زمینه کاری: کنترل تطبیقی

کنترل مقاوم
شناسایی سیستم‌ها
اتوماسیون، ابزار دقیق
سیستم‌های مرتبه کسری



استاد
حمیدرضا مومنی

سوابق تحصیلی: دکتری (۱۳۶۶) - مهندسی برق-کنترل، امپریال کالج، لندن، انگلستان

کارشناسی ارشد (۱۳۵۸) - مهندسی برق-کنترل ویسکانسین، مدیسن، آمریکا
کارشناسی (۱۳۵۶) - مهندسی برق-کنترل، صنعتی شریف، تهران، ایران

mbehesht@modares.ac.ir

زمینه کاری: کنترل سیستم‌های آشفته تکین

کنترل شبکه‌های ارتباطی و رایانه‌ای
کنترل شبکه‌های برق هوشمند



دانشیار
محمد تقی حمیدی بهشتی

سوابق تحصیلی: دکتری (۱۳۷۱) - مهندسی برق، ایالتی ویجیتا، آمریکا

کارشناسی ارشد (۱۳۶۶) - مهندسی برق، ایالتی ویجیتا، آمریکا
کارشناسی (۱۳۶۳) - مهندسی برق، نبراسکا، آمریکا

majd@modares.ac.ir

زمینه کاری: شناسایی و کنترل هوشمند

یادگیری عمیق
ربات‌های بلعیدنی
ربات‌های نرم
سامانه‌های چند کارگزاره یادگیر



دانشیار
وحید جوهری مجد

سوابق تحصیلی: دکتری (۱۳۷۴) - مهندسی برق، پیتسبورگ، آمریکا

کارشناسی ارشد (۱۳۷۰) - مهندسی برق، پیتسبورگ، آمریکا
کارشناسی (۱۳۶۷) - مهندسی برق، دانشگاه تهران، ایران

ozgoli@modares.ac.ir

زمینه کاری: کنترل غیر خطی

کنترل مقاوم
مدلسازی و کنترل سامانه‌های زیستی و بیماری‌ها
مکاترونیک و رباتیک
شبکه‌های پیچیده



دانشیار
سجاد ازگلی

سوابق تحصیلی: دکتری (۱۳۸۴) - مهندسی برق - کنترل، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

کارشناسی ارشد (۱۳۷۸) - مهندسی برق - کنترل، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران
کارشناسی (۱۳۷۶) - مهندسی برق - الکترونیک، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران

فهرست اساتید - گروه کنترل

ramezani@modares.ac.ir

زمینه کاری: شناسایی عیب و کنترل تحمل پذیر عیب
کنترل پیش بین مبتنی بر مدل
کنترل مبتنی بر یادگیری تقویتی و داده محور
اتوماسیون و ابزار دقیق
شبکه های یادگیری عمیق

دانشیار
امین رمضانی

سوابق تحصیلی: دکتری (۱۳۹۰) - مهندسی برق - کنترل، دانشگاه تهران، ایران
کارشناسی ارشد (۱۳۸۲) - مهندسی برق - کنترل، دانشگاه صنعتی شریف
کارشناسی (۱۳۸۰) - مهندسی برق - الکترونیک، دانشگاه شهید بهشتی

sojoodi@modares.ac.ir

زمینه کاری: بهینه سازی محدب
شناسایی سیستم
سامانه های زیستی - کنترل مقاوم

دانشیار
مهدی سجودی

سوابق تحصیلی: دکتری (۱۳۹۰) مهندسی برق - کنترل، دانشگاه تربیت مدرس، ایران
کارشناسی ارشد (۱۳۸۴) - مهندسی برق - کنترل، دانشگاه تربیت مدرس، ایران
کارشناسی (۱۳۸۱) - مهندسی برق - الکترونیک، دانشگاه ارومیه، ایران

فهرست اساتید - گروه مهندسی مخابرات

ghassemis@modares.ac.ir

زمینه کاری: پردازش و آنالیز سیگنال ها و تصاویر
تجزیه تحلیل و ادغام اطلاعات، مهندسی سنجش از دور
پردازش و آنالیز تصاویر و سیگنال های پزشکی

استاد
محمدحسین قاسمیان یزدی

سوابق تحصیلی: دکتری (۱۳۶۷) - شناسایی الگو، پردازش و آنالیز تصاویر و داده های ابرطیفی سنجش از دور، پردو، آمریکا
کارشناسی ارشد (۱۳۶۴) - پردازش و آنالیز سیگنال های راداری، پردو، آمریکا
کارشناسی (۱۳۵۸) - طرح و ساخت مراکز سوئیچینگ تلفن، ترکیب و انتقال صوت و داده، دانشکده مخابرات، تهران، ایران

sharafat@modares.ac.ir

زمینه کاری: سیستم ها و شبکه های مخابراتی
روش های پیشرفته پردازش سیگنال



استاد احمد رضا شرافت

سوابق تحصیلی: دکتری (۱۳۶۰) - مهندسی برق، دانشگاه استنفورد، استنفورد، آمریکا
کارشناسی (۱۳۵۴) - مهندسی برق، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران

فهرست اساتید – گروه مهندسی مخابرات

keyvan_f@modares.ac.ir

زمینه کاری:

آنتن
الکترومغناطیس
ادوات پسیو در مایکروویو



استاد کیوان فرورقی

سوابق تحصیلی: دکتری (۱۳۷۰) – مهندسی برق – الکترونیک، چالمرز، سوئد

pazmi@modares.ac.ir

زمینه کاری:

تخصیص منابع در شبکه‌های مخابرات سیار نسل پنجم
امنیت در لایه فیزیکی شبکه‌های مخابراتی
شبکه‌های مخابرات مولکولی
مخابرات نوری آماری



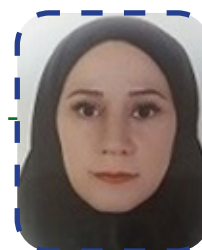
استاد
پائیز عزمی

سوابق تحصیلی: دکتری (۱۳۸۱) – مهندسی برق، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران
کارشناسی ارشد (۱۳۷۷) – مهندسی برق، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران – صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران
کارشناسی (۱۳۷۵) – مهندسی برق، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران

atlasbaf@modares.ac.ir

زمینه کاری:

ادوات پسیو و اکتیو در مایکروویو
فرا مواد
روش‌های عددی در الکترومغناطیس



دانشیار
زهرا اطلس‌باف

سوابق تحصیلی: دکتری (۱۳۸۱) – مهندسی برق، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
کارشناسی ارشد (۱۳۷۵) – مهندسی برق-مخابرات، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

hsaedi@modares.ac.ir

زمینه کاری:

تئوری اطلاعات و کدینگ، مخابرات بی سیم، تخصیص منابع در شبکه‌های مخابراتی



دانشیار
حمید سعیدی

سوابق تحصیلی: دکتری (۱۳۸۶) – مهندسی برق، دانشگاه کارلتون، اتاوا، کانادا
کارشناسی ارشد (۱۳۸۰) – مهندسی برق – مخابرات، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران
کارشناسی (۱۳۷۸) – مهندسی برق – کنترل، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران

فهرست اساتید - گروه مهندسی مخابرات

abbasi@modares.ac.ir

زمینه کاری: آنتن

مدارات فعال و غیرفعال مایکروویو
مخابرات ماهواره‌ایدانشیار
بیژن عباسی آرند**سوابق تحصیلی:** دکتری (۱۳۸۲) - مهندسی برق-مخابرات، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
کارشناسی ارشد (۱۳۷۶) - مهندسی برق-مخابرات، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
کارشناسی (۱۳۷۴) - مهندسی برق - الکترونیک، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

mghaffari@modares.ac.ir

زمینه کاری: روش‌های عددی و تحلیلی در الکترومغناطیس

مهندسی نور و فوتونیک
فراسطح
فرامواد و ادوات مبتنی بر گرافین
مهندسی آنتن و انتشار امواجدانشیار
محسن غفاری میاب**سوابق تحصیلی:** دکتری (۱۳۹۱) - مهندسی برق-مخابرات، دانشگاه تهران تهران، ایران
کارشناسی ارشد (۱۳۸۶) - مهندسی برق-مخابرات، دانشگاه تهران تهران، ایران
کارشناسی (۱۳۸۴) - مهندسی برق، دانشگاه تهران تهران، ایران

nader.mokari@modares.ac.ir

زمینه کاری:

طراحی شبکه‌های بی سیم
امنیت در شبکه‌های بی سیم
مخابرات مولکولی

دانشیار نادر مکاری یامچی

سوابق تحصیلی: دکتری (۱۳۹۳) - مهندسی برق-مخابرات، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

maryam.imani@modares.ac.ir

زمینه کاری:

شناسایی الگو و یادگیری ماشین
پردازش سیگنال و تصویر
سنجش از دور

استادیار مریم ایمانی آرانی

سوابق تحصیلی: دکتری (۱۳۹۴) - مهندسی برق-مخابرات، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

فهرست اساتید – گروه مهندسی پزشکی

mahlooji@modares.ac.ir

زمینه کاری: فراصوت

پردازش تصاویر پزشکی

ابزار دقیق پزشکی



دانشیار
علی مخلوجی فر

سوابق تحصیلی: دکتری (۱۳۷۶) - علوم ابزار دقیق پزشکی، انگلستان

کارشناسی ارشد (۱۳۷۰) - مهندسی برق، دانشگاه صنعتی شریف،

کارشناسی (۱۳۶۷) - مهندسی برق، دانشگاه تهران، ایران

babakmasl@modares.ac.ir

زمینه کاری: پردازش سیگنال‌های حیاتی

پردازش سیگنال اولتراسوند



دانشیار بابک محمدزاده

سوابق تحصیلی: دکتری (۱۳۸۹) - مهندسی پزشکی - بیوالکترونیک، دانشگاه تربیت مدرس،

کارشناسی ارشد (۱۳۸۴) مهندسی پزشکی - بیوالکترونیک، دانشگاه تهران، ایران

z.bahmani@modares.ac.ir

زمینه کاری: علوم اعصاب شناختی-هوش مصنوعی

مبانی نورونی توجه بینایی و حافظه کاری

پردازش سیگنال‌های مغزی

پردازش ویدئوهای حرارتی

الگوریتم‌های یادگیری ماشین



استادیار
زهرا بهمنی دهکردی

سوابق تحصیلی: دکتری (۱۳۹۶) - علوم اعصاب شناختی - پژوهشگاه دانش‌های بنیادی، تهران، ایران

mpakravan@modares.ac.ir

زمینه کاری: پردازش سیگنال‌های زیستی

تصویربرداری تشدید مغناطیسی کارکردی (fMRI)

اتصالات مغزی

شبکه‌های عصبی گرافی

استنتاج علی / یادگیری ماشین و یادگیری عمیق



استادیار
منصوره پاکروان

سوابق تحصیلی: دکتری (۱۳۹۸) - مهندسی پزشکی/بیوالکترونیک، صنعتی شریف، تهران، ایران

کارشناسی ارشد (۱۳۹۱) - مهندسی پزشکی/بیوالکترونیک، صنعتی شریف، تهران، ایران

کارشناسی (۱۳۸۹) - مخابرات، صنعتی شریف، تهران، ایران

فهرست اساتید - گروه مهندسی کامپیوتر

sjalili@modares.ac.ir

زمینه کاری: طراحی جستجو بنیان معماری سیستم‌های نرم‌افزاری
کنترل نامتمرکز در سیستم‌های توزیع شده خودوقتی
وارسی حین اجرای نرم افزار
امنیت اینترنت اشیا
وارسی پروتکل‌های امنیتی
جرمیابی دیجیتال و بیوانفورماتیک



دانشیار
سعید جلیلی

سوابق تحصیلی: دکتری (۱۳۷۰) - علوم کامپیوتر، برادفورد، انگلستان
کارشناسی ارشد (۱۳۶۴) - علوم کامپیوتر، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران
کارشناسی (۱۳۵۸) - مهندسی کامپیوتر، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

moghadam@modares.ac.ir

زمینه کاری: آنالیز و بازیابی تصویر و ویدیو
شبکه‌های حسگر و بی‌سیم
شناسایی رخداد سامانه‌های ویدیویی
شبکه‌های پیچیده
بیوانفورماتیک



دانشیار
نصراله مقدم چرگری

سوابق تحصیلی: دکتری (۱۳۷۴) - مهندسی کامپیوتر، یاماناشی، کوفو، ژاپن
کارشناسی ارشد (۱۳۷۱) - مهندسی کامپیوتر، یاماناشی، کوفو، ژاپن
کارشناسی (۱۳۶۴) - مهندسی کامپیوتر، شهید بهشتی، تهران، ایران

saniee@modares.ac.ir

زمینه کاری: نظر کاوی در وب و شبکه‌های اجتماعی
سامانه‌های هوشمند مبتنی بر عظیم داده کاوی
روش‌های فرامکاشفه‌ای در داده کاوی
داده‌کاوی در پزشکی و بیوانفورماتیک



دانشیار
محمد صنیعی آباده

سوابق تحصیلی: دکتری (۱۳۸۶) - مهندسی کامپیوتر - هوش مصنوعی، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران
کارشناسی ارشد (۱۳۸۱) - مهندسی کامپیوتر - هوش مصنوعی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
کارشناسی (۱۳۸۰) - مهندسی کامپیوتر، نرم افزار - دانشگاه صنعتی اصفهان،

fghaderi@modares.ac.ir

زمینه کاری: یادگیری ماشین / پردازش سیگنال / تحلیل داده



استادیار فوآد قادری

سوابق تحصیلی: دکتری (۱۳۸۹) - مهندسی کامپیوتر - هوش مصنوعی - ولز کالج کاردیف، انگلستان

mroayaei@modares.ac.ir

زمینه کاری: هوش مصنوعی (یادگیری تقویتی)
علوم داده و کلان داده / علوم شبکه (تحلیل شبکه‌های اجتماعی) / الگوریتم



استادیار
مهدی رعایائی اردکانی

سوابق تحصیلی: دکتری (۱۳۹۵) - مهندسی کامپیوتر - مهندسی نرم‌افزار، صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران
کارشناسی ارشد (۱۳۸۹) - مهندسی کامپیوتر - مهندسی نرم‌افزار، صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران
کارشناسی (۱۳۸۹) - مهندسی فناوری اطلاعات، صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران
کارشناسی (۱۳۸۷) - مهندسی کامپیوتر - مهندسی نرم‌افزار، صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

نشریه علمی تخصصی برق کام

BARGHCOM MAGAZINE





فصل اول

مقالات علمی تخصصی

فارسی:

- * نظریه مدل سازی و کنترل سرطان به روش درمان ترکیبی با کنترل بهینه
- * طراحی روش درمان جدید برای پرتودرمانی با الکترون حین عمل جراحی (IOERT) با استفاده از برد الکترونیکی
- * مروری بر روش های تصویر برداری مدرن
- * مروری به کارهای انجام گرفته مبتنی بر ساختارهای جعلی پلاسمون پلاریتونهای جعلی به منظور افزایش عملکرد آنتن ها
- * یک طرح حفاظت جدید برای خطوط انتقال HVDC بر اساس توان ظاهری فیلتر DC
- * اندازه گیری مدهای طولی کاواک بارگذاری خازنی به روش خط هم محور و بررسی اثر پلانتر بر آنها
- * افزایش بازدهی نیروگاه های خورشیدی
- * ساخت یک کرنل: پیاده سازی مد واقعی و مد محافظت شده

English:

- Optimal control theory in modeling and mixed therapy of cancer
- A Novel Treatment Planning Design for Intraoperative Electron Radiation Therapy (IOERT) using an Electronic Board
- A review of modern imaging methods
- A review of the works-based spoof plasmon polaritons surface in order to increase the performance of antennas
- A novel protection scheme for HVDC transmission lines based on DC filter apparent power
- Longitudinal modes measurement of capacitive loaded cavity by coaxial wire method and investigation of plunger effect on them
- Increasing the efficiency of solar plants
- Creating a Kernel: Implementing Real Mode and Protected Mode



نظریه مدل سازی و کنترل سرطان به روش درمان ترکیبی با کنترل بهینه

لیلا سادات ساجدی^۱، امین رضانی^۲

۱- کارشناسی ارشد کنترل، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، leila.sajedi@modares.ac.ir

۲- دانشیار، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ramezani@modares.ac.ir

چکیده

شیوع روزافزون بیماری سرطان، و مرگ و میر ناشی از آن باعث شده است تا تحقیقات گسترده و رویکردهای متفاوتی در روش‌های تشخیص و درمان آن صورت گیرد. در دهه‌های اخیر، موضوع رقابت میان سلول‌های سیستم ایمنی بدن و سلول‌های سرطانی، بسیار مورد توجه قرار گرفته است. با مدل‌سازی ریاضی این رقابت در قالب سیستم‌های دینامیکی و با کمک داده‌های تجربی و استفاده از روش‌های مختلف مهندسی کنترل در تعیین میزان و نحوه‌ی تجویز دارو، می‌توان به نتایج جالب توجهی در زمینه‌های درمان، کنترل و ریشه‌کنی سرطان دست‌یافت. در این پژوهش انواع مدل‌های شاخص این حوزه و کنترل‌کننده‌های به کار گرفته شده بررسی شده است.

کلیدواژگان: ایمنی درمانی، سرطان، شیمی درمانی، کنترل بهینه، مدل‌سازی ریاضی

Abstract

The increasing prevalence of cancer and its mortality has led to extensive research and different approaches to its diagnosis and treatment. In recent decades, the issue of competition between immune system cells and cancer cells has received much attention. By mathematical modeling of this competition in the form of dynamic systems and with the help of experimental data and the use of various control engineering methods in determining the amount and method of drug administration, we can achieve interesting results in the field of treatment and achieved cancer control and eradication. In this research, the types of index models and the controllers used in this field have been investigated.

Keywords: Immunotherapy; Cancer; Chemotherapy; Optimal Control; Mathematical modeling

۱- مقدمه

سرطان هنوز هم یکی از مهم‌ترین دلایل مرگ و میر در سراسر جهان است. طبق اعلام سازمان بهداشت جهانی (WHO)، پیش‌بینی می‌شود طی دو دهه آینده تعداد موارد جدید سرطان ۷۰٪ افزایش یابد [۱].

مؤسسه بین‌المللی سرطان به طور میانگین تخمین می‌زند هر ساله حدود ۱۲/۷ میلیون نفر در سراسر دنیا به سرطان مبتلا می‌شوند. ۷/۴ میلیون نفر از این افراد در اثر سرطان‌های مختلف جان خود را از دست می‌دهند [۲]. همچنین این انستیتو بیان می‌کند که در ایالات متحده سالانه ۵٫۱ میلیون نفر به سرطان مبتلا می‌شوند که بیش از پانصد هزار نفر از آنان در اثر این بیماری جان می‌سپارند [۳]. بر این اساس درمان سرطان یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های پزشکی تمام جوامع است.

در چند سال اخیر با پیشرفت سریع تکنولوژی بسیاری از عوامل مولکولی این بیماری شناخته شده و امید برای یافتن داروهای مؤثرتر افزایش یافته است. اما عواملی که در پیدایش سرطان دخالت مستقیم و یا غیر مستقیم دارند بسیار زیاد بوده، به همین دلیل پیش‌گیری و درمان کامل سرطان دشوار و در بسیاری موارد غیر ممکن است. دانشمندان و محققین بی‌شماری در دنیا با بودجه‌های کلان هر روزه برای یافتن روش‌ها و داروهای بهتر تلاش می‌کنند. تا به حال روش‌های متعددی جهت درمان سرطان استفاده شده است که از جمله آن‌ها می‌توان به جراحی‌های تهاجمی، ضدگ‌زایی و شیمی‌درمانی اشاره کرد که در بیشتر موارد هریک به دلایلی با موفقیت روبرو نشده‌اند یا در صورت موفقیت، عوارض جانبی شدیدی را به بیمار تحمیل نموده‌اند [۴]. به رغم مطالعات و تحقیقات فراوان در این زمینه، هنوز حقایق این مسئله مبهم است و روش درمانی کاملی برای سرطان ارائه نشده است. یکی از دلایل این امر آزمایشات پرهزینه و طولانی مدتی است که باید در این زمینه صورت گیرد. استفاده از مدل‌های مختلف نظیر مدل‌های ریاضی و شبیه‌سازی‌های کامپیوتری می‌تواند زمان و هزینه‌ی این آزمایشات و تحقیقات را از طریق پیش‌بینی برخی مسائل و هدفمند کردن آن‌ها تا حد زیادی کاهش دهد و در بسیاری از موارد از آزمایشات و تحقیقات بی‌هدف و پرهزینه جلوگیری نماید و یاحتی در مواردی راه‌های نوینی پیش روی محققین پزشکی قرار دهد [۵].

همان‌طور که ذکر گردید، یکی از تکنیک‌های مواجهه با سرطان و بررسی ویژگی‌های مختلف آن برای یافتن درمان‌های مناسب استفاده از مدل‌های ریاضی است. تا به حال مدل‌های زیادی برای درک رفتار سلولی سرطان ارائه شده است. در اکثر این مدل‌ها، هدف اصلی بدست آوردن معادلاتی بوده است که توانایی توصیف و پیش‌بینی رشد سرطان و استخراج عوامل مؤثر بر آن را داشته باشند. این مدل‌ها معمولاً بر پایه اصول زیست‌شناسی و رفتار سیستم ایمنی بدن و با استفاده از پارامترهایی که به صورت آزمایشی و یا تخمینی به‌دست آمده‌اند پایه‌گذاری می‌شوند.

شواهد کلینیکی که نشان‌دهنده پتانسیل سیستم ایمنی در تشخیص و حذف تومورهای سرطانی می‌باشد باعث شد تحقیقات گسترده‌ای در زمینه ایمنی‌درمانی و واکنش‌درمانی سرطان در سطح دنیا صورت پذیرد. به همین سبب پیشرفت‌های اخیر در ایمنی‌درمانی تومور منجر به حساسیت و توجه زیادی مبنی بر چگونگی هرچه مؤثرتر ترکیب شیمی‌درمانی و ایمنی‌درمانی شده است. بنابراین یافتن روشی به منظور رسیدن به برنامه دارودهی بهینه در حالت ترکیبی درمان سرطان و کنترل دوز داروی مصرفی در شیمی‌درمانی از اهمیت بسیار زیادی برخوردار می‌باشد [۶].

۲- تاریخچه

مدل کردن سیستم ایمنی به صورت کامل، کار بسیار پیچیده‌ای می‌باشد [۷]. بنابراین مدل‌های ارائه شده که پاسخ سیستم ایمنی در مقابل تومور را شبیه‌سازی می‌کنند تنها روی دسته خاصی از المان‌های سیستم ایمنی بسته به نوع مدل تمرکز کرده‌اند. طی دهه‌های گذشته چندین مدل ریاضی از عملکرد متقابل سیستم ایمنی و تومور توسط محققان مختلف ایجاد شده است.

اولین گام‌های ایمنی‌درمانی سرطان در دهه‌ی ۱۸۹۰ میلادی برداشته شد. یکی از اولین پژوهش‌گران این زمینه، دکتر کلی است که در آن دوران این روش مورد پذیرش

همگان قرار نگرفت؛ اما بعدتر ایده‌ای که در روش دکتر کلی به کار گرفته شده بود، مورد توجه قرار گرفته و ایمنی‌درمانی نام گرفت [۸]. در نهایت با مطالعات زیاد، معلوم شد عواملی در بدن وجود دارند که قادر به حذف سلول‌های سرطانی می‌باشند و اکنون می‌دانیم که این عوامل، آنتی-بادی‌ها و سلول‌های ایمنی هستند. در سال ۱۹۸۶ دی بوئر و همکارانش مدلی از رابطه متقابل سیستم ایمنی و تومور ارائه کردند [۹] و توسط آن نشان دادند که دوز پایین آنتی‌ژن می‌تواند منجر به نهفتگی تومور شود. در سال ۱۹۹۸ کریشنر و پانتا که روی رابطه متقابل تومور و سیستم ایمنی تمرکز کرده بود توانست مدل ریاضی دینامیک بین سلول‌های تومور، سلول‌های سیستم ایمنی و سیتوکین اینترلوکین-۲ (که عامل تأثیرگذار بر سیستم ایمنی است) را تشریح نماید [۴۰]. به دلیل اثربخشی بیشتر درمان به روش ترکیب ایمنی‌درمانی و شیمی‌درمانی، بسیاری از محققان سعی در به‌دست آوردن هرچه دقیق‌تر مدل ریاضی برای نشان‌دادن عملکرد این روش درمانی نموده‌اند. دیپلیس و همکارانش در سال ۲۰۰۶ مدلی برای درمان به روش ترکیب شیمی‌درمانی و ایمنی‌درمانی ارائه داده که در آن سیستم ایمنی را با جزئیات زیادی مدل کرده است. علاوه بر این، پاسخ‌های تومور و سیستم ایمنی بدن به مداخلات پزشکی خاص (داروهای شیمی‌درمانی و تزریق اصلاح‌کننده‌های پاسخ ایمنی) مدل شده است [۱۱]. که با توجه به اطلاعات پزشکی دقیق‌تر، این مدل را در سال ۲۰۰۹ اصلاح نمود [۱۲]. همچنین اونفریو برای روش ترکیبی درمان سرطان مدل جامعی ارائه داده است [۱۳]. که در آن سیستم ایمنی بدن را به صورت جامع در نظر گرفته است که لزودیج و همکارانش برای مدل بیان شده توسط اونفریو، در [۱۴] به طراحی کنترل بهینه پرداخته‌اند.

در زمینه‌ی به‌دست آوردن استراتژی برنامه دارودهی بهینه برای روش‌های درمانی ترکیبی نیز کارهای قابل توجهی انجام شده است. از کارهای اولیه در این زمینه می‌توان به مدل ارائه شده توسط دیپلیس و همکارانش در سال ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸ اشاره کرد که از روش‌های کنترل بهینه برای رسیدن به برنامه دارودهی استفاده کرده‌اند [۱۵] و [۱۶]. در ادامه مازن الامیر و همکارش در سال ۲۰۰۹ بر اساس مدل ارائه شده توسط دیپلیس در سال ۲۰۰۵ [۱۷]. به طراحی کنترل پیش‌بین غیرخطی پرداختند [۱۸]. یکی از جدیدترین استراتژی‌های دارودهی ترکیبی را اونفریو و همکارانش ارائه داده‌اند که در آن با مدل کردن رشد تومور به صورت عمومی و جامع، سعی شده است که با اعمال کنترل بهینه به روشی برای دارودهی دست یابند که هنگامی که تومور در حالت بدخیم خود می‌باشد، آن را به سمت نقطه تعادل پایداری که در حالت خوش‌خیم می‌باشد هدایت کند [۳].

۳- فیزیولوژی سرطان

تومور رشد غیر طبیعی سلول است که هیچ هدفی ندارد. در حالت عادی سلول‌های بدن عمر محدودی داشته و هنگامی که وظیفه خود را در قبال یک عضو به‌خصوص انجام دهند از بین می‌روند. این مرگ و تجزیه سلولی بر موازن علمی استوار بوده و فرمان مرگ برنامه‌ریزی‌شده سلولی توسط هسته سلول صادر می‌شود. اگر این فرآیند در مسیر تعادل و صحیح خود اتفاق افتد، بدن سالم می‌ماند و عملکرد طبیعی خود را حفظ می‌کند. اما مشکلات، زمانی شروع می‌شود یک سلول طبیعی دچار جهش و یا تغییر شده و به سلول سرطانی تبدیل می‌شود. در مواردی ژن‌های موجود در هسته سلول دچار عارضه شده و در نتیجه دستور مرگ برنامه‌ریزی شده برای خودکشی سلولی به‌موقع صادر نمی‌شود و در نتیجه سلول همچنان تکثیر می‌یابد. افزایش تعداد بی‌رویه سلول‌ها باعث برهم‌خوردن متابولیسم عضو شده و در نهایت منجر به سرطان می‌شود. شروع سرطان هنگامی است که اطلاعات ژنتیکی یک سلول تخریب شده که این اتفاق باعث تقسیم سلولی به میزان غیرقابل‌کنترلی می‌شود. حاصل این تقسیم غیرطبیعی در اغلب موارد به شکل توده یا برجستگی ظاهر می‌شود که معمولاً به آن تومور گفته می‌شود.

علت دقیق ایجاد سرطان هنوز ناشناخته است. یک سلول طبیعی ممکن است بدون هیچ دلیل واضحی به یک سلول سرطانی تبدیل شود. با این حال گفته می‌شود هر عاملی

بافت میزبان را وادار به عروق سازی کنند، به این پدیده رگ زایی می گویند. این مسئله نقش اساسی در رشد تومور دارد. هنگامی که سلول های سرطانی تکثیر پیدا می کنند و روی هم انباشته می شوند، غلظت مواد غذایی و اکسیژن کم شده و باعث کاهش رشد، و مرگ سلول ها می شود. پس از پدید آمدن رگ زایی آهنگ رشد سریع تر می شود. در حالت های پیشرفته تر سلول های سرطانی از طریق عروق لنفاوی و سیستم گردش خون به مناطق دیگر بدن می روند و در آن جا تکثیر می شوند. این پدیده را رشد متاستاتیک می گویند.

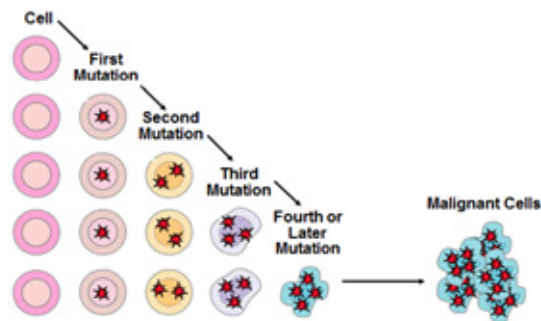
۴- علل ایجاد سرطان

هنوز علت بسیاری از سرطان ها مشخص نشده است اما آن چه که از یافته های محققین دریافت می شود آن است که نوع شیوه زندگی مانند قرار گرفتن طولانی مدت در برابر نور خورشید، سیگار کشیدن، مصرف زیاد الکل، نوع رژیم غذایی، آلودگی های هوا توسط آلاینده های صنعتی و آلاینده های ناشی از سوخت و سوز، عوامل روانی و معنوی، داروها، مواد موجود در محیط زیست مثل مواد شیمیایی، رادیواکتیو و آزیستوز و داشتن تماس با آن ها در ایجاد سرطان مؤثر هستند. عوامل گفته شده در بالا از طریق واکنش های شیمیایی، رادیواکتیوی یا ویروسی باعث تولید سلول های غیرطبیعی و ایجاد سرطان میشوند. از سوی دیگر دریافت کم آنتی اکسیدان ها و مواد مغذی حاوی هورمون های ضد سرطان، دریافت بیش از حد کالری که از طریق مصرف زیاد کربوهیدرات ها و چربی ها حاصل میشود، از جمله عوامل ایجاد سرطان هستند. پیشرفت سرطان را می توان یک پروسه بیولوژیک پیچیده دانست که تحقیقات دانشمندان پیرامون آن هنوز ادامه دارد. هورمون ها، شرایط ایمنی و دگرگونی های توارثی در مواد ژنتیکی سلول، همگی می تواند نقش بسزایی در پیشرفت سرطان داشته باشند. درصد کمی از سرطان ها توسط ژن های معیوب به وجود می آیند و بخش کمی از سرطان ها یعنی بین ۲ تا ۱۰ درصد ارثی هستند. در حالت کلی سرطان ها با تغییر ماهیت دادن ژن ها به دلیل عوامل شایعی که در بالا به آن ها اشاره شد، ایجاد می شود.

۵- سیستم ایمنی بدن

سیستم ایمنی از طیف وسیعی از سلول ها و مولکول های تخصص یافته به وجود آمده که قادر به شناسایی و از بین بردن عوامل مهاجم و یگانه می باشند تمام این عوامل در یک شبکه پویا با یکدیگر فعالیت می کنند. ارگان های مهمی که در سیستم ایمنی ایفای نقش می کنند عبارتند از: گره های لنفاوی، مغز استخوان، تیموس، طحال، لوزه ها و آپاندیس. در شکل ۲ ارگان های سیستم ایمنی به صورت شماتیک در نقاط مختلف بدن نشان داده شده اند. حفاظت بدن توسط سیستم ایمنی را می توان به دو بخش شناسایی و پاسخ تقسیم کرد. شناسایی ایمنی همان قابلیت سیستم ایمنی در تشخیص و تفکیک عوامل بیگانه از اجزای خودی می باشد. سیستم ایمنی قادر به شناسایی و عکس العمل قاطع و سریع در برابر الگوهای مولکولی که دارای خصوصیات گروهی از پاتوژن های معمول می باشند، است. سیستم ایمنی حتی می تواند تفاوت های شیمیایی که موجب تشخیص یک پاتوژن از سایر پاتوژن ها می شود را به صورت دقیق شناسایی کند. علاوه بر این موارد، سیستم ایمنی می تواند بین مولکول های بیگانه و سلول ها و مولکول های خود بدن تفاوت قائل شود (تمایز خودی از غیر خودی)؛ همچنین این سیستم قادر به تشخیص سلول های تغییر یافته میزبان، که می توانند به سرطان منجر شوند، می باشد. تشخیص پاتوژن توسط سیستم ایمنی، موجب راه اندازی یک پاسخ اجرایی می شود که منجر به از بین بردن یا خنثی کردن عوامل مهاجم می گردد. چندین جزء از اجزای سیستم ایمنی قادر به تغییر پاسخ های تشخیص اولیه به انواعی از پاسخ های مؤثر هستند که هر کدام از آن ها به طور بی نظیری جهت از بین بردن نوع خاصی از پاتوژن مناسب می باشند [۲۲]. می بایست به این نکته توجه کرد که دو نوع سیستم ایمنی ذاتی و اکتسابی وجود دارد که در حفاظت از بدن ما با یکدیگر همکاری می کنند.

که بتواند تغییری در DNA ایجاد کند، منجر به ایجاد سلول سرطانی می شود، این تغییرات موجب بروز صفات غیرطبیعی در سلول می شود که نتیجه آن، تقسیم سلول ها به صورت غیرعادی است. تومور می تواند خوش خیم یا بدخیم باشد. رشد سلولی تومور خوش خیم پس از مدتی متوقف می شود و اندازه آن ثابت است. همچنین در صورتی که فشاری به این سلول ها وارد نشود به خارج از محل اولیه خود و به بافت های سالم مجاور منتقل نشده و تکثیر نمی یابد. اما تومور بدخیم که شامل سلول های سرطانی است ابتدا در همان محل تکثیر شده و اگر در این مرحله درمان شروع نشود آن ها می توانند به سایر اندام ها مهاجرت کنند، تکثیر شوند و در نهایت تبدیل به سرطان تهاجمی شوند. تومور با رشد خود می تواند بافت ها یا ارگان های سالم اطراف را تخریب کند و یا ممکن است در وضعیتی حادث تر سلول های سرطانی از تومور جدا شده و از طریق گردش خون یا سیستم لنفاوی به سایر قسمت های بدن گسترش یابند که به آن متاستاز می گویند. سلول جهش یافته بدخیم و خوش خیم در بدن فرد بایستی توسط سیستم ایمنی بدن مهار شوند. در عمل رقابت سیستم ایمنی بدن با این سلول ها با پیروزی سلول های سرطانی مواجه شده و لذا سرطان در بدن گسترش می یابد. شکل ظاهری و نیز عملکرد سلول های سرطانی با سلول های طبیعی تفاوت دارد و همان طور که گفته شد جهش یا تغییر ایجاد شده در DNA یا ماده ژنتیکی سلول اتفاق می افتد. DNA همان مسئول کنترل شکل ظاهری و عملکرد سلول است. در بدن، سلول جهش یافته تقسیم شده و به دو سلول جدید جهش یافته تبدیل می شود. این فرآیند به همین ترتیب ادامه می یابد تا آن سلول مودی به توده ای از سلول ها که همان تومور است، تبدیل شود. این فرآیند در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱: تکثیر سلول های سرطانی [۱۹].

بسته به اینکه کدام دسته از بافت های بدن مورد هجوم سلول های سرطانی قرار گیرند و با توجه به بدخیمی سلول های جهش یافته، سرطان ها با سرعت های مختلفی می توانند توسعه یابند و یا به سایر نقاط بدن نیز سرایت کنند. به عنوان نمونه چنانچه بخشی از غدد لنفاوی به سلول های سرطانی آلوده گردد، با توجه به اینکه این غدد دارای قابلیت تکثیر بالایی هستند، به سرعت آلوده گشته و از طریق مجاری خود، سایر غدد لنفاوی را نیز آلوده می کنند.

در حقیقت سیگنال هایی در بدن مخابره می شوند که گیرنده های سطحی سلولی را تحریک می کنند و به این ترتیب به درون هسته سلول انتقال می یابند. این سیگنال ها می توانند ژن های موجود در هسته سلول را برای شروع فعالیت یا توقف آن تحریک کنند. دریافت سیگنال بخصوصی می تواند سلول را به همانندسازی وادار کند که به آن گسترش کلونی یا میتوز می گویند. برعکس آن سیگنال هایی هم وجود دارند که باعث مرگ از پیش برنامه ریزی شده سلولی می شوند و همین امر در سلول ها موجب توقف روند رشد می شود [۱۰]. سیگنال های کنترلی بر رشد بافتی از نظر کمی و کیفی نظارت دارند. زمانیکه اختلالی در پاسخ به سیگنال های کنترلی بوجود بیاید، مهار بافتی مختل می شود و سلول های جوان بیش از حد نیاز تولید می شوند. این سلول ها خاصیت رشد تهاجمی دارند یعنی در مجاورت بافت های دیگر بدن می توانند در آن ها نفوذ کرده و تکثیر یابند.

در فرآیند رشد سلول های سرطانی، چون سلول های واقع در نقاط مرکزی دچار کمبود مواد غذایی و اکسیژن می شوند، این سلول ها نوعی مواد شیمیایی ترشح می کنند که

که از پاسخ ذاتی فرار کرده و با علیرغم وجود این پاسخها در بدن باقی ماندهاند [۲۲]. سیستم ایمنی اکتسابی به وسیله یافتن آنتی ژن های جدید و تطبیق با آن ها بدن ما را محافظت می کند. ایمنی اکتسابی تخصص یافته تر از ایمنی ذاتی است و اثرات ایمنی ذاتی را افزایش می دهد و این نوع ایمنی در مراحل بالاتر تکاملی بوجود آمده است و تا امروز تنها در مرمه داران شناسایی شده است. بنا به تعریف هر چند که هر فردی با ایجاد ظرفیت کافی پاسخ ایمنی در برابر عوامل خارجی پا به عرصه وجود می گذارد ولی بایستی با عامل بیگانه تماس داشته باشد که منجر به پاسخ ایمنی اختصاصی بر علیه آن عامل خارجی گردد و از این روست که به نام ایمنی اکتسابی خوانده می شود؛ البته مواجه شدن با عامل بیگانه (ایمن شدن) وقایع زنجیرواری را شروع می کند که به فعال شدن بعضی از سلول های خاص (لنفوسیت ها) و ساخته شدن مواد و پروتئین هایی منجر می شود که این مجموعه در برابر عوامل خاص بیگانه، واکنش های خاص آن عامل بیگانه را ابراز نماید، و به کمک این فرآیند است که فرد در برابر آن عامل، ایمنی کسب می نماید تا در حمله ی بعدی آن عامل بیگانه، به نحو شایسته تری واکنش نشان داده، آن را از بین ببرد. از همین نوع ایمنی در واکنش های استفاده می شود، هر چند که واکنش های واکنش های علیه بیماری ها خیلی پیش تر از درک صحیح سیستم ایمنی انجام می گرفت، که آن هم در اثر تجربه عملی حاصل شده بود، زیرا در تجربه ثابت گردیده بود که کسانی که به طاعون و یا آبله مبتلا شده بودند و از بیماری جان سالم به در برده بودند در مقابل حملات بعدی بیماری مقاوم شده بودند. سپس برای عوامل خارجی که می توانند سیستم ایمنی را به واکنش ایمنی وادار نمایند نام آنتی ژن انتخاب گردید.

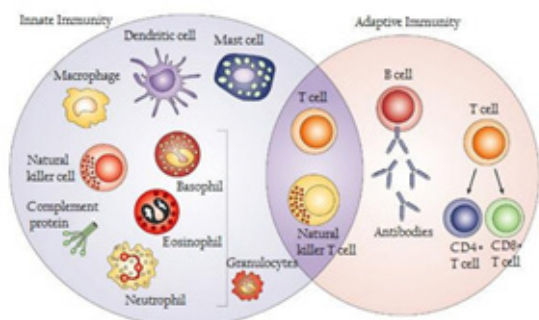
۵-۵- اجزای سیستم ایمنی

۱) سلول های سیستم ایمنی به طور کلی دو نوع گلبول سفید مسئول سیستم ایمنی اکتسابی هستند: لنفوسیت ها و سلول های نشاندار کننده آنتی ژن (APC ها). لنفوسیت ها ۲۰٪ تا ۴۰٪ کل لکوسیت ها (گلبول های سفید) را در یک فرد تشکیل می دهند. در بدن یک فرد بالغ، در حدود ۱۰۱۲ لنفوسیت وجود دارد که از نظر جرم با وزن مغز یا جگر برابری می کند. لنفوسیت ها از مغز استخوان تولید می شوند و در دو نوع T و B یافت می شوند [۲۵]. بر اساس محل تکامل، لنفوسیت ها را به دو دسته لنفوسیت های B و لنفوسیت های T تقسیم می کنند. لنفوسیت های B در مغز استخوان و لنفوسیت های T در تیموس بالغ می شوند. لنفوسیت های بالغ توانایی شناسایی مولکول ها و سلول های خودی را از بیگانه، و نیز مقابله با عوامل بیگانه را به دست می آورند و وارد جریان خون می شوند.

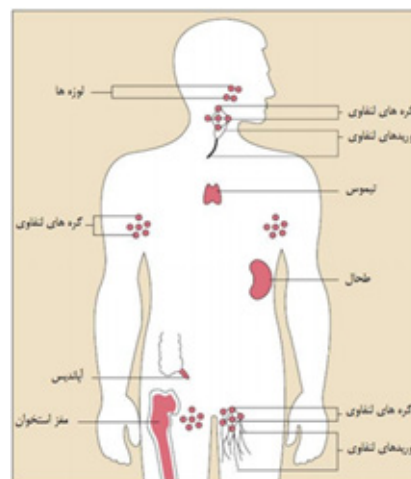
شکل ۳ انواع سلول های ایمنی ذاتی و ایمنی اکتسابی را نشان می دهد.

۲) سلول های نوع B

این سلول ها روی غشاء شان مولکول های آنتی بادی یافت می شود که به عنوان گیرنده عمل می کنند و توانایی تشخیص آنتی ژن های ویژه را دارند. یک سلول B فقط توانایی تشخیص یک نوع آنتی ژن خاص را داراست. یک فرد سلول های نوع B بسیار زیادی دارد که هر یک گیرنده های متفاوتی دارند و بدین وسیله سیستم ایمنی به عنوان یک مجموعه، توانایی شناختن آنتی ژن های گوناگون را دارا می باشد. در صورتی که سلول های نوع B توسط آنتی ژن ها فعال نشوند بعد از ۴-۸ هفته خواهند مرد.



شکل ۳: انواع سلول های سیستم ایمنی بدن (اکتسابی و ذاتی) [۲۶].



شکل ۲: ارگان های سیستم ایمنی بدن انسان [۲۱].

۱-۵- آنتی ژن

پادگن یا پادزا با آنتی ژن به ترکیباتی گفته می شود که پس از ورود به بدن موجب برانگیختن واکنش های ایمنی می گردند که در جریان آن موادی به نام پادتن (آنتی بادی) تولید می شود. نام این واژه برگرفته از ترکیب Antibody Generating می باشد که اشاره به نقش آن در تحریک تولید پادتن یا همان آنتی بادی دارد. به لحاظ علمی به هر مولکولی که بتواند مورد شناسایی یک آنتی بادی قرار گیرد یا با گیرنده سلول های T ترکیب شود، آنتی ژن گفته می شود. اغلب آنتی ژن ها، مولکول های درشتی هستند. از لحاظ ترکیب شیمیایی آنتی ژن ممکن است پروتئین، پلی ساکارید، چربی و حتی اسید نوکلئیک باشد [۲۳].

۲-۵- پاتوژن

موجودات ریزی که باعث ایجاد بیماری در بدن انسان شده و مشاهده آن ها تنها از طریق میکروسکوپ امکان پذیر است پاتوژن نامیده می شوند. پاتوژن ها یعنی ویروس ها، باکتری ها و انگل ها به طور طبیعی در بدن یافت نمی شوند. آنها تلاش می کنند تا برای استفاده از منابع و برآورده کردن اهداف خود به بدن انسان حمله کرده و در این فرآیند می توانند به بدن آسیب برسانند.

۳-۵- سیستم ایمنی ذاتی

سیستم ایمنی ذاتی شامل تمام موادی است که از بدو تولد در بدن موجود زنده وجود دارند و می توانند در مدت بسیار کوتاهی در دسترس قرار گرفته و فرد را در برابر عوامل بیگانه محافظت نماید. در حقیقت سیستم ایمنی ذاتی سیستم دفاعی پایه ای است که شخص با آن به دنیا می آید. این سیستم اولین خطوط دفاعی در برابر آنتی ژن های مهاجم را تشکیل می دهد. از مهم ترین سلول هایی که در این بخش فعالیت می کنند می توان سلول های کشنده طبیعی را نام برد که این سلول ها از طریق سیستم لنفاوی و گردش خون به تمام بافت های بدن سر می زنند و هر ماده خارجی و غیر خودی را که یافت نمایند به آن حمله نموده و آن را نابود می کنند [۲۴].

عناصر سیستم ایمنی ذاتی عبارتند از پوست، غشاهای مخاطی اندام های درونی، رفلکس هایی مانند سرفه و عطسه، تأثیرات شیمیایی مانند PH و اسید های چربی که ترشح می شود که بعنوان عوامل دفاعی ذاتی در مقابل بسیاری از عوامل بیگانه (میکروارگانیسم ها) مؤثرند. به علاوه بسیاری از اجزای داخلی نیز در این گروه جای می گیرند؛ مانند: تب و لرز، اینترفرون ها، موادی که از گلبول های سفید ترشح می شوند، موادی که در داخل خون (سرم) بطور ذاتی وجود دارند و سلول های بیگانه خوار.

۴-۵- سیستم ایمنی اکتسابی

ایمنی اکتسابی طی پاسخ به عفونت شکل گرفته و به منظور تشخیص، ریشه کنی و سپس یادآوری پاتوژن های مهاجم سازگار شده است. ایمنی اکتسابی مشروط به ایمنی ذاتی بوده و چندین روز پس از عفونت اولیه ایجاد می شود. ایمنی اکتسابی یک خط دفاعی گسترده و ثانویه را به وجود می آورد که موجب از بین رفتن پاتوژن هایی می شود

۱- پیش‌بینی پاسخ بیمار به روش‌های درمانی مختلف و انتخاب بهترین روش درمانی.
 ۲- در مورد برخی سرطان‌ها همچون سرطان مغز، که اصولاً روند درمان با ریسک‌های خاصی همراه است، پیش‌بینی رشد تومور، جراح را در این جهت که آیا برداشتن توده سرطانی می‌تواند اثر مثبتی در طول عمر بیمار داشته باشد یا نه، یاری می‌رساند.
 ۳- یکی از مزایای ویژه‌ای که روش‌های مدل‌سازی سرطان در پی دارد، تولید بسته‌های نرم‌افزاری جهت مشاوره و آموزش پزشکان جوان با ایجاد بیماران مجازی می‌باشد. تولید چنین نرم‌افزارهایی و صحت عملکرد این نرم‌افزارها خود از جمله مسائل بحث برانگیز است.
 در این بخش مدل‌سازی‌های مشهور و کاربردی صورت گرفته در درمان تومور و با در نظر گرفتن سیستم ایمنی، بررسی می‌شود.

۱-۶- مدل دیپلیس

یکی از چالش برانگیزترین وظایف در ساختن مدل ریاضی درمان سرطان محاسبه پارامترهای بیولوژیکی از داده‌های تجربی است. اگر یک مدل شامل چندین جمعیت سلولی و روش‌های درمانی باشد، این کار به طور فزاینده‌ای دشوار می‌شود. در یک مدل پیچیده ارائه شده توسط دیپلیس و همکاران، ایمونوتراپی و شیمی درمانی تومورها ترکیب شده‌اند: مدل‌سازی و تفسیرهای بیولوژیکی شامل سلول‌های توموری، سلول‌های ایمنی خاص و غیر اختصاصی (سلول‌های کشنده طبیعی (NK)، سلول‌های CD8+T و سایر لنفوسیت‌ها) است و از شیمی درمانی و دو نوع ایمونوتراپی به عنوان روش‌های درمانی استفاده می‌کند. علیرغم موفقیت کلی مدل فوق، مشکل نشان دادن اثرات IL-2 بر تومور در حال رشد همچنان وجود دارد [۱۲].

همان‌گونه که در بالا ذکر شد، مدل‌های مختلف برای ترکیب شیمی درمانی و ایمنی درمانی سرطان توسط دیپلیس ارائه شده است. مدل‌های ریاضی ارائه شده در این مقاله‌ها، براساس مدل ارائه شده توسط او در سال ۲۰۰۳ میلادی می‌باشد [۲۷]. به سبب کامل بودن و جدیدتر بودن مدل ارائه شده توسط دیپلیس در [۱۲] نسبت به مدل‌هایی که در سال‌های قبل ارائه داده است، تنها به بررسی این مدل پرداخته می‌شود. در این مدل روی بافت‌های نزدیک تومور تمرکز شده و فرض شده که تومور همگن می‌باشد. فرضیاتی که در این مدل در نظر گرفته شده است عبارتند از:

- سلول‌های تومور در غیاب پاسخ سیستم ایمنی بدن به صورت منطقی رشد می‌کنند، این فرض بر اساس کارهای صورت گرفته در گذشته و همچنین پیشنهاد شده به‌وسیله گراف‌های رشد تومور در غیاب سیستم ایمنی در آزمایشات دیفن باخ می‌باشد.
- هر دو نوع سلول‌های کشنده NK و CD8+T می‌توانند سلول‌های تومور را بکشند.
- هر دو نوع سلول‌های NK و CD8+T به‌وسیله سلول‌های تومور فعال می‌شوند. که نرخ کشته شدن توسط سیستم ایمنی با افزایش لیگاند‌های تبدیل شده افزایش می‌یابد.
- همیشه پیش‌زمینه‌ای از سلول‌های NK در بدن وجود دارد حتی اگر هیچ توموری وجود نداشته باشد.
- در غیاب سلول‌های تومور، سلول‌های CD8+T وجود ندارند.
- سلول‌های NK و CD8+T بعد از تعدادی واکنش با سلول‌های تومور غیرفعال می‌شوند. در این مدل سعی شده است که از ساده‌ترین اصطلاحات برای واحدهای مختلف استفاده گردد به صورتی که مدل صحت و دقت خود را حفظ نماید. معادلات ریاضی این مدل به صورت زیر ارائه گردیده است.

$$\frac{dT}{dt} = aT(1 - bT) - cNT - DT - K_T(1 - e^{-\delta_T T})T \quad (1)$$

(تعداد سلول‌های توموری)

$$\frac{dN}{dt} = f\left(\frac{e}{f}C - N\right) - pNT + \frac{pNI}{g_N + I}N - K_N(1 - e^{-\delta_N N})N \quad (2)$$

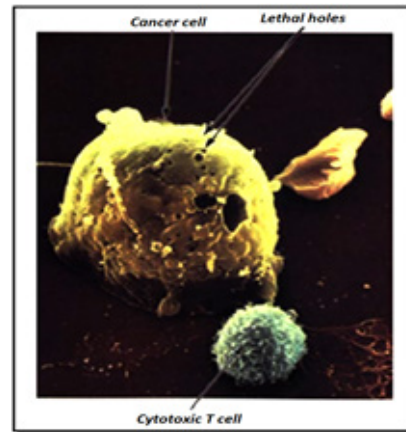
(تعداد NKها)

۳) سلول‌های نوع T جمعیت مهم دیگر لنفوسیت‌ها سلول‌های نوع T هستند. این سلول‌ها نیز مانند سلول‌های نوع B از مغز استخوان تولید می‌شوند. قبل از اینکه این سلول‌ها وارد سیستم ایمنی شوند در غده تیموس بالغ می‌شوند. در طول بلوغ، هر سلول نوع T دارای یک گیرنده خاص می‌شود.

سلول‌های نوع T میانجی اصلی واکنش‌های ایمنی بدن هستند و به دودسته تقسیم می‌شود (۱) سلول‌های کشنده T که به عنوان قاتل سلول‌های سرطانی شناخته شده‌اند و بعد از انجام یک پروسه پیچیده می‌توانند تهدید ایجاد شده را شناسایی و آن را نابود نمایند. و (۲) سلول‌های یاریگر T که نقش کمکی برای سلول‌های کشنده در پاسخ ضد توموری دارند. سلول‌های Th و Tc به واسطه وجود پروتئین‌های غشایی خود، از یکدیگر متمایز می‌شوند. سلول‌های T که پروتئین CD4 را عرضه می‌کنند عموماً به عنوان سلول‌های T یاریگر یا سلول‌های CD4+T و آن‌هایی که پروتئین CD8 را عرضه می‌کنند به عنوان سلول‌های T سیتوتوکسیک یا سلول‌های CD8+T فعالیت دارند.

۴) سیتوکین‌ها

در شکل‌گیری یک پاسخ ایمنی مؤثر، علاوه بر سلول‌های لنفوسیتی، اجزای محلول سیستم ایمنی مثل سیتوکین‌ها نیز نقش دارند. سیتوکین‌ها، پروتئین‌های شرکت‌کننده در گسترش سلول‌های ایمنی هستند و توسط گلبول‌های سفید یا دیگر سلول‌ها در پاسخ به تعدادی از محرک‌ها ترشح می‌شوند. آن‌ها که فعالیت سلول‌های سفید خون را تنظیم کرده و در تشخیص سلول‌های خودی از سلول‌های بی‌گانه نقش مهمی را بر عهده دارند. اینترلوکین-۲ نوعی از سیتوکین است.



شکل ۴: تقابل CTLها با سلول سرطانی [۳].

۶- مدل‌های ریاضی سیستم ایمنی-تومور بیشتر پدیده‌های طبیعی نظیر حرکت پرتابه‌ای، فلوی جریان الکتریکی و پیشرفت واکنش‌های شیمیایی به خوبی توسط معادلاتی که وابسته به تغییرات کمی هستند توصیف می‌شوند. مشتق یک تابع نرخ تغییرات تابع را با توجه به متغیرهای مستقل توصیف می‌کند. معادلاتی که این پدیده‌ها را تشریح می‌کنند معمولاً شامل یک یا چند مشتق بوده که از آن‌ها به عنوان معادلات دیفرانسیل یاد می‌شود.

در بیولوژی معمولاً از اینگونه معادلات به عنوان ابزاری برای تشریح و پیش‌بینی پدیده‌های طبیعی استفاده می‌شود. با استفاده از این مدل‌ها می‌توان نظریات مختلف را با حاشیه امنیت خوبی مورد آزمایش قرار داد. به عنوان مثال می‌توان درمان با داروهای مختلف را تست کرده و آن‌ها را رد یا قبول نمود. همچنین از این مدل‌ها برای پیش‌بینی رفتار سیستم تحت شرایط تست نشده و یا غیر قابل تست استفاده می‌شود. همیشه در مدل‌های مذکور عوامل محدودکننده‌ای وجود دارد که در حقیقت گونه‌ای از مصالحه می‌باشد. به عنوان مثال در صورت استفاده از مدل‌های ساده از شرایط واقعی تومور دور شده و یا اگر بخواهیم به یک مدل واقعی پارامترهای زیادی را باید در نظر گرفته شود که مدل را بسیار پیچیده می‌کند. بنابراین پیچیدگی همیشه برای مدل حسن نبوده و به طور کلی می‌توان گفت که همیشه بهترین مدل، مدلی است که در عین سادگی بتواند نیازهای لازم را تأمین نماید. با ارائه مدل‌های ریاضی و شبیه‌سازی رفتار سلول‌های سرطانی اهداف زیر میسر خواهد بود:

مدل کرده است اما دارای پارامترهای زیادی می باشد که مقادیر این پارامترها براساس یک آزمایش جامع به دست نیامده است و هر کدام از آن ها را از مرجع های مختلفی به دست آورده و یا تخمین زده است. همچنین برای هر بیمار و بسته به نوع سرطان آن، مقدار پارامترها متفاوت است، که این امر باعث عدم قطعیت زیاد در مدل ارائه شده برای سیستم می باشد.

اثر بخشی سیستم ایمنی در ارتباط با شیمی درمانی و تجویز IL-2 نشان داده شد که به شدت در قابلیت هدف قرار دادن تومور توسط CTL وابسته است. این مدل در سال ۲۰۱۴ توسط دیپلیس و همکاران به روز شد [۲].

۶-۲- مدل داونفریو Stepanova

در مدل ارائه شده توسط داونفریو [۱۳]، به دلیل جامع در نظر گرفتن سیستم ایمنی براساس سلول های مؤثر، مدل ارائه شده نسبت به مدل دیپلیس و سایر پژوهشگران، از پیچیدگی کمتری برخوردار است. ویژگی های دینامیکی که برای اثر متقابل تومور و سیستم ایمنی در این مدل در نظر گرفته شده است عبارتند از:

- * نقطه تعادل تومور کوچک وجود دارد.
- * تومور می تواند تا سائز ماکروسکوپی و بدون محدودیت رشد کند.
- * دارای یک هجوم ثابتی از سلول های مؤثر می باشد.
- * پروفایل تکثیر متغیر از سلول های مؤثر که وابسته به حجم تومور می باشد.
- * سائز تومور وابسته به نرخ مرگ توسط سلول های مؤثر می باشد.
- * امکان وجود چرخه حدی.

معادلات ریاضی این مدل به صورت زیر ارائه گردیده است. که X و Y به ترتیب بیانگر سائز سلول های تومور و چگالی سلول های مؤثر می باشد.

$$\dot{x} = x(f(x) - \gamma\xi(t) - \phi(x)\pi(y)) \quad (8)$$

$$\dot{y} = (p(x)\square y) - \mu(x) - \eta\xi(t)y + \sigma q(x) + \theta(t) \quad (9)$$

معادله اول دینامیک رشد سلول های سرطانی را نشان می دهد. که در آن فرض شده $f(x)$ یک تابع غیرافزایشی با مقدار اولیه مثبت و محدود می باشد. $\xi(t)$ نشان دهنده پروفایل داروی شیمی درمانی در خون می باشد که نه تنها سلول های سرطانی، بلکه سلول های مؤثر سیستم ایمنی را هم تحت تاثیر قرار می دهد. $\phi(x)$ بیانگر تابع کلی پاسخ سلول های سرطانی و $\pi(y)$ نشان دهنده تابع شکار توسط سلول های مؤثر می باشد. معادله دوم نشان دهنده دینامیک رشد سلول های مؤثر می باشد. که در آن نرخ تکثیر $p(x,y)$ باید شرط $p(0,y)=0$ را برآورده کند، باید به این نکته نیز توجه کرد که این عبارت در X اکیدا افزایشی و در Y غیرافزایشی می باشد. همچنین در این مدل فرض شده است که در اثر تومور مقداری از سلول های مؤثر از بین می روند که توسط تابع اکیدا صعودی μ نشان داده شده است. تابع q بیانگر این حقیقت می باشد که رشد تومور در ابتدا قبل از اینکه منجر به الگوی مهار کننده شود، سبب تحریک هجوم سلول های ایمنی می شود که شرط $q(0)=1$ را برقرار می کند. در نهایت عبارت $\theta(t)$ یک تابع مثبت می باشد که جهت نشان دادن تحریک ایمنی توسط داروی ایمنی درمانی، استفاده شده است [۱۳].

۷- کنترل بهینه و کاربرد آن در درمان

در جهان امروز، گروه زیادی از افراد رفتار دینامیکی دستگاه ایمنی بدن را در مواجهه با بیماری های مختلف به شکل معادلات یا نامعادلات ریاضی و بخصوص معادلات دیفرانسیل بیان می کنند تا به کمک علم ریاضی بهترین روش برای کنترل دستگاه ایمنی و روش درمان را نتیجه بگیرند. در درمان بیماری ها عاملی چون طول دوره درمان، مقدار داروی تجویز شده، فواصل مصرف دارو و هزینه های درمان می توانند قسمت های کنترل دستگاه را تشکیل دهند که با حل معادلات متناظر می توان بهترین مقادیر را برای این عوامل تعیین نمود.

$$\frac{dL}{dt} = \frac{\theta mL}{\theta + I} + j \frac{I}{K + I} L - qLT + (r_1 N + r_2 C)T - \frac{uL^2 CI}{k + I} - K_L(1 - e^{-\delta_1 M})L + \frac{p_1 LI}{g_1 + I} + v_L(t) \quad (3)$$

(تعداد CTL ها)

$$\frac{dC}{dt} = \beta \left(\frac{a}{\beta} - C \right) - K_C(1 - e^{-\delta_2 M})C \quad (4)$$

(تعداد لنفوسیت های گردشی)

که این مدل دینامیک چهار جمعیت مختلف (سلول های تومور و سه نوع سلول سیستم ایمنی) به علاوه غلظت دو داروی شیمی درمانی و ایمنی درمانی در خون را نشان می دهد. موارد ذکر شده به صورت زیر خلاصه می شوند:

- $T(t)$: جمعیت سلول های تومور
- $N(t)$: جمعیت کل سلول های NK
- $L(t)$: جمعیت کل سلول های CD8+T
- $C(t)$: جمعیت لنفوسیت های در گردش (گلبول های سفید)
- $M(t)$: غلظت داروی شیمی درمانی
- $I(t)$: غلظت داروی ایمنی درمانی

معادله اول نشان دهنده دینامیک رشد تومور می باشد که در آن از تابع رشد لجستیک استفاده شده است. همچنین مرگومیر سلول های تومور در اثر واکنش با سلول های NK و سلول های CD8+T در نظر گرفته شده است. عبارت آخر هم نحوه اثر شیمی درمانی بر روند رشد سلول های تومور را نشان می دهد.

معادله دوم رشد سلول های NK را نشان می دهد که فرض شده سلول های NK به صورت درصدی از لنفوسیت های گردشی می باشد. که در آن عبارت سوم بیانگر تکثیر سلول های کشته طبیعی ناشی از IL-2 می باشد.

معادله سوم دینامیک رشد سلول های CD8+T را بیان می کند. که در آن عبارت اول به این صورت می باشد که همراه با افزایش IL-2 بعد از گذشت یک حد آستانه مشخص، برگشتگی سلول CD8 کاهش می یابد. همچنین در آن عبارت چهارم و هشتم به ترتیب بیانگر تحریک سلول های CD8+T توسط سلول های تومور کشته شده به وسیله سلول های NK و سایر اجزا سیستم ایمنی و تولید این سلول ها با تحریک اینترلوکین-۲ می باشد.

معادله چهارم که نشان دهنده لنفوسیت های گردشی خون می باشد بیان کننده آن است که این سلول ها با نرخ ثابتی تولید شده و هر یک از این سلول ها عمر محدودی دارا می باشند.

$$\frac{dM}{dt} = -\gamma M + v_M(t) \quad (5)$$

(غلظت داروی شیمی-درمانی)

$$\frac{dI}{dt} = -\mu_I L + \phi C + \frac{WLI}{\zeta + I} + v_I(t) \quad (6)$$

(غلظت سیتوکین IL-2)

$$D = d \frac{(\frac{t}{\tau})^n}{s + (\frac{t}{\tau})^n} \quad (7)$$

همان طور که مشاهده شد اگرچه این مدل سیستم ایمنی بدن را با جزئیات بیشتری

منحصر به فرد $v_s = (B, A)^T$ است. معمولاً این ضرایب مثبت هستند. عوارض جانبی درمان نیز باید مورد توجه قرار گیرد. مدل بالا، در تقریب اولیه، سلول‌ها و بافت‌های سالم را در بر نمی‌گیرد و بنابراین عوارض جانبی فقط به طور غیر مستقیم مدل می‌شوند. فرض بر این است که شیمی درمانی و ایمونوتراپی تأثیر نسبی بر بافت سالم دارند و بنابراین در فرمول کنترل بهینه، عامل‌های انتگرالی $\int_0^T u(t) dt$ و $\int_0^T v(t) dt$ اضافه شده‌اند که به ترتیب مجموع مقدار داده شده از عامل سیتوتوکسیک u و سیستم تحریک کننده ایمنی v را اندازه‌گیری می‌کند.

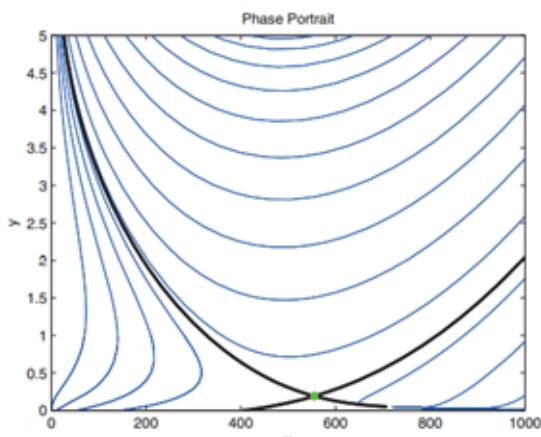
عوارض جانبی تقویت سیستم ایمنی کمتر است، اما به طور کلی نمی‌توان آن را نادیده گرفت. بنابراین هر دو انتگرال با وزن مناسب در تابع هدف گنجانده شده‌اند. [Error! Bookmark not defined.۱۳]

در زمان نهایی نیز ترم مجازات را در نظر گرفته می‌شود. از دیدگاه بیولوژیکی، افزودن این عبارت، باعث ایجاد راه‌حل‌های بهینه برای ارائه دوز داروی بیشتر و در نتیجه رسیدن سریع‌تر به نقطه خوش خیم، در مقایسه با حالتی که مدت زمان درمان طولانی و مقدار دوز دارو کم باشد، می‌شود. در واقع این عبارت است که سیستم را سریع‌تر وارد منطقه خوش خیم و ایمن‌تر می‌کند. به طور خلاصه، تابع هدف با فرم معادله (۱) فرموله شده که شامل میانگین وزنی موارد زیر می‌باشد:

- ۱- عبارت مجازات $Ax(T) - By(T)$ که باعث می‌شود سیستم از طریق جداکننده از ناحیه بدخیم به ناحیه خوش خیم فضای حالت حرکت کند.
- ۲- عوارض جانبی عامل شیمی‌درمانی و تقویت سیستم ایمنی به عنوان معیار غیرمستقیم عوارض جانبی درمان در نظر گرفته می‌شود.
- ۳- یک جریمه کوچک در زمان پایانی T در نظر گرفته می‌شود که باعث می‌گردد ریاضیات مساله، به خوبی مطرح و برآورده شود.

$$J(u, v) = Ax(T) - By(T) + c \int_0^T u(t) dt + D \int_0^T v(t) dt + ST \quad (12)$$

که این تابع هزینه باید کمینه شود. به طور طبیعی، نوع خاصی از تومور و حتی مرحله سرطان که بیمار دارد، در انتخاب ضرایب تابع هزینه مؤثر است. در مورد مراحل پیشرفته‌تر، باید عوارض جانبی بیشتری را تحمل کرد و بنابراین مقادیر کوچک‌تر c و D در نظر گرفته می‌شود. به طور کلی، ضرایب c ، D و S متغیرهای انتخابی هستند که می‌توانند برای تنظیم پاسخ بهینه سیستم به خوبی تنظیم شوند. شکل ۵ نمای فاز سیستم برای کنترل با دوز کامل و ثابت $u=0$ و $v=1$ را نشان می‌دهد. خمینه پایدار زین در $(x_s, y_s) = (555.1, 0.191)$ ناحیه‌ای را که در آن سیستم ایمنی به کمک تقویت سیستم خود می‌تواند سرطان را از ببرد، از ناحیه‌ای که سرانجام سرطان غالب می‌شود و مسیرها به نقطه تعادل بدخیم در $(x_m, y_m) = (715.6, 0.048)$ همگرا می‌شوند، را جدا می‌کند. هرگونه وضعیت اولیه که در سمت راست خمینه پایدار زین قرار دارد، با ایمونوتراپی تنها، نمی‌تواند به ناحیه خوش خیم منتقل شود.



شکل ۵: پرتره فاز سیستم کنترل شده با $u=0$ و $v=1$ [۱۳].

در گذشته، اعمال تئوری کنترل بهینه بر روی مدل‌های ریاضی که بیان کننده برهم‌کنش بین تومور و روش‌های درمانی بوده است اطلاعات ارزشمندی را فراهم کرده است. برنامه درمانی شیمی‌درمانی، به عنوان یک مساله کنترل بهینه در سال ۱۹۷۷ توسط سوان و وینسنت ارائه شد [۲۸]. در سال ۲۰۰۱، پارکر و دوایل تحقیقاتی برای مدل‌سازی ریاضی تحویل دارو انجام دادند و بخش کوچکی را به شیمی‌درمانی بهینه درمان سرطان اختصاص دادند [۲۹].

منطق بیان‌کننده پیدایش استراتژی ترکیب شیمی‌درمانی و ایمنی‌درمانی به این صورت است که تا جای ممکن، از داروی شیمی‌درمانی کم استفاده کرد به اندازه‌ای که بتواند به صورت مؤثر سلول‌های تومور را بکشد و همزمان ایمنی‌درمانی برای تقویت سیستم ایمنی بیمار اعمال شود. تحقیقات اخیر بر روی ترکیب شیمی‌درمانی و ایمنی‌درمانی حاکی از پتانسیل زیاد برای رسیدن به برنامه‌های درمانی موفق می‌باشد [۳۰] و [۳۱]. در زمینه‌ی به‌دست آوردن استراتژی برنامه دارودهی بهینه برای روش‌های درمانی ترکیبی نیز کارهای قابل توجهی انجام شده است که در قسمت ۲ به آن اشاره شد.

۱-۷ بررسی مدل اصلاح شده Stepanova

همانطور که قبلاً بیان شد، مدل کلی ارائه داده شده توسط اونفریو و همکارانش، در این زمینه بسیار مورد توجه قرار گرفته است و مدل اصلاح شده Stepanova می‌باشد. این مدل دارای دو متغیر حالت است که به عنوان خروجی‌های سیستم در نظر گرفته شده‌اند و نشان‌دهنده حجم تومور و چگالی سلول‌های مؤثر سیستم ایمنی می‌باشند. معادلات ریاضی بیان کننده این مدل به صورت زیر است.

$$\dot{x} = -\mu_v x \ln\left(\frac{x}{x_{00}}\right) - \gamma xy - k_x x u \quad (10)$$

$$\dot{y} = \mu_f(x - \beta x^2)y - \delta y + \alpha + k_y y v \quad (11)$$

معادله اول دینامیک رشد سلول‌های سرطانی و معادله دوم دینامیک چگالی سلول‌های مؤثر سیستم ایمنی را نشان می‌دهد. u و v به ترتیب بیانگر پروفایل‌های خون ناشی از عامل سمی بودن و عامل تحریک کننده ایمنی می‌باشند که به عنوان ورودی‌های کنترلی نیز در نظر گرفته شده‌اند.

μ_v پارامتر رشد تومور، γ نرخ تعامل بین تومور و چگالی سلول‌های مؤثر k_x پارامتر بیان‌کننده اثر کشندگی شیمی‌درمانی می‌باشد. همچنین در معادله دوم μ_f نرخ تکثیر تومور تحریک شده، β حدآستانه معکوس برای سرکوب تومور و α یک عدد ثابت مثبت می‌باشد که هجوم ثابت سلول‌های مؤثر از ارگان‌های اولیه را مدل می‌کند. δ نیز میزان مرگ طبیعی سلول‌های T است. عبارت γxy اثر مفید واکنش ایمنی بر حجم سرطان را مدل می‌کند. در نهایت، μ_v ضریب رشد تومور است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود این دو معادله دارای یک سری پارامترهایی می‌باشند، این پارامترها برای بیماران در گروه‌های مختلف متفاوت می‌باشد.

۱-۱-۷ کنترل بهینه برای مدل تعریف شده

با توجه به عوارض جانبی مضر هر دو داروی سیتوتوکسیک و همچنین داروهایی که سیستم ایمنی بدن را تقویت می‌کنند، در نظر گرفتن تجویز نامحدود عوامل امکان پذیر نیست. بنابراین فراتر از مدل‌های پروفایل ثابت خون، این سوال مهم است که چگونه داروهای درمانی به بهترین شکل تجویز شوند. هدف این است که یک وضعیت اولیه (x_0, y_0) را که در ناحیه رشد بدخیم برای سیستم کنترل نشده قرار دارد را به ناحیه جذب نقطه تعادل میکروسکوپی که بیان‌کننده تومور در حالت خوش خیم است، منتقل کرده و در نتیجه حجم سرطان را کنترل نمود. در یک فرمول کنترل بهینه، هدف دستیابی به این مطلوب به روشی کارآمد و مؤثر صورت می‌گیرد [۱۳]. مرز بین نواحی خوش خیم و بدخیم شامل خمینه پایدار برای حالت ناپایدار است. برای اکثر مدل‌ها، مانند نسخه کلاسیک مدل Stepanova، یک نقطه زین منحصر به فرد وجود دارد که خمینه پایدار آن، این مرز را مشخص کرده و اصطلاحاً جداکننده نامیده می‌شود. ناحیه جذب نقطه تعادل میکروسکوپی بیان‌کننده تومور در حالت خوش خیم و ناحیه جذب نقطه ماکروسکوپی بیان‌کننده تومور در حالت بدخیم می‌باشد. همچنین سیستم دو بعدی است و بنابراین زین دارای بردار ویژه پایدار

تومور از نظر بالینی نامحسوس است ($T=100$ ، که به آن "کوچک" گفته می شود) و دومی که تعداد سلول های تومور در آستانه تشخیص ($T=1 \times 10^7$ ، که به عنوان "قابل تشخیص" شناخته می شود) است [۱۶].

در همه شبیه سازی های عددی، دو مجموعه شرایط اولیه آزمایش شده ی "کوچک" و "قابل تشخیص" به شرح زیر است. شرایط اولیه کوچک عبارت است از:

$$T = 100 \quad N = 3 \times 10^4 \quad L = 30 \quad I = 5 \times 10^2$$

$$C = 5 \times 10^6 \quad M = 0$$

بدون وجود کنترل، مجموعه شرایط اولیه "کوچک" باعث می شود که تومور به یک تعادل صفر نیمه پایدار کشیده شود.

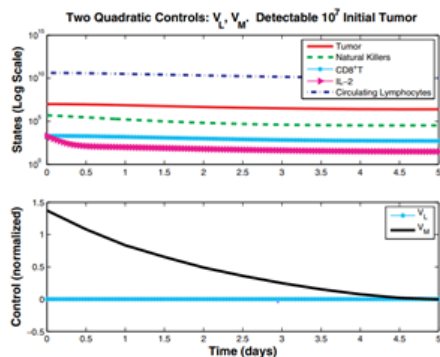
شرایط اولیه قابل تشخیص عبارت است از:

$$T = 1 \times 10^7 \quad N = 5 \times 10^5 \quad L = 2 \times 10^3$$

$$I = 2 \times 10^3$$

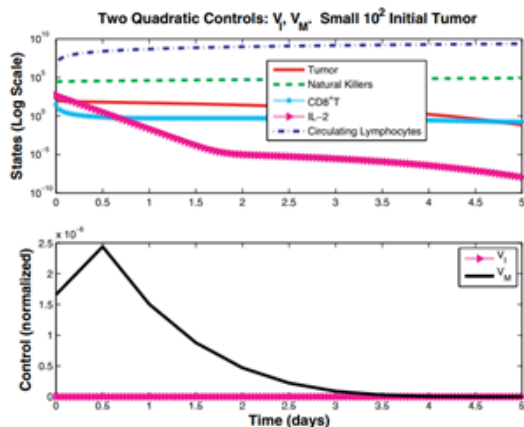
$$C = 4,17 \times 10^{10} \quad M = 0$$

تومورهای "قابل تشخیص" را نمی توان در شبیه سازی، توسط یک سیستم ایمنی با سطوح لنفوسیت های مشخص شده، کنترل کرد.



شکل ۷: نتایج کنترل درجه دوم برای V_L (درمان IL-2) و V_M (درمان شیمی درمانی)، با شرایط اولیه "قابل تشخیص". شیمی درمانی V_M در این مورد درمان غالب است. درمان IL-2 (V_L) انقدر کوچک است که به سختی در نمودار قابل مشاهده است [۱۶].

در شکل های ۷ و ۸، درمان ترکیبی با IL-2 و شیمی درمانی به طور کلی تعیین شده است. به طور مشابه، شکل ۹ و ۱۰، درمان TIL و شیمی درمانی مورد مطالعه قرار گرفته است. یک مفهوم جالب توجه برای تومور اولیه کوچک یا قابل تشخیص این است که تومور و سلول های ایمنی از پویایی یکسانی برای IL-2 و شیمی درمانی و همچنین برای TIL و شیمی درمانی پیروی می کنند. با این حال، برای ترکیب IL-2 و شیمی درمانی، IL-2 هرگز فعال نمی شود و پروتکل شیمی درمانی است که به عنوان بهترین گزینه برای بهینه سازی مشکل سرطان شناخته می شود. برای وضعیت TIL و شیمی درمانی در شکل ۹ و ۱۰، درمان ها با یکدیگر متفاوت است.

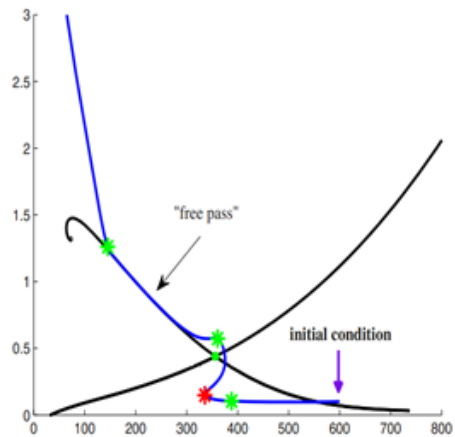


شکل ۸: نتایج کنترل درجه دوم برای V_L (درمان IL-2) و V_M (درمان شیمی درمانی)، با شرایط اولیه "کوچک". شیمی درمانی V_M در این مورد درمان غالب است. درمان IL-2 (V_L) انقدر کوچک است که به سختی در نمودار قابل مشاهده است [۱۶].

۷-۱-۲- شیمی درمانی همراه با تقویت سیستم ایمنی

شکل ۶ پرتو فازی یک مسیر کنترل شده مطلوب را برای مواردی که شیمی درمانی و ایمنی درمانی ترکیب می شود، نشان می دهد. در اینجا ضرایب مورد نظر عبارتند از $A=0.00192$ ، $B=1$ ، $C=0.025$ ، $D=0.005$ ، $S=0.0005$.

ضرایب طوری انتخاب شده اند که عوارض جانبی شیمی درمانی شدیدتر از عوارض تقویت ایمنی باشد. بنابراین، انتظار می رود که تقویت سیستم ایمنی نقش مهمی در این سناریو ایفا کند. با این حال، شرایط اولیه هنوز در ناحیه بدخیم برای پارامترهای کنترل $u=0$ و $v=1$ است و بنابراین افزایش مداوم ایمنی به خودی خود قادر به کنترل حجم سرطان نیست. بنابراین، گرچه هزینه آن زیاد است، در ابتدا باید شیمی درمانی با دوز کامل داده شود تا وضعیت به خارج از منطقه جذب تعادل بدخیم و به منطقه ای برسد که در آن تقویت ایمنی می تواند حجم سرطان را کنترل کند. هنگامی که به این منطقه برسد، شیمی درمانی قطع می شود (ستاره قرمز در طول مسیر) و تقویت سیستم ایمنی (که با شمارش اولین ستاره سبز از حالت اولیه شروع می شود) وضعیت سیستم را به ناحیه خوش خیم منتقل می کند. به دلیل هزینه کم تقویت سیستم ایمنی، با کوچک شدن حجم سرطان، بار دیگر تقویت سیستم ایمنی مفید است.



شکل ۶: مسیر کنترل شده مطلوب. ستاره ها نقاطی را نشان می دهند که سوئیچینگ در کنترل های بهینه اتفاق می افتد. منحنی، پاسخ سیستم را به کنترل های بهینه نشان می دهد [Error! Bookmark not defined.۱۳].

به طور طبیعی، ساختار کنترل های بهینه بستگی به ضرایب انتخاب شده برای هدف دارد. اگر وزن عوارض جانبی شیمی درمانی کم تر شود، شیمی درمانی به طور کلی تأثیر بهتری دارد در واقع، این سناریوی معمولی برای طیف وسیعی از پارامترها است و در صورت بروز فعل و انفعالات واقعی بین سیستم ایمنی-تومور، تنها یک فضای نسبتاً کوچک از پارامترها وجود دارد.

۷-۲- کنترل بهینه دپلیس

در این بخش، شرایط لازم را برای کنترل بهینه برای به حداقل رساندن اندازه تومور در طول زمان و همچنین به حداقل رساندن مقدار داروهای تجویز شده، براساس مدل دپلیس در بخش ۱-۶ بررسی می شود.

دوز دارو به حداقل رسانده شده، زیرا فرض می گردد که عوارض جانبی سمی نگران کننده است و هرچه دوز کمتر باشد، بهتر است. بنابراین، لازم است تابع هزینه، که منعکس کننده مصالحه مورد نیاز در به حداقل رساندن اندازه تومور و دوز دارو است، می نیمم سازی شود:

$$J(V_L, V_I, V_M) = \int_0^t (T(t) + \frac{\epsilon_L}{2} V_L^2(t) + \frac{\epsilon_I}{2} V_I^2(t) + \frac{\epsilon_M}{2} V_M^2(t)) dt \quad (13)$$

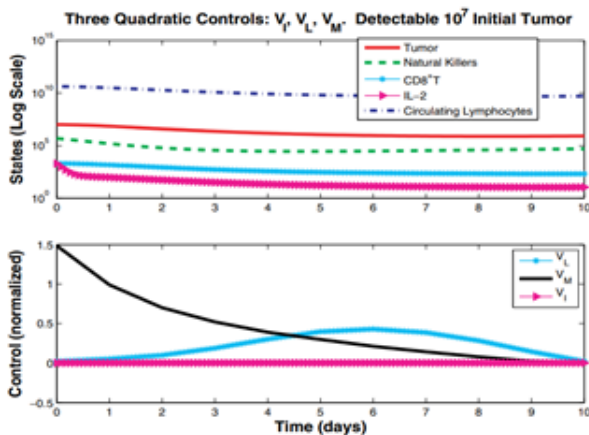
پارامتر ϵ ، شامل "کنترل درجه دوم" است زیرا عبارات درمان، درجه دوم هستند که باید با رعایت معادلات بخش ۱-۶ به حداقل برسد. برای راحتی $V(t) = (V_L(t), V_I(t), V_M(t))$ در نظر گرفته شده است [۱۶].

انتخاب شرایط اولیه معمولاً فقط راه حل های بهینه محلی را ارائه می دهد. دو نوع سناریو در این مقاله شبیه سازی شده است: اولی که در آن تعداد سلول های اولیه

درمان ایمونوتراپی می‌تواند تأثیر مثبت بالقوه‌ای در کنترل تومور بدون عوارض جانبی منفی شیمی‌درمانی داشته باشد. اگرچه باید در رابطه با مسمومیت با درمان TIL مراقبت شود، اما این یک نگرانی اصلی برای یک دوره درمان پنج‌روزه نیست [۱۶].

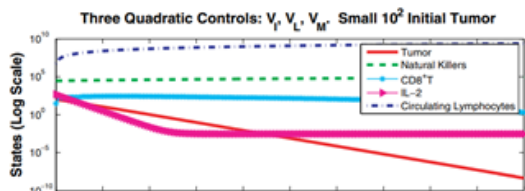
۸- بحث و بررسی

نقش سیستم ایمنی در مقابله با سرطان بسیار حیاتی و بحرانی می‌باشد که در این بین آزمایش‌های کلینیکی و غیر کلینیکی زیادی جهت شناخت بهتر این سیستم و بررسی رفتارهای متفاوت آن انجام گرفته است. یکی از راه‌های کم هزینه در شناخت و بررسی سیستم ایمنی و تومور، مدل‌سازی ریاضی است. مدل‌سازی ریاضی سیستم ایمنی بدن بصورت کامل کار بسیار پیچیده و عظیمی می‌باشد که تقریباً غیر ممکن به نظر می‌رسد. روش‌های درمان سرطان، شامل جراحی، شیمی‌درمانی و ایمونوتراپی می‌باشند، با توجه به اینکه روش‌های اول و دوم در بعضی موارد عوارض شدیدی را به بیمار تحمیل می‌کند، امروزه سعی شده که با استفاده از روش‌های ایمونوتراپی که به مدل‌سازی و شناخت هرچه بیشتر سلول‌های توموری و سیستم ایمنی بدن می‌پردازند، به درمان سرطان پرداخته شود. در این پژوهش ابتدا اطلاعاتی در مورد فیزیولوژی سرطان و سپس سیستم ایمنی ذاتی و سیستم ایمنی اکتسابی آورده شد و اجزای اصلی تشکیل‌دهنده این دو سیستم مورد بحث قرار گرفت. سپس، مدل‌های مطرح‌شده و پرکاربرد برای توصیف رشد تومور مورد بررسی قرار گرفتند. همچنین نحوه عملکرد مدل‌ها به اختصار توضیح داده شده‌اند. این مدل‌ها با استفاده از معادلات دیفرانسیل، برهم‌کنش بین تومور و سیستم ایمنی بدن را مدل‌سازی می‌کنند.



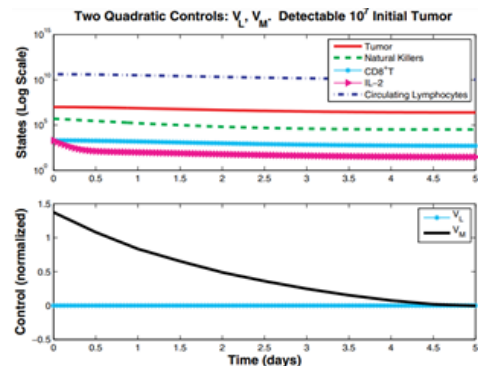
شکل ۱۱: نتایج کنترل درجه دوم برای هر سه نوع درمان: V_L (درمان IL-2) و V_M (درمان TIL) و V_M (شیمی‌درمانی) با شرایط اولیه "قابل تشخیص". در اینجا، شیمی‌درمانی V_M در نیمه اول طول درمان غالب است، پس از آن درمان V_L TIL به درمان غالب تبدیل می‌شود. درمان V_M IL-2 در این دوره فعال نمی‌شود [۱۶].

با توجه به اهمیت این موضوع که تزریق دوز زیاد داروی شیمی‌درمانی سمیت بالایی در بدن ایجاد می‌کند و چون شیمی‌درمانی نه تنها سبب آسیب سلول‌های سرطانی می‌شود بلکه به سلول‌های سالم هم آسیب می‌رساند، باید روشی برای دارودهی بدست آورد که همراه با اثربخشی هرچه مؤثرتر، سبب آسیب کمتر سیستم ایمنی بدن شود.



شکل ۱۲: نتایج کنترل درجه دوم V_L (درمان TIL) و V_M (شیمی‌درمانی) با شرایط اولیه "کوچک". در این مورد، هر دو درمان TIL و شیمی‌درمانی از نظر اندازه یکسان هستند و مقدار هر دو پایین است [۱۶].

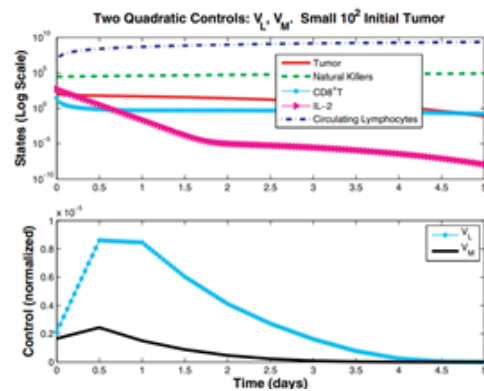
در شکل ۱۲، هر سه درمان ایمنی و شیمی‌درمانی مجدداً در سیستم معادلات دیفرانسیل گنجانده شده است، اما برای اندازه اولیه کوچک تومور، در پنج روز درمان به صفر می‌رسد. بنابراین، هیچ درمانی پس از این پنج روز در نظر گرفته نمی‌شود.



شکل ۹: نتایج کنترل درجه دوم برای V_L (درمان لنفوسیت‌های گردشی TIL) و V_M (شیمی‌درمانی)، با شرایط اولیه "قابل تشخیص". شیمی‌درمانی، V_M ، درمان غالب است. درمان V_L TIL، از نظر مقدار بسیار کوچک است که ممکن است عملاً صفر در نظر گرفته شود [۱۶].

برای تومور اولیه قابل تشخیص، سناریو نشان می‌دهد که دوزهای شیمی‌درمانی به طور مداوم در حال کاهش است، در حالی که برای شکل ۱۰ با جمعیت کوچک اولیه تومور، درمان TIL بر شیمی‌درمانی غالب است. با توجه به شکل، شاهد افزایش اولیه TIL و شیمی‌درمانی در ۱۲ ساعت اول درمان بوده و پس از آن هر دو درمان به طور پیوسته کاهش می‌یابد تا زمانی که در پایان روز ۵ به سطح صفر برسد. برای اندازه کوچک اولیه تومور، سیستم ایمنی تقویت شده توسط TIL می‌تواند با تومور مبارزه کند تا تقریباً اندازه تومور به صفر برسد. این می‌تواند تأثیر مثبتی برای بیمار داشته باشد زیرا حجم شیمی‌درمانی داده شده به شدت از سناریوهای نشان داده شده در ترکیب ایمونوشیمی‌درمانی در شکل ۸ کاهش می‌یابد.

در شکل ۱۱، هر سه نوع درمان در سیستم معادلات دیفرانسیل گنجانده شده است و دو دوره درمان پشت سر هم هر یک به مدت پنج روز، مورد بررسی قرار گرفته است. در شبیه‌سازی‌های انجام شده، یک دوره پنج روزه به تنهایی درمان TIL را فعال نکرد، در حالی که در که دوره ده روزه چنین بود. سلول‌های تومور در این دوره فقط تا حدی کاهش می‌یابد. با اندازه اولیه تومور قابل تشخیص، انتظار می‌رود که برنامه‌های درمانی طولانی‌تری مورد نیاز باشد. درمان با سه گروه کنترل، با آن‌هایی که تنها دو گروه کنترل دارند بسیار متفاوت است. باید توجه کرد که در شکل ۱۱، هیچ درمان قابل اندازه‌گیری IL-2 فعال نشده است، اما استراتژی‌های شیمی‌درمانی و TIL تغییر کرده است. شیمی‌درمانی در حداکثر سطح با کاهش مداوم دوزهای تجویز شده در طول دوره ده روزه بیان می‌شود. درمان TIL تا حدود روز ۶ افزایش می‌یابد و سپس طی روزهای باقی‌مانده به طور پیوسته کاهش می‌یابد. در پایان درمان، هیچ شیمی‌درمانی انجام نمی‌شود، اما TIL هنوز در سطح بسیار پایین انجام می‌گردد.



شکل ۱۰: نتایج کنترل درجه دوم V_L (درمان TIL) و V_M (شیمی‌درمانی)، با شرایط اولیه "کوچک". در این مورد، هر دو درمان TIL و شیمی‌درمانی از نظر اندازه یکسان هستند و مقدار هر دو پایین است [۱۶].

در شکل ۱۲، هر سه درمان ایمنی و شیمی‌درمانی مجدداً در سیستم معادلات دیفرانسیل گنجانده شده است، اما برای اندازه اولیه کوچک تومور، در پنج روز درمان به صفر می‌رسد. بنابراین، هیچ درمانی پس از این پنج روز در نظر گرفته نمی‌شود.

۹- نتیجه گیری

در درمان به روش ترکیب شیمی درمانی و ایمنی درمانی، هدف کم کردن حجم تومور در کنار افزایش توانایی سیستم ایمنی بدن می باشد. اکثر روش های ارائه شده برای به دست آوردن بهترین برنامه دارو دهی برای درمان بیماری سرطان به روش ترکیب شیمی درمانی و ایمنی درمانی، روش کنترل بهینه بوده است و به وضوح مشخص است که یک روش پر کاربرد می باشد که کارایی مهم و جالب توجهی دارد و می تواند باعث جلوگیری از رشد و پیشرفت تومور شود.

باید به این نکته توجه داشت که اگرچه استفاده از روش کنترل بهینه برای طراحی یک پروتکل بهینه امری متداول است و در ابتدا اینگونه به نظر می رسد که داشتن سیستم ایمنی مقاوم همیشه مزیت می باشد و نیازی به حساسیت روی کنترل ایمنی درمانی در بیماران نمی باشد، اما این حقیقت که در بعضی از شرایط امکان دارد بیمار حتی در مقابل ایمنی درمانی هم از خود واکنش منفی نشان دهد لازم است به چگونگی این روش درمانی هم توجه خاصی نمود.

تعداد و تنوع مدل های ریاضی که در تئوری کنترل بهینه در شیمی درمانی سرطان به کار می روند بسیار زیاد است. هیچ تئوری اساسی وجود ندارد که رشد تومورها را پیش بینی کند و به انتخاب مدل های ریاضی که موجود هستند کمک کند. همچنین با توجه به این موضوع که هرچه دوز داروی تزریقی بیشتر باشد اثر جانبی و مخرب آن بیشتر است، باید سعی در رسیدن به روش دارو دهی ای کرد که در کنار اثربخشی مؤثر، نیاز به دوز داروی کمتری داشته باشد. همچنین، این روش کنترلی به صورت حلقه باز و با محاسبه بهترین استراتژی بر اساس مدل و برخی از حالت های اولیه، انجام می گیرد و در مقابل عدم قطعیت ها به دلیل عدم وجود فیدبک، کارایی لازم را ندارد. برای بهبود و رفع اشکالات کنترل بهینه، در مقالات [۱۸] و [۳۲] از کنترل پیش بین مبتنی بر فیدبک استفاده کرده اند. در این طراحی استفاده از فیدبک باعث استحکام سیستم و عملکرد مقاوم آن می شود و حساسیت سیستم را به تغییر پارامترهای مدل کاهش می دهد. بنابراین، کنترل پیش بین مبتنی بر فیدبک ارائه شده، هم مزایای نظریه کنترل بهینه، آن هم به صورت آنلاین و هم کارایی مؤثر فیدبک را ترکیب می کند.

۱۰- مراجع

- [1] Kirschner, D., Panetta, J.C., "Modeling immunotherapy of the tumor-immune interaction," J. Math. Biol. 1998. 37 (3), 235-252.
- [2] American Cancer Society: Cancer Facts and Figures 2006. Atlanta, Ga: American Cancer Society, 2006.
- [3] <http://www.cdc.gov>. Accessed on 20.10.2012.
- [4] <http://www.cancer.org/treatment>. Accessed on 20.10.2012.
- [5] محمد مهران، مدل سازی روش های ایمنوترایی رشد سلول های سرطانی با استفاده از روش های آماری و هوش مصنوعی، گروه مهندسی پزشکی، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، ۱۳۹۱.
- [6] ندا شریفی، طراحی کنترل پیش بین چندگانه برای بهبود درمان سرطان به روش ترکیب شیمی درمانی و ایمنی درمانی، گروه مهندسی کنترل، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۹۳.
- [7] Perelson, A.S., Weisbuch, G., "Immunology for physicists. Rev.Mod. Phys. 69 (4), (1997)1219-1267.
- [8] <https://www.cancerresearch.org/en-us/join-the-cause/cancer-immunotherapy-month/30-facts/02>.
- [9] De Boer, R.J., Hogeweg, P., "Interactions between macrophages and T-lymphocytes: tumor sneaking through intrinsic to helper T cell dynamics," J. Theor. Biol. 1986. 120 (3), 331-351.
- [10] Kirschner, D., Panetta, J.C., "Modeling immunotherapy of the tumor-immune interaction," J. Math. Biol. 1998. 37 (3), 235-252.
- [11] DePillis, L.G., W. Gu, and A. E. Radunskaya, "Mixed immunotherapy and chemotherapy of tumors: modeling, applications and biological interpretations," J. Theor. Biol., vol. 238, no. 4, pp. 841-862, 2006.
- [12] DePillis, L.G., Fister, K.R., Gu, W., C. Collins, M. Daub, D. Gross, J. Moore, and B. Preskill, "Mathematical model creation for cancer chemo-immunotherapy," Comput. Math. Methods Med., vol. 10, no. 3, pp. 165-184, 2009.
- [13] Onofrio, A., U. Ledzewicz, and H. Schättler, "On the dynamics of tumor-immune system interactions and combined chemo-and immunother-

apy," in New Challenges for Cancer Systems Biomedicine, Springer, 2012, pp. 249-266.

[14] H. Schättler, U. Ledzewicz, and M. Faraji, "Optimal Protocols for a Mathematical Model of Tumor-Immune Interactions under Chemotherapy with Immune Boost," 2012.

[15] DePillis, L.G., K. R. Fister, Gu, W., C. Collins, M. Daub, and others, "Seeking bang-bang solutions of mixed immuno-chemotherapy of tumors," 2007.

[16] DePillis, L.G., K. R. Fister, Gu, W., T. Head, K. Maples, T. Neal, A. Murugan, and K. Kozai, "Optimal control of mixed immunotherapy and chemotherapy of tumors," J. Biol. Syst., vol. 16, no. 01, pp. 51-80, 2008.

[17] DePillis, L.G., Gu, W., Radunskaya, A.E., 2005a. Mixed immunotherapy and chemotherapy of tumor: modeling, application and biological interpretations. J. Theor. Biol. 238, 841-862.

[18] S. Chareyron and M. Almir, "Mixed immunotherapy and chemotherapy of tumors: Feedback design and model updating schemes," J. Theor. Biol., vol. 258, no. 3, pp. 444-454, 2009.

[19] www.wikipedia.org. Accessed on 10.10.2012.

[20] ع. مددی، مدل سازی رشد سلول های سرطانی. دانشگاه فردوسی مشهد

[21] National institute of allergy and infection diseases, available at: <http://www.niaid.nih.gov/topics/immuneSystem/Pages/structureImages.aspx>

[22] K. M. Murphy, P. Travers, M. Walport, "Jewey's immunobiology," 7th ed, Garland Science, 2008, ISBN 0- 8153-4123-7.

[23] I. Roitt, D. Male, J. Brostoff, D. K. Male, J. Brostoff, "Immunology," 6th ed, Elsevier Health Sciences, 2001, ISBN-13: 9780723431893.

[24] M. L. Dustin and D. R. Colman, "Neural and immunological synaptic relations," Science, vol. 298, no. 5594, pp. 785-789, 2002.

[25] L. B. Martin, D. M. Hawley, and D. R. Ardia, "An introduction to ecological immunology," Funct. Ecol., vol. 25, no. 1, pp. 1-4, 2011

[26] Glenn Dranoff, "Cytokines in cancer pathogenesis and cancer therapy," Nature Reviews Cancer 4, 11-22 (January 2004).

[27] DePillis L, Radunskaya A. "A mathematical tumor model with immune resistance and drug therapy: an optimal control approach," Journal of Theoretical Medicine 2001; 3:79-100.

[28] G. W. Swan and T. L. Vincent, "Optimal control analysis in the chemotherapy of IgG multiple myeloma," Bull. Math. Biol., vol. 39, no. 3, pp. 317-337, 1977.

[29] Parker R. S., and Doyle F. J., Control-relevant modeling in drug delivery, Advanced Drug Delivery Reviews, vol. 48, pp. 211-228, 2001.

[30] G. W. Swan, "Optimal control applications in biomedical engineering—a survey," Optim. Control Appl. Methods, vol. 2, no. 4, pp. 311-334, 1981.

[31] H. J. Gogas, J. M. Kirkwood, and V. K. Sondak, "Chemotherapy for metastatic melanoma," Cancer, vol. 109, no. 3, pp. 455-464, 2007.

[32] S. Chareyron and M. Almir, "Model-free feedback design for a mixed cancer therapy," Biotechnol. Prog., vol. 25, no. 3, pp. 690-700, 2009.

معرفی افراد

لیلا سادات ساجدی

متولد سال ۱۳۷۶ استان اصفهان. مدرک کارشناسی سال ۹۸ در رشته مهندسی برق-کنترل از دانشگاه صنعتی اصفهان. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی برق-کنترل در دانشگاه تربیت مدرس تهران. زمینه های تحقیقاتی مورد علاقه عبارتند از: پردازش سیگنال های پزشکی، روباتیک و هوش مصنوعی.



دکتر امین رضایی

عضو هیئت علمی دانشکده ی برق و کامپیوتر دانشگاه تربیت مدرس گروه کنترل. علایق تحقیقاتی وی شامل شناسای عیب و کنترل تحمل پذیر عیب، کنترل پیش بین مبتنی بر مدل و کنترل مبتنی بر یادگیری تقویتی و داده محور است.





طراحی روش درمان جدید برای پرتودرمانی با الکترون حین عمل جراحی (IOERT) با استفاده از برد الکترونیکی

زهرا پویانراد^۱، مجتبی شمسایی^۲ و سعید ستایشی^۳

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی انرژی و فیزیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، zahrapouyanrad@aut.ac.ir

۲- دانشیار، دانشکده مهندسی انرژی و فیزیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران، pysham@aut.ac.ir

۳- دانشیار، دانشکده مهندسی انرژی و فیزیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران، setayesh@aut.ac.ir

چکیده

پرتودرمانی حین عمل جراحی (IOERT) به گسیل پرتو در حین جراحی اشاره دارد و اندازه‌گیری ضخامت بافت به عنوان یکی از عوامل مهم در این روش به شمار می‌آید. هدف این مقاله محاسبه ضخامت بافت هدف و طراحی یک الگوی تابشی مناسب است که تابش را به طور یکنواخت در سراسر بافت هدف توزیع نماید. در این مطالعه از کد مونت کارلو برای شبیه‌سازی سیستم تجربی مورد نظر استفاده شده است. تغییرات شار الکترون در لایه فلزی برد الکترونیکی برای ضخامت‌های مختلف بافت هدف مورد مطالعه قرار گرفت و یافته‌های شبیه‌سازی با داده‌های تجربی برد الکترونیکی اعتبار سنجی شدند. بر اساس تعداد الکترون آشکارسازی شده برای ضخامت‌های مختلف فانتوم پلی متیل متاکریلات (PMMA) در انرژی‌های مختلف، الکترون‌های ۶ مگا الکترون ولت برای تعیین ضخامت بافت هدف مناسب هستند. علاوه بر این در راستای توزیع یکنواخت تابش، زمان متناظر برای هر ضخامت هدف مورد بررسی قرار گرفت. منحنی ایزو دوز و درصد دوز عمقی نشان می‌دهد که انرژی‌های بالاتر برای درمان مناسب هستند و تابش یکنواخت را در سراسر هدف توزیع می‌کنند. با اندازه‌گیری ضخامت بافت هر بخش می‌توان زمان تابش را با اسکن هدف مدیریت نمود. بنابراین محاسبه دقیق ضخامت بافت باقی‌مانده و زمان تابش پس از حذف ناقص تومور در IOERT برای بافت‌های مختلف باقی‌مانده امری ضروری بشمار می‌آید. با توجه به این که دوز پرتو توسط یک متخصص آنکولوژی تجویز و بررسی می‌شود، تمام تلاش صورت گرفته به این منظور است که بیماران از قرار گرفتن بیش از حد در معرض تابش محافظت شوند.

کلیدواژه‌ها: رادیوتراپی حین عمل جراحی، پرتو درمانی، رادیو جراحی، روش مونت کارلو، برد الکترونیکی

Abstract

Intraoperative Irradiation Therapy (IOERT) refers to the delivery of radiation during surgery and needs to compute thickness of the target as one of the most significant factors. This paper aimed to compute target thickness and design a radiation pattern distributing the irradiation uniformly throughout the target. The Monte Carlo code was used to simulate the experimental setup in this simulation study. The electron flux variations on an electronic board's metallic layer were studied for different thicknesses of the target tissue and validated with experimental data of the electronic board. Based on the electron number for different Poly Methyl Methacrylate (PMMA) phantom thicknesses at various energies, 6 MeV electrons are suitable to determine the target thickness. Uniformity in radiation and corresponding time for each target were investigated. The iso-dose and percentage depth dose curves show that higher energies are suitable for treatment and distribute uniform radiation throughout the target. Increasing the phantom thickness leads to rising radiation time based on the radiation time corresponding to these energies. The tissue thickness of each section is determined, and the radiation time is managed by scanning the target. Calculation of the thickness of the remaining tissue and irradiation time are needed after incomplete tumor removal in IOERT for various remaining tissues. The patients should be protected from overexposure to uniform irradiation of tissues since the radiation dose is prescribed and checked by an oncologist.

Keywords: Intraoperative Radiotherapy; Radiation Therapy; Radiosurgery; Monte Carlo Method; Radiotherapy Dosage

۱- مقدمه

پرتودرمانی حین عمل (IORT) یک روش پرتو درمانی است که پرتوهای با دوز بالا، کافی و یکنواخت را در طی جراحی به بستر تومور منتقل می‌نماید [۱-۴]. این روش درمانی خطر عود موضعی را کاهش می‌دهد و بافت سالم به دلیل تابش موضعی آن دوز جزئی دریافت می‌کند [۵]. تلاش جدی پزشک به طور چشمگیری در ارسال دوز متمرکز شده به بافت مورد نظر است، به گونه‌ای که آسیب به بافت‌های سالم اطراف منطقه مورد نظر به حداقل برسد [۶، ۷]. امروزه، شتاب‌دهنده‌های الکترونی قابل حمل، فضاهای تحقیقاتی جدیدی را برای رادیوتراپی حین عمل جراحی فراهم نمودند [۹]. انجمن بین‌المللی پرتودرمانی حین عمل جراحی (ISORT) گزارش می‌دهد که ۲۰ درصد بیماران تحت درمان رادیو تراپی حین عمل جراحی را مردان و بقیه را زنان با میانگین سنی ۶۰ سال تشکیل می‌دهند [۱۰]. پرتو درمانی حین عمل جراحی یک راه مناسب برای افزایش دوز سرطان کولون و رکتوم [۱۱] است که به عنوان یک انتخاب روش درمان مطمئن برای بیمار مبتلا به سرطان رکتوم پس‌رونده پیشنهاد شده است [۱۲]. علاوه بر این، رادیو تراپی حین عمل جراحی، همراه با شیمی درمانی و پرتو درمانی خارجی (EBRT) با هدف افزایش دوز، شانس بقای کلی را بهبود می‌بخشد و بیماری را کنترل می‌کند [۱۳]. همچنین، پرتو درمانی حین عمل جراحی، همراه با پرتو درمانی خارجی، بهترین میزان کنترل را برای سارکوم بافت نرم (STS) ایجاد می‌کند که برای سمیت موضعی بهتر است [۱۱]. علاوه بر این، تحقیقات انجام شده، رادیوتراپی حین عمل جراحی را به عنوان یک جایگزین مطمئن برای رادیو تراپی کل پستان (WBRT) پیشنهاد می‌دهد [۱۴-۱۶]. یکی از رایج‌ترین روش‌ها در رادیو تراپی حین عمل جراحی، پرتودرمانی حین عمل با استفاده از باریکه الکترون (IOERT) است [۱۷] که در آن الکترون‌ها با محدوده‌های انرژی مختلف تولید شده توسط شتاب‌دهنده‌های الکترونی متحرک گسیل می‌شوند [۱۸، ۱۹]. علاوه بر این، IORT می‌تواند درمان را به دلیل قابلیت تصور مستقیم حجم تومور تنظیم نماید [۲۰، ۱۹]. علاوه بر این، در تابش جزئی پستان (APBI) از IORT برای سرطان‌های پستان کم خطر استفاده می‌کند [۲۱]. برخی از ویژگی‌های ضروری رادیو تراپی حین عمل جراحی، مانند از بین بردن فاصله بین جراحی و پرتودرمانی، کاهش سمیت ناشی از اشعه [۲۲]، و استفاده از اپلیکاتور برای خارج نمودن بافت‌های سالم از مناطق پرتودهی، منجر به مطالعات بسیاری در مورد این روش درمان شده است. سیستم‌های حفاظتی، مانند دیسک‌های محافظ، باعث محافظت از بافت‌های زیرین در برابر تابش می‌شوند [۲۳-۲۵]. با این حال، زمان درمان مورد نیاز برای رادیو تراپی حین عمل جراحی کمتر از پرتودرمانی خارجی (EBRT) است [۲۶، ۲۷]. رادیو تراپی حین عمل جراحی مقرون به صرفه‌تر از پرتودرمانی خارجی است [۲۸-۳۰]. علاوه بر این، IORT تابش را بر روی بافت تومور تنظیم می‌نماید و اثرات موضعی را در سرطان‌های غیرقابل جراحی کاهش می‌دهد [۳۱] و خطر ابتلا به سرطان را کاهش می‌دهد [۳۲].

دقت بالا در اندازه‌گیری ضخامت بافت هدف و تعیین انرژی الکترون اولیه، می‌تواند عملکرد IORT را تغییر دهد. به طور متداول در این روش، ضخامت بافت هدف با استفاده از یک سوزن اندازه‌گیری می‌شود که از دقت کافی برخوردار نیست [۳۳]. سونوگرافی حین عمل نیز روش دیگری برای تعیین ضخامت است [۲۳، ۱۵، ۱۲]. اخیراً یک برد الکترونیکی جدید طراحی شده است که ضخامت بافت هدف را بر اساس اندازه‌گیری شار الکترون با دقتی بهتر از بقیه روش‌ها تعیین می‌نماید [۵]. هدف از این تحقیق بررسی روشی برای محاسبه ضخامت بافت هدف در روش IORT است. در حقیقت، رادیوتراپی‌ها می‌توانند زمان تابش مناسب را بر اساس ضخامت به دست آمده از بافت هدف محاسبه کنند.

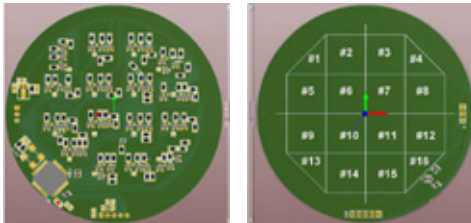
۲- مواد و روش‌ها

اجزای مختلف سیستم که در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفته است شامل: یک برد الکترونیکی دایره‌ای ۳۱،۵ سانتی متر مربعی متشکل از ۱۶ پیکسل، فانتوم پلی

متیل متاکریلات (PMMA) و چشمه انرژی الکترونی مختلف با استفاده از کد مونت کارلو شبیه‌سازی شده است.

۱-۲- برد الکترونیکی

از الکترون تجمع یافته در سطح فلزی برد الکترونیکی می‌توان برای تعیین ضخامت بافت هدف استفاده نمود با انتقال جریان دریافت شده توسط برد الکترونیکی به یک تقویت کننده، ضبط و پردازش سیگنال حاصل می‌توان اطلاعات مورد نظر را استخراج نمود. این سیستم از دو بخش مجزا تشکیل شده است: (۱) مدار الکترونیکی در مسیر تابش الکترون به عنوان یک حسگر و (۲) نرم‌افزار کامپیوتری که داده‌های دریافتی را تجزیه و تحلیل می‌نماید. هر پیکسل از برد دارای یک صفحه فلزی با ضخامت ۳۳ میکرومتر، متشکل از ۹۰٪ قلع، ۷٪ مس و ۳٪ PVC است که شار الکترون را آشکارسازی می‌نماید. هر پیکسل با مدار خود سیگنال را با ترانزیستور پیوند دوقطبی (BJT) تقویت می‌کند. میکروکنترلر مورد استفاده در این مدار نیز از خانواده DSPIC (کنترل کننده رابط محیطی سیگنال دیجیتال) است. صفحه فلزی هر پیکسل از برد، شار الکترون‌ها را جذب کرده و سپس آن را به سیگنال‌های مربوطه تبدیل می‌کند. دامنه این سیگنال برای هر ضخامت هدف متفاوت بود. در مرحله آخر، برد الکترونیکی نتیجه را از طریق پورت USB که به کامپیوتر متصل می‌شود به نرم‌افزار اجرایی جهت ثبت و پردازش سیگنال ارسال می‌نماید. تصویر برد الکترونیکی در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱: برد الکترونیکی طراحی شده، (آ) پشت برد و (ب) جلوی برد (برگرفته از یزدانی ام آر و همکاران، ابزارها و روش‌های هسته‌ای در بخش تحقیقات فیزیک بخش A:

شتاب‌دهنده‌ها، طیف سنج‌ها، آشکارسازها و تجهیزات مرتبط. ۲۰۱۷؛ ۸۵۵: ۲۲-۷، ۵] مدار الکترونیکی معرفی شده، شامل سه مرحله تقویت سیگنال، مبدل آنالوگ به دیجیتال و یک میکروکنترلر برای آشکارسازی است. به منظور کاهش میزان نویز پذیری پیکسل‌های مجاور از یکدیگر، از یک سیم زمین در بین تمام سلول‌ها استفاده شده است و هنگام خواندن سیگنال توسط میکرو، به منظور دقت عملکرد نمونه‌برداری میانگین ۳ مقدار متوالی خوانده شده، به عنوان عدد قابل اعتماد پذیرفته و از طریق پورت USB برای کامپیوتر ارسال می‌شود.

نرم‌افزار کامپیوتر طراحی شده علاوه بر دریافت اطلاعات از طریق پورت USB، با استفاده از قابلیت‌های در اختیار نرم‌افزار MATLAB اقدام به پردازش اطلاعات می‌نماید. یکی از روش‌های بازنمایی اطلاعات موجود در سیگنال، استفاده از روش زمان-فرکانس است. تبدیل ویولت به عنوان یکی از روش‌های پیاده‌سازی تبدیلات زمان-فرکانس، به دلیل قابلیت‌های بسیار زیاد خود، کاربرد زیادی در زمینه فیلتر نمودن سیگنال و استخراج ویژگی از سیگنال بدون دور ریخته شدن هیچ یک از اطلاعات سیگنال دارا می‌باشد.

۲-۲- دیسک محافظ

از دیسک محافظ برای محافظت از بافت‌های سالم قرار گرفته در پشت دیسک و حذف بافت‌های حساس که در معرض تابش هستند، استفاده می‌گردد. به طور متداول از دیسک‌های محافظ دو لایه استفاده می‌شود، که هدف از این کار این است که لایه اول با عدد اتمی کم (Z) تابش‌های پراکنده به سمت عقب را به حداقل رساند و لایه زیرین با Z بالا، الکترون‌های پرنانرژی را جذب نماید [۳۴، ۲۰]. در این شبیه‌سازی، دیسک محافظ از یک لایه PMMA ۳ میلی‌متری به‌عنوان لایه با عدد اتمی پایین و یک فولاد ضد زنگ ۳ میلی‌متری به‌عنوان لایه با عدد اتمی بالا در نظر گرفته شده است.

۲-۳- فانتوم ها

در این تحقیق بافت های مختلف برای شبیه سازی فانتوم انتخاب شدند. در ابتدا شبیه سازی با فانتوم PMMA انجام شد زیرا نتیجه حاصل از برد الکترونیکی با استفاده از فانتوم PMMA با چگالی ۱/۱۹۰ گرم بر سانتی متر مکعب به دست آمده است. در مرحله بعد، سه نوع مختلف بافت شبیه سازی شدند: بافت تومور، بافت نرم و بافت چربی.

۲-۴- شبیه سازی مونت کارلو

مونت کارلو (MC) یک روش خوب و قوی برای ارائه توزیع شار الکترون برای ضخامت های مختلف هدف و شبیه سازی برهمکنش های پرتو با ماده بشمار می رود [۱۴]. کد مونت کارلو قادر است عوامل مختلف را مانند مواد هترولوگ، پدیده های پراکنده به سمت عقب، و سخت شدن پرتو [۳۵] را به خوبی شبیه سازی نماید. این روش شبیه سازی یکی از روش های محاسباتی دقیق در زمینه های فیزیک پزشکی و پرتو دهی و فرآیندهای طرح درمان محسوب می گردد [۳۶]. علاوه بر این، نتایج کد مونت کارلو برای اعتبار سنجی مسائل درمانی در زمینه های رادیوتراپی استفاده می شود [۳۴].

مطالعه حاضر با هدف بررسی قابلیت یک سیستم الکترونیکی برای اندازه گیری ضخامت بافت هدف که در معرض تابش قرار دارد، انجام شد. شار دریافت شده توسط لایه فلزی برد الکترونیکی متناسب با دامنه سیگنال های برد در ضخامت های مختلف است. در کد مونت کارلو ده از تالی f2 می توان شار یا تعداد الکترون ها را برای هر ضخامت هدف و انرژی های مختلف چشمه محاسبه نماید. نرخ دوز و زمان تابش با استفاده از معادلات ۱ و ۲ محاسبه می شود.

$$\dot{D} = \frac{\phi(\text{count}) \cdot \text{Plot Area} \cdot E(\text{MeV}) \times 1,6 \times 10^{-13} (\text{J/MeV}) \times S(\text{cm}^2)}{\rho \left(\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^3}\right) \times (\text{sd})(\text{cm}^3)} \quad (1)$$

$$T = \frac{D_{\text{measured}}}{D_{\text{calculated}}} \quad (2)$$

در معادله (۱) نرخ شار الکترون، ϕ انرژی الکترون، S سطح مقطع در معرض تابش، ρ چگالی فانتوم، و d ضخامت فانتوم است. D اندازه گیری شده در معادله (۲) مقدار دوز مورد نیاز برای درمان بافت هدف است.

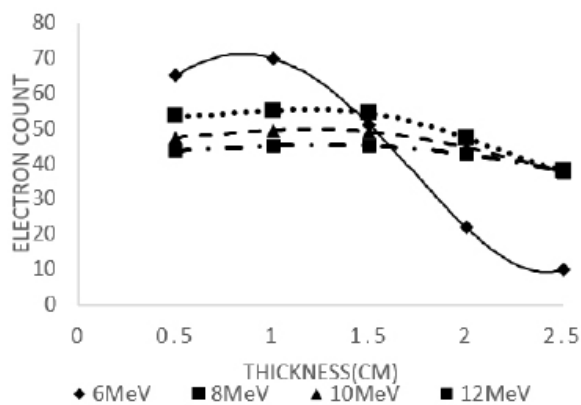
۳- نتایج

۳-۱- محاسبه ضخامت و اعتبار سنجی مونت کارلو توسط نتیجه برد الکترونیکی

نتایج شبیه سازی مونت کارلو برای ضخامت های مختلف فانتوم PMMA در شکل ۱ و جدول ۱ برای تمام انرژی های مورد نظر نشان داده شده است. نتایج حاصل از برد الکترونیکی که به صورت تجربی با استفاده از یک شتاب دهنده قابل حمل LIAC (شتاب دهنده خطی) در بیمارستان خاتم تهران به دست آمد، در شکل ۳ و جدول ۲ برای تایید یافته های شبیه سازی نشان داده شده است. این شتاب دهنده مجهز به اپلیکاتور PMMA با ضخامت ۰/۵ سانتی متر، در مد $\pi/2$ با فرکانس ۲/۹۸۸ گیگاهرتز کار می کند و شامل ۱۹ حفره با طول ۹۲/۵ سانتی متر است. مگنترون تولید کننده توان فرکانس رادیویی برای این شتاب دهنده MG6090 است. نتایج شبیه سازی و تجربی تطابق نسبتاً خوب و قابل قبول را نشان می دهد.

جدول ۱: تعداد الکترون های حاصل از شبیه سازی مونت کارلو برای ضخامت های مختلف فانتوم و الکترون با انرژی های مختلف.

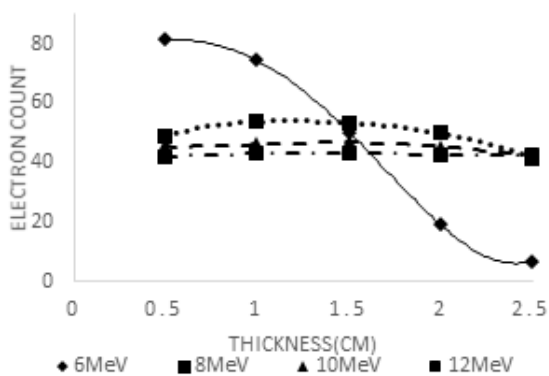
Thicknes s (cm)	Energies [MeV]			
	6 MeV	8 MeV	10 MeV	12 MeV
0.5(cm)	65	53.7	47.6	43.7
1(cm)	70	55.2	49.6	45.2
1.5(cm)	51.1	54.4	49.2	45.3
2(cm)	22	47.4	44.7	42.7
2.5(cm)	10	38.0	37.8	38



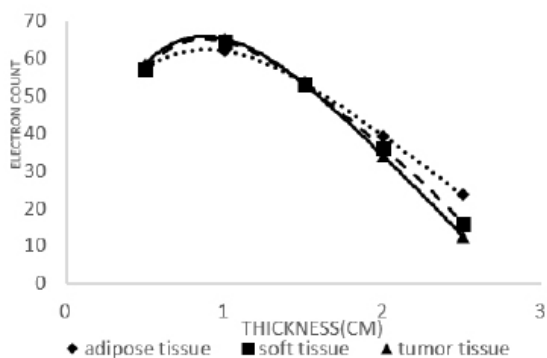
شکل ۲: تعداد الکترون های حاصل از شبیه سازی بر حسب ضخامت برای انرژی های مختلف باریکه الکترونی. جدول ۲: تعداد الکترون های حاصل از برد الکترونیکی برای ضخامت های مختلف فانتوم و الکترون با انرژی های مختلف.

Thickness (cm)	Energies (MeV)			
	6 MeV	8 MeV	10 MeV	12 MeV
0.5(cm)	81.48	49	45.5	42
1(cm)	74.51	53.85	46.19	43.1237
1.5(cm)	50.5	53.44	46.8	43.23
2(cm)	19.25	49.96	45.37	42.81
2.5(cm)	7	41.38	42.91	42.92

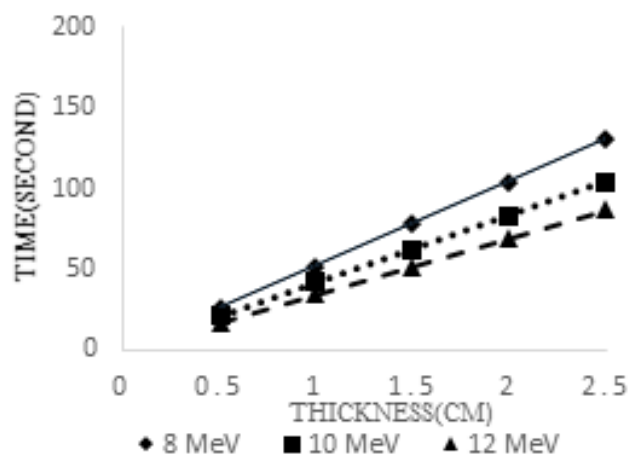
شکل ۴: تعداد الکترون را برای بافت های مختلف (بافت چربی، بافت نرم و بافت تومور) در انرژی ۶ مگا الکترون نشان می دهد. بر اساس نتایج حاصل، بین بافت های مختلف تفاوت محسوسی وجود نداشت.



شکل ۳: تعداد الکترون های حاصل از برد الکترونیکی بر حسب ضخامت برای انرژی باریکه الکترون متفاوت.



شکل ۴: شار الکترون برای سه نوع بافت در انرژی ۶ مگا الکترون ولت.



شکل ۷: زمان پرتو دهی برحسب ضخامت برای باریکه الکترون با انرژی‌های متفاوت، (آ) مدت زمان پرتو دهی با استفاده از شبیه‌سازی، (ب) مدت زمان پرتو دهی تجربی.

جدول ۳: مدت زمان پرتو دهی و نرخ دوز برای ضخامت‌های مختلف فانتوم PMMA.

Energy (MeV)	Thickness (cm)	Dose (Gy/second)		Time(second)	
		experiment	simulation	experiment	simulation
8	0.5	0.807	0.899	26.02	23.36
	1	0.403	0.462	52.1	45.45
	1.5	0.269	0.303	78.1	69.31
	2	0.202	0.198	104	106.06
	2.5	0.161	0.13	130.4	161.54
10	0.5	1.01	0.941	20.8	22.32
	1	0.504	0.483	41.7	43.48
	1.5	0.336	0.326	62.5	64.42
	2	0.252	0.234	83.33	89.74
	2.5	0.202	0.158	104	132.91
12	0.5	1.211	1.097	17.34	19.14
	1	0.605	0.567	34.7	37.04
	1.5	0.403	0.378	52.1	55.55
	2	0.303	0.268	69.31	78.36
	2.5	0.242	0.19	86.8	110.53

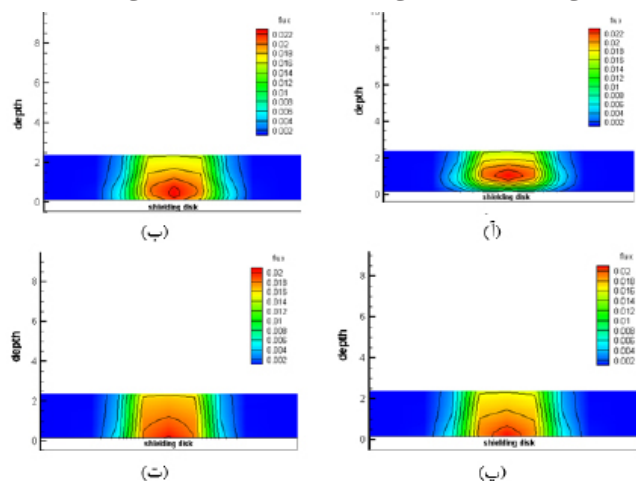
۴- بحث و بررسی

در مرحله اول درمان توسط رادیو تراپی حین عمل جراحی، لازم است ضخامت بافت هدف با دقت خوبی اندازه‌گیری شود [۳۳]. بنابراین با استفاده از شار الکترونی خارج شده از بافت هدف به جای استفاده از سوزن پارامتر ضخامت بافت را می‌توان تعیین نمود [۵]. در این مطالعه با توجه به اهمیت شبیه‌سازی و بررسی برهمکنش‌های ذرات با ماده [۳۶] و دقت مورد نظر در ارائه طرح درمان [۳۴] از شبیه‌سازی مونت کارلو استفاده شده است.

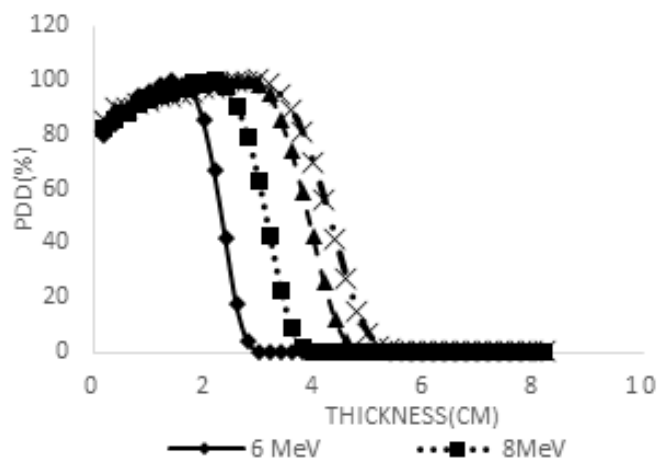
نتایج حاصل از شبیه‌سازی (شکل ۲) و خروجی برد الکترونیکی (شکل ۳) نشان می‌دهد که تعداد الکترون‌ها برای انرژی‌های مختلف الکترون با تغییر ضخامت بافت تغییر می‌کند. برای انرژی‌های بالاتر، این تغییرات در مقایسه با الکترون‌های ۶ مگا الکترون

۳-۲- برای تابش هدف یکنواخت

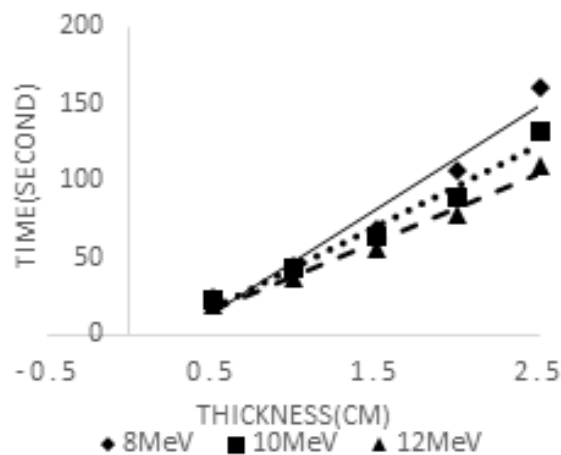
چهار منحنی ایزو دوز با انرژی‌های ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ مگا الکترون ولت برای ضخامت ۲/۵ سانتی‌متر بافت هدف (شکل ۵) برای دستیابی به توزیع دوز یکنواخت در درمان با تابش الکترونی استخراج شد. همانطور که مشاهده می‌شود، الکترون‌هایی که انرژی کمتری دارند، توزیع دوز غیریکنواختی را ایجاد می‌نمایند در حالی که در انرژی‌های بالاتر دوز به طور یکنواخت‌تر در سر تا سر بافت توزیع می‌شود. علاوه بر این، منحنی‌های درصد دوز عمقی (PDD) نیز این رفتار را تایید می‌کند (شکل ۶).



شکل ۵: منحنی ایزو دوز در انرژی‌های مختلف الکترون برای ضخامت ۲/۵ سانتی‌متری بافت. (آ) منحنی ایزو دوز برای انرژی ۶ مگا الکترون ولت، (ب) منحنی ایزو دوز برای انرژی ۸ مگا الکترون ولت، (پ) منحنی ایزو دوز برای انرژی ۱۰ مگا الکترون ولت، (ت) منحنی ایزو دوز برای انرژی ۱۲ مگا الکترون ولت.



شکل ۶: منحنی درصد دوز عمقی برای الکترون‌های متفاوت.



۶- مراجع

1. Heidarloo N, Baghani HR, Aghamiri SM, Mahdavi SR, Akbari ME. Commissioning of beam shaper applicator for conformal intraoperative electron radiotherapy. *Appl Radiat Isot*. 2017;123:69-81. doi: 10.1016/j.apradiso.2017.02.039. PubMed PMID: 28260609.
2. Sedlmayer F, Reitsamer R, Wenz F, Sperk E, Fussl C, Kaiser J, et al. Intraoperative radiotherapy (IORT) as boost in breast cancer. *Radiat Oncol*. 2017;12(1):23. doi: 10.1186/s13014-016-0749-9. PubMed PMID: 28103903. PubMed PMCID: PMC5244574.
3. Roeder F, Alldinger I, Uhl M, Saleh-Ebrahimi L, Schimmack S, Mechter-sheimer G, et al. Intra-operative Electron Radiation Therapy in Retroperitoneal Sarcoma. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2018;100(2):516-27. doi: 10.1016/j.ijrobp.2017.10.034. PubMed PMID: 29353660.
4. Islam MR, Watabe H, Stefano A. Measurement and Comparison of Output Factors Using Two Detectors for NOVAC7 Intraoperative Radiotherapy Accelerator. *IJMPCCERO*. 2020;9(2):52-61. doi: 10.4236/ijmpccero.2020.92006.
5. Yazdani MR, Setayeshi S, Arabalibeik H, Akbari ME. Design, construction and performance evaluation of the target tissue thickness measurement system in intraoperative radiotherapy for breast cancer. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*. 2017;855:32-7. doi: 10.1016/j.nima.2016.12.065.
6. Malter W, Kim V, Richters L, Fridrich C, Markiefka B, Bongartz R, et al. Intraoperative Boost Radiotherapy during Targeted Oncoplastic Breast Surgery: Overview and Single Center Experiences. *Int J Breast Cancer*. 2014;2014:637898. doi: 10.1155/2014/637898. PubMed PMID: 25587453. PubMed PMCID: PMC4281395.
7. Falco M, Masojć B, Milchert-Leszczynska M, Kram A. Frequency of whole breast irradiation (WBRT) after intraoperative radiotherapy (IORT) is strongly influenced by institutional protocol qualification criteria. *Rep Pract Oncol Radiother*. 2018;23(1):34-8. doi: 10.1016/j.rpor.2017.11.003. PubMed PMID: 29270082. PubMed PMCID: PMC5735296.
8. Willett CG, Czito BG, Tyler DS. Intraoperative radiation therapy. *J Clin Oncol*. 2007;25(8):971-7. doi: 10.1200/JCO.2006.10.0255. PubMed PMID: 17350946.
9. Esposito A, Sakellaris T, Limede P, Costa F, Cunha LT, Dias AG, Lencart J, Sarmiento S, Rosa CC. Effects of shielding on pelvic and abdominal IORT dose distributions. *Phys Med*. 2016;32(11):1397-404. doi: 10.1016/j.ejmp.2016.10.004. PubMed PMID: 27780674.
10. Krengli M, Calvo FA, Sedlmayer F, Sole CV, Faßner G, Alessandro M, et al. Clinical and technical characteristics of intraoperative radiotherapy. *Strahlenther Onkol*. 2013;189(9):729-37. doi: 10.1007/s00066-013-0395-1. PubMed PMID: 23842635.
11. Haddock MG. Intraoperative radiation therapy for colon and rectal cancers: a clinical review. *Radiat Oncol*. 2017;12(1):11. doi: 10.1186/s13014-016-0752-1. PubMed PMID: 28077144. PubMed PMCID: PMC5225643.
12. Moradi F, Ung NM, Khandaker MU, Mahdiraji GA, Saad M, Abdul Malik R, et al. Monte Carlo skin dose simulation in intraoperative radiotherapy of breast cancer using spherical applicators. *Phys Med Biol*. 2017;62(16):6550-66. doi: 10.1088/1361-6560/aa7fe6. PubMed PMID: 28708603.
13. Roeder F, Krempien R. Intraoperative radiation therapy (IORT) in soft-tissue sarcoma. *Radiat Oncol*. 2017;12(1):20. doi: 10.1186/s13014-016-0751-2. PubMed PMID: 28100249. PubMed PMCID: PMC5244699.
14. Silverstein MJ, Epstein M, Kim B, Lin K, Khan S, Snyder L, et al. Intraoperative Radiation Therapy (IORT): A Series of 1000 Tumors. *Ann Surg Oncol*. 2018;25(10):2987-93. doi: 10.1245/s10434-018-6614-3. PubMed PMID: 29968030.
15. Silverstein MJ, Epstein MS, Lin K, Chen P, Khan S, Snyder L, et al. Intraoperative Radiation Using Low-Kilovoltage X-Rays for Early Breast Cancer: A Single Site Trial. *Ann Surg Oncol*. 2017;24(10):3082-7. doi: 10.1245/s10434-017-5934-z. PubMed PMID: 28766211.

ولت بسیار کمتر است، لذا پیشنهاد می‌شود از انرژی ۶ مگا الکترون ولت برای تعیین دقیق ضخامت استفاده نمود.

شکل ۴ شبیه‌سازی برای انواع مختلف بافت‌های هدف را نشان می‌دهد که به دلیل تفاوت غیرقابل محسوس در تعداد الکترون برای بافت‌های مختلف، می‌تواند تنها یک نوع بافت را در معرض تابش در نظر گرفت. بنابراین، عمق بافت هدف به عنوان یک عامل مهم در رادیوتراپی حین عمل جراحی با استفاده از الکترون [۵] با اسکن هدف توسط پرتو مدادی و شار الکترون دریافتی به کمک برد الکترونیک با دقت قابل قبول اندازه‌گیری می‌گردد.

پس از تعیین ضخامت بافت، باید یک الگوی تابشی طراحی شود که دوز را به طور یکنواخت در سراسر بافت هدف توزیع نماید. شکل ۵ نشان می‌دهد که الکترون‌های با انرژی بالاتر در درمان دارای عملکرد مناسب‌تری هستند. با توجه به ضخامت‌های مختلف بافت هدف، با تعیین ضخامت می‌توان، انرژی مناسب برای درمان [۳۷] و زمان پرتودهی را مدیریت نمود.

در این مطالعه، تجویز 21GY (D_{measured}) برای بافت پستان با ضخامت ۲ سانتی‌متر که در ۱۰۴ ثانیه با الکترون‌های ۸ مگا الکترون ولت تابش شده است، به عنوان مرجعی برای درمان یکنواخت استفاده شد. به طور معمول حداکثر ضخامت که برای رادیوتراپی حین عمل جراحی انتخاب می‌شود، حدود ۲/۵ سانتی‌متر است. ابتدا فانتوم PMMA معادل بافت در نظر گرفته شد و سپس میزان دوز با استفاده از رابطه ۱ برای محاسبه زمان تابش ضخامت‌های مختلف بافت محاسبه شد.

بنابراین، نرخ دوز برای ضخامت‌های متفاوت فانتوم را می‌توان برای هر انرژی محاسبه کرد. زمان تابش را می‌توان از معادله ۲ برای تمام ضخامت‌ها و انرژی‌ها بدست آورد. در جدول ۳، زمان تابش برای پنج ضخامت انتخاب شده برای انرژی‌های مختلف الکترون گزارش شده است و زمان تابش برای هر ضخامت دلخواه را با استفاده از شکل ۷ تخمین زد.

زمان تابش با استفاده از هر دو روش شبیه‌سازی و تجربی ارائه شد. مطابق شکل ۷ و جدول ۳، نتایج شبیه‌سازی توافق قابل قبولی دارند. مطابق شکل ۷، زمان تابش با کاهش ضخامت بافت هدف روند نزولی دارد و برای ضخامت‌های مختلف قابل پیش‌بینی است. بنابراین می‌توان یک سیستم تصمیم‌گیری برای این شتاب‌دهنده LIAC پیشنهاد کرد. در مرحله اول ضخامت هدف بر اساس پیکسل تعیین می‌شود و در مرحله دوم سیستم زمان تابش این ضخامت را برای انرژی انتخاب شده قرائت می‌نماید. پس طی مدت زمان پیش‌بینی شده برای پرتو دهی، برد الکترونیکی به سر شتاب‌دهنده فیدبک می‌دهد که حرکت کرده و پیکسل بعدی مورد ارزیابی قرار گیرد. بنابراین، دامنه سیگنال برد الکترونیکی تقریباً در هر عمق یکسان خواهد بود و دوز به طور یکنواخت در بافت هدف با استفاده از این طرح درمان توزیع می‌شود.

۵- نتیجه گیری

در رادیوتراپی حین عمل جراحی با استفاده از باریکه الکترون، هندسه بافت هدف پس از آن که پزشک بیمار را جراحی می‌نماید و تومور را خارج می‌کند، دچار تغییر شکل می‌شود. بنابراین اطلاعاتی در مورد ضخامت بافت هدف در آن لحظه در دسترس نمی‌باشد. این مطالعه روش جدیدی را برای تعیین ضخامت بافت هدف در رادیوتراپی حین عمل جراحی (IOERT) معرفی می‌نماید. شبیه‌سازی مونت کارلو برای تایید نتایج تجربی برد الکترونیکی انجام شد. بنابراین، پاسخ برد الکترونیکی می‌تواند ضخامت بخش احتمالی باقی‌مانده از بافت را با استفاده از یک پرتو الکترونی مدادی با انرژی ۶ مگا الکترونیکی اندازه‌گیری نماید. در نتیجه مدت زمان درمان را می‌توان با استفاده از ضخامت‌های اندازه‌گیری شده محاسبه و با استفاده از الکترون‌ها با انرژی بالاتر توزیع دوز یکنواخت در سراسر بافت ایجاد نمود. در حال حاضر تمام قسمت‌های هدف بدون توجه به عمق بافت باقی‌مانده در IORT به طور همزمان تحت تابش قرار می‌گیرند، بنابراین با استفاده از این روش، پزشک متخصص سرطان قادر است ضخامت بافت هدف تحت تابش را ارزیابی و از پرتودهی طولانی مدت هدف با ضخامت‌های کمتر اجتناب نماید.

80. doi: 10.1245/s10434-013-2997-3. Epub 2013 Jun 29. PMID: 23812769.
31. Zaki Azzam A, Alqarni A, Mahmoud Amin T. The role of intraoperative radiotherapy (IORT) in the management of patients with pancreatic and periampullary cancer: A single center experience. *J Egypt Natl Canc Inst.* 2018 Jun;30(2):77-79. doi: 10.1016/j.jnci.2018.03.002. Epub 2018 Apr 18. PMID: 29680448.
32. Woolf DK, Williams NR, Bakshi R, Madani SY, Eaton DJ, Fawcitt S, Pigott K, Short S, Keshtgar M. Biological dosimetry for breast cancer radiotherapy: a comparison of external beam and intraoperative radiotherapy. *Springerplus.* 2014 Jun 30;3:329. doi: 10.1186/2193-1801-3-329. PMID: 25045612; PMCID: PMC4093905.
33. Barros AC, Hanna SA, Carvalho HA, Martella E, Andrade FE, Piatto JR, Bevilacqua JL. Intraoperative full-dose of partial breast irradiation with electrons delivered by standard linear accelerators for early breast cancer. *Int J Breast Cancer.* 2014;2014:568136. doi: 10.1155/2014/568136. Epub 2014 Dec 17. PMID: 25587452; PMCID: PMC4281392
34. Catalano M, Agošteo S, Moretti R, Andreoli S. Montecarlo simulation code in optimisation of the IntraOperative Radiation Therapy treatment with mobile dedicated accelerator. In *Journal of Physics: Conference Series* 2007 Jun 1 (Vol. 74, No. 1, p. 021002). IOP Publishing. doi:10.1088/1742-6596/74/1/012002
35. Herranz E, Herraiz JL, Cal-González J, Corzo PM, Guerra P, Udias JM. Iterative reconstruction of whole accelerator phase spaces for Intraoperative Radiation Therapy (IORT) from measured dose data. In *2011 IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record* 2011 Oct 23 (pp. 2644-2646). IEEE.
36. Mihailescu D, Borcia C. Monte Carlo simulation of the electron beams produced by a linear accelerator for intraoperative radiation therapy. *Romanian Reports in Physics.* 2014 Jan 1;66(1):61-74.
37. Vidali C, Severgnini M, Bellio G, Giudici F, Milan V, Pellin Z, Savatovic S, Scomersi S, Fašner G, Ciabattani A, Bortol M. State of the art in breast intraoperative electron radiation therapy after intraoperative ultrasound introduction. *Radiol Oncol.* 2021 May 16;55(3):333-340. doi: 10.2478/raon-2021-0023. PMID: 33991470; PMCID: PMC8366729.
16. Lorenzen AW, Kiriazov B, De Andrade JP, Lizarraga IM, Scott-Conner CE, Sugg SL, Erdahl LM, Sun W, Weigel RJ. Intraoperative Radiotherapy for Breast Cancer Treatment in a Rural Community. *Ann Surg Oncol.* 2018 Oct;25(10):3004-3010. doi: 10.1245/s10434-018-6574-7. Epub 2018 Jul 20. PMID: 30030731; PMCID: PMC6357224.
17. Kaiser J, Reitsamer R, Kopp P, Gaisberger C, Kopp M, Fischer T, Zehentmayr F, Sedlmayer F, Fašner G. Intraoperative Electron Radiotherapy (IOERT) in the Treatment of Primary Breast Cancer. *Breast Care (Basel).* 2018 Jul;13(3):162-167. doi: 10.1159/000489637. Epub 2018 May 30. PMID: 30069175; PMCID: PMC6062668.
18. Olilla D, Orecchia R. Felix Sedlmayer, Jean-Bernard DuBois, Roland Reitsamer, Gerd Fašner. *Intraoperative Irradiation: Techniques and Results.* 2011 Apr 15:189. isbn: 9781617790157 161779015X
19. López-Tarjuelo J, Bouché-Babiloni A, Morillo-Macias V, Santos-Serra A, Ferrer-Albiach C. Practical issues regarding angular and energy response in vivo intraoperative electron radiotherapy dosimetry. *Rep Pract Oncol Radiother.* 2017 Jan-Feb;22(1):55-67. doi: 10.1016/j.rpor.2016.09.009. Epub 2016 Oct 19. PMID: 27790075; PMCID: PMC5072178.
20. Rošatjazi M, Baghani HR, Mahdavi SR, Felici G. Evaluation of dosimetric properties of shielding disk used in intraoperative electron radiotherapy: A Monte Carlo study. *Appl Radiat Isot.* 2018 Sep;139:107-113. doi: 10.1016/j.apradiso.2018.04.037. Epub 2018 May 1. PMID: 29751323.
21. Struikmans H, Snijders M, Maš ME, Fisscher U, Franssen JH, Immink MJ, Marinelli A, Merkus J, Petoukhova A, Speijer G, Koper P. Single dose IOERT versus whole breast irradiation. *Strahlentherapie und Onkologie.* 2016 Oct;192(10):705-13. doi: 10.1007/s00066-016-1029-1
22. Shakeri J, Tafti A, Akbari ME. Key proteins as potential effective biomarkers under Intraoperative Radiotherapy (IORT) in tumor bed of Breast Cancer patients. doi: 10.21203/rs.3.rs-17156/v1
23. Matsumine A, Tsujii M, Nakamura T, Asanuma K, Matsubara T, Kakimoto T, Yada Y, Takada A, Ii N, Nomoto Y, Sudo A. Minimally invasive surgery using intraoperative electron-beam radiotherapy for the treatment of soft tissue sarcoma of the extremities with tendon involvement. *World journal of surgical oncology.* 2016 Dec;14(1):1-7. doi: 10.1186/s12957-016-0968-4
24. Castro Neto AJ, Haddad CM, Pelosi EL, Zevallos-Chávez JY, Yoriyaz H, Siqueira PD. Monte Carlo simulation as an auxiliary tool for electron beam quality specification for intra-operative radiotherapy. *Brazilian Journal of Physics.* 2005 Sep;35(3B):801-4. doi:10.1590/S0103-97332005000500021
25. Nevelsky A, Bernstein Z, Bar-Deroma R, Kuten A, Orion I. Design and dosimetry characteristics of a commercial applicator system for intra-operative electron beam therapy utilizing ELEKTA Precise accelerator. *J Appl Clin Med Phys.* 2010 Jul 19;11(4):3244. doi: 10.1120/jacmp.v11i4.3244. PMID: 21081880; PMCID: PMC5720419.
26. Bhandari T, Babaran W, Forouzannia A, Williams V, Harness J, Carpenter M, Gobran M, Khanijou R, Wagman B, Ash R, Wagman LD. A prospective phase I comparison of toxicity and cosmesis outcomes of single-fraction IORT and hypofractionated radiotherapy with IORT boost in early-stage breast cancer. *Brachytherapy.* 2017 Nov-Dec;16(6):1232-1238.e2. doi: 10.1016/j.brachy.2017.09.002. Epub 2017 Oct 9. PMID: 29032999.
27. Mourtada F. *Physics of intraoperative radiotherapy for the breast. In-Short course breast radiotherapy 2016* (pp. 317-325). Springer, Cham. doi: 10.1007/978-3-319-24388-7_20
28. Patel R, Ivanov O, Voigt J. Lifetime cost-effectiveness analysis of intraoperative radiation therapy versus external beam radiation therapy for early stage breast cancer. *Cost Eff Resour Alloc.* 2017 Nov 9;15:22. doi: 10.1186/s12962-017-0084-5. PMID: 29151818; PMCID: PMC5679386.
29. Hedie M, Zahra K, Khosro K, Majid A, Maryam S. Cost-effectiveness of radiotherapy during surgery compared with external radiation therapy in the treatment of women with breast cancer.
30. Alvarado MD, Mohan AJ, Esserman LJ, Park CC, Harrison BL, Howe RJ, Thorsen C, Ozanne EM. Cost-effectiveness analysis of intraoperative radiation therapy for early-stage breast cancer. *Ann Surg Oncol.* 2013 Sep;20(9):2873-

معرفی افراد

زهرا پویانراد

متولد ۱۳۷۲ در تهران، مقطع کارشناسی را در رشته فیزیک در دانشگاه الزهرا گذراند. سپس در رشته مهندسی پرتوپزشکی در دانشگاه امیرکبیر تحصیلات کارشناسی ارشد خود را به پایان رساند. وی هم اکنون دانشجوی دکتری رشته مهندسی پرتوپزشکی دانشگاه صنعتی امیرکبیر است. او همچنین عضو گروه دینامیک باریکه الکترونی پروژه ملی چشمه نور ایران است.

دکتر مجتبی شمسایی زفرقندی

عضو هیئت علمی و استاد دانشکده فیزیک دانشگاه پلی تکنیک است.



دکتر سعید ستایشی

دارای مدارک کارشناسی و کارشناسی ارشد فیزیک، کارشناسی ارشد مدیریت دولتی و کارشناسی ارشد و دکتری برق مخابرات از دانشگاه صنعتی نوا اسکوتیا کانادا می باشد. عضو هیئت علمی و استاد دانشکده فیزیک دانشگاه پلی تکنیک، مدیر گروه گرایش پرتوپزشکی دانشکده فیزیک است.



مروری بر روش‌های تصویربرداری مدرن

زهرا رضایی^۱، ساسان احمدیان نمین^۲

۱- دکترای تخصصی، پژوهشگاه دانش‌های بنیادی، تهران، rezaei.zahra1984@gmail.com
 ۲- دکترای تخصصی، پژوهشگاه دانش‌های بنیادی، تهران، sasan.ahmadiannamini@gmail.com

چکیده

استفاده از آزمایش‌های مبتنی بر پمپ-کاوشگر برای مطالعه‌ی پدیده‌های فوق سریع، از جمله فرآیندهای دینامیکی در ساختار مواد و واکنش‌های شیمیایی و بیوشیمیایی و همچنین رویدادهای گذرای پیچیده، حوزه‌ای مورد توجه در علوم مختلف از جمله، علم مواد، زیست‌شناسی و شیمی بوده است. تاکنون در بسیاری از این آزمایش‌ها از باریکه‌های لیزری برای پمپاژ کردن نمونه (برانگیختن مشخصه‌ی مورد نظر در نمونه) و همین‌طور به عنوان کاوشگر برای مشاهده‌ی مشخصه‌ی برانگیخته شده استفاده می‌شده است. در نوع دیگری از این آزمایش‌ها نیز لیزر برای پمپاژ کردن و اشعه ایکس/تشنع سنکروترون به عنوان کاوشگر مورد استفاده قرار می‌گرفته است. در حال حاضر، توجه رو به رشدی در استفاده از الکترون‌ها به عنوان کاوشگر، به وجود آمده است. چراکه منابع الکترونی، درخشان‌تر و برهمکنش‌های آن‌ها با ماده قوی‌تر می‌باشد. این پژوهش به تصویر برداری با وضوح فضایی بالا توسط ابزار نوظهور میکروسکوپ الکترونی فوق سریع و مطالعات با وضوح زمانی بالا با استفاده از پراش الکترونی فوق سریع می‌پردازد.

کلیدواژگان: میکروسکوپ الکترونی فوق سریع، پراش الکترونی فوق سریع، وضوح زمانی، وضوح مکانی، پمپ، کاوشگر، تصویر برداری فوق سریع

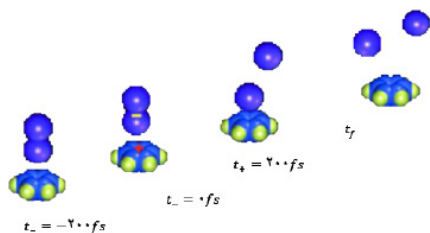
Abstract

The use of pump-probe experiments to study ultrafast phenomena, including dynamic processes in the structure of materials and chemical and biochemical reactions, as well as complex transient events, has been an area of interest in various sciences, such as materials science, biology, and chemistry. Until now, in many of these experiments, laser beams have been used to pump the sample (excite the desired feature in the sample) and also as a probe to observe the excited feature. In another type of these experiments, a laser is used for pumping and X-rays/synchrotron radiation is used as a probe. Currently, there is a growing interest in using electrons as probes. Because electron sources are brighter and their interactions with matter are stronger. This research deals with high spatial resolution imaging by the emerging tool of ultrafast electron microscopy and high temporal resolution studies using ultrafast electron diffraction.

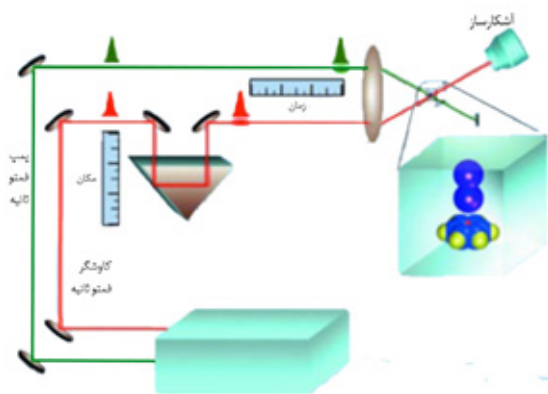
Keywords: Ultrafast electron microscopy; Ultrafast electron diffraction; Temporal resolution; Spatial resolution; Pump; Probe; Ultrafast imaging

۱- مقدمه

در روش‌های فوق سریع برای مطالعه اتم‌های در حال حرکت، همان ایده‌های موجود در روش‌های قبل را دنبال می‌کنیم. برای ساختار مولکولی که در آن معمولاً به ازای حرکات اتمی در حد چند آنگستروم تغییراتی ایجاد می‌شود، مشاهده‌ی دقیق هر فرآیندی به وضوح فضایی Δx کمتر از 1 \AA ، یعنی بیش از هشت مرتبه کوچکتر از میزان مورد نیاز برای زمان مایبریج، نیاز است. بنابراین، Δt مورد نیاز برای مشاهده تبدیل‌های مولکولی با کیفیت بالا، که در آن اتم‌ها با سرعت‌هایی از مرتبه 1000 m/s ثانیه حرکت می‌کنند، برابر است با: $(0.1 \text{ \AA}) / (1000 \text{ m/s}) = 10^{-14} \text{ s} = 10 \text{ fs}$ در حالی که این مقیاس زمانی از دهه‌ی ۱۹۳۰ با محاسبات تئوری، به عنوان مقیاس زمانی برای تبدیلات مولکولی شناخته شده بود، مطالعه مستقیم حالات گذار برای اولین بار در دهه ۱۹۸۰ و با توسعه فمتوشیمی، امکان پذیر گردید. چنین زمان‌ها و فواصلی به این معنی است که پدیده‌هایی که در مقیاس مولکولی اتفاق می‌افتند، توسط اصول مکانیک کوانتومی کنترل می‌شوند.



شکل ۲: حرکات اتمی برای یک واکنش در حال انجام در یک ماده‌ی دو مولکولی. مولکول C_6H_6 تقسیم می‌شود [۱].



شکل ۳: آزمایشات تمام نوری فمتوثانیه (پمپ-کاشگر). پس از اینکه پالس کاشگر با طی یک مسیر نوری با طول متغیر به تأخیر افتاد، پالس های پمپ و کاشگر فمتوثانیه بر روی نمونه‌ی مورد مطالعه متمرکز می‌شوند. سپس آشکار ساز، پالس کاشگر عبوری از نمونه را ثبت می‌کند [۱].

در روش پراش الکترونی فوق سریع، فلاش زدن به یک مولکول (یا به طور کلی نمونه) با یک پالس لیزر فمتوثانیه را می‌توان با اثر فلاش استروبوکوپ یا باز شدن شاتر دوربین مقایسه کرد. یعنی، یک پالس از یک لیزر فمتوثانیه، در حین عبور از اجزای یک مولکول (یا نمونه)، همراه با یک آشکار ساز مناسب، می‌تواند یک «تصویر» با تفکیک خوب از ساختار آن مولکول را ایجاد کند. البته از آنجایی که در فمتوشیمی برای تشخیص از طیف‌سنجی نوری، طیف‌سنجی جرمی یا طیف‌سنجی فوتوالکترونی استفاده می‌شود، از این تصاویر به عنوان سیگنال طیف‌سنجی شده، برای به دست آوردن اطلاعاتی در مورد تغییر موقعیت اتم‌ها استفاده می‌شود. همینطور، در تصویربرداری فضای واقعی و پراش، می‌توان ساختار واقعی اتم‌ها را نیز به دست آورد. زیرا پالس های استروبینگ از الکترون های فوق سریع تشکیل شده اند که بر خلاف نور، طول موجی کمتر از فواصل بین اتمی دارند و می‌توانند این فواصل بسیار کوچک را مشاهده کنند. به طور کلی، پالس (نور یا الکترون) که طیف یا تصویر را تولید می‌کند، پالس کاشگر نامیده می‌شود، زیرا برای کاوش و عکس برداری از سیستم استفاده می‌شود، درست همانند دهانه‌ی شاتر و یا فلاش استروبوکوپ که می‌توانست موقعیت های سیب را در شکل ۱ بررسی کند. استفاده از چنین پالس‌هایی برای «توقف حرکت» اتم‌ها و به دست آوردن ساختارهای مولکولی یا مواد آلی، سنگ

وضوح مکانی و زمانی قابل تشخیص برای چشم انسان به ترتیب حدود $100 \mu\text{m}$ و کسری از ثانیه می‌باشد. ولی بشر در طول زمان خود بر روی زمین، پیشرفت روزافزونی در قابل مشاهده و ملموس کردن موارد بسیار کوچک و بسیار بزرگ داشته است. امروزه، به لطف ابزارهای دقیق می‌توانیم اجسامی را که اندازه آنها زیر یک نانومتر است و در بازه‌ی زمانی فمتوثانیه یا اتوثانیه حرکت می‌کنند را تجسم کنیم. اولین بار مفاهیم اصلی برای تصویربرداری از اجسام کوچک، توسط دانشمند عربی ابن هیثم (۱۰۴۰-۹۶۵) توسعه داده شد. اثر درخشان وی در کتاب اپتیک یا کتاب المناظر (به زبان عربی) به چاپ رسیده است. در قرن ۱۴ و ۱۵، ایده‌ی استفاده از لنزها و میکروسکوپ نوری در اروپا توسعه یافت. به طور مثال، آنتون ون لیوونهوک از یک میکروسکوپ ساده و تک عدسی برای بررسی خون، حشرات و اشیا دیگر استفاده کرده و اولین کسی بود که موفق به مشاهده‌ی باکتری‌ها گردید. در قرن ۱۹، آزمایش دو شکافی توماس یانگ منجر به مشاهده‌ی طرح تداخلی نور گردید و همین آزمایش توانست نظریه‌ی نیوتن در مورد ذره بودن نور را رد کند.

در سال ۱۹۳۳، ماکس نول و ارنست روسکا میکروسکوپ الکترونی را اختراع کرده و وضوح آن را تا مقیاس زیر میکرومتر بهبود دادند. ایده‌ی روسکا به این صورت بود که اگر نور مرئی در میکروسکوپ اپتیک، اجسام بسیار کوچک را قادر به مشاهده می‌کند، در این صورت الکترون‌ها با طول موج دوبروی کوتاه‌تر، وضوح بسیار بیشتری را به ارمغان خواهند آورد. روسکا نام میکروسکوپ خود را میکروسکوپ عبوری نهاد. این وسیله، الکترون‌ها را از میان یک برش نازک از نمونه‌ی مورد مطالعه عبور داده، و سپس به سمت یک فیلم عکاسی یا صفحه‌ی فلورسنت منحرف می‌نمود. تصویر ایجاد شده دارای بزرگنمایی بالایی بود. در واقع، این دستگاه قادر بود نمونه‌ها را تا ۱۰ برابر بیشتر از یک میکروسکوپ نوری معاصر بزرگ کند. در سال ۱۹۳۶، بورس از عدسی‌های پراش در میکروسکوپ الکترونی عبوری استفاده کرد و چند سال بعد (۱۹۴۰) حاشیه‌های فرنل را به عنوان «پراش در لبه‌ها» در این میکروسکوپ مشاهده نمود. والتر کوسل و گاتفرید مولنشتد در سال ۱۹۳۹ توانایی ثبت تصاویر دو بعدی و الگوهای پراش الکترونی را که حاوی اطلاعاتی در مورد ساختار، فواصل شبکه تکرار شونده و سایر جنبه‌های مربوط به تقارن کریستالوگرافی است، را به میکروسکوپ الکترونی خود اضافه کردند. اینها و سایر پیشرفتهای مرتبط در میکروسکوپ منجر به تداخل سنجی الکترونی و هولوگرافی گردید.

۲- از عکاسی با شاتر تا روش های فوق سریع

از سال ۱۸۷۲، زمانی که مایبریج به روش استاپ-موشن و با استفاده از شاترهای سریع، سعی در عکاسی از اسب‌های در حال حرکت نمود (با مقیاس زمانی ۲۰ فریم در ثانیه، یعنی آهسته شدن حرکت به میزان ۵۰ دفعه)، اکنون به عکس برداری از اتم‌های در حال حرکت (با وضوح زمانی فمتوثانیه، یعنی آهسته شدن حرکت به میزان تقریبی ۱۰۱۴) رسیده‌ایم. پس از روش شاترهای سریع، استفاده از فلاش‌های نوری کوتاه برای عکس‌برداری مرسوم گردید. این فلاش‌های نوری دارای مقیاس‌های زمانی بسیار کوتاه‌تری نسبت به شاترهای سریع بودند. مدت زمان این پالس‌ها Δt - نقش باز شدن شاتر دوربین را ایفا می‌نمود. دستگاهی که این پالس‌های نوری کوتاه را ایجاد می‌کرد، استروبوکوپ نامیده می‌شد. در ترکیب با دوربینی با شاتر باز و با انتخاب مناسب Δt برای پالس‌های نوری، یک استروبوکوپ می‌تواند تصویری با وضوح زمانی خوب از جسم متحرکی با سرعت مشابه یک گلوله در حال حرکت ایجاد کند (شکل ۱).

شکل ۱: سیب در حال سقوط که با نور استروبوکویی در فواصل s از آن عکس گرفته شده است. افزایش تدریجی شتاب ناشی از گرانش در این شکل مشخص است [۲].



گسترش این دسته‌ها می‌گردد [۴]. افزایش انرژی دسته‌های الکترونی تا محدوده‌ی مگا الکترون ولت، اگرچه در کاهش اثر بار فضایی سودمند است، ولی باعث مشکلاتی از جمله: صدمه رسیدن به نمونه، کاهش سطح مقطع پراکندگی الاستیک، عدم وجود آشکار ساز مناسب برای این بازه، و همچنین افزایش هزینه‌ی ساخت می‌گردد. به عنوان روش جایگزین می‌توان از دسته‌های الکترونی با بار الکترونی کم استفاده کرد. به طور مثال، دسته‌های الکترونی ۴۰۰ fs حاوی ۱۰۰۰ الکترون با انرژی ۶۰ keV [۵]. یا حتی می‌توان دسته‌هایی با تعداد یک الکترون، ولی با فرکانس تکرار بالا مثلا چندین مگاهرتز تولید نمود. در این صورت، وضوح زمانی در آزمایش پراش الکترونی فوق سریع، توسط جیتز در زمان رسیدن تک تک الکترون‌ها به نمونه تعیین می‌شود [۶]. اخیرا دسته‌های الکترونی با طول ۳،۳ fs نیز برای تکنیک های پراش الکترونی فوق سریع و میکروسکوپ الکترونی فوق سریع تولید شده است [۷].

۳-۱- قانون براگ

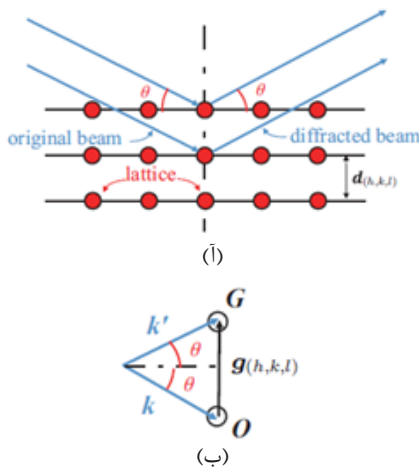
پراکندگی دسته‌های الکترونی از اتم‌های داخل نمونه، توسط قانون براگ شرح داده می‌شود. برای پراکندگی الاستیک و با در نظر گرفتن برهم نهی بازتاب‌ها از صفحات شبکه موازی مجاور، معیار تداخل سازنده (یا تشکیل قله های پراش) به صورت زیر می‌باشد:

$$2d_{(h,k,l)} \sin\theta = \lambda$$

که در آن، $d_{(h,k,l)}$ فاصله‌ی بین صفحات موازی با اندیس‌های میلر (h,k,l) ، θ زاویه‌ی انعکاس، و λ طول موج دوپروی الکترون‌ها می‌باشد. از آنجا که هر دسته صفحه‌ی موازی (h,k,l) متناظر با یک بردار $g_{(h,k,l)}$ در فضای متقابل می‌باشد،

$$k' - k = g$$

که در آن k و k' بردارهای موج باریکه‌ی اصلی و باریکه‌ی پراش یافته هستند و بزرگی آنها به صورت $k = k_0 = 2\pi/\lambda$ تعریف می‌شود. رابطه‌ی (۲) نشان دهنده شرط لائو برای تداخل سازنده است و استفاده از آن برای نمایه سازی نقاط پراش راحت تر است. البته، قانون براگ یا فرمول لائو (در عین حال که دو جایزه نوبل را به خود اختصاص داده است) فقط می‌گوید مراکز قله های پراش کجا قرار دارند. برای درک کامل توزیع شدت فضایی در یک الگوی پراش، نظریه سینماتیک یا نظریه های پیشرفته تر، مانند نظریه دینامیکی یا مکانیک کوانتومی، باید بسته به شرایط تجربی استفاده شود. پراکندگی غیرکشسان یا انتشاری نیز ممکن است لازم باشد تحت شرایط خاصی در نظر گرفته شوند. با این تلاش‌ها، می‌توان اطلاعات غنی از نمونه‌ها از جمله دمای شبکه، کرنش شبکه، جهت گیری دانه‌ها و غیره را استخراج کرد. همچنین، هم ارزی بین فضای واقعی و فضای متقابل (با استفاده از تبدیل فوریه)، ساخت ساختارهای پیچیده مانند مولکول‌های زیستی را در زمانی که تصویربرداری مستقیم غیرعملی است، امکان‌پذیر می‌سازد.



شکل ۴: (ا) پراش براگ در فضای واقعی. دو پرتو با طول موج و فاز یکسان به یک جامد کریستالی نزدیک می‌شوند و از دو صفحه‌ی موازی اتم‌ها پراکنده می‌شوند. پرتو پایینی مسیر طولانی‌تری را طی می‌کند. تداخل سازنده زمانی اتفاق می‌افتد که این طول برابر با مضرب صحیح طول موج تابش باشد. (ب) شرط لائو در فضای متقابل. تداخل سازنده زمانی اتفاق می‌افتد که اختلاف بین بردار موج اصلی و پرتوهای پراش شده برابر با یک بردار متقابل باشد [۸].

بنای تصویربرداری فوق سریع است. ساختارهایی که در مراحل مختلف یک فرآیند تعیین می‌شوند را می‌توان مانند فریم‌های یک تصویر متحرک در نظر گرفت که به حرکت اتم‌ها اجازه می‌دهد تا تجسم شوند. تعداد فریم‌ها در یک فیلم مولکولی (شکل ۲) می‌تواند به 10^{14} در ثانیه برسد، که حاکی از فواصل ۱۰ fs می‌باشد. البته سیگنال کاوش تمام ماجرا نیست. برای اینکه کل مسیر هر حرکتی ثبت شود، آن حرکت باید به گونه‌ای آغاز شود که در بازه زمانی کاوشگر جا شود. به طور مثال، در عکاسی از سیب، این فرآیند با رها کردن سیب آغاز می‌شود و توالی‌های کاوشگر به گونه‌ای مرتب می‌شوند که از نظر زمانی با این رها شدن سیب مطابقت داشته باشند. برای ضبط فوق سریع، عملیات مشابه با برانگیخته کردن مولکول (یا ماده) با استفاده از یک پالس آغاز کننده فمتوثانیه (پالس ساعت یا پمپ) که از نمونه عبور می‌کند، محقق می‌شود. یا این کار، یک مرجع زمانی (زمان صفر) برای شروع تغییراتی که در نمونه رخ می‌دهد ایجاد می‌کنیم. برای ایجاد زمان بندی بین پالس‌های کاوشگر و پمپ (با دقتی از مرتبه‌ی فمتوثانیه)، باید هر دو ی این پالس‌ها از یک منبع مشترک تولید شده و در امتداد مسیرهای نوری قابل تنظیم به سمت نمونه حرکت کنند (شکل ۳). استفاده از منبع مشترک سبب درجه‌ی بالایی از دقت زمان بندی می‌شود. به این صورت که، اگر تفاوت بین طول مسیرهای پمپ و کاوشگر را بر سرعت ثابت نور تقسیم نماییم، زمان هر پالس کاوشگر به طور دقیق نسبت به بازه‌ی زمانی پالس پمپ به دست می‌آید. به طور مثال، اختلاف مسیر ۱ μm متناظر با فاصله‌ی زمانی ۳ fs است. بین عکس‌برداری‌های سیگنال کاوشگر می‌باشد. البته توجه داشته باشید که اگر از پالس‌های الکترونی به عنوان کاوشگر در تصویربرداری استفاده کنیم، باید تفاوت در سرعت و ویژگی فرمیونی/بوزونی نور و الکترون‌ها را نیز در نظر بگیریم.

۳- پراش در تصویربرداری

برای شناسایی ساختارهای پیچیده همچون مواد معدنی، بهترین روش استفاده از پراش می‌باشد. پراش فوق سریع پتانسیل بالایی برای ارائه یک تصویر کامل از دینامیک ساختاری در مقیاس زمانی فمتوثانیه با جزئیات در سطح اتمی را دارد. استفاده از پرتوهای ایکس برای انجام این آزمایش‌های پراش، روش نسبتاً جدیدی است. چرا که، هر دو منبع پلاسما و سنکروترون قادر به تولید پالس‌های کوتاه پرتوی ایکس با روشنایی کافی برای انجام این آزمایش‌ها می‌باشند. ولی پراش الکترون فوق سریع تکنیک نو ظهوری است که وظیفه‌ی مشابهی دارد و در مقایسه با روش‌های اشعه ایکس مزایای منحصر به فردی دارد:

- * آزمایش‌های پراش الکترون فوق سریع، در مقیاس «رومیزی» هستند و می‌توانند با (کمتر از ۱ میلی‌ژول/پالس) منابع لیزری معمولی اجرا شوند.
- * الکترون‌ها آسیب کمتری به نمونه‌ها وارد می‌کنند. در نمونه‌های بیولوژیکی، نسبت رویدادهای پراکندگی غیرالاستیک/الاستیک، برای الکترون‌های 500-80keV برابر با ۳ و برای پرتوهای ایکس 1/5Å برابر با ۱۰ می‌باشد. انرژی انباشته شده در هر پراکندگی غیر الاستیک، برای پرتوهای ایکس 1/5Å حدود ۴۰۰ برابر الکترون‌ها می‌باشد (۸keV در مقایسه با ۲۰eV). این بدان معنی است که انرژی ذخیره شده در هر رویداد پراکندگی مفید (الاستیک) برای اشعه ایکس 1/5Å، حدود ۱۰۰۰ برابر بیشتر است.
- * طول پراکندگی الکترون‌ها با عمق نفوذ نوری (حجم «پمپ شده»ی) اکثر نمونه‌ها تطابق بهتری دارد، و این، منجر به آلودگی کمتر حالت پایه الگوهای پراش می‌شود.
- * پراش الکترون فوق سریع برای نمونه‌های فاز گازی سازگارتر است [۳].

در پراش الکترون فوق سریع، برای مشاهده ساختارهای گذرا در سطح اتمی، به دسته‌های الکترونی فمتوثانیه‌ای از مرتبه ۱۰۰ fs نیاز است. امروزه، در بیشتر آزمایش‌های مربوط به این پدیده، دسته‌های الکترونی چند صد فمتوثانیه‌ای را با استفاده از تنگ‌های الکترونی فتوکاتدی DC یا پالسی با انرژی باریکه در حدود 30-60keV تولید می‌کنند (روش قدیمی‌تر) و یا از فوتوگان‌های فرکانس رادیویی برای تولید این دسته‌های الکترونی با بار زیاد از مرتبه‌ی پیکو کولن و انرژی باریکه در حدود 100-300keV استفاده می‌شود. متأسفانه، اثر بار فضایی (دافعه کولنی) در دسته‌های الکترونی با بار زیاد (بیش از ۱۶pC)، اگر انرژی کمی داشته باشند، باعث

سنگین (جیوه) به هموگلوبین، شدت نسبی نقاط پراش را به طور قابل اندازه‌گیری تغییر می‌دهد، و این در اصل، به این معنی است که می‌توان مشکل فاز را حل کرد. در واقع وی، روش جایگزینی هم شکل را برای تعیین ساختار کریستالها اختراع کرده و این روش توسط همکار وی، جان کندرو، برای تعیین ساختار میوگلوبین استفاده شد. این روش از آن زمان تا به امروز، برای تعیین ساختار هزاران پروتئین استفاده شده است. حال فرض کنید که جسم یک شکاف ساده باشد که مورد تابش قرار گرفته است. با در نظر گرفتن موجک‌های کروی هویگنز، دامنه‌ی پراش، به صورت تبدیل فوریه‌ی جسم بیان می‌شود:

$$A_{diff} = f_s \int_{-\frac{w}{2}}^{\frac{w}{2}} e^{-iky \sin \theta} dy$$

که در آن، f_s ، ثابت شکاف، و انتگرال بر روی ابعاد شکاف از $w/2$ تا $w/2 + w$ گرفته شده است. شدت به صورت $I_{diff} = AA^*$ تعریف شده و پس از انتگرال گیری بالا، به رابطه‌ی زیر می‌رسیم:

$$I = I_0 \text{sinc}^2 \left(\frac{\pi x w}{\lambda L} \right)$$

در تصویربرداری، وضعیت کاملاً متفاوت است. بدون در نظر گرفتن صفحه‌ی کانونی پراش در شکل ۵، مشاهده می‌کنیم که، برای ابتدا و انتهای تصویر، تداخل بین پرتوهای فرودی (مرتب صفر) و پرتوهای پراکنده شده (یا پراش یافته) در صفحه‌ی تصویر صورت می‌گیرد. شدت را می‌توانیم به صورت زیر بیان کنیم:

$$I = |f_0 \exp(i(kz + \phi_0)) + f_s \exp(i(kz + \phi_s))|^2 \\ \equiv |f_0|^2 + |f_s|^2 + 2f_0 f_s \cos \phi_s$$

که در آن ϕ_s یک شیفت فازی است که توسط موج پراکنده شده در طول تعامل با نمونه بدست می‌آید. برای نشان دادن این موضوع، فرض کنید f_s واقعی بوده، و ϕ_s را نسبت به ϕ_0 بیان می‌کنیم. تداخل همدوس بین امواج فرودی (\cdot) و پراکنده شده (S) منشا مدولاسیون پراکنده‌ی پس زمینه می‌باشد:

$$|f_b|^2 = |f_0|^2 + |f_s|^2$$

و این مدولاسیون مسئول تغییر کنتراست در صفحه تصویر است. قابل توجه است که این تصویر، ساختار جسم را از طریق تداخل با باریکه‌ی مرجع (که در هولوگرافی نیز چنین است) منعکس می‌کند، در حالی که در پراش، تداخل‌ها به دلیل تفاوت در مسیرهای نوری طی شده از فواصل مختلف درون جسم به وجود می‌آیند. بنابراین، یک اتم منفرد را می‌توان به صورت یک نقطه در صفحه‌ی تصویر، و بدون در نظر گرفتن مشکل فاز فضای متقابل تصویر کرد. اما در عمل، مسائل وضوح و حساسیت نیز باید در نظر گرفته شوند. در نظر داشته باشید که تصویربرداری واقعی و پراش، با تبدیل فوریه به یکدیگر تبدیل می‌شوند. یعنی، تبدیل فوریه‌ی پتانسیل یک جسم باعث ایجاد الگوی پراش می‌گردد. با انجام یک تبدیل فوریه‌ی دیگر بر روی الگوی پراش، تصویر بزرگ‌نمایی شده و معکوس از آن پتانسیل به دست می‌آید (شکل ۶). این رابطه عامل پیشرفت در کریستالوگرافی الکترونی سیستم‌های پیچیده می‌باشد.



شکل ۶: تصویربرداری و پراش توسط تبدیل فوریه. اعمال تبدیل فوریه از یک جسم (شبهه ای از مربع‌ها) به یک الگوی پراش و سپس به یک تصویر در فضای واقعی [۱].

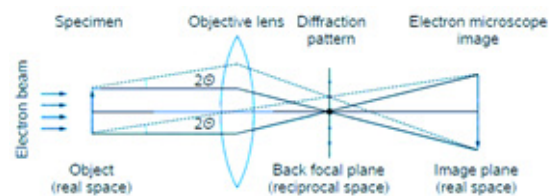
۵- نتیجه گیری

روش پراش الکترونی فوق سریع، اطلاعاتی در مورد تغییرات دینامیکی ساختار مواد ارائه می‌دهد. این روش شبیه به کریستالوگرافی با زمان تفکیک شده است، اما در آن، به جای استفاده از اشعه ایکس به عنوان کاوشگر، از الکترون استفاده می‌شود [۹]. در تکنیک پراش الکترونی فوق سریع، یک پالس نوری لیزر فمتوثانیه (fs) یک نمونه را به حالت برانگیخته و معمولاً غیرتعادلی تحریک می‌کند (پمپ می‌کند). پالس پمپ ممکن است مشخصه‌های شیمیایی، الکترونیکی یا ساختاری نمونه را برانگیخته کند. پس از یک بازه زمانی محدود، یک پالس الکترونی با مدت زمان از مرتبه fs به نمونه برخورد می‌کند.

همانطور که گفته شد، پراش مزایای منحصر به فرد خود را در حل دینامیک ساختاری (تحلیل ساختاری) دارد، زیرا - همانطور که توسط قانون براگ بیان شد - به مختصات بین هسته ای (همبستگی بین موقعیت های اتم ها) بسیار حساس است. طول پیوند، زوایای پیوند، و ثابت های شبکه نمونه هایی از اندازه گیری در این مختصات بین هسته ای هستند که بیشتر مربوط به «تغییرات» در یک ساختار می باشند. در یک آزمایش پراش الکترون های فوق سریع معمولی، تنها تعداد محدودی از مختصات بین هسته ای با تحریک لیزر تغییر می کنند، در حالی که بقیه به عنوان پس زمینه ای استاتیک در نظر گرفته می شوند. این یک تفاوت مهم در تجزیه و تحلیل داده ها بین پراش الکترون فوق سریع و میکروسکوپ الکترونی عبوری می باشد و در بیشتر موارد، تجزیه و تحلیل داده های پراش الکترون فوق سریع را بسیار ساده می کند.

۴- مفهوم همدوسی در تصویربرداری

از هر دو اپتیک هندسی و اپتیک فوریه می‌توان برای نشان دادن فرآیند تصویربرداری استفاده کرد. با این حال، در هر یک از این رویکردها، جزئیاتی پنهان هستند که باید درک شوند تا تصویر واضح‌تری از روابط پراش و تصویربرداری، با ساختار واقعی شی را دست آوریم. در اینجا همدوسی نقش محوری را ایفا می‌کند. همدوسی زمانی در نظر گرفته می‌شود که بیش از یک اتم یا مولکول در آزمایش نقش داشته باشند. در شکل ۵، یک شی، عدسی شیئی، و دو صفحه کاملاً مشخص، صفحه کانونی پشتی و صفحه تصویر نشان داده شده‌اند. یک دسته باریکه‌ی الکترونی با جبهه‌های فاز موازی فلش‌ها به اتم‌های موجود در نمونه تابیده می‌شوند. باید به دو نکته توجه کنیم: دو پرتو پراش نیافته (مرتب صفر) یا به عبارت صحیح‌تر، پرتوهای پراکنده رو به جلو در نقطه ای از صفحه کانونی پشتی لنز (خطوط جامد) متمرکز می‌شوند. پرتوهای ناشات گرفته از ابتدا و انتهای جسم (که به اندازه‌ی 2θ پراکنده شده‌اند) در صفحه کانونی پشتی در «قطعه» دیگری (خطوط نقطه‌ای) کانونی می‌شوند. همه پرتوهای پراکنده شده در زوایای مختلف در کنار هم یک الگوی پراش در صفحه کانونی پشتی لنز ایجاد می‌کنند. مکان این صفحه با فاصله کانونی لنز (f) داده می‌شود، و می‌توان آن را به سادگی با رابطه‌ی $f^{-1} = X^{-1} + Y^{-1}$ که در آن X و Y به ترتیب، فاصله‌ی جسم تا لنز و لنز تا صفحه‌ی تصویر هستند به فاصله‌ی تصویر مربوط کرد. بنابراین، در صفحه‌ی پراش، همدوسی نتیجه‌ی تداخل بین امواج پراکنده شده‌ای است که از اتم‌های جسم منشا می‌گیرند و شکل‌گیری تداخل‌های سازنده یا مخرب به تفاوت در طول مسیر نوری طی شده، بستگی دارد. از نظر مکانیک کوانتومی، تداخل‌ها با فازهای $\exp(iS, r)$ در تابع حالت سیستم N اتمی بیان می‌شوند.



شکل ۵: تصویربرداری و پراش توسط نمودار پرتوها: نمودار پرتوها، تداخل بین پرتوهای پراکنده شده (در صفحه‌ی پراش) و بین پرتوهای پراکنده نشده و پراکنده شده (در صفحه‌ی تصویر) را نشان می‌دهد [۱].

توجه می‌کنیم که از آنجایی که عبارت $\exp(iS, r)$ مختلط است، دامنه، $(\text{Re}2 + \text{Im}2)^{1/2}$ ، و فاز، (Im/Re) ، توسط تمام تداخلات ناشی از کل مجموعه مسافت‌های طی شده در داخل جسم ساختار جسم تعیین می‌شوند. با اندازه‌گیری شدت پراش، ما دامنه‌ی $(I_{diff})^{1/2}$ را به دست می‌آوریم، ولی فازها نامشخص باقی می‌مانند. بنابراین، ساختار را نمی‌توان با تبدیل فوریه ساده این دامنه‌های اندازه‌گیری شده (واقعی) به دست آورد (مسئله فاز). برای سیستم‌های کوچک، که ساختارهای تقریبی آنها از قبل مشخص است، می‌توان فازها را نزدیک به مقادیر واقعی خود حدس زد و با اصلاح ساختار و در نتیجه فازها به طور مکرر، می‌توان به سازگاری بین شدت‌های اندازه‌گیری شده و محاسبه شده، دست یافت. اما برای سیستم‌های بزرگ، که حتی ساختارهای تقریبی آنها نیز ناشناخته است، باید از روش‌های پیشرفته تری استفاده کرد. در دهه‌ی ۱۹۵۰، ماکس پروتز کشف کرد که اتصال یک فلز

خطوط نقطه چین عمودی وضوح فضایی مشخصه تصویربرداری فضای واقعی (میکروسکوپ) را از وضوح فضایی که با استفاده از تکنیک های فضای متقابل (پراش) که به پیکومتر می رسد قابل دستیابی است جدا می کند. خطوط جامد سفید مربوط به ناحیهی میکروسکوپ پرسرعت در مرزهای ۱ ns و ۵۰ nm می باشد.

در شکل ۷ انواع مختلف تصویربرداری با یکدیگر مقایسه شده اند. در تصویربرداری فوق سریع وضوح زمانی اکنون به ps و fs و وضوح مکانی آن به اندازهی وضوح مکانی میکروسکوپ الکترونی عبوری می رسد. این وضوح امکان مطالعهی فرآیندهایی همچون حرکت هسته‌ای، گذار فاز، ساختارهای مولکولی گذرا، و در کل، دینامیک در مقیاس اتمی و مولکولی را فراهم می کند. در تصویر برداری سریع (ns یا آهسته‌تر) بر خلاف تصویربرداری فوق سریع تنها امکان اندازه‌گیری میانگین تغییرات در نرخ تبدیل های فیزیکی و واکنشی در مقیاس های زمانی طولانی تر فراهم می باشد. در تصویربرداری توسط میکروسکوپ الکترونی عبوری نیز به طور مثال، مطالعهی کاتالیزورها تنها در مقیاس زمانی s تا ms ممکن می باشد. همچنین، در تصویر برداری سریع (ns یا آهسته‌تر)، از آنجا که اثر بار فضایی الکترون‌ها اثر محسوسی دارد، وضوح این نوع تصویر برداری بیش از ۵۰ nm ممکن نیست (محدودهی خطوط سفید در شکل ۷). اما در روش تصویربرداری فوق سریع، که می تواند با تک الکترون انجام شود، این دافعهی الکترونی اثری نداشته و وضوح مکانی این روش به اندازهی وضوح تصویر برداری میکروسکوپ الکترونی عبوری، بالا می باشد.

۶- مراجع

- [1] H. Zewail and J. M. Thomas, "4D electron microscopy: imaging in space and time", World Scientific, 2009.
- [2] <https://www.sciencephoto.com/media/157220/view/falling-apple>.
- [3] B. J. Siwick, J. R. Dwyer, R. E. Jordan, and R. D. J. o. A. P. Miller, "Ultrafast electron optics: Propagation dynamics of femtosecond electron packets," vol. 92, no. 3, pp. 1643-1648, 2002.
- [4] W. E. King et al., "Ultrafast electron microscopy in materials science, biology, and chemistry," vol. 97, no. 11, p. 8, 2005.
- [5] S. Nie, X. Wang, H. Park, R. Clinite, and J. J. P. r. l. Cao, "Measurement of the electronic Grüneisen constant using femtosecond electron diffraction," vol. 96, no. 2, p. 025901, 2006
- [6] J. Yang et al., "Femtosecond pulse radiolysis and femtosecond electron diffraction," vol. 637, no. 1, pp. S24-S29, 2011.
- [7] C. Li et al., "Few-Femtosecond MeV Electron Bunches for Ultrafast Electron Diffraction," vol. 17, no. 6, p. 064012, 2022.
- [8] X. Wang and Y. J. C. P. B. Li, "Ultrafast electron diffraction," vol. 27, no. 7, p. 076102, 2018.
- [9] K. J. C. r. Moffat, "Time-resolved biochemical crystallography: a mechanistic perspective," vol. 101, no. 6, pp. 1569-1582, 2001.

معرفی افراد

دکتر زهرا رضایی

دانش آموخته رشته فیزیک کاربردی در مقطع کارشناسی است. او دوره ارشد را در رشته فیزیک، گرایش لیزر در دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات تهران گذرانده و مدرک دکترای خود را در رشتهی فیزیک پلاسما از دانشگاه اراک دریافت نموده است. او هم اکنون محقق مقیم در پژوهشکده ذرات و شتاب‌گرهای پژوهشگاه دانش‌های بنیادی می باشد.



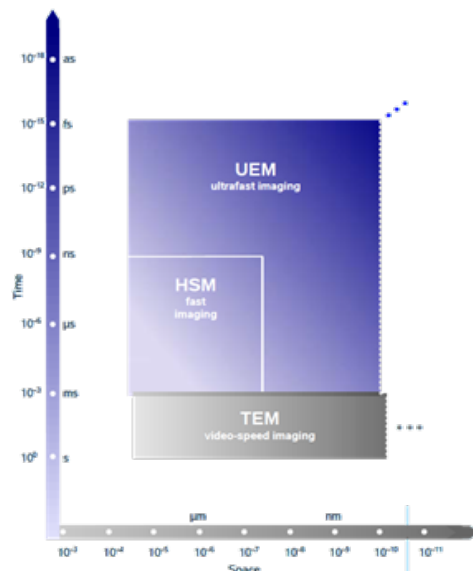
دکتر ساسان احمدیان نمین

دانش آموخته رشته فیزیک در مقطع کارشناسی است. او کارشناسی ارشد خود را در رشته مهندسی کاربرد پرتوها در دانشگاه شهید بهشتی گذراند و برای گذراندن دوره دکتری در رشته مهندسی کاربرد پرتوها به پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای رفت. او هم اکنون محقق پسا دکتری و عضو هیئت علمی در پژوهشکده ذرات و شتاب‌گرهای پژوهشگاه دانش‌های بنیادی است.

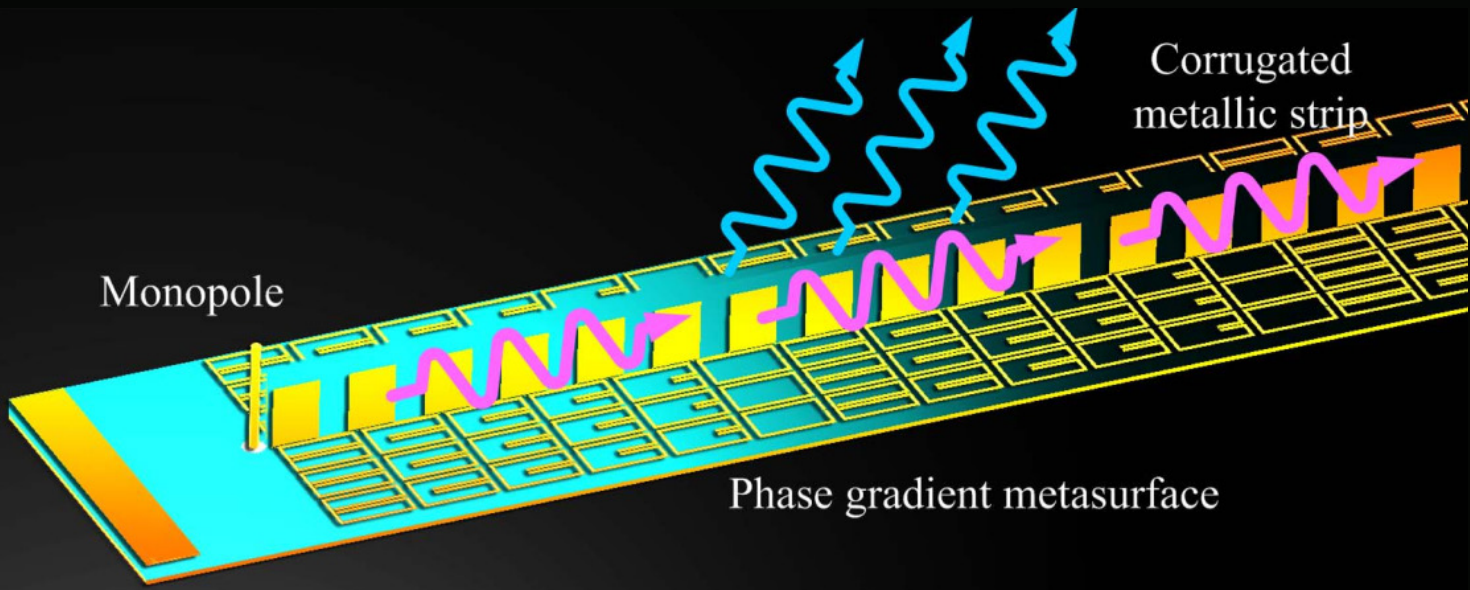


پالس الکترونی در نتیجه برهمکنش با نمونه دچار پراش می شود. سیگنال پراش، متعاقباً توسط یک ابزار شمارش الکترون مانند دوربین CCD تشخیص داده می شود. به طور خاص، پس از پراش پالس الکترونی از نمونه، الکترون‌های پراکنده یک الگوی پراش (تصویر) روی یک دوربین CCD تشکیل می دهند. این الگو حاوی اطلاعاتی در مورد ساختار نمونه می باشد. با تنظیم اختلاف زمانی بین رسیدن باریکه‌های پمپ و کاوشگر (به نمونه)، می توان یک سری الگوهای پراش را به صورت تابعی از اختلاف زمان‌های مختلف بدست آورد. سپس می توان این سری داده‌های پراش را به منظور ایجاد یک تصویر متحرک از تغییرات رخ داده در داده‌ها به هم متصل کرد. این روش می تواند اطلاعات با ارزشی را در مورد دینامیک حامل‌های بار، اتم‌ها و مولکول‌ها ارائه دهد. علاوه بر پراش الکترونی فوق سریع که به طور مثال مکان و فاصله‌ی اتم‌ها در نمونهی مورد آزمایش را آشکار می کند تصویربرداری فوق سریع با میکروسکوپ الکترونی فوق سریع (یعنی ایجاد تصویر در فضای واقعی) نیز مزیت‌های خاص خود را دارد. به طور مثال، مشاهدهی عیوب در مرزهای کریستالی که در آن تصویربرداری تفسیر مستقیمتری از ساختار نقص‌ها را نسبت به پراش ارائه می دهد. این روش به دو صورت می تواند انجام شود: (۱) استروبوکوپی فرآیندهای برگشت پذیر یا تکراری. در این روش، در هر پالس لیزری، تعداد کمی الکترون (حتی یک الکترون) به نمونه تابیده می شود. بنابراین، برای گرفتن کل تصویر به حدود ۱۰ تا ۱۰۰۰ پالس در ثانیه نیاز داریم. می دانیم که شکل‌گیری یک تصویر در فضای واقعی به وضوح حداقل یک الکترون در هر پیکسل تصویر نیاز دارد، اما واقعا ضرورتی برای این تعداد الکترون وجود ندارد. می توان با ایجاد همزمان یک سری فرآیندهای تکراری، یک تصویر را با استفاده از حتی یک الکترون در هر نوردهی ایجاد نمود. این نوع تصویر برداری را (تصویربرداری تک الکترونی) می نامیم.

(۲) تک شات از فرآیندهای برگشت ناپذیر. در تصویربرداری فوق سریع، ما با بسته‌های تک‌الکترونی زمان‌دار سروکار داریم که زمان و طول همدوسی کاملاً مشخصی دارند، و این ویژگی‌ها از ویژگی‌های پرتوهای الکترونی پیوسته‌ی مورد استفاده در پراش و تصویربرداری یکپارچهی زمانی متمایز هستند. علاوه بر این، از آنجا که الکترون‌ها فرمیون هستند، باید پیامدهای اصل طرد پائولی و رفتار در رژیم تک شات را در نظر بگیریم. در نهایت، تصویربرداری با پالس‌های فوق کوتاه روشی کاملاً متفاوت از روش های ضبط ویدئو (میلی ثانیه یا طولانی تر) یا سریع (μs تا ns) الکترونیکی است.



شکل ۷: مقایسهی وضوح زمانی (محور عمودی) و مکانی (محور افقی) میکروسکوپ الکترونی فوق سریع با میکروسکوپ الکترونی عبوری و انواع دیگر تکنیک‌ها (اسکن EM، توموگرافی و هولوگرافی، و همچنین طیف سنجی الکترونی). خطوط نقطه چین عمودی وضوح فضایی تصویربرداری فضای واقعی (میکروسکوپ) را از وضوح فضایی قابل دستیابی توسط تکنیک های فضای متقابل (پراش) که به پیکومتر می رسد، جدا می کند. خطوط جامد سفید مربوط به ناحیهی میکروسکوپ پرسرعت با وضوح‌های زمانی و مکانی به ترتیب ۱ ns و ۵۰ nm می باشد [۱].



مروری به کارهای انجام گرفته مبتنی بر ساختارهای جعلی پلاسمون پلاریتون‌های جعلی به منظور افزایش عملکرد آنتن‌ها

فرشاد ارغنده

۱- ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، Farshad_arghandeh@modares.ac.ir

چکیده

در این مقاله ابتدا مروری بر پلاسمونیک و ساختارهای جعلی پلاسمون پلاریتون‌های سطحی می‌شود. در ادامه تاریخچه پلاسمون پلاریتون‌های سطحی جعلی مورد بررسی قرار داده شده است. و در نهایت مروری بر کارهای انجام گرفته در چند سال اخیر در حوزه پلاسمون پلاریتون‌های سطحی جعلی شده است. اغلب کارهای صورت گرفته در این زمینه اکثراً برای افزایش بهره آنتن صورت گرفته است. هر یک از کارهای انجام شده با استفاده از ایده نو و جدید راهی برای افزایش بهره آنتن استفاده کردند. همچنین اخیراً کارهای انجام شده برای افزایش بهره آنتن با استفاده از تکنیک فشرده سازی ساختاری پیشنهادی را ارائه دادند.

کلیدواژگان: پلاسمون پلاریتون‌های سطحی جعلی، سرآتش، امواج آهسته

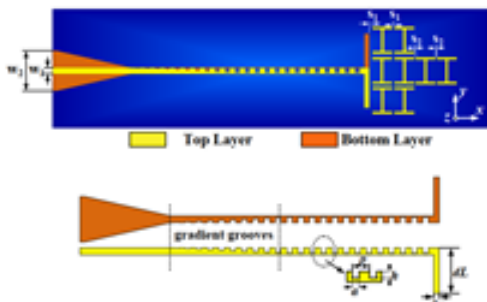
Abstract

In this article, first, an overview of spoof surface plasmon-polaritons structures is given. In the following, the history of spoof surface plasmon polaritons is investigated. And finally, a review of the work done in the last few years in the field of plasmon surface plasmon has been spoof. Most of the works done in this field have mostly been done to increase the gain of the antenna. each of the works done using new and new idea used a way to increase the gain of the antenna. Also recently, the works done to increase the gain of the antenna using the structural compression technique have been proposed..

Keywords: spoof plasmon polaritons surface (SSPP); Endfire; Slow wave;

۱- مقدمه

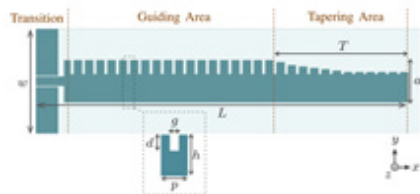
ساختار تابش مستقیم پیشنهادی ویژگی تابش خوبی را در یک باند فرکانس وسیع ۵ تا ۲۰ گیگاهرتز با ابعاد فشرده تر با آنچه در متون باز است نشان می‌دهد. علاوه بر این، پیک بهره به ۹/۹ دی‌بی می‌رسد در حالی که متوسط راندمان می‌تواند به ۹۲ درصد برسد. از این رو ساختار پیشنهادی فشرده است اما عملکرد خوبی در انتقال بالا، بهره بالا و باند وسیع دارد که می‌تواند به عنوان یک آنتن در فرکانس مایکروویو استفاده شود. همچنین، به دلیل پیکربندی مسطح و محصور شدن میدان بالا، موجبر پلاسمون پلاریتون‌های سطحی جعلی قادر است ساختار مسطح فشرده‌ای را ارائه دهد که می‌تواند بسیار بسته به یکدیگر بدون جفت شدن متقابل قابل توجه ساخته شود. مزیت دیگر ساختار پیشنهادی این است که از تغذیه موج آهسته استفاده می‌شود که می‌تواند یکپارچگی سیگنال‌ها را حفظ کند و کاهش تلفات را انجام دهد.



شکل ۲: ساختار پیشنهادی مقاله و افزایش بهره توسط رزوناتورهای I [۸]

در مرجع [۸] یک طرح جدید از آنتن فراماده برای تشعشعات سرآتش برای پلاسمون پلاریتون‌های سطحی جعلی پیشنهاد شده است، که در آن رادیاتور توسط دوقطبی چاپ شده تحقق می‌یابد، و افزایش بهره توسط رزوناتورهای I شکل بارگذاری شده در جهت پایان آتش به دست می‌آید. در مقایسه با دوقطبی‌های چاپی سنتی، سیستم آنتن پلاسمون پلاریتون‌های سطحی جعلی پیشنهادی می‌تواند یکپارچگی سیگنال و کاهش رسانایی کوچک را حفظ کند. در همین حال، به دلیل محدودیت میدان زیاد، موجبر پلاسمون پلاریتون‌های سطحی جعلی می‌تواند ساختار مسطح بسیار فشرده‌تری را ارائه دهد، که می‌تواند بسیار نزدیک‌تر به سایر دستگاه‌های مسطح بدون اتصال متقابل قابل توجه ساخته شود [۹]. در مقایسه با آنتن‌های پلاسمون پلاریتون‌های سطحی جعلی موجود، ساختار پیشنهادی دارای اندازه بسیار کوچکتری است. نمونه ساخته شده برای اعتبارسنجی اندازه‌گیری شده است و نتایج عملکرد خوب ساختار پیشنهادی را نشان می‌دهد. نشان داده شده است که آنتن پلاسمون پلاریتون‌های سطحی جعلی، بهره‌ای در حدود ۷ دی‌بی در فرکانس طراحی شده ۶ گیگاهرتز ارائه می‌دهد. شکل ۲ ساختار پیشنهادی مقاله را نشان می‌دهد.

در مرجع [۱۰] یک آنتن سرآتش را مورد بررسی قرار داده است. همانطور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، آنتن پیشنهادی از سه بخش اصلی شامل انتقال، ناحیه هدایت و ناحیه مخروطی تشکیل شده است.



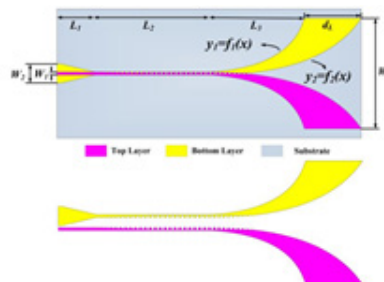
شکل ۳: پیکربندی آنتن پیشنهادی برای افزایش بهره [۱۰]

با این حال، این آنتن سرآتش به دلیل ماهیت تشدید کننده رادیاتور دوقطبی، باند فرکانسی باریکی را نشان می‌دهد. در این مقاله، یک آنتن پایانی موج سفر با استفاده از ساختار جعلی پلاسمون پلاریتون‌های سطحی پیشنهاد شده است. به دلیل ماهیت موج رونده، باند فرکانس عملیاتی گسترده‌ای را نشان می‌دهد. محصور شدن میدان زیرموج و ویژگی تک لایه پلاسمون پلاریتون‌های سطحی جعلی نیز به ماهیت کم پروفایل این آنتن منجر می‌شود. این آنتن برای تولید تابش سرآتش و نزدیک به سرآتش در محدوده فرکانسی ۷/۵ تا ۸/۵ گیگاهرتز استفاده شده است.

پلاسمونیک علمی است که به بررسی اندرکنش نور با یک ساختار فلزی می‌پردازد. هنگامی که نور تحت شرایط خاصی به ساختار فلزی تابیده شود، الکترون‌های موجود در سطح فلز، برانگیخته شده و شروع به یک سری نوسان دسته جمعی خواهند کرد. در نتیجه، این نوسانات با فوتون‌های تابیده شده بر فصل مشترک، تزویج شده و یک سری امواج سطحی در مرز فلز-دی الکتریک ایجاد خواهد شد [۱]. همانطور که نور از فوتون تشکیل شده و فوتون‌ها در واقع واحد کوانتومی نور می‌باشند، به واحد کوانتومی نوسانات ایجاد شده در فصل مشترک فلز-دی الکتریک، پلاسمون گفته می‌شود [۱، ۲]. پلاسمون‌ها در حالت کلی به دو دسته اصلی پلاسمون‌های سطحی موضعی و پلاسمون پلاریتون‌های سطحی تقسیم می‌شوند. دسته اول، تحریک‌های تشدیدی در یک نانو ذره و یا نانو ساختار فلزی هستند که میدان‌ها را به شدت اطراف خود متمرکز می‌سازند و برانگیزش آن‌ها مستلزم برقراری شرایط خاصی نیست. دسته دوم پلاسمون‌ها، تحریک‌های تشعشعی هستند که در فصل مشترک فلز-دی الکتریک به صورت یک سری موج آهسته سطحی منتشر می‌شوند. برانگیزش پلاسمون پلاریتون‌های سطحی، با تابش مستقیم نور بر ساختار فلزی امکان‌پذیر نبوده و برای این منظور باید از روش‌های خاصی بهره گرفت [۱-۳]. در بسیاری از موارد نور توسط فیبرهای اپتیکی هدایت می‌شود، همچنین نور می‌تواند میان یک فلز و یک دی الکتریک هدایت شود. به طور ویژه، تحت شرایط مناسب، نور ممکن است در سطح فلز با الکترون‌های آزاد برهمکنش کند (پلاسمو). نتیجه این برهمکنش ترکیبی از مدهای نوسانی الکترون نور است که به عنوان پلاسمون پلاریتون سطحی شناخته می‌شوند [۴]. پلاریتون‌های پلاسمون سطحی عمدتاً در باند فرکانس بالای مادون قرمز دور وجود دارد. آن‌ها امواج با چگالی الکترونی بسیار موضعی هستند که در امتداد سطح فلز منتشر می‌شوند که توسط برهمکنش میدان الکترومغناطیسی خارجی و الکترون‌های ارتعاشی آزاد روی سطح فلز ایجاد می‌شوند. این نوع موج پلاسمون سطحی انرژی الکترومغناطیسی را در یک محدوده طول موج کوچک محدود می‌کند و به جلو منتشر می‌شود، در حالی که دامنه به طور تصاعدی در جهت عمود بر سطح مشترک کاهش می‌یابد. و پلاسمون پلاریتون‌های سطحی زمینه تحقیقاتی جدیدی از پلاسمو ایجاد کرده‌اند و به سرعت توجه بسیاری را به خود جلب کرده‌اند. محققین فرکانس پلاسمایی فلز در باند فرکانس مادون قرمز و نوری است، در حالی که در باند فرکانس امواج مایکروویو و میلی‌متری، عمق پوست فلز بسیار کم است که به جای یک پلاسمای الکتریکی، به عنوان یک هادی کامل نشان می‌دهد. بنابراین، تحقیق پلاسمون پلاریتون‌های سطحی در باند فرکانس پایین تر اهرتز و مایکروویو خالی بوده است. در نتیجه پندری و همکاران در فرکانس‌های پایین، سطوح ساختار یافته با سوراخ یا شیار پیشنهاد داده‌اند. که به عنوان فرامواد پلاسمونیک معرفی شده‌اند [۵، ۶]. پس از این یک سری کارهای در این حوزه شکل گرفته است. و چندین نوع ساختار متناوبی برای انتقال حال پلاسمون پلاریتون‌های سطحی جعلی پیشنهاد و بررسی شده است. این خطوط انتقال با سوراخ یا شیارهایی به عنوان پلاسمون پلاریتون‌های سطحی جعلی نامیده می‌شوند، که اخیراً توجه زیادی به خود جلب کرده‌اند. گزارش‌های زیادی در این زمینه انجام گرفته است که در این مقاله تعدادی از این مقالات مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

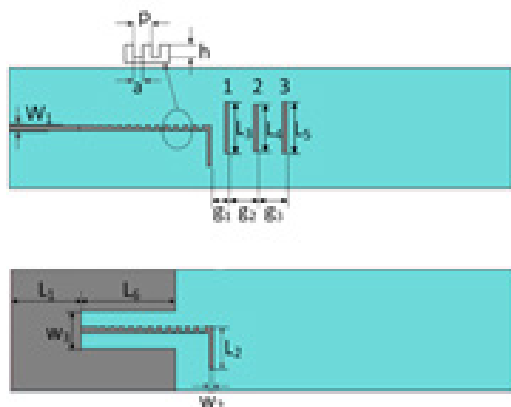
۲- مروری بر کارهای انجام شده

در مرجع [۷] از خط انتقال پلاسمون پلاریتون‌های سطحی جعلی برای تابش مستقیم استفاده کرده است. شکل ۱ ساختار پیشنهادی این مقاله را نشان می‌دهد.



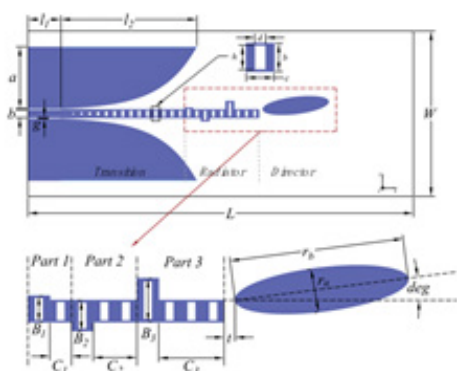
شکل ۱: ساختار پیشنهادی آنتن مبتنی بر پلاسمون پلاریتون‌های سطحی جعلی [۷]

در مرجع [۱۴] یک آنتن سرآتش باند گسترده با بهره بالا بر اساس پلاسمون پلاریتون‌های سطحی جعلی پیشنهاد شده است. موجبر پلاسمون پلاریتون‌های سطحی جعلی از یک نوار فلزی موجدار بسیار نازک و یک لایه زیرلایه دی-الکتریک تشکیل شده است. پلاسمون پلاریتون‌های سطحی جعلی در اینجا برای انتقال انرژی معرفی شده است در حالی که دوقطبی چاپ شده در جهت پایان آتش اضافه می‌شود تا تابش انرژی را درک کند. سه جهت دهنده مانند آنتن یاگی بودا در انتهای آنتن بارگذاری می‌شوند تا جهت دهی آنتن پلاسمون پلاریتون‌های سطحی جعلی را بهبود بخشند و در عین حال اندازه فشرده را حفظ کنند. جهت دهنده‌های مورد استفاده در این مقاله ساختار ساده‌ای را نشان می‌دهند و می‌توانند به طور همزمان به بهره بالا و باند وسیع در مقایسه با آنتن سرآتش پیشنهاد شده در [۸] دست یابند. در این مقاله نشان داده شده است که بهره آنتن حدود ۹/۱۶ دسی‌بی در فرکانس طراحی شده ۷ گیگاهرتز است. آنتن سرآتش پلاسمون پلاریتون‌های سطحی جعلی دارای مزایای طول موج کوچک، راندمان بالا، اندازه فشرده و جهت دهی خوب است. شکل ۷ پیکربندی آنتن پیشنهاد شده را نشان می‌دهد.



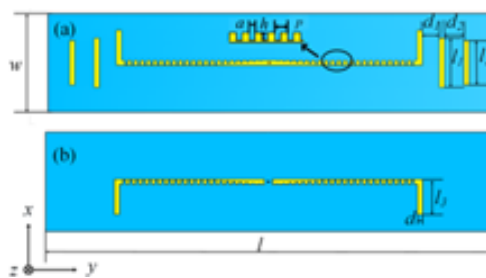
شکل ۷: پیکربندی آنتن یاگی مبتنی بر پلاسمون پلاریتون‌های سطحی جعلی [۱۴].

در مرجع [۱۵] یک طراحی جدید از آنتن سرآتش بر اساس یک پیکربندی تک لایه بدون پایه پلاسمون پلاریتون‌های سطحی جعلی را ارائه داده است. در مقایسه با کارهای قبلی، این آنتن تنها به یک لایه فلزی نیاز دارد که آن را برای کاربردهای مشخصات کم و ساخت آسان استفاده می‌کنند. در همین حال، عناصر تشعشع نامتقارن خط انتقال پلاسمون پلاریتون‌های سطحی جعلی را با یک جهت دهنده ترکیب می‌کند تا یک آنتن سرآتش با بهره بالا ایجاد کنند. شکل ۸ پیکربندی آنتن پیشنهادی را نشان می‌دهد که تشکیل شده از یک صفحه‌ی فلزی، خط انتقال پلاسمون پلاریتون‌های سطحی جعلی و یک جهت دهنده بیضی است.



شکل ۸: پیکربندی آنتن شبه یاگی با یک جهت دهنده بیضی [۱۵].

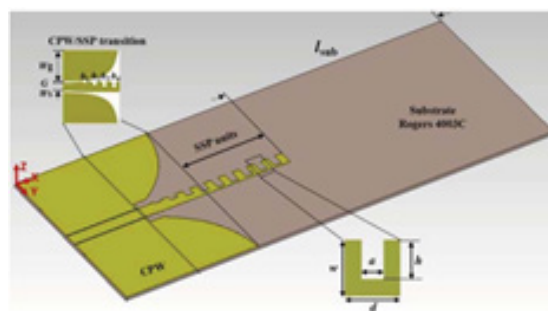
در مرجع [۱۶] یک آنتن سرآتش را ارائه داده، که یک ساختار جدیدی از خط انتقال پلاسمون پلاریتون‌های سطحی جعلی ارائه داده است. شکل ۹ پیکربندی آنتن پیشنهادی را نشان می‌دهد که تشکیل شده از یک صفحه‌ی زمین، خط انتقال پلاسمون پلاریتون‌های سطحی جعلی و یک ناحیه مخروطی می‌باشد. در این مقاله، یک طراحی جدید از یک خط انتقال پلاسمون پلاریتون‌های سطحی جعلی شیار دندانه‌ای را



شکل ۴: پیکربندی آنتن پیشنهادی دو طرفه [۱۱].

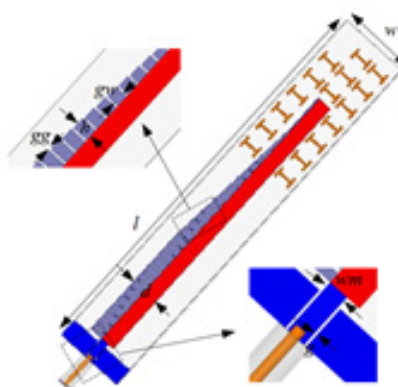
در مرجع [۱۱] یک رویکرد ساده برای تحقق آنتن سرآتش دو طرفه متقارن بر اساس ساختار جعلی پلاسمون پلاریتون‌های سطحی پیشنهاد شده است. شکل ۴ پیکربندی آنتن سرآتش پیشنهادی را نشان می‌دهد. حداکثر بهره دریافتی این آنتن ۷ دسی‌بی در فرکانس ۵/۵ گیگاهرتز می‌باشد. علاوه بر این، کل راندمان تابش آنتن پیشنهادی بالای ۸۵ درصد در بین محدوده فرکانسی در نظر گرفته شده با حداکثر ۹۲ درصد در ۵/۵ گیگاهرتز است. آنتن دو طرفه پیشنهادی به دلیل ساختار یکپارچه و ساده و عملکرد عالی، ارزش زیادی در سیستم ارتباطی مبتنی بر پلاسمون پلاریتون‌های سطحی جعلی دارد.

در مرجع [۱۲] یک آنتن سرآتش تشکیل شده از یک خط CPW، خط انتقال پلاسمون پلاریتون‌های سطحی جعلی و یک صفحه‌ی فلزی زمین ارائه شده است. شکل ۵ پیکربندی آنتن مورد نظر را نشان می‌دهد. زیرلایه دی‌الکتریک آنتن عمداً برای هدایت امواج در حال انتشار بیشتر نگه داشته می‌شود. باریک شدن واحدهای انتقال پلاسمون پلاریتون‌های سطحی جعلی تطبیق امپدانس بهتری را فراهم می‌کند و از این رو به طور قابل توجهی انعکاس را سرکوب می‌کند.



شکل ۵: پیکربندی آنتن پیشنهادی سرآتش با استفاده از اندازه زیرلایه [۱۲].

در مرجع [۱۳] یک آنتن باند پهن باند سرآتش مبتنی بر ساختار جعلی پلاسمون پلاریتون‌های سطحی ارائه شده است. این آنتن در فرکانس ۸ تا ۱۰ گیگاهرتز با متماده H شکل کار می‌کند. گذردهی معادل سلول‌های واحد H شکل بیش از ۱/۴۲ در ۸-۱۰ گیگاهرتز است. نتایج شبیه‌سازی آنتن نشان می‌دهد که اوج بهره آنتن مبتنی بر پلاسمون پلاریتون‌های سطحی جعلی با متماده بین ۷/۱ و ۱۰/۱ دسی‌بی متغیر است. شکل ۶ پیکربندی آنتن را نشان می‌دهد.



شکل ۶: پیکربندی آنتن پیشنهادی مبتنی بر متماده [۱۳].

رفع شکاف ایجاد شده در پترن استفاده شده است. همچنین از متامتریال‌های ایجاد شده در انتهای آنتن برای بهبود تشعشع استفاده شده است.

۴- مراجع

- [1] S. A. Maier, Plasmonics: fundamentals and applications. Springer, 2007.
- [2] W. L. Barnes, A. Dereux, and T. W. Ebbesen, "Surface plasmon subwavelength optics," nature, vol. 424, no. 6950, pp. 824-830, 2003.
- [3] H. A. Atwater, "The promise of plasmonics," Scientific American, vol. 296, no. 4, pp. 56-63, 2007.
- [4] M. Malmqvist, "Biospecific interaction analysis using biosensor technology," Nature, vol. 361, no. 6408, pp. 186-187, 1993.
- [5] J. Pendry, L. Martin-Moreno, and F. Garcia-Vidal, "Mimicking surface plasmons with structured surfaces," science, vol. 305, no. 5685, pp. 847-848, 2004.
- [6] S. A. Maier, S. R. Andrews, L. Martin-Moreno, and F. Garcia-Vidal, "Terahertz surface plasmon-polariton propagation and focusing on periodically corrugated metal wires," Physical Review Letters, vol. 97, no. 17, p. 176805, 2006.
- [7] J. Y. Yin, H. C. Zhang, Y. Fan, and T. J. Cui, "Direct radiations of surface plasmon polariton waves by gradient groove depth and flaring metal structure," IEEE antennas and wireless propagation letters, vol. 15, pp. 865-868, 2015.
- [8] J. Y. Yin et al., "Endfire radiations of spoof surface plasmon polaritons," IEEE antennas and wireless propagation letters, vol. 16, pp. 597-600, 2016.
- [9] H. C. Zhang, T. J. Cui, Q. Zhang, Y. Fan, and X. Fu, "Breaking the challenge of signal integrity using time-domain spoof surface plasmon polaritons," ACS photonics, vol. 2, no. 9, pp. 1333-1340, 2015.
- [10] A. Kandwal, Q. Zhang, X.-L. Tang, L. W. Liu, and G. Zhang, "Low-profile spoof surface plasmon polaritons traveling-wave antenna for near-endfire radiation," IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 17, no. 2, pp. 184-187, 2017.
- [11] D. Tian et al., "Low-profile high-efficiency bidirectional endfire antenna based on spoof surface plasmon polaritons," IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 17, no. 5, pp. 837-840, 2018.
- [12] X.-L. Tang, Q. Zhang, S. Hu, and Y. Chen, "Spoof surface plasmon polaritons (SSPP) for endfire radiation," in 2018 IEEE Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation (APCAP), 2018: IEEE, pp. 414-415.
- [13] X. Li, J. Tao, Y. Li, Y. Chen, and C. Deng, "H-shaped Metamaterial Loaded Wideband Spoof Surface Plasmon Polaritons Antenna," in 2019 Cross Strait Quad-Regional Radio Science and Wireless Technology Conference (CSQRWC), 2019: IEEE, pp. 1-3.
- [14] L. Yang, F. Xu, T. Jiang, J. Qiang, S. Liu, and J. Zhan, "A wideband high-gain endfire antenna based on spoof surface plasmon polaritons," IEEE antennas and wireless propagation letters, vol. 19, no. 12, pp. 2522-2525, 2020.
- [15] L. Liu, M. Chen, and X. Yin, "Single-layer high gain endfire antenna based on spoof surface plasmon polaritons," IEEE Access, vol. 8, pp. 64139-64144, 2020.
- [16] B. Xiao, X. Tu, A. Fyffe, X. Wang, and Z. Shi, "A compact, high gain, spoof surface plasmon polariton sawtooth end-fire antenna," Journal of Modern Optics, vol. 67, no. 7, pp. 654-660, 2020.
- [17] J. Wang, L. Zhao, Z.-C. Hao, S. Zhang, and X. Shen, "Integrated hybrid antenna based on spoof surface plasmon polaritons," IEEE Access, vol. 9, pp. 10797-10804, 2021.

معرفی افراد

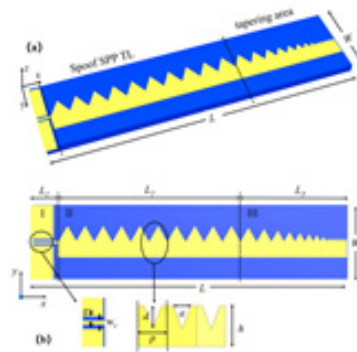
فرشاد ارغنده

مدرک کارشناسی خود را در سال ۲۰۱۹ از دانشگاه یاسوج در رشته مهندسی برق مخابرات دریافت کرد و پروژه کارشناسی خود را در زمینه طراحی، شبیه‌سازی و ساخت آنتنهای

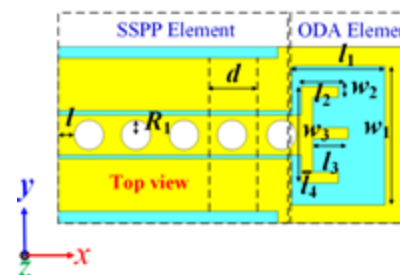
پهن باند با قابلیت حذف باند چندگانه و همچنین پوشش باند فرکانسی WLAN گذراند. او هم اکنون دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی برق-مخابرات میدان و موج در دانشگاه تربیت مدرس است. تخصص او تحلیل، طراحی آنتنهای مبتنی بر ساختار جعلی پلاسمون پلاریتونهای سطحی جعلی است.



پیشنهاد کرده، که یک ناحیه مخروطی را در انتها بارگذاری می‌کند تا تبدیل تشعشع با راندمان بالا را به دست آورد. آنتن پیشنهادی در مقایسه با ساختارهای موجود اندازه کوچک‌تری دارد و به صورت عددی نشان داده که حداکثر بهره می‌تواند به ۱۲/۴ دی‌بی در یک باند فرکانس کاری گسترده از ۶ تا ۱۳ گیگاهرتز برسد.



شکل ۹: پیکربندی آنتن پیشنهادی برای افزایش بهره آنتن [۱۶].



شکل ۱۰: پیکربندی آنتن پیشنهادی [۱۷].

در مرجع [۱۷] یک روش جدید برای تحقق یک آنتن یکپارچه بر اساس پلاسمون پلاریتون‌های سطحی جعلی پیشنهاد شده است که با آنتن همه جانبه و آنتن اسکن پرتو فرکانس ترکیب می‌شود. آنتن همه جانبه توسط پلاسمون پلاریتون‌های سطحی جعلی بر اساس حالت‌های انتقال پایین گذر تغذیه می‌شود و آنتن اسکن پرتو فرکانس با توجه به حالت‌های مرتبه بالاتر پلاسمون پلاریتون‌های سطحی جعلی تغذیه می‌شود. آنتن پیشنهادی دارای ویژگی‌های زیر است: (۱) طراحی پلاسمون پلاریتون‌های سطحی جعلی نه تنها به عنوان ساختار تغذیه آنتن همه جانبه عمل می‌کند، بلکه به عنوان عنصر تابشی برای آنتن اسکن پرتو فرکانس نیز عمل می‌کند. (۲) باند فرکانس کاری پایین‌تر آنتن یکپارچه پیشنهادی ۲/۳۲ گیگاهرتز تا ۴/۴۲ گیگاهرتز را پوشش می‌دهد که به الگوهای تابش همه‌جهته دست می‌یابد و کاربردهای همزمان WLAN و 5G را امکان‌پذیر می‌سازد. (۳) باند فرکانس کاری بالاتر آنتن یکپارچه پیشنهادی از ۱۱/۴۵ گیگاهرتز تا ۲۵/۵ گیگاهرتز است، که زاویه اسکن پرتو گسترده (۷۵ درجه) را نشان می‌دهد و می‌تواند برای سیستم‌های ارتباطی یکپارچه مسطح استفاده شود. (۴) دو آنتن در یک لایه ادغام شده و ساختار ساده، انعطاف‌پذیر و هزینه ساخت کم است. شکل ۱۰ پیکربندی آنتن پیشنهادی را نشان می‌دهد.

۳- نتیجه‌گیری

در این مقاله ابتدا مروری بر پلاسمونیک و ساختارهای جعلی پلاسمون پلاریتون‌های سطحی شده است. همچنین تاریخچه پلاسمون پلاریتون‌های سطحی جعلی مورد بررسی واقع شده است. و در نهایت مروری بر کارهای انجام گرفته در چند سال اخیر در حوزه پلاسمون پلاریتون‌های سطحی جعلی شده است. مخروطی کردن انتهای آنتن برای افزایش تشعشع و سرآتش کردن آن‌ها می‌باشد. استفاده از ساختار دندان اره‌ای باعث افزایش بهره‌ی آنتن شده و بهره آنتن را به ۱۲/۴ دی‌بی رسانده است. در آنتن یو‌دای مبتنی بر پلاسمون پلاریتون‌های سطحی با از جهت‌دهنده‌ها برای افزایش بهره و تشعشع استفاده کرده است و ماکزیمم بهره را به ۹/۱۶ رسانده است. در آنتن یو‌دای مبتنی بر جهت‌دهنده‌ی بیضوی، از این جهت‌دهنده برای تشعشع و



یک طرح حفاظت جدید برای خطوط انتقال HVDC بر اساس توان ظاهری فیلتر DC

محمد امین رضائی گزیک، حسین کاظمی کارگر^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، m.rezaeigazik@mail.sbu.ac.ir

۲- دانشیار، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، h_kazemi@sbu.ac.ir

چکیده

انتقال ولتاژ بالای DC (HVDC) معمولاً برای اتصال سیستم‌های ناهمزمان و ادغام منابع انرژی تجدید پذیر در شبکه‌های الکتریکی استفاده می‌شود. حفاظت از خط انتقال HVDC به دلیل استفاده بسیار زیاد از خط انتقال HVDC برای ایمنی و قابلیت اطمینان شبکه برق ضروری می‌باشد. با این حال، جریان‌های اتصال کوتاه بالا و تحمل کم تجهیزات الکترونیک قدرت در برابر جریان‌های اتصال کوتاه، چالش‌های جدیدی را برای حفاظت از خط انتقال HVDC تحمیل می‌کند. برای پرداختن به این چالش‌ها، بر اساس ویژگی‌های توان ظاهری فیلتر DC، یک طرح حفاظت جدید برای خطوط انتقال HVDC در این مقاله پیشنهاد شده است. مشخصات توان ظاهری عبوری از فیلتر DC از نظر تئوری برای خطاهای داخلی و خارجی در یک دوره ثابت خط تجزیه و تحلیل می‌شود. و از این مشخصات توان ظاهری به عنوان یک طرح حفاظت پشتیبان برای شناسایی خطای خط به زمین که بدترین خطا در میان انواع خطا است، استفاده می‌شود. برای بررسی صحت و اعتبار طرح حفاظت پیشنهادی، از یک سیستم ۵۰۰ کیلو ولت HVDC ساخته شده در PSCAD/EMTDC استفاده می‌شود. شبیه‌سازی‌های انجام شده نشان می‌دهد که طرح حفاظتی پیشنهادی در این مقاله نه تنها می‌تواند خطاهای داخلی و خارجی را به طور دقیق شناسایی کند، بلکه به نرخ نمونه برداری با فرکانس بالا و همگام‌سازی داده‌ها از دو طرف ندارد.

کلیدواژه‌ها: حفاظت، خطای خط به زمین، توان ظاهری، فیلتر DC، انرژی تجدید پذیر

Abstract

High voltage DC (HVDC) transmission is commonly used to connect asynchronous systems and integrate renewable energy sources into electrical networks. Due to the extensive use of the HVDC transmission line, protection of the HVDC transmission line is essential for the safety and reliability of the power grid. However, high short-circuit currents and low tolerance of power electronic equipment against short-circuit currents pose new challenges for HVDC transmission line protection. To address these challenges a new protection scheme for HVDC transmission lines is proposed in this paper based on the apparent power characteristics of the DC filter. The apparent power characteristics passing through the DC filter are theoretically analyzed for internal and external faults in a continuous fault period. Moreover, these appearance power characteristics are used as a backup protection scheme to identify pole-to-ground faults, the worst fault among all faults. A 500 kV HVDC system built in PSCAD/EMTDC is used to verify the validity of the proposed protection scheme. The simulations performed show that the proposed protection scheme in this paper can accurately detect internal and external faults and does not have the rate of high-frequency sampling and data synchronization from both sides.

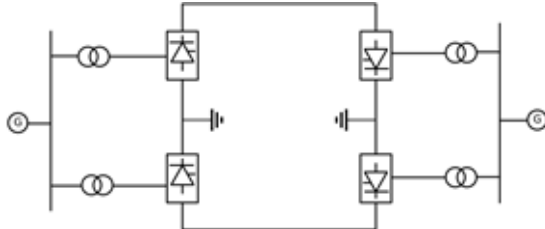
Keywords: Protection; Line to ground fault; HVDC; Apparent power; DC filter; Renewable energy

۱- مقدمه

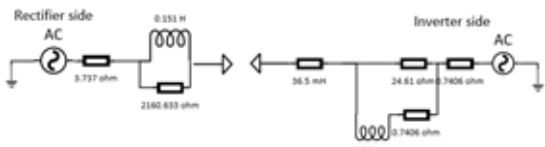
طرح حفاظت در بخش ۴ شرح داده شده است. در بخش ۵، مدل شبیه‌سازی ساخته شده است و تأیید تست حفاظت پیشنهادی ساخته شده است. در انتها در بخش ۶ نتیجه‌گیری این مقاله ارائه می‌شود.

۲- سیستم انتقال HVDC

یک سیستم دوقطبی بازگشت به زمین HVDC در شکل ۱ نشان داده شده است. یک مدل سیستم اولیه HVDC یکپارچه عمدتاً از هفت بخش تشکیل شده است: سیستم AC، ترانسفورماتور، مبدل، فیلتر AC، راکتور صاف کننده، فیلتر DC و خط انتقال.



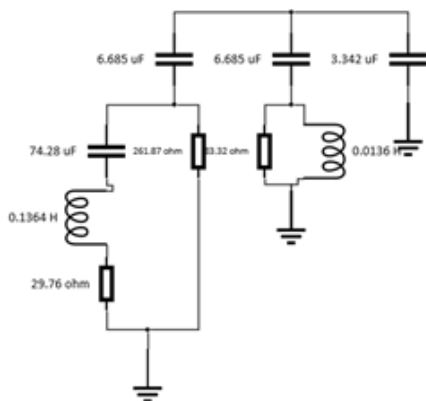
شکل ۱: سیستم انتقال دوقطبی بازگشت به زمین HVDC.



شکل ۲: ساختارهای امیدانس سیستم AC.

به دلیل عدم دستیابی به ظرفیت اتصال کوتاه و ساختار امیدانس یک سیستم AC واقعی، بزرگی امیدانس و زوایای میرایی مناسب را برای ساختن یک سیستم AC قوی انتخاب می‌شود. در همین حال، توان نامی سه فاز روی ۱۰۰ مگا ولت آمپر تنظیم شده است، ولتاژ نامی منبع برق در سمت یکسو کننده روی ۳۴۵ کیلو ولت، ولتاژ نامی منبع برق در سمت اینورتر روی ۲۳۰ کیلو ولت تنظیم شده است. ساختار امیدانس سیستم AC در شکل ۲ نشان داده شده است.

در سمت AC ایستگاه مبدل، دستگاه جبران توان راکتیو توسط چندین فیلتر و خازن غیرفعال موازی تشکیل شده است. علاوه بر سرکوب هارمونیک‌ها، دستگاه جبران توان راکتیو قادر است توان راکتیو را جبران کند، به این دلیل که امیدانس تمام فیلترهای AC امیدانس خازنی در فرکانس توان است [۱۱]. پارامترهای دستگاه جبران توان راکتیو در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳: پارامترهای دستگاه جبران توان راکتیو.

خروجی مبدل با راکتور صاف‌کننده به خط DC متصل می‌شود که برای صاف کردن ریبل جریان DC و جلوگیری از آسیب اضافه ولتاژ استفاده می‌شود. مقدار اندوکتانس در این مدل 0.5H تنظیم شده است.

فیلتر DC به صورت موازی روی خطوط DC نصب می‌شود و نقش اصلی را در سرکوب جریان هارمونیک ایفا می‌کند. فیلترهای دو تنظیم شده و فیلترهای سه گانه برای انتخاب وجود دارد. با توجه به تقارن دو قطب یک ایستگاه، هر قطب باید فیلترهای DC مشابهی را نصب کند. دو فیلتر تنظیم سه گانه در این مدل استفاده شده است و

سیستم انتقال ولتاژ بالای DC با مزایای ارجح مانند فاصله طولانی انتقال قدرت، قابلیت انتقال توان زیاد، کنترل بسیار سریع، تلفات کم، اتصالات سیستم ناهمزمان و ادغام منابع انرژی تجدیدپذیر در شبکه‌های الکتریکی، در شبکه برق مدرن استفاده شده است. با این حال، هنگامی که سیستم‌های HVDC به هم متصل می‌شوند و از آنجایی که خط انتقال HVDC در شرایط آب و هوایی متفاوت استفاده می‌شود، احتمال خطا در شبکه HVDC افزایش می‌یابد و بحث کنترل، پایداری و حفاظت ایجاد می‌شود. حفاظت از خط انتقال DC نقش خیلی مهمی در سیستم‌های کنترل و حفاظت HVDC دارد. زمانی که حفاظت از خط انتقال DC به درستی انجام نشود، خطای DC به درستی از خط انتقال HVDC رفع نمی‌شود و باعث می‌شود که قطب خط انتقال HVDC مسدود شود و قابلیت اطمینان شبکه برق را به خطر اندازد.

چندین نوع از الگوریتم‌های حفاظتی اولیه برای حفاظت از شبکه HVDC پیشنهاد شده‌اند، مانند حفاظت مبتنی بر امواج سیار و حفاظت از مشتق ولتاژ به عنوان حفاظت اصلی و حفاظت دیفرانسیل به عنوان روش حفاظت پشتیبان در خط انتقال HVDC استفاده شده است [۱]. با این حال روش‌های حفاظتی مبتنی بر امواج سیار، حفاظت با سرعت بالا را ارائه می‌دهد و از نرخ تغییر ولتاژ برای شناسایی خطاها استفاده می‌کند. اما به دلیل استفاده تعداد زیادی از تجهیزات اندازه‌گیری، ممکن است در صورت سیگنال‌های فرکانس بالا، مانند نویز و رعدوبرق باعث کارکرد نامطلوب در سیستم HVDC شود و به مقاومت در برابر خطا حساس هستند. الگوریتم‌های حفاظتی مبتنی بر مشتق‌گزیب پذیر خوبی دارند، اما ممکن است برای مقاومت‌های خطای بالاتر چالش برانگیز باشند، و همچنین به فرکانس نمونه برداری بالا، اندازه‌گیری‌های دقیق نیاز دارد.

در حال حاضر بیشتر تحقیقات بر روی حفاظت اصلی متمرکز شده‌اند. مرجع [۲] برای خطوط انتقال HVDC یک روش حفاظت از موج مسافرتی با سرعت بالا ارائه شده است، اما در برابر مقاومت خطا حساس است. حفاظت‌های مختلف با استفاده از جریان تک پایان در مرجع [۳] و [۴] ارائه شده است. یک روش حفاظت دیگر بر اساس ویژگی‌های فرکانس اندازه فیلتر DC و راکتور هموار کننده، خطای داخلی و خارجی مورد تشخیص قرار می‌دهد. حفاظت بر اساس مدل خط انتقال برگردون در [۵] پیشنهاد شده است. اما نمی‌تواند از طول کل خط انتقال DC حفاظت کند و دارای خطاهای اندازه‌گیری است. منابع [۶] و [۷] با استفاده از جهت خطا و انرژی گذرا بین یکسوساز و اینورتر، یک روش حفاظت پیشنهاد داده است. اما این روش حفاظتی در برابر مقاومت خطا حساس است. با این حال، روش‌های حفاظتی مبتنی بر اجزای گذرا فقط می‌توانند در دوره گذرای خطا درست عمل کنند. برای حل این مشکل، مرجع [۸] یک روش حفاظت خط انتقال HVDC مبتنی بر توان راکتیو ارائه کرده است. اما به مقاومت خطا حساس است. مرجع [۹] یک روش حفاظتی بر اساس جریان دیفرانسیل بهبود یافته معرفی می‌کند، اما این روش به داده‌های همزمان نیاز دارد. در مرجع [۱۰] یک روش حفاظتی مبتنی بر نسبت افت ولتاژ بین دو مکان ارائه داده است، که برای تخمین فاصله خطا استفاده می‌شود و به سرعت عمل می‌کند اما فقط برای کابل کوتاه مورد بررسی قرار گرفته است.

یک الگوریتم حفاظت بر اساس ویژگی‌های توان ظاهری فیلتر DC برای خطوط انتقال HVDC در این مقاله پیشنهاد شده است. با توجه به مدار معادل سیستم HVDC، مشخصات توان ظاهری عبوری از فیلتر DC از نظر تئوری برای خطاهای داخلی و خارجی در یک دوره ثابت خطا تجزیه و تحلیل می‌شود. و از این مشخصات توان ظاهری به عنوان یک طرح حفاظت پشتیبان برای شناسایی خطای خط به زمین که بدترین خطا در میان انواع خطا است، استفاده می‌شود. از یک سیستم ۵۰۰ کیلو ولت HVDC ساخته شده در PSCAD/EMTDC برای درستی و صحت حفاظت پیشنهادی در شرایط خطاهای مختلف مورد بررسی قرار گرفته می‌شود.

ادامه این مقاله به شرح زیر است. در بخش ۲، سیستم انتقال HVDC شرح داده شده است. در بخش ۳، الگوریتم حفاظت پیشنهادی معرفی شده است. اصل پیشنهادی

$$\Delta S_R = S_{fault-R} - S_R > 0 \quad (1)$$

$$\Delta S_I = S_{fault-I} - S_I < 0 \quad (2)$$

در نتیجه زمانی که خطای داخلی قطب به زمین رخ می‌دهد، تغییرات توان ظاهری فیلتر DC سمت یکسوساز مثبت است اما تغییرات توان ظاهری فیلتر DC سمت اینورتر منفی می‌شود. و با استفاده از این معیار می‌توان خطای داخلی را در یک سیستم HVDC تشخیص داد.

۴-۲- مشخصات توان ظاهری از خطای خارجی

با کمک دستگاه‌های اندازه‌گیری توان ظاهری دو فیلتر DC در دو طرف خط DC را اندازه‌گیری می‌شود. زمانی که خطای خارجی در شبکه HVDC رخ می‌دهد، توان ظاهری فیلتر DC سمت یکسوساز از توان ظاهری حالت بدون خطا بیشتر می‌شود، در نتیجه $\Delta S_R > 0$ می‌شود و توان ظاهری فیلتر DC سمت اینورتر از توان ظاهری حالت بدون خطا بیشتر می‌شود، در نتیجه $\Delta S_I > 0$ خواهد شد.

$$\Delta S_R = S_{fault-R} - S_R > 0 \quad (3)$$

$$\Delta S_I = S_{fault-I} - S_I > 0 \quad (4)$$

در نتیجه زمانی که خطای خارجی رخ می‌دهد، تغییرات توان ظاهری فیلتر DC سمت یکسوساز مثبت است و همچنین تغییرات توان ظاهری فیلتر DC سمت اینورتر مثبت می‌شود. و با استفاده از این معیار می‌توان خطای خارجی را در یک سیستم HVDC تشخیص داد.

۴-۳- معیار حفاظت

همانطور که در بخش ۳-۲ و ۳-۱ تجزیه و تحلیل شده است، هنگامی که خطای DC رخ می‌دهد، تغییرات توان ظاهری فیلتر DC سمت یکسوساز مثبت می‌شود، اما تغییرات توان ظاهری فیلتر DC سمت اینورتر منفی می‌شود. با این حال، هنگامی که خطای خارجی رخ می‌دهد، تغییرات توان ظاهری هر دو فیلتر DC هم سمت یکسوساز و هم سمت اینورتر مثبت خواهد بود. بنابراین، معیارهای شناسایی خطای داخلی و خارجی تغییرات توان ظاهری دو فیلتر DC می‌باشد.

۴-۴- معیار تشخیص خطاهای خارجی

برای این که بتوان خطای خارجی سمت یکسوساز را از خطای خارجی سمت اینورتر تشخیص داد، در این بخش پیشنهاد می‌شود که با استفاده از تفاضل توان ظاهری دو فیلتر DC (ΔS_d) در سیستم HVDC تمایز بین خطاهای خارجی را به وجود آورد. هنگامی که خطای خارجی سمت یکسوساز رخ می‌دهد، تفاضل توان ظاهری فیلتر DC سمت یکسوساز و توان ظاهری فیلتر DC سمت اینورتر (ΔS_d) منفی می‌شود، همانطور که در فرمول زیر مشاهده می‌شود:

$$\Delta S_d = S_{fault-R} - S_{fault-I} \leq 0 \quad (5)$$

هنگامی که خطای خارجی سمت اینورتر رخ می‌دهد، تفاضل توان ظاهری فیلتر DC سمت یکسوساز و توان ظاهری فیلتر DC سمت اینورتر (ΔS_d) مثبت می‌شود، همانطور که در فرمول زیر مشاهده می‌شود:

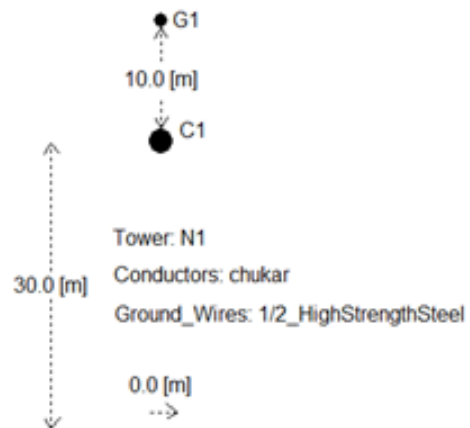
$$\Delta S_d = S_{fault-R} - S_{fault-I} \geq 0 \quad (6)$$

این مقاله روشی را پیشنهاد داد که بتوان در سریع‌ترین زمان ممکن بتوان خطای خارجی سمت یکسوساز را از خطای خارجی سمت اینورتر تشخیص داد.

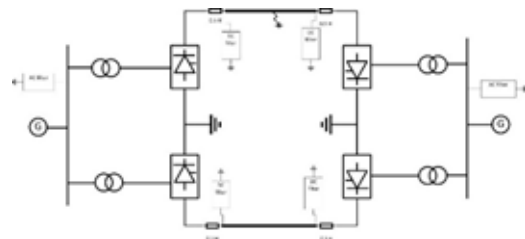
۵- نتایج شبیه‌سازی

یک سیستم ۵۰۰ کیلو ولت HVDC، بر اساس مدل معیار CIGRE HVDC (23) و پارامترهای موجود در یک سیستم عملی انتقال HVDC، برای شبیه‌سازی در نرم‌افزار PSCAD ساخته شده است. فیلترهای DC سه تنظیم شده در ترمینال‌های خط DC نصب شده‌اند و راکتور هموار کننده $L_{SR}=0.5H$ است. مرحله شبیه‌سازی ۲ ثانیه

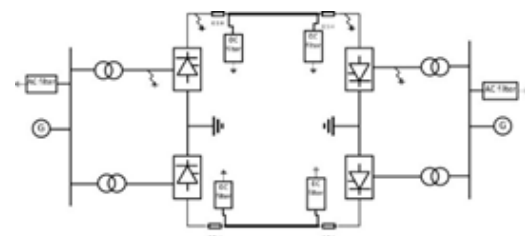
پارامترهای آن‌ها در پیوست نشان داده شده است. مدل وابسته به فرکانس (فاز) استفاده شده و پارامترهای خط انتقال نوع ACSR720/50 در این مدل اتخاذ شده است. میانگین شعاع و مقاومت DC خط انتقال به ترتیب 0.0203454m و 1Ω/km است. صرف نظر از سیم زمین بالای سر، افت روی ۱۰ متر و طول خط DC روی ۱۰۰ کیلومتر تنظیم شده است. برج خط شبیه سازی انتقال HVDC در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴: برج خط انتقال HVDC.



شکل ۵: مدار معادل سیستم HVDC برای خطاهای داخلی.



شکل ۶: مدار معادل سیستم HVDC برای خطاهای خارجی.

۳- الگوریتم حفاظت پیشنهادی

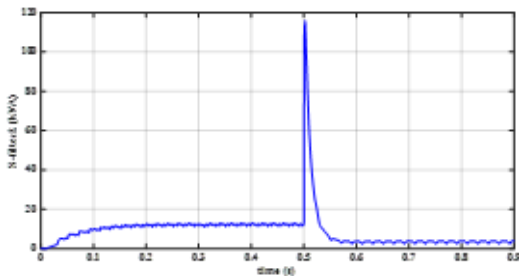
الگوریتم حفاظت پیشنهادی بر اساس توان ظاهری فیلترهای DC در دو طرف خط HVDC می‌باشد. در این روش به کمک ابزارهای اندازه‌گیری توان ظاهری فیلترهای DC در سیستم HVDC اندازه‌گیری می‌شود، سپس با مقایسه توان ظاهری فیلترهای DC هنگامی که خطایی در شبکه رخ نداده است با زمانی که خطایی در شبکه رخ داده است، می‌توان خطای داخلی را از خطای خارجی تشخیص داد. حال برای اینکه بتوان خطاهای خارجی در سمت یکسوساز را از خطای خارجی سمت اینورتر تشخیص داد، پیشنهاد می‌شود که از تفاضل توان ظاهری فیلتر DC سمت یکسوساز و فیلتر DC سمت اینورتر استفاده شود. این الگوریتم می‌تواند خطای داخلی را از خطای خارجی سریع تشخیص دهد.

۴- طرح حفاظت

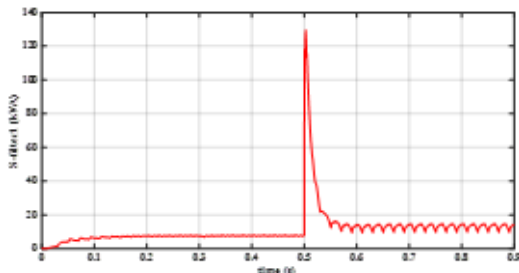
۴-۱- مشخصات توان ظاهری خطای داخلی

با کمک دستگاه‌های اندازه‌گیری توان ظاهری دو فیلتر DC در دو طرف خط DC را اندازه‌گیری می‌شود. زمانی که خطای داخلی قطب به زمین در شبکه HVDC رخ می‌دهد، توان ظاهری فیلتر DC سمت یکسوساز از توان ظاهری حالت بدون خطا بیشتر می‌شود، در نتیجه $\Delta S_R > 0$ می‌شود، در حالی که توان ظاهری فیلتر DC سمت اینورتر از توان ظاهری حالت بدون خطا کمتر می‌شود، در نتیجه $\Delta S_I < 0$ خواهد شد.

رخ دهد، تغییرات توان ظاهری فیلتر DC سمت یکسوساز مثبت می‌شود، اما تغییرات توان ظاهری فیلتر DC سمت اینورتر منفی می‌شود. در این شبیه‌سازی طول خط DC ۱۰۰ کیلومتر فرض شده است و خطای داخلی در کیلومتر ۳۳ به خط DC اعمال شده است. نتایج شبیه‌سازی به شرح زیر می‌باشد:



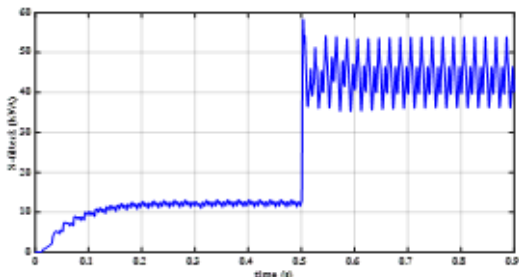
شکل ۱۰: توان ظاهری فیلتر DC سمت اینورتر در هنگام خطای داخلی.



شکل ۱۱: توان ظاهری فیلتر DC سمت یکسوساز در هنگام خطای داخلی.

۵-۲- نتایج شبیه‌سازی خطای خارجی سمت یکسوساز

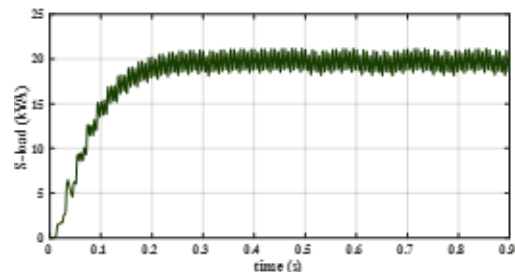
در این شبیه‌سازی زمان اعمال خطای خارجی ثانیه ۰/۵ اتفاق می‌افتد و طول زمانی خطا تا هنگام رفع آن ۰/۵ ثانیه است (از ثانیه ۰/۵ تا ثانیه ۱ خطا رخ می‌دهد). زمانی که خطای خارجی سمت یکسوساز با مقاومت خطای ۵۰ اهم رخ می‌دهد، همانطور که در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود هنگامی که خطای خارجی سمت یکسوساز رخ می‌دهد، توان ظاهری فیلتر DC سمت اینورتر ابتدا یک جهش دارد، و مقدار توان ظاهری فیلتر DC تا ۵۰ مگا ولت آمپر افزایش می‌یابد، سپس بعد از گذشت حالت گذرا مقدار توان ظاهری فیلتر DC سمت اینورتر در همان مقدار ۵۰ مگا ولت آمپر نوسان می‌کند و مشاهده می‌شود که مقدار توان ظاهری فیلتر DC سمت اینورتر هنگامی که خطای خارجی سمت یکسوساز رخ می‌دهد نسبت به حالتی که خطایی در شبکه نمی‌باشد، بیشتر است. در حالی که در شکل ۱۳ فیلتر DC سمت یکسوساز هنگامی که خطای خارجی سمت یکسوساز رخ می‌دهد، توان ظاهری فیلتر DC سمت یکسوساز ابتدا یک جهش دارد، و مقدار توان ظاهری فیلتر DC تا ۴۰ مگا ولت آمپر افزایش می‌یابد، سپس بعد از گذشت حالت گذرا مقدار توان ظاهری فیلتر DC سمت یکسوساز در همان ۴۰ مگا ولت آمپر نوسان می‌کند و مشاهده می‌شود که مقدار توان ظاهری فیلتر DC سمت یکسوساز هنگامی که خطای خارجی سمت یکسوساز رخ می‌دهد نسبت به حالتی که خطایی در شبکه نمی‌باشد، بیشتر است. از این بخش نتیجه می‌شود که اگر خطای خارجی سمت یکسوساز رخ دهد، تغییرات توان ظاهری فیلتر DC سمت یکسوساز مثبت می‌شود و همچنین تغییرات توان ظاهری فیلتر DC سمت اینورتر مثبت می‌شود. نتایج شبیه‌سازی به شرح زیر می‌باشد:



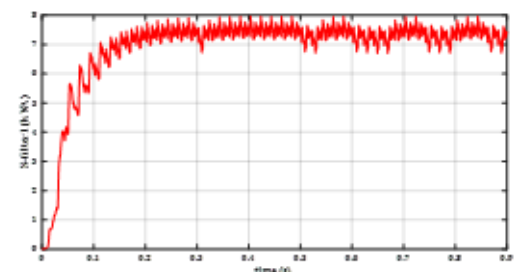
شکل ۱۲: توان ظاهری فیلتر DC سمت اینورتر در هنگام خطای خارجی سمت یکسوساز.

است. زمان خطا ایجاد شده در سیستم HVDC 0.5 ثانیه می‌باشد. به منظور بررسی صحت و اثر بخشی طرح حفاظتی پیشنهادی، انواع مختلفی از خطاها آزمایش شده و خطاهای دائمی در ۱/۵ ثانیه رخ می‌دهد.

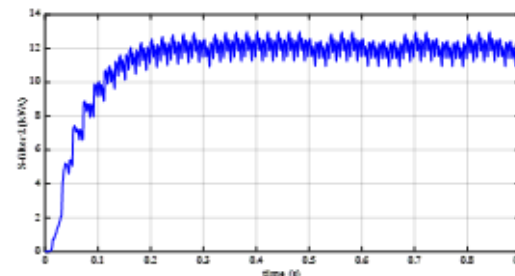
زمانی که در شبکه خطایی رخ ندهد، مقدار توان ظاهری فیلتر DC سمت یکسوساز تا نزدیکی ۸ مگا ولت آمپر می‌رود و مقدار توان ظاهری فیلتر DC سمت اینورتر تا ۱۲ مگا ولت آمپر می‌رسد. این در حالی است که توان ظاهری عبوری از خط DC برابر ۲۰ مگا ولت آمپر است. نتایج شبیه‌سازی به شرح زیر می‌باشد:



شکل ۱۳: توان ظاهری عبوری از خط DC.



شکل ۱۴: توان ظاهری فیلتر DC سمت یکسوساز.

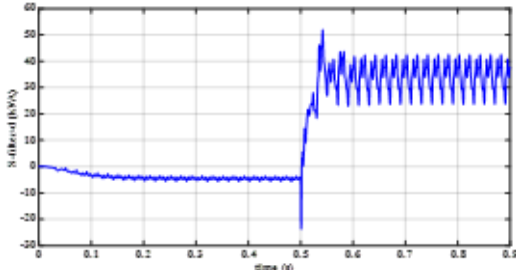


شکل ۱۵: توان ظاهری فیلتر DC سمت اینورتر.

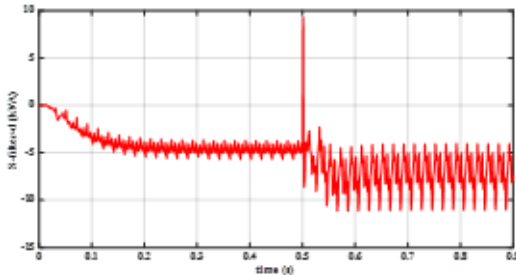
۵-۱- نتایج شبیه‌سازی خطای داخلی

در این شبیه‌سازی زمان اعمال خطای داخلی ثانیه ۰/۵ اتفاق می‌افتد و طول زمانی خطا تا هنگام رفع آن ۰/۵ ثانیه است (از ثانیه ۰/۵ تا ثانیه ۱ خطا رخ می‌دهد). زمانی که خطای داخلی با مقاومت خطای ۵۰ اهم رخ می‌دهد، همانطور که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود هنگامی که خطای داخلی در خط DC رخ می‌دهد، توان ظاهری فیلتر DC سمت اینورتر ابتدا یک جهش دارد، و مقدار توان ظاهری فیلتر DC تا ۱۲۰ مگا ولت آمپر افزایش می‌یابد، سپس بعد از گذشت حالت گذرا مقدار توان ظاهری فیلتر DC سمت اینورتر به ۴ مگا ولت آمپر کاهش می‌یابد و در این مقدار حول آن نوسان می‌کند و مشاهده می‌شود که مقدار توان ظاهری فیلتر DC سمت اینورتر هنگامی که خطای داخلی رخ می‌دهد نسبت به حالتی که خطایی در شبکه کمتر است. در حالی که در شکل ۱۱ فیلتر DC سمت یکسوساز هنگامی که خطای داخلی رخ می‌دهد، توان ظاهری فیلتر DC سمت یکسوساز ابتدا یک جهش دارد، و مقدار توان ظاهری فیلتر DC تا ۱۲۰ مگا ولت آمپر افزایش می‌یابد، سپس بعد از گذشت حالت گذرا مقدار توان ظاهری فیلتر DC سمت یکسوساز به ۱۵ مگا ولت آمپر کاهش می‌یابد و در این مقدار حول آن نوسان می‌کند و مشاهده می‌شود که مقدار توان ظاهری فیلتر DC سمت یکسوساز هنگامی که خطای داخلی رخ می‌دهد نسبت به حالتی که خطایی در شبکه نمی‌باشد، بیشتر است. از این بخش نتیجه می‌شود که اگر خطای داخلی در خط DC

همانطور که در شکل ۱۷ دیده می‌شود، ΔS_p (تفاضل توان ظاهری دو فیلتر DC) منفی می‌شود. از شکل ۱۶ نتیجه می‌شود هنگام اعمال خطا توان ظاهری فیلتر DC سمت یکسوساز ۳۰ مگا ولت آمپر از توان ظاهری فیلتر DC سمت اینورتر بیشتر است. در حالی در شکل ۱۷ مشاهده می‌شود، هنگام اعمال خطای خارجی، توان ظاهری فیلتر DC سمت اینورتر ۸ مگا ولت آمپر از توان ظاهری فیلتر DC سمت یکسوساز بیشتر است. از این بخش نتیجه می‌شود که از روش اختلاف توان‌های ظاهری دو فیلتر DC می‌توان به راحتی خطاهای خارجی را از هم تشخیص داد.



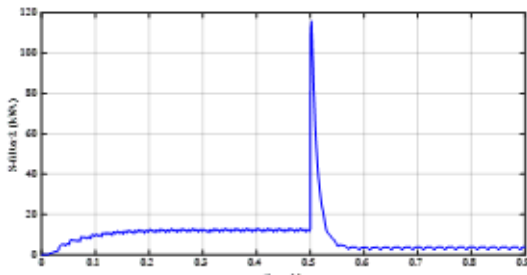
شکل ۱۶: تفاضل توان‌های ظاهری دو فیلتر DC هنگامی که خطای خارجی سمت اینورتر رخ داده است.



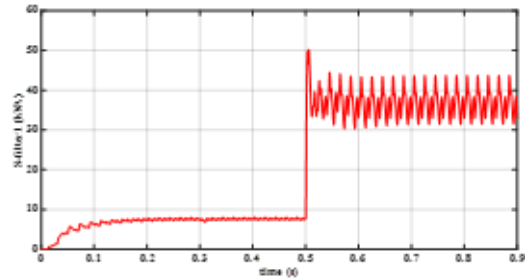
شکل ۱۷: تفاضل توان‌های ظاهری دو فیلتر DC هنگامی که خطای خارجی سمت یکسوساز رخ داده است.

۵-۵- تاثیر فاصله خطا

در این بخش طرح حفاظت پیشنهادی در فواصل مختلف خط DC مورد بررسی قرار می‌گیرد. اگر یک خطای داخلی در سیستم HVDC رخ دهد، توان ظاهری فیلتر DC سمت یکسوساز از توان ظاهری حالت بدون خطا بیشتر می‌شود، در نتیجه $\Delta S_p > 0$ می‌شود، در حالی که توان ظاهری فیلتر DC سمت اینورتر از توان ظاهری حالت بدون خطا کمتر می‌شود، در نتیجه $\Delta S_p < 0$ خواهد شد. اگر طول خط DC ۱۰۰ کیلومتر باشد و مقاومت خطا ۵۰ اهم در نظر گرفته شود، فرض می‌شود که خطای داخلی در کیلومتر ۳۳ خط DC اعمال شود، همانطور که در شکل ۱۸ و ۱۹ مشاهده می‌شود، تغییرات توان ظاهری فیلتر DC سمت اینورتر منفی و تغییرات توان ظاهری فیلتر DC سمت یکسوساز مثبت می‌باشد. حال اگر فاصله خطا را بیشتر شود و خطا در کیلومتر ۶۶ اعمال شود، در شکل ۲۰ و ۲۱ مشاهده می‌شود که تغییرات توان ظاهری فیلتر DC سمت اینورتر منفی و تغییرات توان ظاهری فیلتر DC سمت یکسوساز مثبت می‌باشد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که حفاظت پیشنهادی در برابر خطا قطب به زمین در فواصل مختلف خط DC از قابلیت اطمینان بالایی برخوردار است. و فاصله خطا تاثیری بر این روش حفاظتی ندارد.



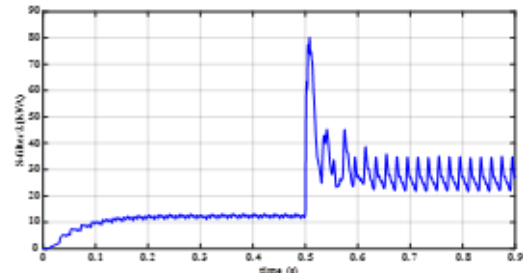
شکل ۱۸: توان ظاهری فیلتر DC سمت اینورتر در هنگام خطای داخلی در کیلومتر ۳۳ خط DC.



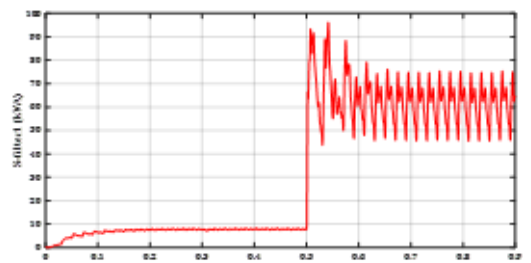
شکل ۱۳: توان ظاهری فیلتر DC سمت یکسوساز در هنگام خطای خارجی سمت یکسوساز.

۵-۳- نتایج شبیه‌سازی خطای خارجی سمت اینورتر

در این شبیه‌سازی زمان اعمال خطای خارجی سمت اینورتر در ثانیه ۰/۵ اتفاق می‌افتد و طول زمانی خطا تا هنگام رفع آن ۰/۵ ثانیه می‌باشد (از ثانیه ۰/۵ تا ثانیه ۱ خطا رخ می‌دهد). هنگامی که خطای خارجی سمت اینورتر با مقاومت خطای ۵۰ اهم رخ می‌دهد، همانطور که در شکل ۱۴ مشاهده می‌شود هنگامی که خطای خارجی سمت اینورتر رخ می‌دهد، توان ظاهری فیلتر DC سمت اینورتر افزایش می‌یابد و به مقدار ۳۰ مگا ولت آمپر می‌رسد و حول آن نوسان می‌کند و مقدار ریبیل این نوسانات ۹ مگا ولت آمپر می‌باشد. مشاهده می‌شود که مقدار توان ظاهری فیلتر DC سمت اینورتر هنگامی که خطای خارجی سمت اینورتر رخ می‌دهد نسبت به حالتی که خطایی در شبکه نمی‌باشد، بیشتر است. در حالی که در شکل ۱۵ فیلتر DC سمت یکسوساز هنگامی که خطای خارجی سمت اینورتر رخ می‌دهد، توان ظاهری فیلتر DC سمت یکسوساز افزایش می‌یابد و به مقدار ۶۰ مگا ولت آمپر می‌رسد و حول آن با مقدار ریبیل ۱۳ مگا ولت آمپر نوسان می‌کند و مشاهده می‌شود که مقدار توان ظاهری فیلتر DC سمت یکسوساز هنگامی که خطای خارجی سمت اینورتر رخ می‌دهد نسبت به حالتی که خطایی در شبکه نمی‌باشد، بیشتر است. از این بخش نتیجه می‌شود که اگر خطای خارجی سمت اینورتر رخ دهد، تغییرات توان ظاهری فیلتر DC سمت یکسوساز مثبت می‌شود و همچنین تغییرات توان ظاهری فیلتر DC سمت اینورتر مثبت می‌شود. نتایج شبیه‌سازی به شرح زیر می‌باشد:



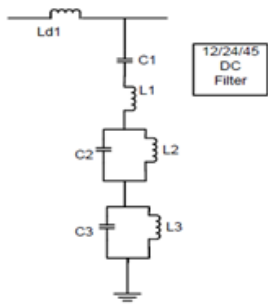
شکل ۱۴: توان ظاهری فیلتر DC سمت اینورتر در هنگام خطای خارجی سمت اینورتر.



شکل ۱۵: توان ظاهری فیلتر DC سمت یکسوساز در هنگام خطای خارجی سمت اینورتر.

۵-۴- نتایج شبیه‌سازی حاصل از اختلاف توان ظاهری دو فیلتر DC

برای تشخیص خطای خارجی سمت یکسوساز از خطای خارجی سمت اینورتر از اختلاف توان ظاهری دو فیلتر DC استفاده می‌شود. همانطور که در شکل ۱۶ مشاهده می‌شود، اگر خطای خارجی سمت اینورتر رخ دهد، ΔS_p (تفاضل توان ظاهری دو فیلتر DC) مثبت می‌شود، در حالی که اگر خطای خارجی سمت یکسوساز رخ دهد،



شکل ۲۴: پیکربندی فیلتر DC برای فیلترهای dc با تنظیم سه گانه [۱۷].

ریپل شکل موج ولتاژ بعد از فیلتر DC در حدود ۱۰ کیلوولت و ریپل شکل موج ولتاژ قبل از فیلتر DC در حدود ۸۰ کیلوولت می‌باشد. نتیجه گرفته می‌شود که فیلتر DC ریپل ولتاژ را کاهش می‌دهد.

۶- نتیجه گیری

در این مقاله یک طرح جدید حفاظت با استفاده از توان ظاهری فیلترهای DC خط DC ارائه شده است. با توجه به مدار معادل توان ظاهری فیلتر DC از نظر تئوری در دوره ثابت خطا برای خطاهای داخلی و خارجی تجزیه و تحلیل می‌شود و از اختلاف توان ظاهری دو فیلتر DC در دو طرف خط DC برای ساخت یک طرح محافظت پشتیبان برای شناسایی انواع مختلف خطای خارجی استفاده می‌شود. برای بررسی صحت و اعتبار روش پیشنهادی، از یک سیستم ۵۰۰ کیلوولت HVDC ساخته شده در PSCAD EMTDC استفاده می‌شود. شبیه سازی های جامع نشان می‌دهد که طرح حفاظتی پیشنهادی می‌تواند خطا قطب به زمین داخلی و خارجی را به طور دقیق شناسایی کند و نیازی به همگام سازی داده ها در دو انتها ندارد. در مقایسه با حفاظت دیفرانسیل جریان سنتی، حفاظت پیشنهادی در برابر تاثیر فاصله خطا، دارای قابلیت اطمینان می‌باشد و به دلیل استفاده از توان ظاهری فیلتر DC حساسیت بالاتری دارد. علاوه بر این، اشاره شده است که طرح حفاظت به تأخیر زمانی کمتری نیاز دارد، بنابراین شناسایی نوع خطا را به طور قابل توجهی تسریع می‌کند. به طور خلاصه، حفاظت پیشنهادی تحت شرایط مختلف خطا به خوبی عمل می‌کند، و آن را برای برنامه های کاربردی در سیستم انتقال HVDC ارزشمند و آینده نگر می‌کند [۱۶].

۷- پیوست

۱- فیلتر dc با تنظیم سه گانه

(آ). مقادیر فیلتر DC شکل ۲۴ که برای مطالعه در نظر گرفته شد [۱۷]، برابر است با:

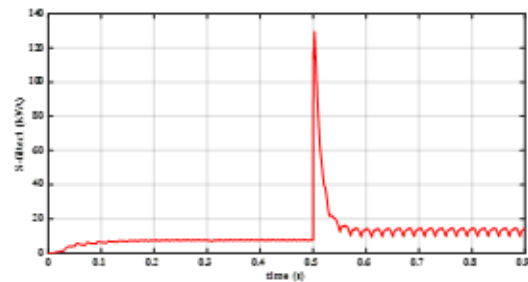
$$(ب). Ld1 = 150 \text{ mH}, C1 = 1.2 \text{ }\mu\text{F}, L1 = 9.345 \text{ mH}$$

$$(ج). C2 = 2.824 \text{ }\mu\text{F}, L2 = 15.919 \text{ mH}$$

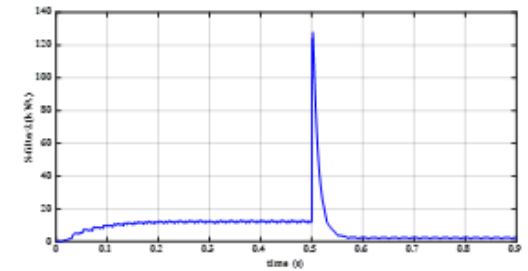
$$(د). C3 = 2.647 \text{ }\mu\text{F}, L3 = 4.656 \text{ mH}$$

۸- مراجع

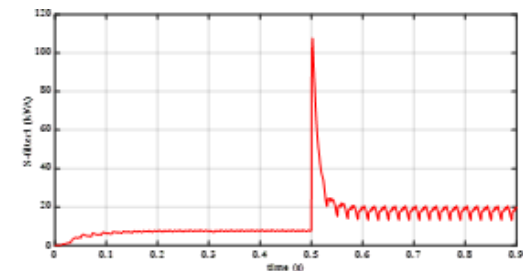
- [1] Anderson, P.M., et al., Power system protection. 2022: John Wiley & Sons.
- [2] Zhang, Y., N. Tai, and B. Xu, Fault analysis and traveling-wave protection scheme for bipolar HVDC lines. IEEE Transactions on Power Delivery, 2012. 27(3): p. 1583-1591.
- [3] Gang, W., et al. Transient based protection for HVDC lines using wavelet-multiresolution signal decomposition. in 2005 IEEE/PES Transmission & Distribution Conference & Exposition: Asia and Pacific. 2005. IEEE.
- [4] Song, G., et al., A new whole-line quick-action protection principle for HVDC transmission lines using one-end current. IEEE Transactions on Power Delivery, 2014. 30(2): p. 599-607.
- [5] Suonan, J., et al., Distance protection for HVDC transmission lines considering frequency-dependent parameters. IEEE Transactions on Power Delivery, 2013. 28(2): p. 723-732.
- [6] Zheng, X., et al., A transient protection scheme for HVDC transmission line. IEEE transactions on power delivery, 2012. 27(2): p. 718-724.
- [7] Takeda, H., et al., New protection method for HVDC lines including cables.



شکل ۱۹: توان ظاهری فیلتر DC سمت یکسوساز در هنگام خطای داخلی در کیلومتر ۳۳ خط DC.



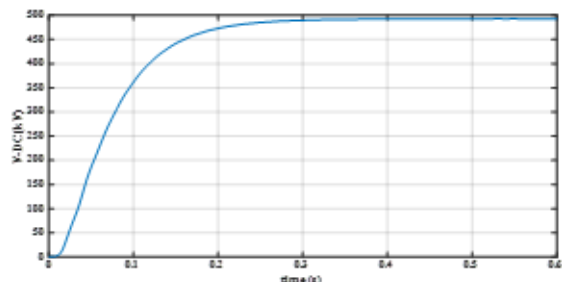
شکل ۲۰: توان ظاهری فیلتر DC سمت اینورتر در هنگام خطای داخلی در کیلومتر ۶۶ خط DC.



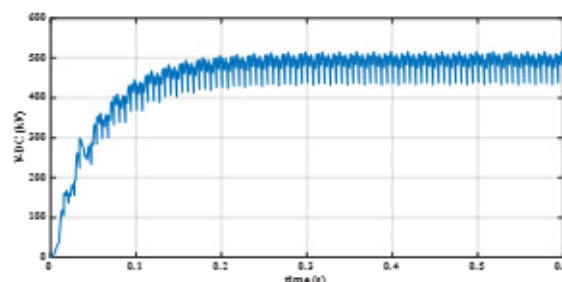
شکل ۲۱: توان ظاهری فیلتر DC سمت یکسوساز در هنگام خطای داخلی در کیلومتر ۶۶ خط DC.

۵-۶- تأثیر فیلتر DC بر ولتاژ خط DC

در این بخش شکل موج ولتاژ قبل از فیلتر DC و بعد از فیلتر DC نمایش داده شده است. شکل موج ولتاژ قبل از فیلتر DC که در شکل ۲۳ مشاهده می‌شود، این شکل موج ولتاژ در مقایسه با شکل موج ولتاژ لینک DC (شکل موج ولتاژ بعد از فیلتر DC) که در شکل ۲۲ آورده شده است، دارای ریپل ولتاژ بسیار زیاد است که فیلتر DC این ریپل ولتاژ را کاهش می‌دهد.



شکل ۲۲: شکل موج ولتاژ بعد از فیلتر DC (ولتاژ لینک DC).



شکل ۲۳: شکل موج ولتاژ قبل از فیلتر DC.



چندین نوع از الگوریتم‌های حفاظتی اولیه برای حفاظت از شبکه HVDC پیشنهاد شده‌اند، مانند حفاظت مبتنی بر امواج سیار و حفاظت از مشتق ولتاژ به عنوان حفاظت اصلی و حفاظت دیفرانسیل به عنوان روش حفاظت پشتیبان در خط انتقال HVDC استفاده شده است [۱]. با این حال روش‌های حفاظتی مبتنی بر امواج سیار، حفاظت با سرعت بالا را ارائه می‌دهد و از نرخ تغییر ولتاژ برای شناسایی خطاها استفاده می‌کند. اما به دلیل استفاده تعداد زیادی از تجهیزات اندازه‌گیری، ممکن است در صورت سیگنال‌های فرکانس بالا، مانند نویز و رعدوبرق باعث کارکرد نامطلوب در سیستم HVDC شود و به مقاومت در برابر خطا حساس هستند. الگوریتم‌های حفاظتی مبتنی بر مشتق گزینش پذیری خوبی دارند، اما ممکن است برای مقاومت‌های خطای بالاتر چالش برانگیز باشند، و همچنین به فرکانس نمونه برداری بالا، اندازه‌گیری‌های دقیق نیاز دارد.

- IEEE Transactions on Power Delivery, 1995. 10(4): p. 2035-2039.
- [8] Luo, S., et al., A directional protection scheme for HVDC transmission lines based on reactive energy. IEEE transactions on Power Delivery, 2015. 31(2): p. 559-567.
- [9] Kong, F., Z. Hao, and B. Zhang, Improved differential current protection scheme for CSC-HVDC transmission lines. IET Generation, Transmission & Distribution, 2017. 11(4): p. 978-986.
- [10] Yang, J., J.E. Fletcher, and J. O'Reilly, Multiterminal DC wind farm collection grid internal fault analysis and protection design. IEEE transactions on power delivery, 2010. 25(4): p. 2308-2318.
- [11] Liu, P., et al. Detailed modeling and simulation of +500kV HVDC transmission system using PSCAD/EMTDC. in 2015 IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC). 2015. IEEE.
- [12] Shilpa, G. and P. Manohar, Hybrid HVDC system for multi-infeed applications. in 2013 International Conference on Emerging Trends in Communication, Control, Signal Processing and Computing Applications (C2SPCA). 2013. IEEE.
- [13] Kotb, O. and V.K. Sood, A hybrid HVDC transmission system supplying a passive load. in 2010 IEEE Electrical Power & Energy Conference. 2010. IEEE.
- [14] Ibrahim, N.F. and S.S. Dessouky, Design and Implementation of Voltage Source Converters in HVDC Systems. 2021: Springer.
- [15] Kouro, S., et al., Recent advances and industrial applications of multilevel converters. IEEE Transactions on industrial electronics, 2010. 57(8): p. 2553-2580.
- [16] Zhang, Y., et al., A new protection scheme for HVDC transmission lines based on the specific frequency current of DC filter. IEEE Transactions on Power Delivery, 2018. 34(2): p. 420-429.
- [17] Guo, J., et al., Global-sensitivity-based theoretical analysis and fast prediction of traveling waves with respect to fault resistance on HVDC transmission lines. IEEE Transactions on Power Delivery, 2015. 30(4): p. 2007-2016.

معرفی افراد

محمد امین رضائی گزیک



متولد سال ۱۳۷۶ تهران، در سال ۱۳۹۹ مدرک کارشناسی خود را در رشته مهندسی برق گرایش قدرت از دانشگاه فردوسی مشهد اخذ نمود و هم‌اکنون دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی برق گرایش الکترونیک قدرت و ماشین‌های الکتریکی دانشگاه شهید بهشتی تهران است. از علاقه‌مندی‌های وی می‌توان به طراحی درایور موتورهای الکتریکی، طراحی منابع تغذیه سوئیچینگ، طراحی مبدل‌های DC به DC اشاره نمود. طراحی درایور موتور BLDC برای شرکت رایزکو از جمله فعالیت‌های اجرایی او به شمار می‌آید.

دکتر حسین کاظمی کارگر



ایشان مدرک کارشناسی مهندسی برق از دانشگاه صنعتی شریف و مدرک کارشناسی ارشد مهندسی برق قدرت دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران و دکترای تخصصی رشته مهندسی برق قدرت از دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران و دکترای حرفه‌ای رشته مهندسی برق قدرت از دانشگاه موناش استرالیا اخذ کرده‌اند. به عنوان استادیار، به گروه حمل و نقل الکترونیکی دانشکده مهندسی برق، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران پیوسته‌اند. ایشان به عنوان عضو کمیته علمی در چندین کنفرانس داخلی و خارجی و سردبیر و داور مجلات بین‌المللی در زمینه سیستم‌های حفاظت شبکه برق همکاری می‌کند. زمینه‌های پژوهشی فعلی او شامل حفاظت ریز شبکه‌ها حفاظت تولیدات پراکنده، حفاظت شبکه‌های هوشمند، حفاظت منابع تجدید پذیر، حفاظت خطوط HVDC، حفاظت سیستم‌های قدرت، حفاظت نیروگاه، حفاظت شبکه‌های توزیع فعال، حفاظت توربین‌های بادی، حفاظت مزارع خورشیدی است.



اندازه‌گیری مدهای طولی کاواک بارگذاری خازنی به روش خط هم محور و بررسی اثر پلانژر بر آن‌ها

محمد استوار^۱، آرش صادقی‌پناه^۲، ساسان احمدیان نمین^۳

۱- کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، عضو دانشجویی IEEE. mohammad.oostovar@ipm.ir

۲- دکتر تخصصی، پژوهشگاه دانش‌های بنیادی، تهران، s.adeghipana@ipm.ir

۳- دکتر تخصصی، پژوهشگاه دانش‌های بنیادی، تهران، sasan.ahmadiannamini@gmail.com

چکیده

کاواک بسامد رادیویی یکی از اجزای شتابدهنده سینکروترون است که می‌تواند کیفیت تابش سینکروترونی را تحت تاثیر قرار دهد. با برانگیخته شدن مدهای مراتب بالاتر کاواک بسامد رادیویی توسط باریکه الکترونی، امکان بروز ناپایداری در باریکه الکترونی و کاهش کیفیت تابش وجود دارد. برای محاسبه امپدانس شانت این مدها که معیاری از میزان قدرت اثرگذاری آن‌ها است، عموماً از روش R/Q که روشی رایج و نیمه تجربی است، استفاده می‌شود. روش خط هم‌محور روشی کاملاً تجربی برای محاسبه امپدانس شانت است که در آزمایشگاه بسامد رادیویی چشمه نور ایران توسعه داده شد و با نتایج حاصل از روش R/Q مقایسه گردید. نتایج اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد که امپدانس شانت محاسبه شده توسط روش خط هم‌محور برای برخی مدها برخلاف روش R/Q مقدار پایین‌تری دارد. همچنین اثر پلانژر به عنوان میراکننده برخی مدهای مراتب بالاتر مورد بررسی قرار گرفت. نتایج اندازه‌گیری نشان داد که پلانژر می‌تواند برخی از این مدها را میرا کند. همچنین اندازه‌گیری‌ها نشان داد که می‌توان فرکانس تشدید مدهای مراتب بالاتر را به کمک پلانژر جابه‌جا تا اثر آن‌ها را بر روی باریکه الکترونی کمتر کرد. **کلیدواژه‌گان:** روش خط هم‌محور، کاواک بسامد رادیویی، امپدانس شانت، مدهای مراتب بالاتر، تطبیق امپدانس

Abstract

The quality of synchrotron radiation is essential to the users, and its improvement is considered an arena of competition between light sources. RF cavity is one of the components of a synchrotron machine that can affect its quality significantly. When excited by the electron beam, higher-order modes of the RF cavity can cause instabilities in the electron beam itself. Hence, identifying such modes' properties and their impact on the beam quality is critical when developing a synchrotron light source. This article represents the coaxial wire method as an accurate measurement technique for the longitudinal HOMs of our laboratory prototype RF cavity and compares the results with the previously achieved ones via the R/Q method. The behavior of the HOMs in the presence of a plunger is also studied. The results show that the plunger can damp some of the HOMs in our laboratory prototype RF cavity without altering the main accelerating modes properties.

Keywords: Coaxial wire method; RF Cavity; Shunt impedance; Higher Order Modes; Impedance matching;

۱- مقدمه

تابش سینکروترونی کاربردهای گسترده‌ای در علوم و صنایع مختلف دارد که می‌تواند سبب پیشرفت آن‌ها شود. علاوه بر این مراحل طراحی، ساخت و راه‌اندازی ماشین مولد این تابش، به سبب آنکه میعادگاه صنایع و علوم مختلف است، می‌تواند سبب توسعه بیش از پیش علم و فناوری شود. طرح ملی چشمه نور ایران یک شتابدهنده سینکروترونی نسل چهارم با جریان ۴۰۰ میلی‌آمپر و انرژی ۳ گیگا الکترون ولت است [۲۰۱] که به عنوان یک ابزار تحقیقاتی مهم در راستای پیشرفت علم و فناوری در سال‌های آینده ایران به شمار می‌رود.

در ماشین شتابدهنده طرح چشمه نور ایران، الکترون‌ها توسط تفنگ الکترونی بسامد رادیویی تولید و دسته می‌شوند و به انرژی ۲ تا ۳ مگا الکترون ولت می‌رسند. در ادامه به منظور فشردگی طولی و حذف کردن دسته‌های کم انرژی، باریکه الکترونی از یک مغناطیس آلفا عبور داده می‌شود و برای تزریق به حلقه افزایش انرژی، توسط یک شتابگر خطی به انرژی ۱۵۰ الکترون ولت می‌رسد [۳ و ۴]. سپس باریکه ۱۵۰ الکترون ولتی برای رسیدن به انرژی نهایی ۳ گیگا الکترون ولت وارد حلقه افزایش انرژی شده و به انرژی نهایی خود می‌رسد. در نهایت باریکه ۳ گیگا الکترون ولتی برای استفاده کاربران، از حلقه افزایش انرژی به حلقه انبارش منتقل می‌شود. پارامترهای اصلی حلقه انبارش طرح چشمه نور ایران در جدول ۱ ارائه گردیده است [۵ و ۶].

یکی از قسمت‌های مهم این شتابدهنده که عملکرد مطلوب آن می‌تواند منجر به افزایش کیفیت تابش سینکروترونی شود، سامانه بسامد رادیویی است که وظیفه تأمین انرژی باریکه الکترونی را بر عهده دارد. این سامانه از زیر بخش‌های مختلفی همچون مولد توان رادیویی، سیستم بسامد رادیویی کم توان و کاواک شتابدهی تشکیل شده است که همگی در مقیاس آزمایشگاهی مورد تحقیق و توسعه قرار گرفته‌اند [۷ و ۸ و ۹].

جدول ۱: پارامترهای اصلی حلقه انبارش چشمه نور ایران [۱].

پارامتر	واحد	مقدار
انرژی باریکه الکترونی	گیگا الکترون ولت	۳
جریان باریکه الکترونی	میلی آمپر	۴۰۰
امپیتنس	نانومتر-رادبان	۰/۲۸
محیط حلقه	متر	۵۲۸
فرکانس بسامد رادیویی	مگاهرتز	۱۰۰
بیشینه ولتاژ بسامد رادیویی	مگا ولت	۱/۵

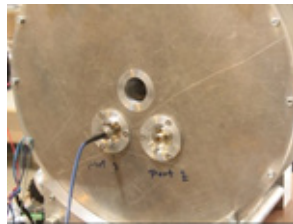
کاواک شتابدهی طرح چشمه نور ایران از نوع بارگذاری خازنی می‌باشد که وظیفه انتقال توان بسامد رادیویی به باریکه الکترونی را بر عهده دارد [۱۰]. از آنجایی که مدهای طولی مراتب بالاتر کاواک شتابدهی می‌تواند سبب ایجاد ناپایداری طولی قابل ملاحظه‌ای بر روی باریکه الکترونی و به تبع آن سبب کاهش کیفیت تابش سینکروترونی و حتی از دست رفتن باریکه الکترونی شود، توسعه روش‌های مختلف اندازه‌گیری مشخصه‌های این مدها (ضریب کیفیت و امپدانس شانت) بر روی یک نمونه آزمایشگاهی، علاوه بر آن که ما را در صحت سنجی نتایج توانا می‌سازد، می‌تواند سبب اشراف ما در طراحی و ساخت هر چه بهتر نمونه نهایی کاواک شتابدهی و چگونگی مهار این مدهای طولی شود. به همین سبب علاوه بر روش نسبت R/Q روش دیگری بدین منظور بر روی کاواک شتابدهی آزمایشگاهی، مورد توسعه و تحقیق قرار گرفت. عیب روش نسبت R/Q آن است که روشی کاملا آزمایشگاهی نیست و وابسته به نتایج شبیه‌سازی است. روش اختلالی نیز با اندازه‌گیری نرمالیزه توزیع میدان الکتریکی می‌تواند امپدانس شانت را محاسبه کند [۱۱]. اما به دلیل نداشتن مشخصات دقیق ضریب گذردهی الکتریکی و ضریب نفوذپذیری مغناطیسی گوی و خطاهای مکانیکی به خصوص در فرکانس‌های بالا، محاسبه امپدانس شانت به کمک این روش می‌تواند خطای بیشتری را به نتایج تحمیل کند. همچنین استفاده از میدان‌های عقبه‌ای باریکه، به منظور محاسبه امپدانس شانت کاواک نیازمند رایانه‌ای با حافظه رم بالا و پردازنده‌ای قوی است. علاوه بر این، روشی کاملا شبیه‌سازی است.

روش خط هم محور یک روش کاملا تجربی برای محاسبه و اندازه‌گیری امپدانس شانت مدهای کاواک شتابدهی است [۱۲] که بر خلاف اندازه‌گیری اختلالی خطای مکانیکی ندارد. این روش با مدلسازی میدان‌های باریکه الکترونی، امپدانس شانت را اندازه‌گیری می‌کند [۱۳ و ۱۴]. با قرارگیری سیمی بر روی محور مرکزی کاواک، ساختاری هم محور ساخته می‌شود که توزیع میدان‌های الکترومغناطیسی درون آن مشابه توزیع میدان‌های طولی باریکه الکترونی است که بدین وسیله می‌توان ادوات مختلف شتابدهنده‌ها همچون محفظه خلاء که درگاه RF ندارند را بررسی و ارزیابی کرد [۱۵ و ۱۶ و ۱۷]. آنچه در این روش اهمیت دارد نازک بودن سیم مرکزی و تطبیق امپدانس بین کابل کوکسیال تحلیگر شبکه و خط انتقال ایجاد شده است.

در این مقاله، ابتدا امپدانس شانت مدهای طولی مراتب بالاتر کاواک، به کمک روش R/Q و سپس با استفاده از روش خط هم محور در محیط شبیه‌سازی و تجربی محاسبه و اندازه‌گیری گردید. همچنین اثر تطبیق امپدانس بر نتایج مورد بررسی قرار گرفت. در مرجع [۹] در محیط شبیه‌سازی مشاهده گردید که پلانتر علاوه بر آن که می‌تواند سبب جابه‌جایی فرکانس تشدید مدهای مراتب بالاتر شود می‌تواند سبب میرایی برخی از این مدها نیز شود. که به منظور بررسی دقیق‌تر و تجربی اثر پلانتر بر روی این مدها، امپدانس شانت این مدها در حضور پلانتر به کمک روش خط هم محور در ادامه مقاله مورد محاسبه و بررسی قرار گرفت.

۲- روش R/Q

یک روش رایج و ساده برای اندازه‌گیری امپدانس شانت مدهای یک کاواک بسامد رادیویی، روش R/Q است. در این روش، نسبت R/Q هر مد تشدید از طریق شبیه‌سازی محاسبه می‌شود و مقدار ضریب کیفیت Q مدها با استفاده از تحلیگر شبکه و آنتن‌های نمونه‌گیر اندازه‌گیری می‌شود. با فرض یکسان بودن مقدار نسبت R/Q شبیه‌سازی و اندازه‌گیری، امپدانس شانت R هر مد تشدید قابل محاسبه است ($(R/Q)_{sim} = (R/Q)_{meas}$). برای این منظور، ابتدا مقادیر Q بار نشده این مدها با استفاده از پارامتر S_{21} بین دو آنتن نمونه‌گیر واقع در دیواره انتهایی کاواک به کمک تحلیگر شبکه اندازه‌گیری شدند (شکل ۱) و در مقدار R/Q حاصل از شبیه‌سازی متناظر با هر مد ضرب شدند. مقدار امپدانس شانت محاسبه شده از این روش برای مدهای طولی مراتب بالاتر کاواک در جدول ۲ ارائه گردیده است.



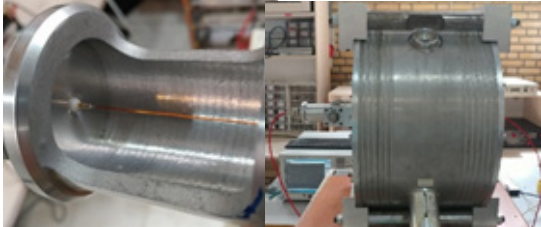
شکل ۱: راست: تعبیه پورت‌های نمونه‌گیر بر روی بدنه کاواک، چپ: آنتن نمونه‌گیر.

جدول ۲: امپدانس شانت محاسبه شده مدهای طولی کاواک بسامد رادیویی به کمک نسبت R/Q .

فرکانس مدها (مگاهرتز)	R/Q (شبیه‌سازی (اهم))	ضریب کیفیت بار نشده، اندازه‌گیری	R_{sh} (اندازه‌گیری (کیلو اهم))
۶۲۶	۷/۱۳	۱۲۳۰۰	۸۷/۵
۱۱۵۸	۱۵/۸۸	۱۴۰۰۰	۲۲۲
۱۳۰۵	۱۲/۲۷	۱۲۵۰۰	۱۵۳/۵
۱۶۵۷	۵/۰۳	۱۲۰۰۰	۶۶
۱۸۹۵	۶/۹۹	۱۰۵۰۰	۸۰
۲۳۵۸	۲/۰۲	۱۰۰۰	۲۲

۳- روش خط هم‌محور

همچنین ساختار مدلسازی شده، در محیط آزمایشگاهی بدون داشتن شرایط تطبیق امپدانس پیاده‌سازی گردید (شکل ۴). با اندازه‌گیری پارامترهای $S_{21,ref}$ و $S_{21,dut}$ توسط تحلیلیگر شبکه مدل (AGILENT-E5071C)، امپدانس شانت مدهای طولی مطابق رابطه (۱) محاسبه گردید. در جدول ۳ مقادیر امپدانس شانت مدهای طولی مراتب بالاتر بدست آمده به کمک روش خط هم‌محور در دو محیط شبیه‌سازی و آزمایشگاهی بدون شرایط تطبیق ارائه شده است.

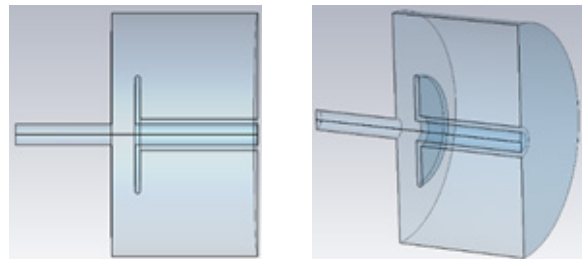


شکل ۴: راست: چیدمان اندازه‌گیری، چپ: درون ساختار هم‌محور.

اختلاف بین ساختار کاواک در محیط شبیه‌سازی و آزمایشگاهی عیب اصلی روش R/Q برای محاسبه امپدانس شانت کاواک است. به هر میزان که کاواک ساخته شده با کاواک طراحی شده فاصله داشته باشد، به همان میزان نیز استفاده از رابطه اخیر خطا خواهد داشت. همانطور که در مقدمه اشاره شد، روش خط هم‌محور روشی کاملاً آزمایشگاهی است. بنابراین برای دوری از هر گونه خطای احتمالی از روش خط هم‌محور بهره گرفته شد. در شکل ۲ چیدمان محاسبه امپدانس شانت با استفاده از این روش نشان داده شده است.

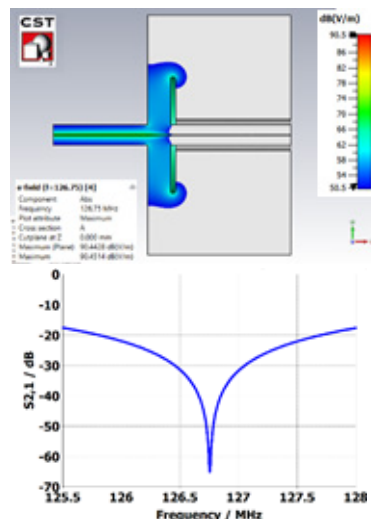
در این چیدمان، ابتدا برای جلوگیری از گسستگی میدان‌ها بین دیواره و پورت، یک استوانه تو خالی به قطر ۴۰ میلی‌متر که هم شعاع با مسیر حرکت باریکه الکترونی است بر روی دیواره نزدیک به قارچی شکل قرار گرفت. سپس برای ایجاد ساختاری هم‌محور، سیمی نازک از جنس مس به قطر ۰/۴۵ میلی‌متر بر روی محور مرکزی کاواک قرار گرفت. در نهایت به منظور تکمیل چیدمان اندازه‌گیری دو پورت ۵۰ اهمی در دو طرف ساختار تعبیه گردید. حال با تحریک ساختار ایجاد شده در فرکانس مورد نظر می‌توان با محاسبه و یا اندازه‌گیری پارامتر S_{21} ، به کمک رابطه (۱) امپدانس شانت متناظر با فرکانس آن مد را بدست آورد [۱۵].

$$Z = Z_0 \left(\frac{S_{21,ref}}{S_{21,dut}} - 1 \right) \quad (1)$$



شکل ۲: راست: ساختار سه بعدی، چپ: دوبعدی.

مدلسازی چیدمان یاد شده در محیط شبیه‌سازی به کمک نرم‌افزار CST و محاسبه S_{21} به وسیله حل‌کننده حوزه فرکانس انجام شد [۱۶]. در رابطه بالا Z_0 امپدانس مشخصه خط انتقال ایجاد شده، $S_{21,REF}$ پارامتر پراکندگی خط انتقال بدون حضور کاواک و $S_{21,DUT}$ پارامتر پراکندگی خط در حضور کاواک است. هنگامی که ساختار هم‌محور ایجاد شده شکل ۲ در فرکانس‌های متناظر با فرکانس تشدید مدهای طولی کاواک تحریک می‌شود، موج منتشر شده مطابق شکل ۳ در آن مد تشدید می‌دهد می‌افتد. مقدار پارامتر پراکندگی $S_{21,DUT}$ شدت این به دام افتادگی را نشان می‌دهد که می‌توان به کمک آن، امپدانس شانت مدهای طولی متناظر با هر فرکانس را مطابق رابطه (۱) محاسبه کرد.



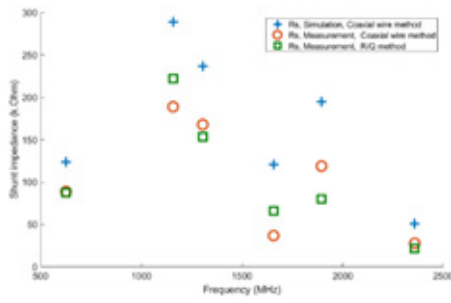
شکل ۳: (بالا) توزیع میدان الکتریکی به دام افتاده در ساختار هم‌محور ایجاد شده، پایین) پارامتر پراکندگی $S_{21,DUT}$ در نرم‌افزار CST.

جدول ۳: امپدانس شانت ۶ مد طولی مرتبه بالاتر کاواک بسامد رایویی به کمک روش خط هم‌محور در دو محیط شبیه‌سازی و آزمایشگاهی بدون شرایط تطبیق امپدانس.

امپدانس شانت، آزمایشگاهی (کیلو اهم)	امپدانس شانت، شبیه‌سازی (کیلو اهم)	فرکانس (مگاهرتز)
۱۴۴	۱۲۴	۶۲۶
۱۳۰	۲۸۹	۱۱۵۸
۸۰	۲۳۷	۱۳۰۵
۸۹	۱۲۱	۱۶۵۷
۲۲	۱۹۵	۱۸۹۵
۲۸	۵۱	۲۳۵۸

نکته‌ای که باید در این روش بدان توجه داشت آن است که توان برگشتی از محل اتصال بین کابل کوکسیال و خط هم‌محور می‌تواند به نتایج خوانده شده از پورت دیگر اضافه شده و خطا ایجاد کند. لذا باید تطبیق انجام گیرد تا این توان برگشتی از محل اتصال به حداقل مقدار ممکن برسد. در محیط شبیه‌سازی، ایجاد شرایط تطبیق بدون طراحی شبکه تطبیق به راحتی انجام گرفت. اما در عمل باید شبکه تطبیق پیاده‌سازی شود. برای تطبیق امپدانس روش‌های مختلفی همچون مبدل ربع موج، خطوط باریک شونده و شبکه‌های المان فشرده وجود دارد [۱۹]. از آنجایی که اندازه‌گیری‌ها در ۷ فرکانس متفاوت در بازه ۱۲۰ تا ۲۴۰۰ مگاهرتز انجام می‌شود، باید شرایط تطبیق را در بازه فرکانسی بزرگی مهیا کرد. مبدل ربع موج شرایط تطبیق را در پهنای باند باریکی را ایجاد می‌کند، همچنین در فرکانس‌های پایین طول آن‌ها زیاد می‌شود. خطوط باریک شونده نیز با اینکه شرایط تطبیق را در پهنای باند بیشتری ارائه می‌کند اما در فرکانس‌های پایین همانند مبدل ربع موج طول آن‌ها زیاد شده و دشواری‌های ساخت و مکانیکی زیادی را به همراه دارد. به سبب آنکه اندازه‌گیری‌ها در ۷ فرکانس مجزا انجام می‌شود، می‌توان به منظور فراهم نمودن شرایط تطبیق از ۷ مبدل ربع موج متناسب با آن فرکانس استفاده کرد که این روش نیز بهینه و اقتصادی نیست.

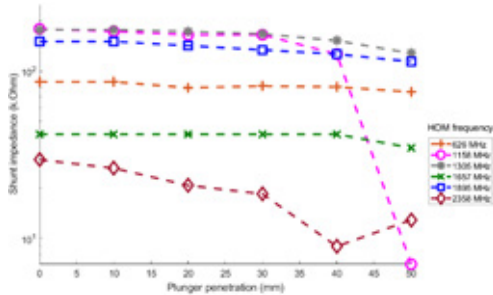
از آنجایی که در این روش اندازه‌گیری توان عبوری از سیم مسی مرکزی پایین و حدود ۱۰ میلی وات است. و همچنین تلفات توان نیز در استخراج نتایج اهمیت



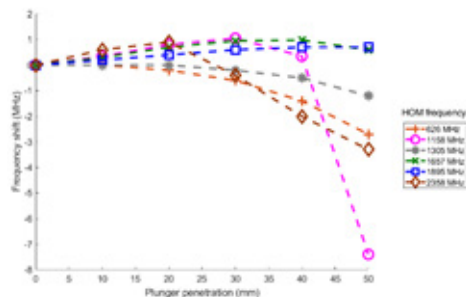
شکل ۷: مقادیر امپدانس شانت شش مد طولی مرتبه بالاتر با استفاده از دو روش نسبت R/Q و روش خط هم‌محور.

۴- اثر پلانژر بر روی مدهای مراتب بالاتر

برخی از مدهای طولی مراتب بالاتر به دلیل داشتن امپدانس شانت بالا می‌توانند اثر بسزایی در ناپایداری باریکه الکترونی در راستای طولی داشته باشند. بنابراین کنترل و میرایی این مدها به منظور حفظ کیفیت تابش سینکروترونی و پایداری باریکه الکترونی ضروری است. یک روش مرسوم و پرکاربرد برای حذف اثر نامطلوب این مدها، خارج کردن این مدها از کاواک توسط یک یا چند کوپلر، و انتقال و تلف کردن آن در یک بار است [۲۲]. همچنین با جابه‌جا کردن فرکانس تشدید این مدها می‌توان از بروز ناپایداری در باریکه الکترونی جلوگیری کرد [۲۳]. پلانژر به عنوان میراکننده مدهای مراتب بالاتر، روشی است که در مرجع [۲۴] مورد بررسی قرار گرفت. در شبیه‌سازی‌های گذشته کاواک نمونه آزمایشگاهی چشمه نور ایران مشاهده گردید که نفوذ پلانژر می‌تواند سبب میرایی برخی از این مدها شود [۹]، که به منظور صحت سنجی نتایج حاصل، امپدانس شانت مدهای طولی مرتبه بالاتر در حضور پلانژر به کمک روش خط هم‌محور اندازه‌گیری شد. این نتایج در شکل ۸ ارائه گردیده است. همچنین جابه‌جایی فرکانس تشدید این مدها به ازای عمق نفوذهای مختلف در شکل ۹ گزارش شده است.



شکل ۸: اثر عمق نفوذ پلانژر بر مقادیر امپدانس شانت شش مد طولی مرتبه بالاتر با استفاده از روش خط هم‌محور.

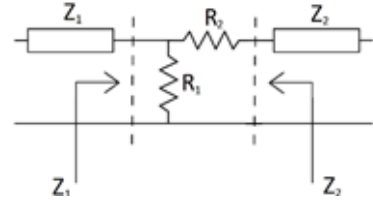


شکل ۹: اثر عمق نفوذ پلانژر بر فرکانس تشدید شش مد طولی مرتبه بالاتر.

۵- نتیجه‌گیری

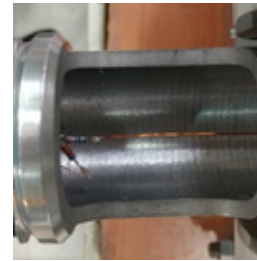
این مقاله به بررسی روش خط هم‌محور و اندازه‌گیری امپدانس مدهای طولی و همچنین اثر پلانژر بر روی این مدها پرداخت. از آنجایی که در این روش، امپدانس شانت با مدلسازی میدان‌های الکترومغناطیسی باریکه الکترونی توسط یک خط هم

ندارد، تنها لازم است تا توان برگشتی از محل اتصال کابل کوکسیال و خط هم‌محور به نحوی تلف شود تا به پورت دیگر نرسد. می‌توان به سادگی با استفاده از یک شبکه مقاومتی L مطابق شکل ۵، شرایط تطبیق را در پهنای باند بزرگی ایجاد کرد. عناصر این شبکه تطبیق مقاومتی از رابطه (۲) محاسبه گردید [۱۵]. در این رابطه، Z_1, Z_2 به ترتیب امپدانس مشخصه کابل کوکسیال تحلیلگر شبکه و ساختار هم‌محور ایجاد شده است. امپدانس مشخصه کابل کوکسیال تحلیلگر شبکه ۵۰ اهم و ساختار هم‌محور ایجاد شده با توجه به نتیجه حل‌کننده حوزه فرکانس ۲۶۷ اهم است. ویژگی این روش آن است که از نظر اقتصادی به صرفه و پیاده‌سازی آن آسان است.



شکل ۵: شبکه تطبیق مقاومتی L .

$$R_1 = Z_1 \sqrt{\frac{Z_2}{Z_2 - Z_1}} \quad \text{and} \quad R_2 = \sqrt{Z_2(Z_2 - Z_1)} \quad (2)$$



شکل ۶: اضافه شدن شبکه تطبیق مقاومتی L در چیدمان اندازه‌گیری.

افزافه شدن شبکه تطبیق یاد شده به ساختار هم‌محور ایجاد شده در محیط آزمایشگاهی در شکل ۶ نشان داده شده است. نتایج امپدانس شانت محاسبه شده مدهای طولی مراتب بالاتر به کمک روش خط هم‌محور با در نظر گرفتن و بدون در نظر گرفتن شرایط تطبیق در جدول ۴ ارائه گردیده است. همچنین نتایج بدست آمده از روش خط هم‌محور در محیط‌های شبیه‌سازی و آزمایشگاهی، و همچنین روش R/Q در شکل ۷ ارائه شده است. جدول ۴: اثر تطبیق امپدانس بر شانت محاسبه شده مدهای طولی مرتبه بالاتر کاواک بسامد رایویی به کمک روش خط هم‌محور.

فرکانس (مگاهرتز)	امپدانس شانت (کیلو اهم)، با شرایط تطبیق امپدانس	امپدانس شانت (کیلو اهم)، بدون شرایط تطبیق امپدانس
۶۲۶	۸۹	۱۴۴
۱۱۵۸	۱۸۹	۱۳۰
۱۳۰۵	۱۶۸	۸۰
۱۶۵۷	۳۷	۸۹
۱۸۹۵	۱۱۹	۲۲
۲۳۵۸	۲۸	۲۸

معرفی افراد محمد استوار



متولد مهر ۱۳۷۲ تهران، مدرک کارشناسی خود را در سال ۲۰۱۸ از دانشگاه صنعتی شاهرود در رشته مهندسی برق مخابرات دریافت کرد و پروژه کارشناسی خود را در زمینه کاواک شتابدهی ذرات در طرح چشمه نور ایران گذراند. او فارغ التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی برق-مخابرات میدان و موج در دانشگاه تربیت مدرس است. تخصص او تحلیل، طراحی و اندازه‌گیری کاواک‌های بسامد رادیویی است. او همچنین عضویت رسمی دانشجویی انجمن IEEE را دارد و در شاخه دانشجویی IEEE دانشگاه تربیت مدرس از سال ۲۰۱۹ مشغول به فعالیت است. او هم اکنون رئیس شاخه دانشجویی IEEE دانشگاه تربیت مدرس است.

دکتر آرش صادقی پناه



مقطع کارشناسی خود را در رشته مهندسی برق-الکترونیک در دانشگاه شهید بهشتی گذراند. سپس مقاطع کارشناسی ارشد و دکترا خود را در رشته مهندسی کاربرد پرتوها در همان دانشگاه به پایان رسانید. او هم اکنون محقق پسا دکتری پژوهشکده ذرات و شتابگرهای پژوهشگاه دانش‌های بنیادی و سرگروه، گروه بسامد رادیویی طرح چشمه نور ایران است.

دکتر ساسان احمدیان نمین



دانش‌آموخته رشته فیزیک در مقطع کارشناسی است. او کارشناسی ارشد خود را در رشته مهندسی کاربرد پرتوها در دانشگاه شهید بهشتی گذراند و برای گذراندن دوره دکتری در رشته مهندسی کاربرد پرتوها به پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای رفت. او هم اکنون محقق پسا دکتری و عضو هیئت علمی در پژوهشکده ذرات و شتابگرهای پژوهشگاه دانش‌های بنیادی است.

محور به روشی کاملاً آزمایشگاهی بدست آمد، نتایج قابل اعتمادتر است و وابسته به نتایج شبیه‌سازی نیست. پیاده‌سازی آسان این روش نسبت به سایر روش‌ها از دیگر مزیت‌های آن به شمار می‌رود. همچنین این روش را می‌توان برای سایر قطعات، نظیر محفظه‌های خلاء که پورت RF نیز ندارند نیز به کار برد. همان طور که گفته شد با توجه به رابطه (۱) در این روش باید تطبیق امپدانس بین کابل تحلیلیگر شبکه و خط هم محور ایجاد شده برقرار باشد تا نتایجی با دقت بالاتر ارائه دهد. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که عدم تطبیق می‌تواند تا ۸۱ درصد به نتایج خطا وارد کند. همچنین نتایج اندازه‌گیری‌ها بر روی پلانتر نشان داد که در یک ساختار بارگزاری شده خازنی نظیر کاواک چشمه نور ایران، نفوذ پلانتر به داخل کاواک سبب میرایی برخی از مدهای مراتب بالاتر شد، بدون اینکه بسامد و یا امپدانس شانت مد اصلی شتابدهی را تغییر دهد. به کمک این روش می‌توان برخی از این مدها را دمپ کرد و باقی‌مانده اثرات سو این مدها را به کمک فیدبک طولی جبران کرد. استفاده از این روش آسان، عملی و مقرون به صرفه است. زیرا مراحل طراحی، شبیه‌سازی و ساخت را بی‌نیاز از کوپلر، سیرکولاتور و بار RF خواهد کرد. باید به این نکته توجه داشت که در ماشین‌های جریان بالا و پرتوی همانند طرح چشمه نور نفوذ پلانتر به داخل کاواک می‌تواند سبب تراکم میدان مغناطیسی در آن ناحیه و در نتیجه آن تلفات گرمایی شود. به علاوه پلانتر ممکن است احتمال ایجاد جرقه در کاواک را نیز افزایش دهد. لذا مشکلات احتمالی را باید پیش از استفاده از این روش مورد بررسی قرار داد. همچنین پلانتر شیفت فرکانسی قابل قبولی را بر روی مدهای مراتب بالاتر دارد که می‌توان به وسیله آن اثر نامطلوب مدهای مراتب بالاتر بر روی باریکه الکترونی را با جابجا کردن این مدها و افزایش فاصله آن‌ها از هارمونیک‌های باریکه بهبود بخشید.

۶- مراجع

- [1] "High Power Microwave Technology and Effects", A University of Maryland Short Course Presented to MSIC, Redstone Arsenal, Alabama, August 8-12, 2005.
- [2] A. Nassiri, "RF Power Sources for XFELs and ERLs," ICFA Workshop on Future Light Sources, Thomas Jefferson National Accelerator Facility., March 8, 2012.
- [3] David M Pozar, Microwave engineering, 4th edition, 2012.
- [4] Andrei Baikov and Olga Baikova, "New High-Efficiency Resonant O-Type Devices as the Promising Sources of Microwave Power," Energies, 13, 2514, 2020.
- [5] Richard G. Carter, "Microwave and RF Vacuum Electronic Power Sources," The Cambridge RF and Microwave
- [6] John G. Webster, "Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering," John Wiley & Sons., 2014.
- [7] George Caryotakis, "High Power Klystrons: Theory and Practice at the Stanford Linear Accelerator Center," Stanford Linear Accelerator Center., January, 2005.
- [8] Christopher James Lingwood, "High Power High Efficiency Multiple-Beam Klystron Design," A Thesis submitted for the Degree of Doctor of Philosoph, April 2010.
- [9] Gun-Sik Park, Victor L. Granatstein, "Phase Stability of Gyroklystron Amplifier," IEEE TRANSACTIONS ON PLASMA SCIENCE, VOL. 19, NO. 4, AUGUST 1991.
- [10] Emmanuel, Tsemelis, "Applications of Accelerators", Graduate Accelerator Physics Course, John Adams Institute for Accelerator Science, CERN & University of Oxford, 11 October 2017.



تابش سینکروترونی کاربردهای گسترده‌ای در علوم و صنایع مختلف دارد که می‌تواند سبب پیشرفت آن‌ها شود. علاوه بر این مراحل طراحی، ساخت و راه‌اندازی ماشین مولد این تابش، به سبب آنکه می‌تواند سبب صنایع و علوم مختلف است، می‌تواند سبب توسعه بیش از پیش علم و فناوری شود.

افزایش بازدهی نیروگاه‌های خورشیدی

انسیه قاسمی میزوجی^۱، هومن شاکری^۲، محمد صفرپور^۳،
محمد مهدی باقی آبادی^۴، سید مرتضی احتشامی^۵

۱- دکتری مهندسی مخابرات، کارشناس تله متری شرکت فاضلاب تهران، ensiyeh.ghasemi@modares.ac.ir

۲- کارشناسی مهندسی مخابرات، رئیس گروه انرژی شرکت فاضلاب تهران، gmail.com@hoomanshakeri۷۷۷

۳- کارشناسی ارشد مهندسی مخابرات، کارشناس انرژی شرکت فاضلاب تهران، yahoo.com@mohammad_safarpour۱۴

۴- کارشناسی ارشد مهندسی برق، مدیر گروه انرژی شرکت فاضلاب تهران، mbaghi.mehdi@gmail.com

۵- کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست، معاون بهره برداری شرکت فاضلاب تهران، ehteshami_morteza@gmail.com

چکیده

در این مقاله به معرفی سیستم‌های برق خورشیدی پرداخته شده است. در ابتدا یک سیستم خورشیدی توصیف شده است و سپس نحوه عملکرد یک سلول خورشیدی به اختصار توضیح داده شده است. به علاوه، طرحواره سیستم‌های خورشیدی on-grid و off-grid رسم شده‌اند. در مرحله بعدی بازدهی سیستم‌های خورشیدی و عوامل موثر بر آن آورده شده است و در نهایت یک راهکار برای افزایش بازدهی این سیستم‌ها پیشنهاد گردیده است. یکی از عوامل موثر بر بازدهی نیروگاه‌های خورشیدی دما است. با افزایش دما بازدهی اجزای تشکیل دهنده نیروگاه از جمله پنل‌های خورشیدی و اینورترها به صورت قابل توجهی کاهش می‌یابند. در این مقاله پیشنهاد گردیده است نیروگاه خورشیدی بر روی کانال خروجی تصفیه‌خانه‌های آب و یا فاضلاب راه‌اندازی شود. استفاده از این راهکار علاوه بر افزایش راندمان نیروگاه به کاهش تبخیر آب خروجی نیز کمک می‌کند.

کلیدواژگان: سلول خورشیدی، بازدهی، تولید انرژی

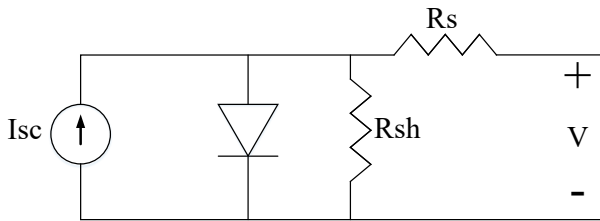
Abstract

In this article, solar power systems have been introduced. At the first step, a solar system is described then the operation of a solar cell is briefly explained. Additionally, schematics of on-grid and off-grid solar systems are introduced. In the next step, the efficiency of solar systems and the parameters effects on it are given. and finally, a new solution to increase the efficiency of these systems is proposed. One of the factors affecting the efficiency of solar power plants is temperature. As the temperature increases, the efficiency of the components of the power plant, including solar panels and inverters, decreases significantly. In this article, it is proposed to set up a solar power plant on the outlet channel of water or sewage treatment plants. Using this solution, in addition to increasing the efficiency of the power plant, helps to reduce the evaporation of the outgoing water.

Keywords: Solar Cell; Efficiency; Energy Production

۱- مقدمه

اصل اساسی سلول خورشیدی به اثر فوتولتائیک بستگی دارد، به واسطه قرار گرفتن سلول خورشیدی در معرض نور خورشید، ولتاژ و جریان الکتریکی در ماده القا می‌شود. نور خورشید ذرات نامرئی به نام فوتون را ساطع می‌کند. همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است، سلول خورشیدی از سه بخش به نام‌های لایه بالایی یا لایه N-type، لایه میانی (لایه تخلیه) و لایه پایینی یا P-type تشکیل شده است. نور با طول موج 350-1140nm در لایه تخلیه جذب می‌شود. این لایه از اتم‌های خنثی تشکیل شده است، فوتون‌های ساطع شده از نور خورشید به داخل لایه نفوذ می‌کنند و در نتیجه، یک الکترون آزاد و یک حفره ایجاد می‌کند. الکترون‌های آزاد به سمت لایه نوع n حرکت می‌کنند و حفره‌ها به لایه نوع p پایین می‌روند. در نتیجه اتصال یک سیم بین الکترون‌ها لایه بالا و پایینی، مسیری را برای حرکت الکترون‌ها به سمت حفره ایجاد می‌کند که سبب ایجاد یک جریان الکتریکی می‌شود. هر سلول بین 0.5-1V ایجاد می‌کند و در نتیجه اتصال سری و موازی این سلول‌ها ولتاژ و جریان مورد نیاز ایجاد می‌شود. در شکل زیر مدل مداری معادل یک سلول خورشیدی نشان داده شده است [۷].

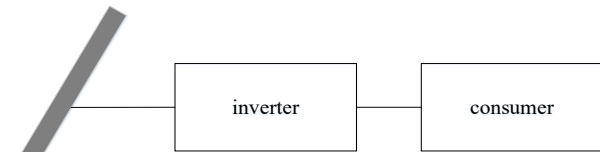


شکل ۳: مدار معادل یک سلول خورشیدی.

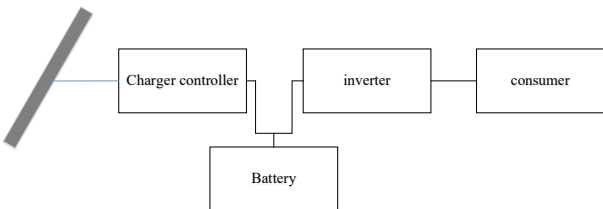
سیستم‌های خورشیدی به دو صورت on-grid [۶] و off-grid [۸] استفاده می‌شوند که طرحواره آنها به ترتیب در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است.

۲- توصیف یک سیستم خورشیدی

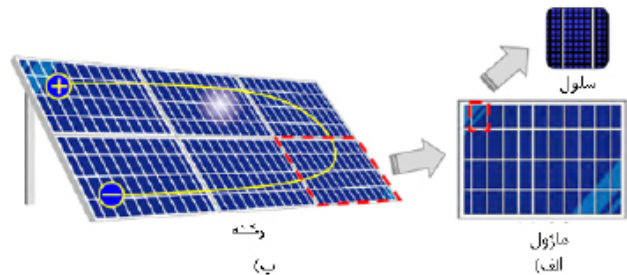
شرح کلی سیستم تولید انرژی خورشیدی در شکل ۱ نشان داده شده است. ترکیب پنل‌های خورشیدی در شکل ۱- الف نشان داده شده است. یک ماژول خورشیدی متشکل از چند سلول است که بر روی یک پنل به هم متصل شده و توسط شیشه و دیگر مواد محافظت می‌شوند. ماژول‌ها بیشتر در آرایش‌های سری به هم متصل می‌شوند که به عنوان رشته شناخته می‌شوند. ولتاژ رشته، ولتاژ DC سیستم تولید برق است و جریان DC با ظرفیت معینی از رشته‌هایی که به صورت موازی متصل هستند به یک اینورتر وارد می‌شود و در آنجا به برق AC تبدیل شده و خروجی می‌شود [۲].



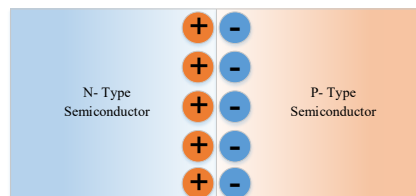
شکل ۴: طرحواره یک سیستم خورشیدی on-grid.



شکل ۵: طرحواره یک سیستم خورشیدی off-grid.



شکل ۱: شمای کلی سیستم خورشیدی. (الف) ماژول خورشیدی. (ب) رشته خورشیدی [۲]. یک سلول خورشیدی ترکیبی از نیمه‌هادی‌های نوع p و نوع n است. نیمه‌هادی نوع p با افزودن یک ناخالصی سه ظرفیتی (بور) به سیلیکون به دست می‌آید. به طور مشابه، نیمه‌هادی نوع n با افزودن ناخالصی پنج ظرفیتی (فسفر) به سیلیکون به دست می‌آید. این، یک اتصال p-n را تشکیل می‌دهد و منجر به تشکیل میدان الکتریکی در اثر انتشار ذرات بار می‌شود. در شکل ۲ ساختمان داخلی یک سلول خورشیدی نشان داده شده است [۶].



شکل ۲: ساختار داخلی یک سلول خورشیدی.

۳- بازدهی

تعاریف مختلفی برای بازدهی سیستم‌های خورشیدی وجود دارد که هر کدام جنبه‌های مختلف عملکرد یک اینورتر را توصیف می‌کنند. متداول‌ترین معیار مورد استفاده، راندمان تبدیل است. راندمان تبدیل معیاری از تلفات تبدیل از DC به AC است. این تلفات می‌توانند ناشی از عوامل متعددی باشند. برای مثال، وجود ترانسفورماتور، تلفات مغناطیسی و مس و تلفات ناشی از توان مصرفی اینورتر. راندمان تبدیل عبارت است از، مولفه اصلی خروجی برق AC از اینورتر تقسیم بر ورودی برق DC که به صورت زیر تعریف می‌شود [۵]:

$$\eta_{con} = \frac{P_{AC}}{P_{DC}} \quad (1)$$

این بازدهی ثابت نیست و به توان DC ورودی، ولتاژ، شرایط آب و هوایی، دمای هوا و تابش بستگی دارد [۵].

دمای بالای محیط همراه با قرار گرفتن طولانی مدت در معرض نور خورشید، تاثیر

۶- مراجع

- [1] F. Liu, W. Wang, L. Wang, G. Yang, "Working principles of solar and other energy conversion cells", *Nanomaterials and Energy*, Vol. 2, pp. 3-10, 2013.
- [2] "The Study of Information Collection and Verification Survey for Renewable Energy Introduction and Grid Stabilization in The Republic of Cabo Verde", Japan International Cooperation Agency Kyushu Electric Power Co., Inc, 2016.
- [3] P. Ramana, B. Kumar and D. Maheswar, "A comprehensive study on solar power plant at educational institute level", *Int Res J Eng Technol*, Vol.2, pp. 1063-1071, 2015.
- [4] Q. Shafiee, J. M. Guerrero, and J. C. Vasquez, "Distributed secondary control for islanded microgrids—A novel approach," *IEEE Trans. power Electron.*, vol. 29, no. 2, pp. 1018–1031, 2013.
- [5] Utility-Scale Solar Photovoltaic Power Plants International Finance Corporation, 2015.
- [6] T. Maddileti, L. Cherukuri, "REVIEW ON TYPES OF SOLAR POWER SYSTEMS", *Journal of Engineering Science*, Vol. 10, pp. 499-502, 2019.
- [7] A. Luque, S. Hegedus, "Handbook of Photovoltaic Science and Engineering", Wiley, 2003.
- [8] A. Khamisani, "Design methodology of off-grid PV solar powered system (A case study of solar powered bus shelter)", Goolincoln Avenue Charleston, IL: Eastern Illinois University, 2019.
- [9] Nordmann, Thomas, and Luzi Clavadetscher. "Understanding temperature effects on PV system performance." 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, 2003. Proceedings of. Vol. 3. IEEE, 2003.
- [10] Virtuani, A., D. Pavanello, and G. Friesen. "Overview of temperature coefficients of different thin film photovoltaic technologies." 25th European photovoltaic solar energy conference and exhibition/5th World conference on photovoltaic energy conversion. Vol. 4. 2010

معرفی افراد

انسبیه قاسمی میزجویی

انسبیه قاسمی میزجویی دانش‌آموخته دکترا مهندسی برق مخابرات گرایش میدان و موج از دانشگاه تربیت مدرس است. او دوره کارشناسی و کارشناسی ارشد خود را در رشته مهندسی برق مخابرات در دانشگاه علم و صنعت گذراند.

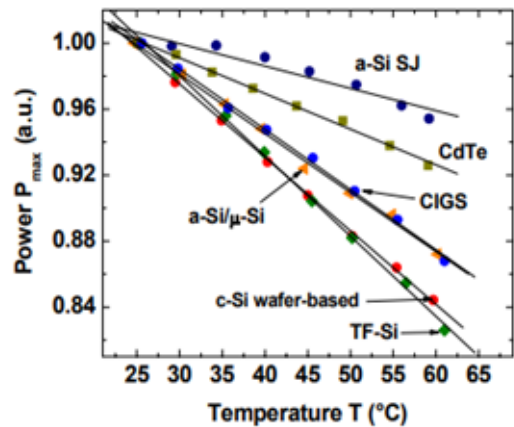
هومن شاکری مدرک کارشناسی مهندسی برق مخابرات خود را از دانشگاه صنعتی شاهرود گرفت و هم‌اکنون دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی برق مخابرات دانشگاه علم و صنعت است.

محمد صفرپور دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی برق مخابرات دانشگاه سمنان است. او همچنین مدرک کارشناسی خود را در رشته مهندسی برق مخابرات از دانشگاه زاهدان دریافت کرد.

محمد مهدی باقی‌آبادی مدرک کارشناسی و کارشناسی ارشد مهندسی برق قدرت را از دانشگاه واحد آزاد علوم و تحقیقات دارد.

سید مرتضی احتشامی کارشناسی مهندسی بهداشت را از دانشگاه تهران دارد. او همچنین کارشناسی ارشد خود را در رشته مهندسی محیط زیست گرایش منابع آب از دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات دریافت نمود.

منفی دما بر بازده سلول‌های فوتوولتاییک را افزایش می‌دهد. افزایش دما در سلول باعث افزایش ارتعاش آنها می‌شود که مانع حرکت حامل‌های بار شده و کارایی سلول را کاهش می‌دهد. از این رو، با توجه به شرایط مختلف نصب و آب و هوا، توان خروجی می‌تواند از ۲ تا ۲۴/۶ درصد کاهش یابد [۹-۱۰]. این تغییرات در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ۶: حداکثر توان P_{max} مازول‌ها به عنوان تابعی از دما برای فناوری‌های مختلف تحت آزمایش [۱۰].



شکل ۷: نحوه قرارگیری پنل‌های خورشیدی بر روی کانال خروجی.

با توجه به تبخیر سیال موجود در کانال‌های آب، پساب و فاضلاب، کاهش دما در اطراف کانال‌ها مشهود است. با توجه به توضیحات ارائه شده و شکل ۶، افزایش دما در پنل‌های خورشیدی سبب کاهش توان تولیدی خواهد شد. برای جلوگیری از کاهش راندمان پنل‌های خورشیدی، می‌توان پنل‌ها را با زاویه‌ای مناسب بر روی این کانال‌ها قرار داد. مزیت این کار به صورت زیر بیان می‌شود:

۱- حفظ راندمان پنل‌های خورشیدی با کاهش دمای پیرامونی

۲- کاهش تبخیر آب و سیال

۳- استفاده از فضای روی کانال‌ها که معمولاً مورد استفاده قرار نمی‌گیرند.

۴- کاهش رشد جلبک و گیاهان در این کانال‌ها و در نتیجه کاهش هزینه لایروبی در کانال‌های آب

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله به اختصار اجزا یک سیستم خورشیدی توصیف شد و نحوه عملکرد و مدار الکتریکی معادل یک سلول خورشیدی توضیح داده شد. تفاوت بین سیستم on-grid و off-grid خورشیدی به کمک طرحواره آن‌ها نشان داده شد و عوامل موثر بر بازدهی نیروگاه خورشیدی شرح داده شد. در نهایت یک راهکار ساده جهت افزایش بازدهی نیروگاه‌های خورشیدی ارائه شد. در واقع، دما یکی از مهم‌ترین عواملی است که در بازدهی نیروگاه خورشیدی تاثیر دارد. این عامل به ویژه در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک نظیر ایران تاثیر بیشتری دارد. در این مقاله پیشنهاد شده است برای افزایش راندمان نیروگاه خورشیدی، سازه آن‌ها در خروجی پساب فاضلاب یا خروجی تصفیه‌خانه‌های آب بنا شود. بدین ترتیب علاوه بر کمک به خنک‌سازی این نیروگاه‌ها، به کاهش تبخیر آب خروجی نیز منجر خواهد شد.

ساخت یک کرنل: پیاده‌سازی مد واقعی و مد محافظت شده

محمد امین مسلمی وایقان^۱

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد رایانش امن تربیت مدرس، تهران، moslemi78@yahoo.com

چکیده

ساخت یک کرنل شاید در ابتدا عملی بیهوده به نظر برسد اما هدف از آن این نیست که کرنل ساخته شده مورد استفاده تجاری قرار گیرد بلکه دانش و دیدی که حین ساخت به فرد می‌دهد، این کار را ارزشمند می‌کند. درک چگونگی سازوکار سیستم عامل، فهم ارتباط زبان های سی و اسمبلی، افزایش مهارت در برنامه نویسی و افزایش دانش معماری کامپیوتر تنها بخشی از فواید ساخت یک کرنل است. در این مقاله ساخت کرنل، مودهای واقعی و محافظت شده را بررسی می‌کنیم و آن‌ها را برای پردازنده ۸۰۳۸۶ پیاده‌سازی می‌کنیم.

کلیدواژه‌گان: بوت‌لودر، توسعه کرنل، مود واقعی، مود محافظت شده، جدول توصیف‌کننده جهانی، بلوک پارامتر بایاس

Abstract

Making a kernel may seem like a futile act at first, but its purpose is not that the made kernel be used commercially but the knowledge and insight it gives to the person during development make this job valuable. Understanding how the operating system works, understanding the connection between C and assembly, increasing programming skills, and increasing computer architecture knowledge are only part of the benefits of building a kernel. In this part of the series of kernel building articles, real and protected modes are discussed. We study and implement them for the 80386 processor.

Keywords: Bootloader, Kernel Development, Real Mode, Protected Mode, Global Descriptor Table, Bios Parameter Block

۱- مقدمه

رشته‌ی مورد نظر را در رجیستر SI ذخیره می‌کنیم و با چاپ هر کاراکتر، اشاره‌گر درون رشته را یکی جلو می‌بریم. این مهم به وسیله دستور lodsب صورت می‌پذیرد. توجه شود که رجیستر SI آفستی برای دیتاسگمنت هست.

۲-۲- بهبود بوت‌لودر

برخی سیستم‌ها هنگام لود کردن بوت‌لودر انتظار دارند که در اول بوت‌لودر یک داده ساختاری باشد که اطلاعاتی مربوط به حافظه ذخیره‌سازی و پارتیشن‌بندی در آن ذخیره شده باشد به این داده ساختار، Bios Parameter Block گفته می‌شود. در صورت نبود این داده ساختار بوت‌لودر در برخی سیستم‌ها به درستی بوت نمی‌شود. این داده ساختار در شکل ۳ قابل مشاهده است.

Offset (decimal)	Offset (hex)	Size (in bytes)
0	0x00	3
3	0x03	8
11	0x0B	2
13	0x0D	1
14	0x0E	2
16	0x10	1
17	0x11	2
19	0x13	2
21	0x15	1
22	0x16	2
24	0x18	2
26	0x1A	2
28	0x1C	4
32	0x20	4

شکل ۳: ساختار Bios Parameter Block

سه بایت اولیه را باید دقیق مطابق اطلاعات شکل ۳ پر کنیم زیرا توسط برخی سیستم‌ها بررسی می‌شود اما باقی را می‌توان صفر گذاشت، همچنین باید توجه داشت که اندازه‌ی این بلوک داده جمعا ۳۳ بایت است. گام بعدی برای بهبود بوت‌لودر این است که سگمنت رجیسترها را مقداردهی اولیه کنیم زیرا بایاس بوت‌لودر را در آدرس 0X7C00 لود می‌کند. این آدرس می‌تواند به دو صورت برداشت شود: سگمنت صفر با آفست 0X7C00 یا سگمنت 0X7C00 با آفست صفر. اگر مقدار دهی اولیه به سگمنت‌ها صورت نگیرد بایاس خود عمل مقدار دهی را انجام می‌دهد که ممکن است باعث خرابی کد شود. شکل ۴ بوت‌لودر را بعد از بهبودهای گفته شده نشان می‌دهد.

```

1:ORG 0X7C00;
2:BITS 16;
3:BPB:
4: jmp short main
5:nop
6: times 33 db 0
7:main:
8:CLI
9:MOV AX,0x00
10:MOV DS,AX
11:MOV ES,AX
12:MOV SS,AX
13:MOV SP,0X7C00
14:STI
15:mov si,string
16:call print
17: jmp $
18:print:
19:.loop
20:lods b
21:cmp al, 0
22:je .done
23:call print_char
24: jmp .loop
25:.done:
26:Ret-]
27:print_char:
28:mov ah,0eh
29:mov bx, 0
30:int 0x10
31:ret
32:string : db "Hello World", 0
33: times 510-($-$$) db 0
34:dw 0xAA55

```

شکل ۴: بوت‌لودر بعد از بهبودهای انجام شده.

پردازنده‌های ۸۰۸۶، پردازنده‌هایی ۱۶ بیتی با بایاس داده ۲۰ بیتی بودند که در زمان خود تحولی در عرصه میکروپراسسورها بود. با گذر زمان و نیاز به حافظه بیشتر پردازنده‌های ۸۰۲۸۶ و سپس ۸۰۳۸۶ شرکت اینتل معرفی شدند که از بایاس داده ۳۲ بیتی پشتیبانی می‌کردند و تا ۴ گیگابایت توان آدرس دادن به مموری را دارا بودند؛ این پردازنده‌های ۳۲ بیتی دارای دو مد کاری بودند: مد واقعی و مد محافظت شده. در مد واقعی که تا قبل از لود کرنل اتفاق می‌افتد توان آدرس‌دهی به حداکثر یک مگابایت حافظه را داریم و به ۱۶ بیت محدود هستیم ولی امکان استفاده از بایاس و روتین‌های آن را داریم. در مد محافظت شده توان ما به آدرس‌دهی ۳۲ بیتی حافظه ارتقا می‌یابد ولی دیگر امکان بهره از بایاس را نداریم. شایان ذکر است که در این مقاله از Emulator Qemu برای تقلید رفتار پردازنده ۸۰۳۸۶ در محیط گنو/لینوکس استفاده شده است. همچنین فرض بر این است که خواننده دانش زمینه‌ای درباره‌ی برنامه نویسی با اسمبلی و نیز زبان سی با پارادایم ساخت یافته، فایل‌های Make و آشنایی با سیستم عامل گنو/لینوکس دارد.

۲-۲- پیاده‌سازی مد واقعی

۲-۱- پیاده‌سازی بوت‌لودر

هنگام روشن شدن رایانه، بایاس در دیسک‌ها و حافظه‌های متصل دنبال سکتوری می‌گردد که دو بایت آخر آن حاوی عدد 55AA باشد. در ماشین‌های اینتلی به دلیل Little Endian بودن، دو بایت آخر سکتور مزبور AA55 می‌شود. پس از پیدا کردن سکتور با این ویژگی، بایاس آن سکتور را بوت‌لودر در نظر می‌گیرد و آن را در آدرس 0X7C00 حافظه لود می‌کند. کد بوت‌لودر اولیه در شکل ۱ را نشان داده شده است. در ادامه توضیحاتی را با توجه به آن ذکر می‌کنیم.

با دستور ORG به اسمبلر نقطه‌ی شروع را به اسمبلر اطلاع می‌دهیم. نقطه شروع همان آدرسی از حافظه است که بایاس، بوت‌لودر را در آن لود می‌کند. با دستور BITS 16 به اسمبلر می‌گوییم که محیط کاری ما ۱۶ بیتی است. دستور times 510-(\$-\$\$) db 0 دایرکتیو است به اسمبلر اطلاع می‌دهد که فایل ما باید ۵۱۲ بایت باشد، زیرا اندازه‌ی سکتور در حافظه‌های رایج امروزی ۵۱۲ بایت است.

```

1:ORG 0X7C00;
2:BITS 16;
3:main:
4:mov si,string
5:call print
6: jmp $
7:print:
8:.loop
9:lods b
10:cmp al, 0
11:je .done
12:call print_char
13: jmp .loop
14:.done:
15:ret
16:print_char:
17:mov ah,0eh
18:mov bx, 0
19:int 0x10
20:ret
21:;DIRECTIVE
22:string : db "Hello World", 0
23: times 510-($-$$) db 0
24:dw 0xAA55

```

شکل ۱: کد بوت‌لودر اولیه.

نوعی کارکرد این دستور به این صورت هست که \$ آدرس فعلی را نشان می‌دهد و \$\$ آدرس شروع را بر می‌گرداند. از تفاضل این دو مقدار متوجه می‌شویم که کد بین ORG و times چه مقدار بایت اشغال کرده است و مابقی را با دایرکتیو db با صفر پر می‌کنیم. دو بایت آخر سکتور امضای لودر هست که باید با عدد AA55 پر شود. برای چاپ پیغام از روتین وقفه‌ی 0x10 بایاس استفاده کردیم. توضیحات این وقفه برای تولید رشته خروجی در شکل ۲ نشان داده شده است.

VIDEO - TELETYPE OUTPUT

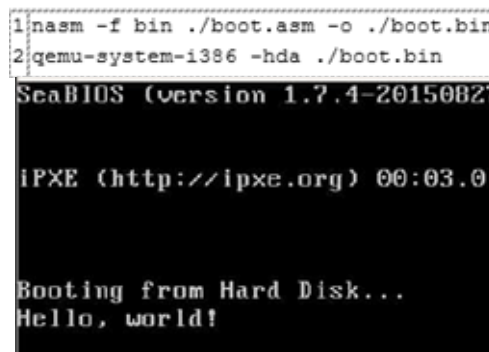
AH = 0Eh
AL = character to write
BH = page number
BL = foreground color (graphics modes only)

شکل ۲: توضیحات وقفه برای تولید رشته خروجی.

نکته‌ی مهم در مقداردهی سگمنت رجیسترها این است که باید قبل از مقداردهی وقفه را غیرفعال کرد در غیر این صورت مقداردهی می‌تواند به صورت ناصحیح صورت گیرد یا دچار کرنل پنیک شویم. با دستور CLI می‌توان وقفه را غیرفعال کرد و با دستور STI می‌توان فعال کرد.

۳-۲- خروجی

با زدن دستورات زیر در محیط ترمینال می‌توانیم خروجی برنامه را مطابق شکل ۵ در مقلد Qemu مشاهده کنیم.



شکل ۵: خروجی بوت لود پیاده‌سازی شده که پیغام را به درستی چاپ می‌کند.

۳-۲- پیاده‌سازی مد محافظت شده

تا اینجا کار یک بوت‌لودر پیاده‌سازی کردیم اما محیط عملیاتی ما به دلیل قرار داشتن در مد واقعی به یک مگابایت (دو به توان ۱۶) حافظه محدود است. برای طراحی کرنل و بارگذاری آن به فضا و امکانات بیشتری از جمله موارد امنیتی نیاز داریم پس باید قبل از طراحی کرنل مود عملیاتی را از سمت مود واقعی به سمت مود محافظت شده منتقل کنیم.

۳-۱- پیاده‌سازی GDT

برای مهاجرت از مد واقعی به مد محافظت شده نیاز به GDT داریم. این جدول آدرس و فلگ‌های دسترسی سگمنت‌های کد و داده را برای فضای کرنل و فضای کاربر نگهداری می‌کند. ساختار این جدول در سیستم‌های ۳۲ بیتی در شکل ۶ ارائه شده است.

Offset	Use	Content
0x000	Null Descriptor	Base = 0 Limit = 0x00000000 Access Byte = 0x00 Flags = 0x0
0x008	Kernel Mode Code Segment	Base = 0 Limit = 0xFFFFF Access Byte = 0x9A Flags = 0xC
0x010	Kernel Mode Data Segment	Base = 0 Limit = 0xFFFFF Access Byte = 0x92 Flags = 0xC
0x018	User Mode Code Segment	Base = 0 Limit = 0xFFFFF Access Byte = 0xFA Flags = 0xC
0x020	User Mode Data Segment	Base = 0 Limit = 0xFFFFF Access Byte = 0xF2 Flags = 0xC
0x028	Task State Segment	Base = 4TSS Limit = sizeof(TSS) Access Byte = 0x89 Flags = 0x0

شکل ۶: ساختار جدول GDT.

هر مدخل این جدول حاوی اطلاعاتی هست که مقادیر استاندارد آن در شکل ۶ قابل مشاهده است همچنین ساختار هر مدخل این جدول در شکل ۷ زیر قابل مشاهده است:

31	61	15	0
Base 0:15		Limit 0:15	
63	56	55	52
51	48	47	40
39	32	Base 16:23	
Base 24:31		Flag	Limit 16:19
		Access Byte	

شکل ۷: ساختار هر مدخل جدول GDT.

79 (64-bit mode)	16	15	0
48 (32-bit mode)	Offset		
63 (64-bit mode)	Size		
31 (32-bit mode)	0	15	0

شکل ۸: ساختار رجیستر GDTR.

فیلد سایز، اندازه‌ی جدول و فیلد آفست آدرس جدول را در خود جای دارد. قابل ذکر است که فیلد سایز برابر است با اندازه جدول منهای یک.

۳-۲- انتقال به مد محافظت شده

بوت‌لودر در مد محافظت شده به صورت زیر است:

```

ORG 0X7C00;
BITS 16;
GDT_Entry_Offset_CODE_SEGMENT EQU KERNEL_MOD_CODE_SEGMENT- GDT_START
GDT_Entry_Offset_DATA_SEGMENT EQU KERNEL_MOD_DATA_SEGMENT- GDT_START
BPB:
jmp short ENTRY_POINT
nop
times 33 db 0
BPB_END:
ENTRY_POINT:
jmp 0:MAIN
MAIN:
;-----
CLI
MOV AX,0X00
MOV DS,AX
MOV ES,AX
MOV SS,AX
MOV SP,0X7C00
STI;ENABLE INTRUPT
;-----
LOAD_PROTECTED_MOD:
;-----
CLI
lgdt[GDT_R]
mov eax,cr0
or eax,0x01
mov cr0,eax
jmp GDT_Entry_Offset_CODE_SEGMENT:LOAD_32_KERNEL
;-----
END_LOAD_PROTECTED_MOD:
MAIN_END:
GDT_START:
;-----
NULL_DESCRIPTOR: ;OFFSET 0X00
dd 0x0
dd 0x0
KERNEL_MOD_CODE_SEGMENT: ;OFFSET 0X08
dw 0xffff ; Segment limit first 0-15 bits
dw 0 ; Base first 0-15 bits
db 0 ; Base 16-23 bits
db 0x9a ; Access byte
db 11001111b ; High 4 bit flags and the low 4 bit flags
db 0 ; Base 24-31 bits
KERNEL_MOD_DATA_SEGMENT: ;OFFSET 0X10
dw 0xffff ; Segment limit first 0-15 bits

```

rax	0x10	16
rbx	0x0	0
rcx	0x0	0
rdx	0x80	128
rsl	0x0	0
rdi	0x0	0
rbp	0x200000	0x200000

r14	0x0	0
r15	0x0	0
rtp	0x7c7f	0x7c7f
eflags	0x6	[IOPL=0 PF]
cs	0x8	8
ss	0x10	16
ds	0x10	16

شکل ۱۰: مقادیر رجیسترها حین اجرا برنامه. که گواه درستی کد پیاده‌سازی شده را می‌دهد. همچنین مقادیر رجیسترها حین اجرا برنامه که در شکل ۱۰ نشان داده شده، گواه درستی کد پیاده‌سازی شده است. همان‌طور که مشخص است مقادیر صورت گرفته مطابق با مد محافظت شده است پس صحت برنامه به تایید می‌رسد.

۴- نتیجه‌گیری

در این قسمت یک بوت‌لودر را در مد واقعی طراحی کردیم که در اکثر سیستم‌ها می‌تواند عمل کند. سپس مد محافظت‌شده را طراحی کردیم تا توان آدرسی‌ها را به چهار گیگابایت افزایش دهیم.

۵- مراجع

[1] Developing a Multithreaded Kernel From Scratch on Udemy by Daniel McCarthy

معرفی افراد

محمد امین مسلمی وایقان

دوران راهنمایی و دبیرستان خود را در علامه حلی یک تهران گذراند و سپس در مقطع کارشناسی در رشته مهندسی کامپیوتر از دانشگاه بوعلی سینا همدان در شهریور ۱۴۰۱ فارغ التحصیل شد. او اکنون دانشجوی کارشناسی ارشد گرایش رایانش امن دانشگاه تربیت مدرس است. علاقه‌های پژوهشی وی، توسعه کرنل و مباحث سیستمی، توسعه و تحلیل بدافزار و توسعه اکسپلویت است.



```
dw 0 ; Base first 0-15 bits
db 0 ; Base 16-23 bits
db 0x92 ; Access byte
db 11001111b ; High 4 bit flags and the low 4 bit flags
db 0 ; Base 24-31 bits
```

```
;-----
GDT_END:
GDT_R:
dw (GDT_START - GDT_END) - 1
dd GDT_START
BITS 32
LOAD_32_KERNEL:
MOV AX,GDT_Entry_Offset_DATA_SEGMENT
MOV DS,AX
MOV SS,AX
MOV ES,AX
MOV GS,AX
MOV FS,AX
MOV EBP,0X0020000
MOV ESP,EBP
jmp $;
times 510-($-$$) db 0
dw 0xAA55
```

انتقال به مد محافظت شده با دستور lgdt انجام می‌پذیرد، این دستور gdt را به عنوان ورودی دریافت می‌کند. سپس باید بیت مربوط به فعال‌سازی مد محافظت‌شده را در رجیستر کنترلی cr0 یک کنیم. به دلیل این که امکان ویرایش مستقیم برای رجیستر کنترلی نداریم، ابتدا مقدار آن را به رجیستر ax ریخته و سپس با عملیات Bitwise OR بیت مربوطه را یک کرده و در آخر به cr0 منتقل می‌کنیم. در آخر به کد کرنل (محیط ۳۲ بیت) پرش می‌کنیم. در مد محافظت شده به دلیل وجود GDT مجدد سگمنت رجیسترها را پیکربندی می‌کنیم.

۳-۳- خروجی

برای بررسی صحت برنامه باید آن را در داخل gdb دیباگ کنیم. برای این کار به ترتیب موارد زیر را در محیط ترمینال انجام می‌دهیم:

```
- Gdb
```

```
- target remote | qemu-system-i386 -hda boot.bin -S -gdb stdio
```

سپس با دستور layout asm می‌توانیم مشاهده کنیم که دستور jmp دستور جاری است. این خروجی در شکل ۹ نشان داده شده است.

```
> 0x7c7f jmp 0x7c7f
0x7c81 add %al,(%rax)
0x7c83 add %al,(%rax)
0x7c85 add %al,(%rax)
0x7c87 add %al,(%rax)
0x7c89 add %al,(%rax)
0x7c8b add %al,(%rax)
0x7c8d add %al,(%rax)
0x7c8f add %al,(%rax)
0x7c91 add %al,(%rax)
0x7c93 add %al,(%rax)
0x7c95 add %al,(%rax)
0x7c97 add %al,(%rax)

remote Thread 1.1 In:
(gdb)
```

شکل ۹: خروجی دستور layout asm.



شبکه‌های غیرزمینی در 5G

رضا فودازی^۱، مهدی غفوری وایقان^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، RezaFoudazi@elec.iust.ac.ir

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، m.ghafourivayghan@modares.ac.ir

چکیده

امروزه فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات در قلب هر فعالیت صنعتی، اجتماعی و اقتصادی قرار دارند. فناوری‌ها و برنامه‌های جدید بر نحوه درک و تعامل ما با جهان پیرامون تأثیر می‌گذارند، اما به طور مداوم انتظارات و نیازهای کاربران را بیشتر می‌کنند. سیستم 5G، یک تغییر اساسی در نحوه دسترسی به شبکه و طرح‌های شبکه اصلی ایجاد کرد و مزایای بسیاری را ارائه می‌دهد. اما همچنان سیستم 5G به‌خودی‌خود نمی‌تواند پاسخگوی تمام نیازها باشد. ترکیب سیستم‌های مخابراتی با شبکه غیرزمینی و پیشرفت هر دوی آن‌ها، یکی از راه‌حل‌های مؤثر در ارائه خدمات در تمامی مناطق است. شبکه غیرزمینی تداوم خدمات در ارتباطات ماشین به ماشین، اینترنت اشیا و افرادی که از طریق وسایل حمل‌ونقل سفر می‌کنند و همچنین دسترسی به خدمات در ارتباطات مهم و خدمات نوظهور به‌عنوان را تضمین می‌کند. در مقابل حوادث طبیعی یا حملات دچار قطع خدمات نمی‌شوند و تداوم سرویس را در موارد کاربردهای مهم مأموریت که نمی‌تواند خطر خرابی‌ها را بپذیرد، تضمین می‌کنند. چالش اصلی فنی شبکه غیرزمینی به دلیل متفاوت بودن سناریوهای استقرار آن از شبکه‌های زمینی است. تأخیر طولانی و پوشش گسترده برخی ماهواره‌ها، چالش‌های مهمی را در دسترسی تصادفی، زمان اتصال و هر روش کنترل لایه فیزیکی که به بازخورد نیاز دارد، پدید می‌آورد. کلیدواژگان: 5G، شبکه غیرزمینی، شبکه زمینی.

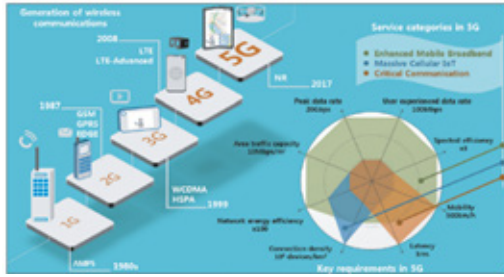
Abstract

Today, information and communication technologies are at the heart of every industrial, social and economic activity. New technologies and applications affect the way we perceive and interact with the world around us, but they constantly increase the expectations and needs of users. The 5G system brought about a fundamental change in the way we access the network and the underlying network plans, and it offers many advantages. But still, the 5G system by itself cannot meet all the needs. The combination of telecommunication systems with non-terrestrial network and the development of both of them is one of the effective solutions in providing services in all regions. The non-terrestrial network ensures service continuity in machine-to-machine communications, the Internet of Things, and people traveling through transportation, as well as access to critical communications and emerging services such as Against natural disasters or attacks, they do not experience service interruptions and ensure service continuity in mission-critical applications that cannot accept the risk of failures. The main technical challenge of non-terrestrial network is due to its different deployment scenarios from terrestrial networks. The long delay and wide coverage of some satellites pose significant challenges in random access, connection time, and any physical layer control method that requires feedback.

Keywords: 5G, non-terrestrial network, terrestrial network.

۱- مقدمه

در دهه ۱۹۸۰، سیستم نسل اول مبتنی بر فناوری‌های آنالوگ ساخته شد. سپس فناوری‌های دیجیتال مانند سیستم‌های نسل دوم مبتنی بر GSM، GPRS، EDGE و CDMA در دهه ۱۹۹۰ برای ارائه خدمات داده‌ای، صوتی و مدار بسته شده، ارائه شد. سپس سیستم‌های نسل سوم مانند WCDMA، CDMA20001X، EVDO در دهه ۲۰۰۰ مستقر شدند. متعاقباً، اولین سیستم نسل چهارم که نیاز را برآورده می‌کرد، در حدود سال ۲۰۱۰ به کار گرفته شد. اکنون سیستم ارتباطات سیار در حال تکامل به سمت سیستم نسل پنجم است. سیستم 5G، یک تغییر اساسی در نحوه دسترسی به شبکه و طرح‌های شبکه اصلی ایجاد کرد و مزایای بسیاری را ارائه می‌دهد. اما همچنان سیستم 5G به خودی خود نمی‌تواند پاسخگوی تمام نیازها باشد [۱ و ۲]. در شکل پایین روند ارائه‌ی سیستم‌های مخابراتی به ترتیب آورده شده است [۲].



شکل (۳): زمان ارائه‌ی سیستم‌های مخابراتی و خدمات 5G [۴].

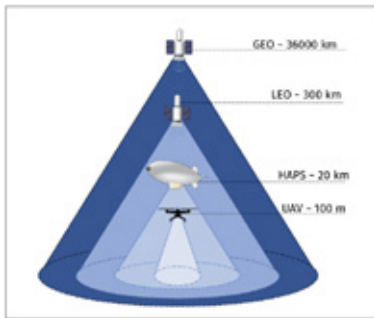
۲- قسمت‌های مقاله

۱-۲ تقسیمات مقاله

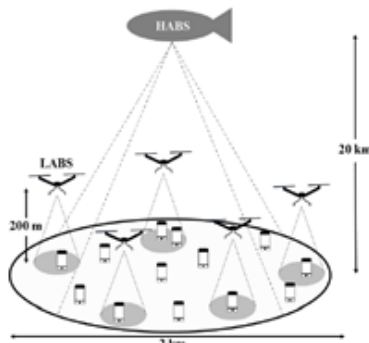
جدول (۱): سیستم‌عامل‌های شبکه غیرزمینی [۵ و ۱].

نوع	دامنه ارتفاع	مدار	محدود پوشش
GEO	۳۵۷۸۶ km	موقعیت ثابت برحسب ارتفاع	۲۰۰ - ۳۵۰۰ km ^۲
MEO	۷۰۰۰ - ۲۵۰۰۰ km	دایره‌ای در اطراف زمین	۱۰۰ - ۱۰۰۰ km ^۲
LEO	۳۰۰ - ۱۵۰۰ km	دایره‌ای در اطراف زمین	۱۰۰ - ۱۰۰۰ km ^۲
UAS	۸ - ۵۰ km	موقعیت ثابت برحسب ارتفاع	۵ - ۲۰۰ km ^۲
HAPS	۲۰ km	موقعیت ثابت برحسب ارتفاع	۱۰۰ km ^۲

سیس تقسیم‌بندی شبکه غیرزمینی را در دو شکل پایین که دو دیدگاه متفاوت هستند، مشاهده می‌کنیم.

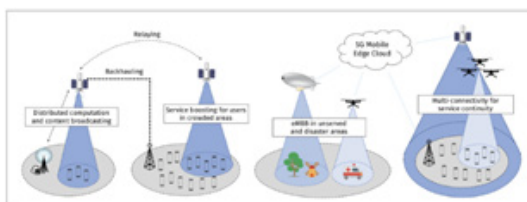


شکل (۴): تقسیم‌بندی شبکه غیرزمینی [۵].

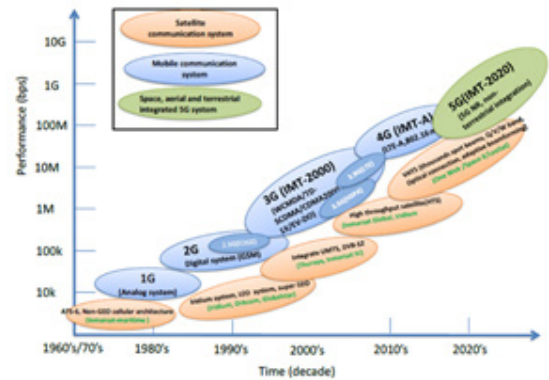


شکل (۵): تقسیم‌بندی شبکه هواپرد [۶].

در شکل (۶-۱) برخی از خدماتی که با شبکه یکپارچه زمینی غیرزمینی ارائه می‌شود، موجود است.



شکل (۶): برخی از خدماتی که با تلفیق شبکه‌های زمینی و غیرزمینی ارائه می‌شود [۵].



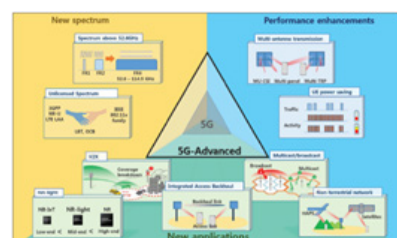
شکل (۱): ارائه‌ی سیستم‌های مخابراتی در دهه‌های مختلف [۲].

امروزه فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات (ICT) در قلب هر فعالیت صنعتی، اجتماعی و اقتصادی قرار دارند. فناوری‌ها و برنامه‌های جدید بر نحوه درک و تعامل ما با جهان پیرامون تأثیر می‌گذارند، اما به طور مداوم انتظارات و نیازهای کاربران را بیشتر می‌کنند. در نتیجه، سال‌های گذشته با تقاضای بی‌سابقه برای بهبود اتصال پهن باند، تأخیر نزدیک به صفر و ارتباطات فوق‌العاده قابل اعتماد و ناهمگن به وجود آمده است. اما این روندها احتمالاً ادامه خواهد یافت و در سال‌های آینده خواسته‌ها بیشتر از این هم خواهد شد. بررسی‌ها پیش‌بینی کرده‌اند که در پایان سال ۲۰۲۴ با تخصیص ۹۵٪ از کل ترافیک داده به تلفن همراه، استفاده از تلفن‌های هوشمند تا ۴۵٪ افزایش می‌یابد [۱].

در چنین شرایطی که دنیا به سرعت در حال تحول است، دستگاه‌ها، خدمات و فناوری‌هایی که در حال حاضر در بازار جهانی کاملاً تثبیت شده‌اند باید به طور قابل قبولی مورد توجه و بهبود قرار گیرند. با این حال، پیشرفت در فناوری‌های موجود به تنهایی برای تأمین نیازهای فوق یا حفظ بخش‌های جدید بازار کافی نیست و باید یک فناوری جدید برای رسیدگی به نیازهای فعلی، مطرح گردد [۱ و ۲].

برآورده ساختن کلیه درخواست‌های کاربر و ارائه کیفیت مطلوب خدمات در هر زمان و هر مکان مانند مسافرت با کشتی‌ها، قطارهای سریع‌السیر و هواپیماها، یکی از اصلی‌ترین چالش‌های سیستم‌های مخابراتی آینده است.

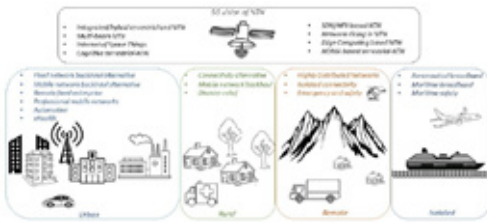
ترکیب سیستم‌های مخابراتی با شبکه غیرزمینی و پیشرفت هر دوی آن‌ها، یکی از راه‌حل‌های مؤثر در ارائه خدمات در تمامی مناطق جغرافیایی اعم از دریایی، کم پوشش یا بدون سرویس است [۱ و ۲ و ۳]. در نتیجه انتظار می‌رود شبکه‌ی غیرزمینی 5G پاسخگوی خواسته‌های بازار جهانی و ارائه خدمات در هر مکان و زمان باشند.



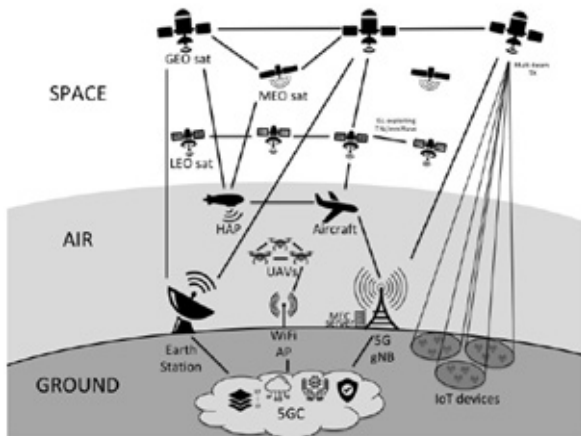
شکل (۲): خدماتی که 5G به کاربران ارائه می‌دهد [۴].

HAP

شبکه های غیرزمینی در 5G
تقسیم بندی شبکه غیرزمینی و خدمات آن در سیستم های 5G و فراتر از آن در دو شکل پایین ببینید.



شکل (۷): چشم انداز 5G از شبکه های غیرزمینی [۱].



شکل (۸): نقش شبکه های غیرزمینی در 5G و فراتر از آن [۱].

با شبکه غیرزمینی انتظار می رود که پوشش رادیویی جدید بتواند به مناطق کم تراکمی که هزینه استقرار شبکه های زمینی برای اپراتورها غیراقتصادی است، گسترش یابد. علاوه بر فاکتور هزینه، سرعت استقرار در سیستم عامل های فضایی یا هوابرد می تواند بسیار سریع تر باشد و جوامع مناطق کم سرویس را قادر می سازد تا مزایای خدمات NR را خیلی زودتر به دست آورند.

یک سیستم یکپارچه زمینی غیرزمینی مزایایی مانند نرخ داده و قابلیت اطمینان سرویس و افزایش ظرفیت را در مناطق شهری و روستایی ارائه می دهد. این افزایش ظرفیت در نتیجه استفاده مجدد فرکانس بالا و تکنیک های پیش رمزگذاری به وجود می آید.

دلایل اساسی پیاده سازی شبکه غیرزمینی 5G

پیاده سازی شبکه غیرزمینی 5G به دو دلیل اساسی، ضروری می شود. دلیل اول مربوط به عدم پوشش است که خود از دو عامل به وجود می آید:

۱- نبود زیرساخت ها ۲- غیراقتصادی بودن پیاده سازی شبکه زمینی

دلیل دوم مربوط به امنیت، انعطاف پذیری ارتباطات و مدیریت بحران است [۸].

موارد استفاده از شبکه غیرزمینی 5G

این موارد استفاده را می توان به سه دسته تقسیم کرد:

۱- تداوم خدمات

برای فراهم کردن دسترسی به شبکه، در صورتی که این دسترسی از طریق شبکه های زمینی غیرقابل اجرا باشد.

۲- فراگیر بودن خدمات

برای بهبود در دسترس بودن شبکه، در مواردی که یک شبکه زمینی به قطعی موقت یا تخریب دچار می شود.

۳- مقیاس پذیری خدمات

برای تخلیه ترافیک از شبکه های زمینی در ساعات عادی و شلوغ استفاده می شود.

معماری شبکه غیرزمینی 5G

در NG-RAN، رابطها و پروتکل های جدیدی برای پشتیبانی از شبکه های غیرزمینی اضافه می شوند.

برای غلبه بر این محدودیت ها، سکوها دارای ارتفاع زیاد مانند کشتی های هوایی و بالن هایی که در استراتوسفر در ارتفاعات ۱۷ کیلومتری تا ۲۰ کیلومتری فعالیت می کنند، یک راه حل بی سیم امیدوارکننده برای تقویت و پشتیبانی از شبکه های ماهواره ای و زمینی موجود ارائه می دهند.

این محدوده ارتفاعی به دلیل جریان باد و تلاطم کم انتخاب می شود که باعث کاهش مصرف انرژی مورد نیاز برای حفظ موقعیت HAP می شود؛ بنابراین، HAP ها می توانند به عنوان ایستگاه های پایه هوایی عمل کنند تا ارتباطات بین ایستگاه های ماهواره ای و کاربران زمینی را بهبود بخشند و از این رو توان مصرفی کلی شبکه را نیز کاهش دهند. HAP ها همچنین می توانند نه تنها برای خدمات پهن باند بلکه برای سایر خدمات مانند سنجش از راه دور، مشاهده زمین، موقعیت یابی، ارتباطات نظامی، ناوبری، هواشناسی، نظارت بر ترافیک، کنترل و ارتباطات اضطراری نیز استفاده شوند.

ایستگاه های ماهواره ای و HAP می توانند در اتصال جهانی در شرایطی که ایستگاه های پایه زمینی بیش از حد بارگیری دارند یا برای پشتیبانی از کاربران با توان عملیاتی بالا که خارج از مناطق تحت پوشش ایستگاه های پایه زمینی هستند، نقش مهمی ایفا کنند [۷].

مزایای HAP

مزایای اصلی استفاده از HAP نسبت به ایستگاه های پایه زمینی

۱- منطقه تحت پوشش بالا

شعاع منطقه تحت پوشش ایستگاه های پایه زمینی حدود ۱ کیلومتر است، در صورتی که HAP ها شعاع منطقه پوشش حدود ۳۰ کیلومتر را دارند؛ بنابراین، فقط چند HAP برای پوشش برخی از کشورهای کوچک کافی است.

۲- استقرار پویا و سریع

HAP ها می توانند به مناطق فاقد زیرساخت پرواز کنند تا خدمات را سریعاً ارائه دهند. ۳- مصرف کم انرژی

HAP ها می توانند به صفحه های خورشیدی مجهز شوند تا انرژی را در طول روز جمع کنند؛ بنابراین، با بهینه سازی دقیق مسیر، می توان HAP ها را از شارژ کردن توسط انسان ها، بی نیاز کرد.

مزایای اصلی استفاده از HAP نسبت به LEO

۱- استقرار سریع و کم هزینه

آن ها می توانند جایی که یک HAP برای شروع سرویس کافی است، تقاضای زمانی و ترافیکی را به سرعت برآورده کنند. همچنین، HAP ها می توانند با پرواز به مناطق مورد نظر به طور کوتاه و به موقع، برای راه اندازی مجدد ارتباطات در اسرع وقت، نقش مهمی در برنامه های اضطراری یا امداد رسانی داشته باشند. علاوه بر این، هزینه استقرار HAP ها بسیار کمتر از هزینه های استقرار ماهواره است.

۲- تأخیر و تلفات کمتر

به دلیل تضعیف زیاد در مسیر ایستگاه های ماهواره ای و کاربران زمینی، HAP ها می توانند با تأخیر و تلفات کمتری خدمات را به کاربران زمینی ارائه دهند.

مزایای اصلی استفاده از HAP نسبت به LAP

۱- منطقه تحت پوشش بالا

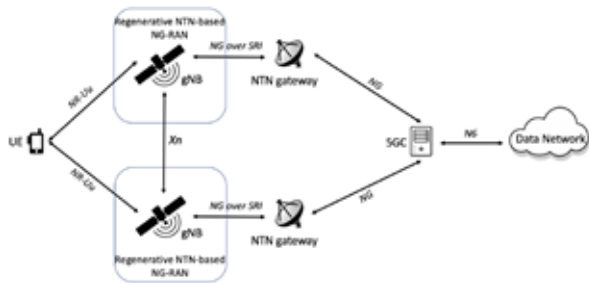
HAP ها پوشش بسیار گسترده تری نسبت به LAP ها دارند.

۲- در مورد زیرساخت های بدون منبع تغذیه زمینی

LAP های باتری دار امکان پذیر نیستند. زیرا LAP ها باید مرتباً هر چند ساعت یا هر چند دقیقه شارژ شوند. در حالی که با یک برنامه ریزی دقیق مسیر، HAP ها می توانند ماه ها بدون نیاز به شارژ مجدد اجرا شوند. همچنین از طرفی ارتفاع HAP ها به طور معمول دارای جریان کم باد و کم تلاطم است که باعث کاهش مصرف انرژی مورد نیاز برای حفظ موقعیت HAP می شود. در این حالت، HAP ها می توانند از منابع انرژی ترکیبی سوخت و خورشید استفاده کنند. HAP ها را می توان به عنوان سکوها ای آرواستاتیک اجرا کرد که در آن می توان از گاز سبک تر مانند هلیوم برای معلق بودن و از موتورهای بنزینی یا انرژی خورشیدی برای پیشبرد HAP ها استفاده کرد [۷].

ترکیبی از NG-RAN زمینی و NG-RAN مبتنی بر NTN-gNB-DU احیاکننده را نشان می‌دهد. تقسیم عملکردی در این نوع معماری اعمال می‌شود. بستر NTN، واحد توزیعی gNB را نشان می‌دهد و واحد مرکزی مربوطه روی زمین است. این سناریو ممکن است برای ارائه خدمات به کاربرها در مناطق کم سرویس دنبال شود.

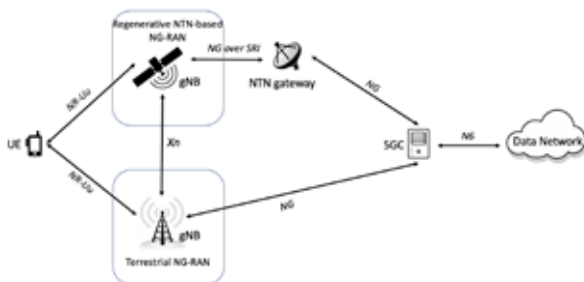
۴- دو RAN مبتنی بر NTN-gNB-DU احیاکننده



شکل (۱۸): دو RAN مبتنی بر NTN-gNB-DU احیاکننده [۱].

اتصال چندگانه همچنین می‌تواند مانند شکل بالا شامل دو NG-RAN مبتنی بر NTN-gNB-DU احیاکننده باشد.

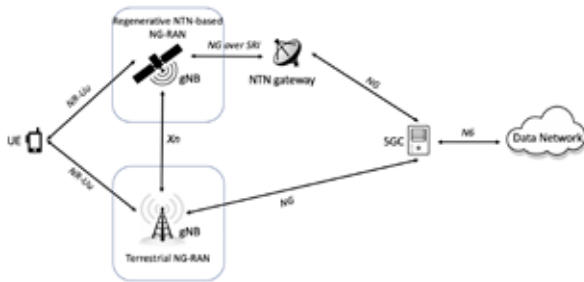
۵- دو RAN مبتنی بر شبکه غیرزمینی احیاکننده



شکل (۱۹): دو RAN مبتنی بر شبکه غیرزمینی احیاکننده [۱].

ساختار بالا ترکیبی از دو NG-RAN مبتنی بر NTN احیا شده متشکل از GEO یا LEO، یا ترکیبی از هر دو که با ISL به هم متصل می‌شوند را در نظر می‌گیرد. متفاوت از حالت قبلی، بستر NTN در این نوع معماری، همه وظایف gNB را انجام می‌دهد و تقسیم عملکرد اعمال نمی‌شود.

۲-۹-۴-۶- NG-RAN زمینی و NG-RAN مبتنی بر NTN-gNB-DU احیاکننده



شکل (۲۰): NG-RAN زمینی و NG-RAN مبتنی بر NTN-gNB-DU احیاکننده [۱].

اتصال چندگانه همچنین می‌تواند شامل NG-RAN زمینی و NG-RAN مبتنی بر شبکه غیرزمینی احیاکننده باشد.

۲-۲- روابط و فرمول‌های ریاضی

انواع مختلف مدل کانال به ترتیب برای HABS و LABS ارائه شده است [۹].

(۱) مدل کانال HABS با فرض اینکه HABS در ارتفاع معین quasi-stationary باشد، اتلاف توان کانال HABS در زیر حامل I_{th}

$$CPL^I = q_{LOS}A_{LOS} + q_{NLOS}A_{NLOS}(\eta^I)^{-1} \quad (1)$$

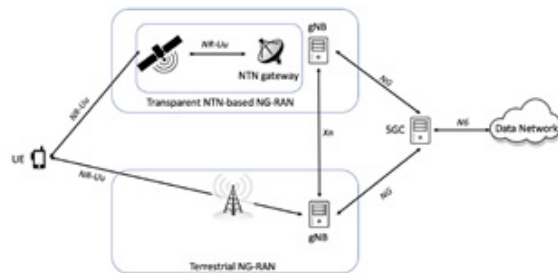
که در آن q_{NLOS} و q_{LOS} به ترتیب احتمال انتشار LOS و دید Non-LoS هستند.

ماهواره مبتنی بر بار احیاکننده که شامل بخشی از gNB است. گره رله، سیگنال NR دریافت شده از ماهواره مبتنی بر محموله احیاکننده را با تقسیم عملکردی gNB به ترمینال شبکه غیرزمینی منتقل می‌کند.

تداوم خدمات و اتصال چندگانه شبکه غیرزمینی 5G

ادغام شبکه‌های غیرزمینی و زمینی برای تضمین تداوم خدمات و مقیاس‌پذیری در سیستم‌های 5G و فراتر از آن ضروری است. با این حال، سیستم‌های 5G از تداوم خدمات نه تنها بین نسل بعدی شبکه دسترسی رادیویی شبکه زمینی و NG-RAN شبکه غیرزمینی، بلکه بین دو NG-RAN شبکه غیرزمینی نیز پشتیبانی می‌کنند. نیاز به تداوم سرویس بین دو NG-RAN به این معنی است که پشتیبانی باید انتقال بین سیستم‌ها را بدون وقفه سرویس، اجرا کند و همچنین یک عملکرد روان برای انتخاب شبکه بهینه امکان‌پذیر کند.

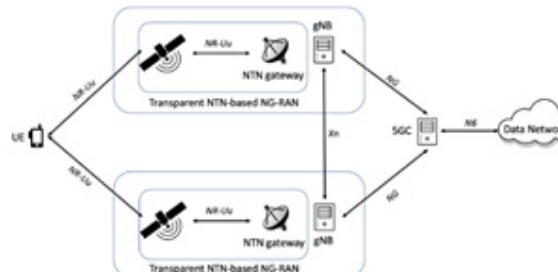
معماری‌های پشتیبانی‌کننده از اتصال چندگانه یکپارچه زمینی غیرزمینی NG-RAN زمینی و NG-RAN مبتنی بر شبکه غیرزمینی شفاف



شکل (۱۵): NG-RAN زمینی و NG-RAN مبتنی بر شبکه غیرزمینی شفاف [۱].

در شکل بالا ترمینال زمینی به طور هم‌زمان از طریق NG-RAN مبتنی بر شبکه غیرزمینی شفاف و NG-RAN شبکه زمینی، به 5GC متصل می‌شود. دروازه شبکه غیرزمینی در منطقه شبکه تلفن همراه عمومی داخل زمین NG-RAN واقع شده است.

۲- دو شبکه دسترسی رادیویی مبتنی بر شبکه غیرزمینی شفاف

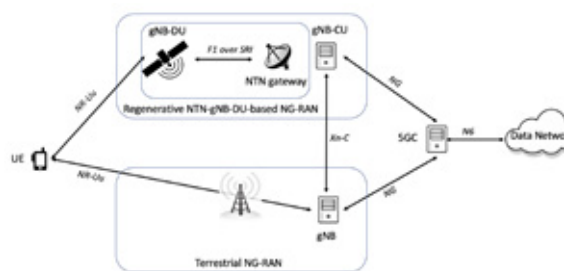


شکل (۱۶): دو RAN مبتنی بر شبکه غیرزمینی شفاف [۱].

شکل بالا ترکیبی از دو NG-RAN مبتنی بر شبکه غیرزمینی شفاف را نشان می‌دهد که متشکل از GEO یا LEO یا ترکیبی از هر دو است.

این سناریو ممکن است برای ارائه خدمات به کاربران در مناطق بدون سرویس دنبال شود. به طور خاص، برای ارائه سرویس حساس به تأخیر استفاده می‌شود زیرا با تأخیر انتشار کمتری نسبت به GEO عمل می‌کند. اما GEO برای تأمین پهنای باند بیشتر و در نتیجه توان عملیاتی بالاتر استفاده می‌شود.

۳- NG-RAN زمینی و NG-RAN مبتنی بر NTN-gNB-DU احیاکننده



شکل (۱۷): NG-RAN زمینی و NG-RAN مبتنی بر NTN-gNB-DU احیاکننده [۱].

۴- نتیجه گیری

شبکه‌ی غیرزمینی 5G در کنار تمام مزیت‌های فراوانی که دارد، راه بسیار طولانی برای پیاده‌سازی و عملیاتی شدن دارد. بخشی از این راه طولانی به این دلیل است که اپراتورهای موبایل حتی اگر در ظاهر هم قصد همکاری با یکدیگر را داشته باشند، در باطن این امر بسیار سخت و پیچیده است.

دلیل آن نیز غیرمنطقی نیست. شبکه‌های موبایل برای دستیابی به این سرویس باید بسیاری از مزایای خود را فدای مزایای مشتری کنند. البته اصولاً اپراتورها باید مشتری محور باشند، اما این مشتری‌محور بودن نیز مانند هر مسئله‌ی دیگری، محدودیتی دارد.

طبق تحقیقات صورت‌گرفته، ارائه شبکه یکپارچه زمینی غیرزمینی 6G، احتمالاً راحت‌تر و شدنی‌تر است.

البته این نکته باید حتماً ذکر گردد که شبکه غیرزمینی در آینده نه‌چندان دور، می‌تواند به‌خودی‌خود مستقل از هر شبکه زمینی فعالیت کند. یعنی بهتر است بگوییم، در آینده بیشتر به‌جای اینکه شبکه غیرزمینی به شبکه زمینی نیاز داشته باشد، شبکه زمینی در تنگنا و مشکلات قرار خواهد گرفت و نیازمند شبکه غیرزمینی خواهد شد که بتواند نسل‌های بعدی 7G، 8G و ... را پیاده‌سازی کند.

پیشنهادها

موارد زیر را برای تحقیق در آینده، پیشنهاد می‌شود

در این بخش، ما در مورد موضوعات اصلی بحث می‌کنیم و راه را برای مسیرهای تحقیقاتی آینده باز می‌کنیم.

مدیریت تحرک

بهتر است راجع به ماهواره‌های NGSO جهت تحقق یافتن مؤثرتر شبکه‌های یکپارچه تحقیق بیشتری گردد. این ماهواره‌ها با تأخیر انتشار کوتاه‌تر و سرعت داده بالاتر از ماهواره‌های GEO مشخص می‌شوند.

در سال‌های اخیر، چندین کار تحقیقاتی به مدیریت تحرک پرداخته‌اند. یکی از اهداف اصلی تحقیق‌های آینده باید یافتن راه‌حل‌های تحویل بهینه‌تر و کمتر شبکه‌های ماهواره‌ای LEO باشد، زیرا در این ماهواره‌ها تحویل زیادی صورت می‌پذیرد و در صورت کمتر شدن آن‌ها، می‌توان تعداد مزایای این ماهواره‌ها را بیشتر از تعداد معایشان کرد.

مدیریت تولید تأخیر

در ارتباطات مبتنی بر ماهواره NGSO، کانال رادیویی کاربر با نوسانات سریع در طول زمان تغییر می‌کند؛ بنابراین پس از سپری شدن زمان انتشار، کاربر دیگر نمی‌تواند داده‌های دریافتی را رمزگشایی کند یا QoS مطلوبی را داشته باشد.

در فعالیت‌های تحقیقاتی آینده، بهتر است بررسی راه‌هایی که چگونه این عوامل منجر به تغییر در کانال کاربر می‌شوند و چگونگی کنار آمدن با تغییرات ناگهانی کانال برای اطمینان از تداوم خدمات، ضروری است.

مدیریت منابع رادیویی

تخصیص کارآمد منابع رادیویی برای جلوگیری از موارد زیر ضروری است

۱- تداخل بین پرتو داخلی شبکه غیرزمینی

۲- تداخل بین شبکه غیرزمینی

۳- تداخل شبکه دسترسی بین رادیویی.

فعالیت‌های تحقیقاتی آینده می‌توانند بر روی راه‌حل‌های جدید برای افزایش ظرفیت با محدودکردن تداخل بین پرتوی در سیستم‌های ماهواره‌ای پرتوی چند نقطه متمرکز شوند. سرانجام، ممکن است برای مدیریت انتقال چندین سرویس و کنار آمدن با تداخل شبکه دسترسی بین رادیویی در سیستم‌های ترکیبی یا یکپارچه زمینی - غیرزمینی، ممکن است تکنیک‌های جدید تخصیص منابع رادیویی زیر مورد نیاز باشد.

۱- بهینه‌سازی جامع شبکه با استفاده از یادگیری ماشین

۲- یکپارچه‌سازی با بهره‌وری انرژی

۳- تخلیه هوشمند ترافیک

A_{LOS} تلفات مسیر LOS است، A_{NLOS} تلفات مسیر NLOS است. همچنین η^1 از یک توزیع نمایی تبعیت می‌کند که برای مدل سازی پارامترهای کانال در مقیاس کوچک در نظر گرفته می‌شود. q_{LOS} و q_{NLOS} عبارتند از:

$$q_{LOS}^{HABS}(\theta) = 10^{-2} \left(a_1 - \frac{a_1 - a_2}{1 + \left(\frac{\theta - a_3}{a_4} \right)^{a_5}} \right) \quad (2)$$

$$q_{NLOS}^{HABS} = 1 - q_{LOS}^{HABS}(\theta) = 1 - 10^{-2} \left(a_1 - \frac{a_1 - a_2}{1 + \left(\frac{\theta - a_3}{a_4} \right)^{a_5}} \right) \quad (3)$$

که در آن θ زاویه ارتفاع است و a_1, a_2, a_3, a_4, a_5 با توجه به نوع محیط انتخاب می‌شوند A_{NLOS} و A_{LOS} توسط فرمول زیر محاسب می‌گردند:

$$A_{LOS}^{HABS} = FSPL + \zeta_{shadow} \quad (4)$$

$$A_{NLOS}^{HABS} = FSPL + A_s + \zeta_{shadow} \quad (5)$$

A_s از یک توزیع نرمال با مشخصات زیر تبعیت می‌کند.

$$A_s \sim N(\mu(\theta), \mu^2(\theta)) \quad (6)$$

$$\mu(\theta) = \frac{g + \theta}{h + i\theta} \quad (7)$$

و همچنین FSPL تلفات مسیر فضای آزاد است که طبق فرمول زیر به دست می‌آید:

$$FSPL = 20 \log(d) + 20 \log\left(\frac{4\pi f}{c}\right) - 10 \log(D_{HABS}) \quad (8)$$

$$d = \frac{\Delta h}{\sin \theta} \quad (9)$$

(۲) مدل کانال LABS با فرض اینکه در ارتفاع معین quasi-stationary باشد، اتلاف توان کانال با فرمول‌های زیر محاسبه می‌گردد:

$$q_{LOS}^{HABS}(\theta) = \frac{1}{1 + m \exp(-n(\theta - m))} \quad (10)$$

$$A_s^{LABS} = FSPL + A_s^\xi + \zeta_{shadow} \quad \xi \in \{0, 1\} \quad (11)$$

که در فرمول بالا n و m بر اساس نوع محیط انتخاب می‌شوند. A_s^ξ از یک توزیع نرمال با مشخصات زیر تبعیت می‌کند.

$$A_s^\xi \sim N(\gamma_\xi, \sigma_\xi^2(\theta)) \quad (12)$$

$$\sigma_\xi^2(\theta) = u_\xi \exp(-w_\xi \theta) \quad \xi = 0$$

حال اگر محیط LOS باشد، آنگاه $\xi=0$ و اگر محیط NLOS باشد، آنگاه $\xi=1$ می‌باشد.

۳- اعداد و نشانه‌ها

جدول (۲): واژگان اختصاری استفاده شده [۹].

تلفات توان کانال در ۱ امین زیر حامل	CPL ¹
احتمال مسیر دید مستقیم	q_{LOS}
احتمال مسیر دید غیرمستقیم	q_{NLOS}
تلفات مسیر دید مستقیم	A_{LOS}
تلفات مسیر دید غیرمستقیم	A_{NLOS}
بهره توان کانال	η^1
زاویه ارتفاع	θ
تلفات مسیر فضای آزاد	FSPL
پارامتر مربوط به سایه، با توزیع نرمال	ζ_{shadow}



امروزه فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات (ICT) در قلب هر فعالیت صنعتی، اجتماعی و اقتصادی قرار دارند. فناوری‌ها و برنامه‌های جدید بر نحوه درک و تعامل ما با جهان پیرامون تأثیر می‌گذارند، اما به طور مداوم انتظارات و نیازهای کاربران را بیشتر می‌کنند.

در نتیجه، سال‌های گذشته با تقاضای بی‌سابقه برای بهبود اتصال پهن باند، تأخیر نزدیک به صفر و ارتباطات فوق‌العاده قابل‌اعتماد و ناهمگن به وجود آمده است. اما این روندها احتمالاً ادامه خواهد یافت و در سال‌های آینده خواسته‌ها بیشتر از این هم خواهد شد.

بررسی‌ها پیش‌بینی کرده‌اند که در پایان سال ۲۰۲۴ با تخصیص ۹۵٪ از کل ترافیک داده به تلفن همراه، استفاده از تلفن‌های هوشمند تا ۴۵٪ افزایش می‌یابد.

۵- مراجع

- [1] Rinaldi, Federica, et al. "Non-Terrestrial Networks in 5G & Beyond: A Survey." IEEE Access 8 (2020): 165178-165200.
- [2] Zhang, Shunliang, Dali Zhu, and Yongming Wang. "A survey on space-aerial-terrestrial integrated 5G networks." Computer Networks 174 (2020): 107212.
- [3] Bor-Yaliniz, Irem, et al. "Is 5G ready for drones: A look into contemporary and prospective wireless networks from a standardization perspective." IEEE Wireless Communications 26.1 (2019): 18-27.
- [4] Kim, Younsun, et al. "New radio (NR) and its evolution toward 5G-advanced." IEEE Wireless Communications 26.3 (2019): 2-7.
- [5] Giordani, Marco, and Michele Zorzi. "Non-terrestrial networks in the 6G era: Challenges and opportunities." IEEE Network (2020).
- [6] H. Ahmadinejad and A. Falahati, "Spectral Efficiency in Non-Terrestrial Heterogeneous Networks with Spectrum Underlay Access", Accepted for Publication, Under Press, Physical Communication, (2021).
- [7] Alsharoa, Ahmad, and Mohamed-Slim Alouini. "Improvement of the global connectivity using integrated satellite-airborne-terrestrial networks with resource optimization." IEEE Transactions on Wireless Communications 19.8 (2020): 5088-5100.
- [8] Shahid, Syed Maaz, et al. "Load Balancing for 5G Integrated Satellite-Terrestrial Networks." IEEE Access 8 (2020): 132144-132156.
- [9] H. Ahmadinejad and A. Falahati, "Spectral Efficiency in Non-Terrestrial Heterogeneous Networks with Spectrum Underlay Access", Accepted for Publication, Under Press, Physical Communication, (2021).

معرفی افراد

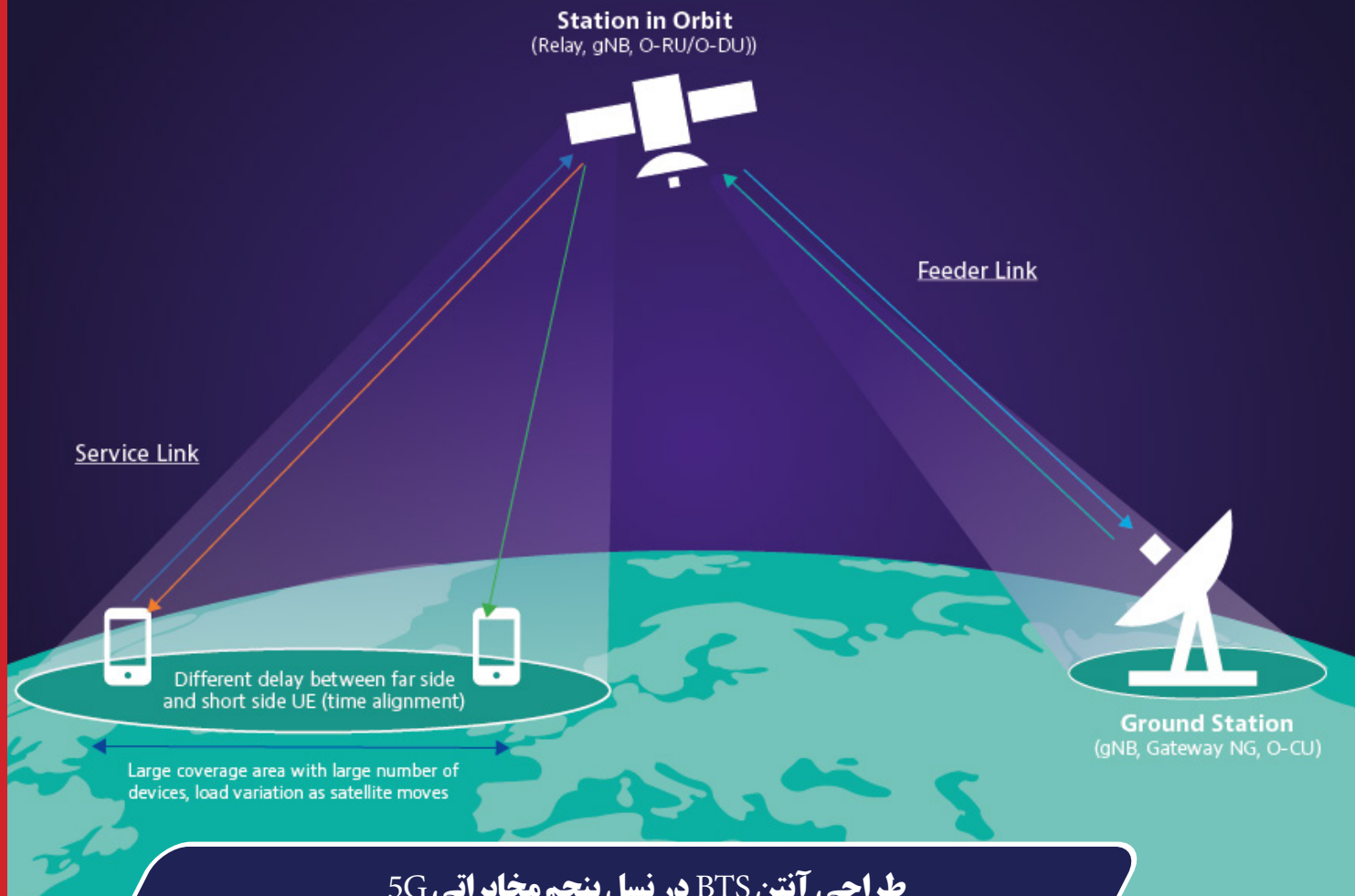
بیوگرافی:

رضا فودازی متولد تهران، مدرک کارشناسی خود را در سال ۲۰۱۹ از دانشگاه قم در رشته مهندسی برق مخابرات دریافت کرد و پروژه کارشناسی خود را در زمینه طراحی برجسب شناسایی فرکانس رادیویی (RFID) بدون تراشه دایروی گذراند. او هم‌اکنون دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی برق مخابرات گرایش مخابرات سیستم در دانشگاه علم و صنعت ایران است. زمینه‌های تحقیقاتی او شبکه‌های ناهمگن، ماشین لرنینگ، 5G و پهنای مخابراتی است.



مهدی غفوری وایقان متولد تهران، مدرک کارشناسی خود را در سال ۲۰۱۹ از قم در رشته مهندسی برق مخابرات دریافت کرد و پروژه کارشناسی خود را در زمینه طراحی جاذب‌های مدار آنالوگ با استفاده از سطوح انتخابگر فرکانسی (FSS) در دانشگاه قم گذراند. او هم‌اکنون دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی برق-مخابرات میدان و موج در دانشگاه تربیت مدرس است. زمینه‌های تحقیقاتی او طراحی آنتن به ویژه آنتن‌های مورد استفاده در مخابرات سلولی، آنتن‌های هوشمند، آنتن‌های آرایه‌ای، متامتریال، جاذب و قطعات میکروویوی می‌باشد. او همچنین در حال حاضر به عنوان نایب رئیس شاخه دانشجویی IEEE مشغول به فعالیت می‌باشد.





طراحی آنتن BTS در نسل پنجم مخابراتی 5G

مهدی غفوری وایقان^۱، رضا فودازی^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، m.ghafourivayghan@modares.ac.ir

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، RezaFoudazi@elec.iust.ac.ir

چکیده

در این مقاله به بررسی یک آنتن ساده، کم‌هزینه و فشرده و دارای پلاریزاسیون دوگانه (+45 و -45) با استفاده از طراحی آنتن پیچ معلق (SPA) در باند فرکانسی ۳٫۳ تا ۳٫۸ گیگاهرتز با کاربرد BTS های نسل پنجم مخابراتی می‌پردازیم. همان‌طور که از نتایج آنتن آرایه طراحی شده برداشت می‌شود آنتن دارای پلاریزاسیون خطی دوگانه (+45 و -45) HPBW در راستای عمودی برابر ۸٫۹ درجه و در راستای افقی نیز ۱۵٫۲ درجه می‌باشد. هم‌چنین گین آنتن نیز تقریباً ۲۴ dBi و SLL آرایه آنتن نیز مطلوب و کوچکتر از ۱۳- می‌باشد که با تقریب خوبی با نمونه‌های تجاری این محصول مطابقت دارد.

کلیدواژگان: آنتن، BTS، 5G

Abstract

In this article, we investigate a simple, low-cost and compact antenna with dual polarization (45+ and -45) using a suspended patch antenna (SPA) design in the frequency band of 3.3 to 3.8 GHz with the use of fifth generation telecommunication BTS. As it can be derived by the results of the designed array antenna, the antenna has dual linear polarization (+45 and -45) HPBW is the vertical direction and 15.2 degrees in the horizontal direction. Also, the gain of the antenna is approximately 24 dBi and the SLL of the antenna array is also favorable and smaller than -13, which corresponds with the commercial samples.

Keywords: Antenna, BTS, 5G

۱- مقدمه

دسترسی بی‌سیم در آینده فراتر از افراد خواهد بود و از اتصال برای هر نوع ارتباطی که ممکن است از اتصال بهره‌مند شود پشتیبانی می‌کند. یکی از انگیزه‌های کلیدی برای 5G تأمین پوشش باند پهن بی‌سیم در همه جا، با سرعت بالا و با کیفیت بالا برای تأمین نیازهای اجتماعی و صنعتی بعد از سال ۲۰۲۰ است. آنتن‌های ایستگاه پایه 5G در فضای باز باید همان ویژگی آنتن BTS در نسل‌های 2G, 3G, 4G را حفظ کنند (تطبیق امپدانس مناسب، پلاریزاسیون دوگانه، الگوی تشعشعی پایدار و...) و هم چنین قابلیت قابلیت اختصاص چندین پرتو برای چندین کاربر به صورت همزمان.

از طرح‌های موفق برای BTS‌های نسل 2G, 3G, 4G با استفاده از دو قطبی متقاطع مسطح [۱] یا دو قطبی متقاطع سه بعدی [۲] معرفی شده‌اند. علاوه بر این، تعداد کمی طراحی برای برنامه‌های 5G زیر ۶ گیگاهرتز ارائه شده است. در [۳]، آنتن بی‌سیم چندلایه برای کار در یک فرکانس واحد ۳.۷ گیگاهرتز مورد استفاده قرار گرفت. در [۴]، یک آنتن مبتنی بر مکانیسم مصنوعی برداری با اندازه کوچک و همسان‌سازی امپدانس صنعتی ($VSWR \leq 1.5$) معرفی شد اما پهنای باند آن ناکافی است (-۳.۳ تا ۳.۶ گیگاهرتز). در [۵]، BW با هزینه اندازه آنتن بهبود یافت تا نیاز تطبیق امپدانس غیرصنعتی ($VSWR \leq 2$) را برآورده کند. در [۶]، از زیر آرایه 2×2 آنتن استفاده شد تا گین بالایی را در باند فرکانس از ۳.۴۵ گیگاهرتز تا ۳.۵۵ گیگاهرتز فراهم کند. در نهایت از متامتریال برای طراحی آنتن‌های چند باند همانند [۷] و [۸] استفاده شد اما تک قطبی بودن آنها باعث محدود شدن برنامه‌های آنها در ارتباطات موبایل می‌شود. MIMO به عنوان یک فناوری کلیدی برای استقرار شبکه 5G در هر دو باند زیر ۶ گیگاهرتز و میلیمتری در نظر گرفته شده است. برای چند سال آینده، باند زیر ۶ گیگاهرتز برای شبکه 5G در کنار هم با شبکه‌های 3G و 4G برای ارائه ارتباطات بی‌سیم تلفن همراه گسترده می‌شود. علاوه بر این، انتظار می‌رود 5G ارتباطات ترافیکی را بر اساس P2MP فراهم کند [۹]. رویکردهای بسیاری برای دستیابی به توپولوژی ارتباطات ترافیکی اتخاذ شده است. متداول ترین روش استفاده از تنوع فرکانس یا الگو در یک آرایه آنتن MIMO است. در تنوع الگو، آرایه MIMO به زیرآرایه‌های کوچکی تقسیم می‌شود که هر کدام به طور مستقل تغذیه و کنترل می‌شوند تا پرتو خود را به سمت کاربر هدایت کنند [۱۰]. برای تنوع فرکانس، فرکانس‌های مختلف در باند فرکانس 5G (با تفکیک ۴۰ مگاهرتز حداقل بین دو فرکانس متوالی) برای تولید الگوهای تابش مختلف به کاربران همزمان به صورت یک به یک استفاده می‌شود [۱۱].

اشکال اصلی از رویکرد تنوع الگو، ضریب هدایت کم (انتخاب کاربر) و قابلیت هدایت محدود الگوی تابش به دلیل steeringهای محدود زیرآرایه‌ها است. از طرف دیگر، گرچه رویکرد تنوع فرکانسی، پرتوهای با هدایت بالا با قابلیت فرمان‌پذیری مناسب را ارائه می‌دهد، پهنای باند باریک تعداد کاربران را در هر لحظه به ۱۰ الی ۱۲ کاربر در هر BTS محدود می‌کند [۱۲].

روش دیگر برای دستیابی به توپولوژی ارتباطات ترافیکی، استفاده از آنتن‌های آرایه‌ای چند پرتو برای تولید تعدادی از پرتوهای جهت‌دار همزمان یا قابل تعویض اما مستقل با گین زیاد است [۱۲]-[۱۳]. یک آرایه آنتن چند پرتو ممکن است با استفاده از ماتریس باتلر [۱۵]-[۱۴] یا پورت‌های چند تغذیه‌ای [۱۶]، برای تولید همزمان پرتوهای چندگانه همزمان یا استاتیک دیجیتال [۱۶] و پرتو هیبریدی [۱۷] برای تولید چندتایی پویا اما سوئیچ شده پرتوها. برای به دست آوردن مزایای داشتن الگوی تابش همزمان چندگانه و پویا همزمان با یک آرایه آنتن، از سنتزهای آرایه با استفاده از الگوریتم‌های مختلف بهینه‌سازی استفاده می‌شود [۱۹]-[۱۶]. این الگوریتم‌ها به زمان پردازش طولانی نیاز دارند که کاربردهای آنها را در برنامه‌های real time، 5G محدود می‌کند.

طراحی آنتن و نتایج

یکی از نمونه‌های تجاری آنتن BTS‌های مربوط به نسل پنجم ساخته شده توسط شرکت NOKIA به همراه مشخصات و ویژگی‌های آن در ذیل آورده شده است.



شکل (۱): آنتن BTS نسل پنجم ساخته شده توسط شرکت NOKIA

آنتن پیشنهادی شامل یک بیج تشعشعی اصلی، یک پارازیتیک بیج ثانویه، دو تغذیه L شکل و یک دیواره فلزی عمودی می‌باشد.

بیج اصلی به واسطه خاصیت کوپلینگ خازنی توسط دو تغذیه دو پلاریزاسیون ۴۵+ و ۴۵- را هدایت می‌کند.

دیواره فلزی عمودی نیز به جهت افزایش ایزولاسیون میان پورت‌ها قرار گرفته است. بیج پارازیتی نیز به جهت افزایش پهنای باند (s11, s22) و تطبیق میان دو پورت مورد استفاده قرار گرفته است.

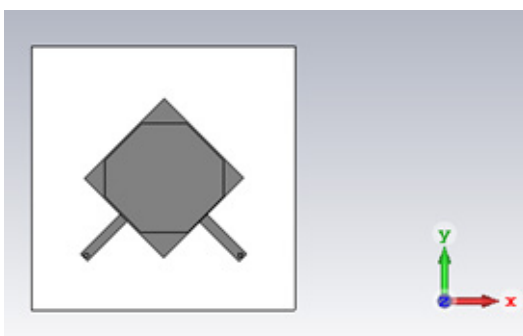
اگر لایه‌های آنتن را از سمت پایین بررسی نماییم ابتدا یک لایه زمین مربعی با ابعاد wg و ضخامت ۰.۰۱ میلی‌متر در نظر گرفته شده است.

سپس روی لایه ی زمین یک لایه دی‌الکتریک FR4 با ابعاد wg و ضخامت h قرار گرفته شده است. بر روی این لایه دو عدد تغذیه به صورت SMA بر اساس L probe اصلاح شده که از ثبت اختراع آمریکایی برداشت شده است آورده شده است. علاوه بر این یک لایه فلزی عمودی بر روی دی‌الکتریک جهت ایجاد ایزولاسیون مناسب (s12) قرار داده شده و به صورت cross بر لایه فلزی عمودی یک بیج مستطیلی با ضخامت کم قرار گرفته شده است.

سپس بر روی لایه فلزی عمودی یک لایه بیج مسی مربعی با ابعاد L قرار گرفته شده است و در نهایت نیز با فاصله hp یک بیج پارازیتی به صورت هشت ضلعی قرار گرفته شده است. ابعاد آنتن به صورت تک المان 13.1×7.5 میلی‌متر مکتب می‌باشد.

جدول (۱): ابعاد آنتن طراحی شده

اندازه بر حسب میلی‌متر	شرح پارامتر
۷۵	صفحه زمین
۳۲	بیج اصلی
۳۱ و ۳۴	بیج پارازیتی
۲،۹۴ و ۱۶	طول و عرض خط تغذیه
۱۵	طول دیواره فلزی
۵،۸	ارتفاع دیواره فلزی
۵،۵	فاصله میان بیج‌ها
۶	ارتفاع بیج اصلی
۱۰	طول قسمت مثلثی تغذیه
۲۰	عرض قسمت مثلثی تغذیه
۴	ارتفاع قسمت مثلثی تغذیه



نتایج تشعشی آنتن پیشنهادی در فرکانس ۳.۵۵ گیگاهرتز:

جدول (۳): نتایج تشعشی آنتن پیشنهادی در فرکانس ۳.۵۵ گیگاهرتز

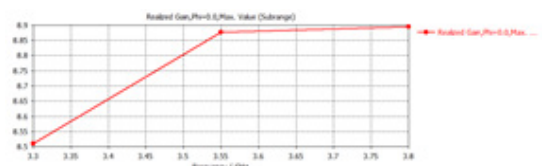
3.55 GHz				
Port	Phi	Gain (dBi)	HPBW (degree)	SLL
1	0	8.88	61.5	-14.8
	90	8.88	62.1	-15.4
2	0	8.89	61.4	-14.7
	90	8.89	62.1	-15.3
1 & 2	0	8.51	73.1	-15.6
	90	8.51	54.9	-12.8

نتایج تشعشی آنتن پیشنهادی در فرکانس ۳.۸ گیگاهرتز:

جدول (۴): نتایج تشعشی آنتن پیشنهادی در فرکانس ۳.۵۵ گیگاهرتز

3.8 GHz				
Port	Phi	Gain (dBi)	HPBW (degree)	SLL
1	0	8.89	59.6	-14.7
	90	8.89	61.7	-15.1
2	0	8.9	59.5	-14.6
	90	8.9	61.6	-15.1
1 & 2	0	8.16	78.6	-13.8
	90	8.16	53.1	-12.2

نمودار (۱): گین بر حسب فرکانس در پهنای باند امیدداری



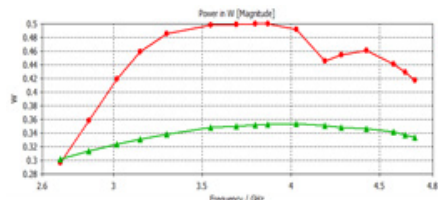
شکل (۵): نتایج مربوط به گین بر حسب فرکانس آنتن

با توجه به اینکه یکی از ویژگی‌های حائز اهمیت آنتن‌های BTS داشتن پلاریزاسیون اسلنت (+۴۵ و -۴۵) می‌باشد در این قسمت به بررسی پلاریزاسیون آنتن طراحی شده می‌پردازیم.

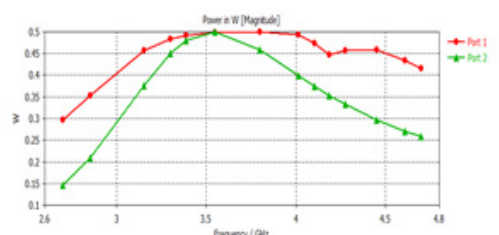
یکی از روش‌های اصلی برای بررسی پلاریزاسیون آنتن، استفاده از آنتن دوقطبی (دایپل) به عنوان مرجع برای اندازه‌گیری توان می‌باشد.

در اولین روش آنتن اصلی به عنوان فرستنده و آنتن دوقطبی (دایپل) به عنوان گیرنده در نظر می‌گیریم و مقادیر توان را بر روی گیرنده در زوایای افقی، اسلنت و عمودی در پهنای باند فرکانسی اندازه‌گیری می‌کنیم.

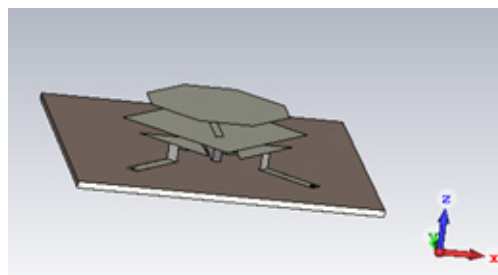
ابتدا پورت اول (+۴۵) را به عنوان فرستنده و آنتن دایپل را به عنوان گیرنده در نظر می‌گیریم و نتایج توان دریافتی را استخراج می‌کنیم.



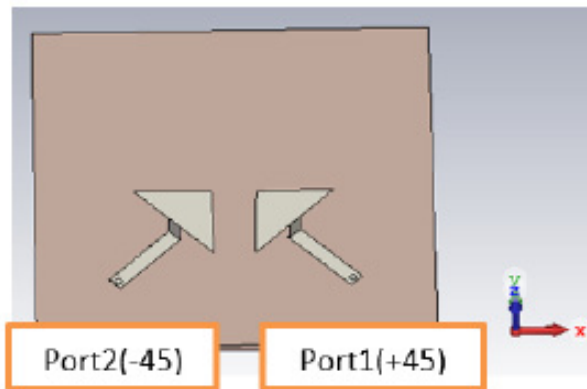
شکل شماره (۶): آنتن دایپل افقی



شکل (۷): آنتن دایپل اسلنت



شکل (۲): ساختار کلی آنتن از نمای بالا و کنار



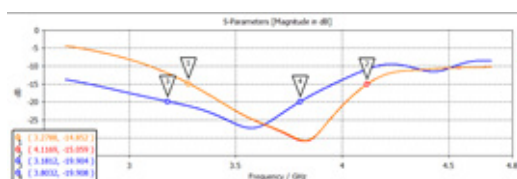
شکل (۳): ساختار تغذیه آنتن از نمای کنار

حال ساختار آنتن را در نرم افزار CST با سالور حوزه فرکانس شبیه‌سازی می‌نماییم و نتایج مورد نیاز را استخراج می‌نماییم.

ابتدا آنتن را به صورت مجزا شبیه‌سازی نموده و پس از آن پترن و نتایج حاصل از آرایه آن را استخراج می‌نماییم. می‌دانیم یکی از پارامترهای مهم آنتن تطبیق مطلوب تغذیه آن می‌باشد که در پهنای باند آنتن مؤثر می‌باشد.

به همین علت برای بررسی پهنای باند امیدداری به سراغ پارامترهای S11 و S22 و برای بررسی ایزولاسیون میان تغذیه‌ها به دنبال S21 و S12 می‌رویم.

بازه‌های فرکانسی که مقادیر S11 و S22 کمتر از -۱۵ دسی‌بل و S21 و S12 کمتر از -۲۰ دسی‌بل برای پهنای باند مطلوب می‌باشند که از اشتراک نمودارهای پارامترهای پراکندگی درمی‌یابیم پهنای باند آنتن طراحی شده در بازه فرکانسی ۳.۳ تا ۳.۸ گیگاهرتز می‌باشد.



شکل (۴): نتایج مربوط به S parameter

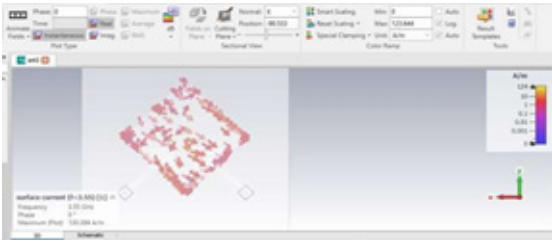
سیس به بررسی سایر پارامترهای مهم آنتن مانند گین، پهنای پرتو نیم‌توان (HPBW) و SLL در میدان راه دور در پهنای باند مطلوب به صورت مستقل دو پورت و همزمان در $\phi=90$ و $\phi=0$ می‌پردازیم.

نتایج تشعشی آنتن پیشنهادی در فرکانس ۳.۳ گیگاهرتز:

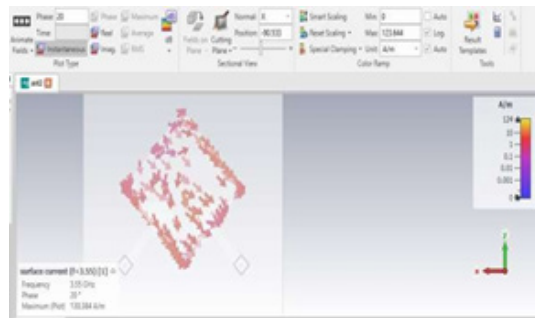
جدول (۲): نتایج تشعشی آنتن پیشنهادی در فرکانس ۳.۳ گیگاهرتز

3.3 GHz				
Port	Phi	Gain (dBi)	HPBW (degree)	SLL
1	0	8.51	65.3	-17.5
	90	8.51	64.5	-17.7
2	0	8.52	65.2	-17.5
	90	8.52	64.4	-17.7
1 & 2	0	8.52	71.3	-19.7
	90	8.52	59.6	-15.7

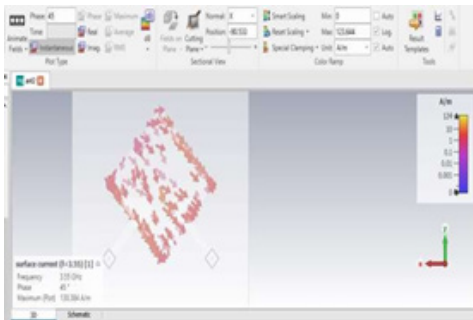
پورت اول:



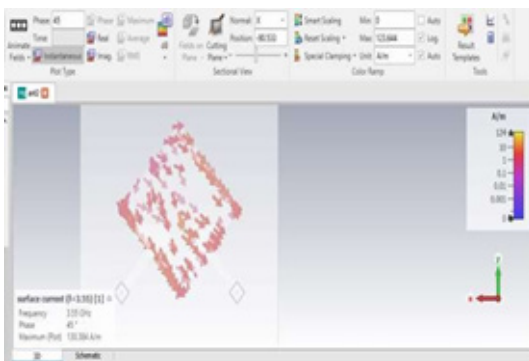
شکل (۱۱): جریان سطحی پورت اول در زاویه صفر درجه



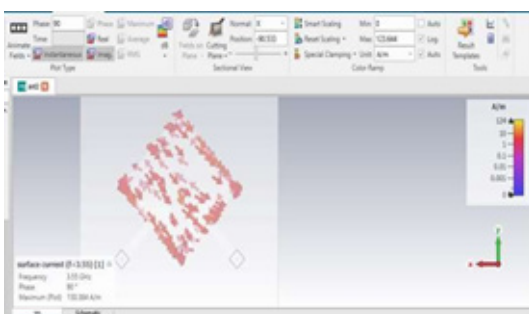
شکل (۱۲): جریان سطحی پورت اول در زاویه بیست درجه



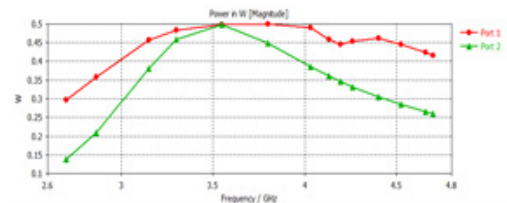
شکل (۱۳): جریان سطحی پورت اول در زاویه چهل و پنج درجه



شکل (۱۴): جریان سطحی پورت اول در زاویه هفتاد درجه



شکل (۱۵): جریان سطحی پورت اول در زاویه نود درجه



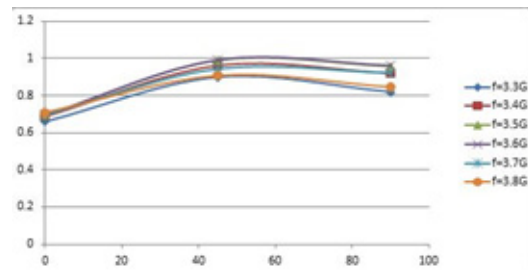
شکل (۸): آنتن دایپل عمودی

در نهایت داده های بدست آمده را در جدول یادداشت نموده و نمودار را برای زوایای فرکانس های مورد نیاز ترسیم می نماییم.

3.3G	3.4G	3.5G
angle	angle	angle
0	0	0
45	45	45
90	90	90
power	power	power
0.66	0.688	0.695
0.9	0.962	0.99
0.82	0.92	0.958

3.6G	3.7G	3.8G
angle	angle	angle
0	0	0
45	45	45
90	90	90
power	power	power
0.6952	0.6986	0.71
0.992	0.944	0.908
0.962	0.922	0.846

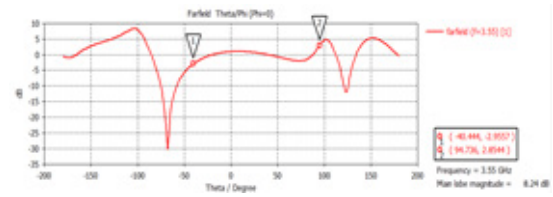
جدول (۵): داده های گیرنده در فرکانس و زوایای مختلف



نمودار (۲): نمودار حالت اول در فرکانس و زوایای مختلف

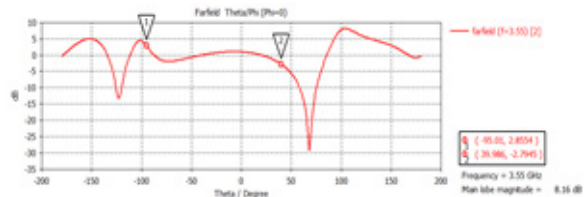
همان طور که از نمودار برداشت می شود حداکثر توان در زاویه اسلنت (+۴۵) توسط گیرنده دریافت می شود بنابراین پلاریزاسیون پورت اول خطی +۴۵ درجه می باشد. با توجه به شکل ساختار تغذیه و تقارن میان آنها نتیجه دریافتی به صورت مشابه در -۴۵ توسط گیرنده دریافت می شود بنابراین پلاریزاسیون پورت اول خطی -۴۵ درجه می باشد. دومین روش برای تشخیص پلاریزاسیون اسلنت بر اساس نمودار Theta/phi که بر اساس کره پوانکاره بدست می آید و در نمودار بر حسب دسی بل در بازه زاویه ای که مقادیر آن بین +۳ و -۳ دسی بل می باشد دارای پلاریزاسیون اسلنت می باشد.

پورت ۱:



شکل (۹): نتایج مربوط به پلاریزاسیون اسلنت پورت ۱

پورت ۲:

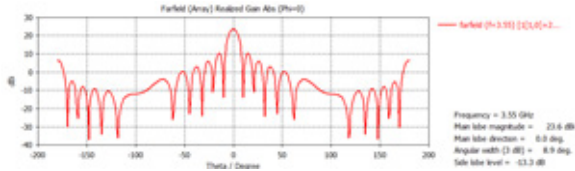


شکل (۱۰): نتایج مربوط به پلاریزاسیون اسلنت پورت ۲

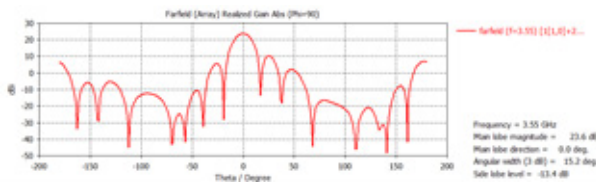
سومین روش برای تشخیص پلاریزاسیون اسلنت بر اساس جریان سطحی آنتن در زوایای مختلف می باشد. در این روش جریان سطحی حاصل از دو پورت آنتن را در زوایای صفر، بیست، چهل و پنجاه و هفتاد و نود درجه قرار داده شده است.

پورت دوم:

مطلوب برای آنتن های BTS نیاز به آرایه کردن المان طراحی شده داریم. تعداد المان های آنتن آرایه ای در راستای X و Y عدد می باشد و در نتیجه ساختار آرایه به صورت 8×8 می باشد. اندازه فواصل در راستای X و Y به ترتیب 60 میلی متر ($\lambda \times 0.7$) و 34 میلی متر ($\lambda \times 0.4$) می باشد. پس از مشخص شدن تعداد المان های آرایه و فواصل میان آنها به بررسی گین حاصل از آرایه آنتن طراحی شده می پردازیم.



شکل (۲۱): نتایج مربوط به پترن آرایه در فرکانس مرکزی (عمودی)



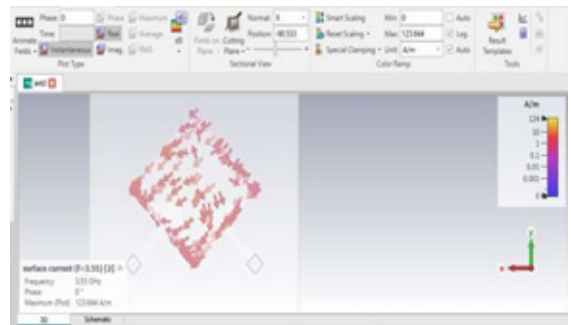
شکل (۲۲): نتایج مربوط به پترن آرایه در فرکانس مرکزی (افقی)

نتیجه گیری:

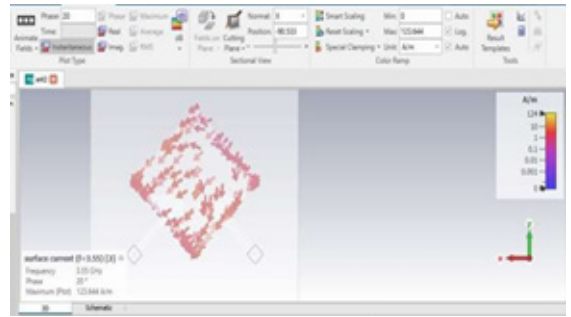
همان طور که از نتایج آنتن آرایه طراحی شده برداشت می شود آنتن دارای پلاریزاسیون خطی دوگانه در $HPBW$ ($+45^\circ$ و -45°) در راستای عمودی برابر 8.9 درجه و در راستای افقی نیز 15.2 درجه می باشد. هم چنین گین آنتن نیز تقریباً 24 dBi و SLL آرایه آنتن نیز مطلوب و کوچکتر از -13 می باشد که با تقریب خوبی با نمونه های تجاری این محصول مطابقت دارد.

منابع:

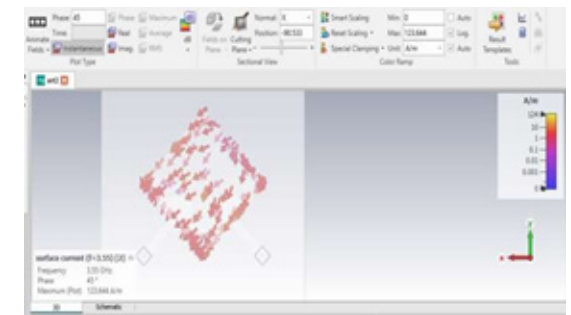
- [1] K. Yu, Y. Li, X. Luo and X. Liu, "A modified E-shaped triple-band patch antenna for LTE communication applications," IEEE International Symposium on Antennas and Propagation (APSURSI), Fajardo, pp. 295-296, 2016.
- [2] H. Huang, Y. Liu and S. Gong, "A Dual-Broadband, Dual-Polarized Base Station Antenna for 2G/3G/4G Applications," IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 16, pp. 1111-1114, 2017.
- [3] Y. Gao, R. Ma, Y. Wang, Q. Zhang and C. Parini, "Stacked Patch Antenna With Dual-Polarization and Low Mutual Coupling for Massive MIMO," IEEE Transactions on Ant. and Propag., vol. 64, no. 10, pp. 4544-4549, Oct. 2016.
- [4] H. Huang, X. Li and Y. Liu, "5G MIMO Antenna Based on Vector Synthetic Mechanism," IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 17, no. 6, pp. 1052-1055, June 2018.
- [5] Q. Wu, P. Liang, and X. Chen. "A Broadband $\pm 45^\circ$ Dual-Polarized Multiple-Input Multiple-Output Antenna for 5G Base Stations with Extra Decoupling Elements," Journal of Communications and Information Networks, Vol. 3, Issue 1, pp 31-37, March 2018.
- [6] M. A. Al-Tarifi, M. S. Sharawi and A. Shamim, "Massive MIMO antenna system for 5G base stations with directive ports and switched beamsteering capabilities," IET Microwaves, Antennas & Propagation, vol. 12, no. 10, pp. 1709-1718, 15 8 2018.
- [7] M. Alibakhshi-Kenari, M. Naser-Moghadasi, R. A. Sadeghzadeh, B. S. Virdee and E. Limiti, "Periodic array of complementary artificial magnetic conductor metamaterials-based multiband antennas for broadband wireless transceivers," IET Microwaves, Ant. & Propag., vol. 10, no. 15, pp. 1682-1691, 2016.
- [8] M. Alibakhshkenari, B. S. Virdee, A. Ali and E. Limiti, "Miniaturised planar-patch antenna based on metamaterial L-shaped unit-cells for broadband portable microwave devices and multi-band wireless communication systems,"



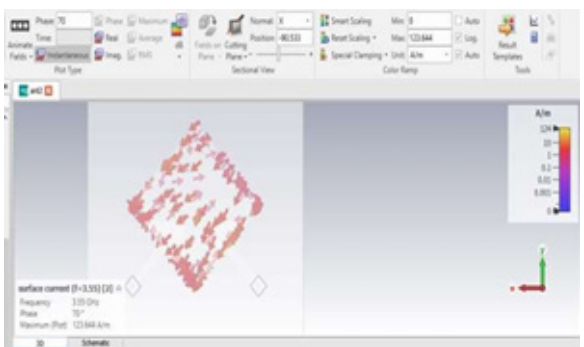
شکل (۱۶): جریان سطحی پورت دوم در زاویه صفر درجه



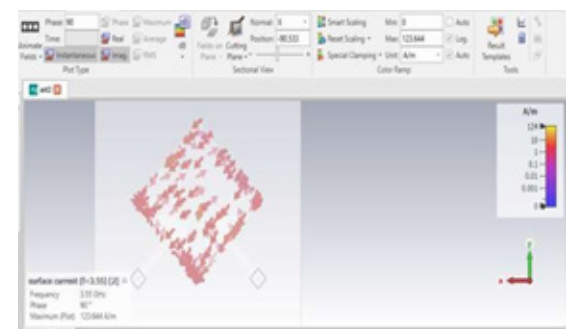
شکل (۱۷): جریان سطحی پورت دوم در زاویه بیست درجه



شکل (۱۸): جریان سطحی پورت دوم در زاویه چهل و پنج درجه



شکل (۱۹): جریان سطحی پورت دوم در زاویه هفتاد درجه



شکل (۲۰): جریان سطحی پورت دوم در زاویه نود درجه

حال با توجه به استخراج نتایج آنتن به صورت تک المان برای دستیابی به گین



دسترسی بی‌سیم در آینده فراتر از افراد خواهد بود و از اتصال برای هر نوع ارتباطی که ممکن است از اتصال بهره‌مند شود پشتیبانی می‌کند. یکی از انگیزه‌های کلیدی برای 5G تأمین پوشش باند پهن بی‌سیم در همه جا، با سرعت بالا و با کیفیت بالا برای تأمین نیازهای اجتماعی و صنعتی بعد از سال ۲۰۲۰ است. آنتن‌های ایستگاه پایه 5G در فضای باز باید همان ویژگی آنتن BTS در نسل‌های 2G, 3G, 4G را حفظ کنند (تطبیق امپدانس مناسب، پلاریزاسیون دوگانه، الگوی تشعشعی پایدار و...) و هم چنین قابلیت قابلیت اختصاص چندین پرتو برای چندین کاربر به صورت همزمان.

- IET Microwaves, Antennas & Propagation, vol. 12, no. 7, pp. 1080-1086, 2018.
- [9]Z. Wu, B. Wu, Z. Su and X. Zhang, "Development challenges for 5G base station antennas," International Workshop on Antenna Technology (iWAT), Nanjing, pp. 1-3, 2018.
- [10]D. Muirhead, M. A. Imran and K. Arshad, "A Survey of the Challenges, Opportunities and Use of Multiple Antennas in Current and Future 5G Small Cell Base Stations," IEEE Access, vol. 4, pp. 2952-2964, 2016.
- [11]E. Björnson, L. Van der Perre, S. Buzzi and E. G. Larsson, "Massive MIMO in Sub-6 GHz and mmWave: Physical, Practical, and Use-Case Differences" arXiv: 1803.11023v1, 29 Mar 2018.
- [12]H. Hu, H. Gao, Z. Li and Y. Zhu, "A Sub 6GHz Massive MIMO System for 5G New Radio," IEEE 85th Vehicular Technology Conference (VTC Spring), Sydney, NSW, pp. 1-5, 2017.
- [13]H. T. Chou, "An Effective Design Procedure of Multibeam Phased Array Antennas for the Applications of Multi satellite/Coverage Communications," IEEE Transactions on Ant. and Propag, vol. 64, no. 10, pp. 4218-4227, Oct. 2016.
- [14]Y. Cao, K. S. Chin, W. Che, W. Yang and E. S. Li, "A Compact 38 GHz Multibeam Antenna Array With Multifolded Butler Matrix for 5G Applications," IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 16, pp. 2996-2999, 2017.
- [15]Q. Wu, J. Hirokawa, J. Yin, C. Yu, H. Wang and W. Hong, "Millimeter-Wave Multibeam Endfire Dual-Circularly Polarized Antenna Array for 5G Wireless Applications," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 66, no. 9, pp. 4930-4935, Sept. 2018.
- [16]J. Zhang, W. Wu and D. g. Fang, "360° scanning multi-beam antenna based on homogeneous ellipsoidal lens fed by circular array," Electronics Letters, vol. 47, no. 5, pp. 298-300, March 2011.
- [17]A. S. Daryoush, "Digitally beamformed multibeam phased array antennas for future communication satellites," IEEE Radio and Wireless Symposium, Orlando, FL, pp. 831-834, 2008.
- [18]S. Mondal, R. Singh, A. I. Hussein and J. Paramesh, "A 25-30 GHz Fully-Connected Hybrid Beamforming Receiver for MIMO Communication," IEEE Journal of Solid-State Circuits, vol. 53, no. 5, pp. 1275-1287, May 2018.
- [19]M. A. Panduro and C. del Rio-Bocio, "Design of Beam-Forming Networks for Scannable Multi-Beam Antenna Arrays Using Corps," Progress In Electromagnetics Research, Vol. 84, 173-

معرفی افراد

بیوگرافی:

مهدی غفوری وایقان متولد تهران، مدرک کارشناسی خود را در سال ۲۰۱۹ از قم در رشته مهندسی برق مخابرات دریافت کرد و پروژه کارشناسی خود را در زمینه طراحی جاذب‌های مدار آنالوگ با استفاده از سطوح انتخابگر فرکانسی (FSS) در دانشگاه قم گذراند. او هم اکنون دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی برق-مخابرات میدان و موج در دانشگاه تربیت مدرس است. زمینه‌های تحقیقاتی او طراحی آنتن به ویژه آنتن‌های مورد استفاده در مخابرات سلولی، آنتن‌های هوشمند، آنتن‌های آرایه‌ای، متامتریال، جاذب و قطعات میکروویوی می‌باشد. او همچنین در حال حاضر به عنوان نایب رئیس شاخه دانشجویی IEEE مشغول به فعالیت می‌باشد.



رضا فودازی متولد تهران، مدرک کارشناسی خود را در سال ۲۰۱۹ از دانشگاه قم در رشته مهندسی برق مخابرات دریافت کرد و پروژه کارشناسی خود را در زمینه طراحی برچسب شناسایی فرکانس رادیویی (RFID) بدون تراشه دایروی گذراند. او هم اکنون دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی برق مخابرات گرایش مخابرات سیستم در دانشگاه علم و صنعت ایران است. زمینه‌های تحقیقاتی او شبکه‌های نا همگن، ماشین لرنینگ، 5G و



پهپادهای مخابراتی است.





فصل دوم

دانش‌های علمی در حوزه علم و فناوری

فارسی:

- * کاربرد رباتیک در صنعت پرورش دام و طیور
- * تحول در سازوکار بازرگانی برق در سطح شبکه‌های توزیع
- * تحلیل و کنترل وضعیتی بدن انسان جهت توان‌بخشی
- * طبقه‌بندی تصاویر نانو ساختار به وسیله الگوریتم‌های یادگیری عمیق

English:

- Application of Robotics in Livestock and Poultry Breeding Industry
- Electricity Trading Mechanism Development in Distribution Networks
- Human Postural Analysis and Control for Rehabilitation
- Classification of Nanostructure Images Using Deep Learning



تولید تابشی ۱۰ میلیارد برابر در خشانتر از نور خورشید در سطح زمین شتابدهنده ذرات

محمد استوار^۱

۱- کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، عضو دانشجویی IEEE، mohammad.ostovar@ipm.ir

چکیده

با پیشرفت علم و فناوری، شتابدهنده‌های ذرات کاربردهای گسترده‌ای در علوم و صنایع مختلف پیدا کرده‌اند. برخی از این کاربردها شامل تولید رادیوداروها، تصویربرداری‌های دقیق، درمان سرطان، مقاوم‌سازی لاستیک‌ها و پلاستیک‌ها، تولید کاتالیزورهای صنایع پتروشیمی با کارایی بالاتر، کاشت یون به منظور ساخت وسایل زینتی و ترانزیستورها، تصفیه پساب‌های بیمارستانی و صنعتی، پرتوهای محصولات کشاورزی برای افزایش طول عمر آنها، کاربردهای فیزیک بنیادی و بررسی مواد در مقیاس مولکولی و اتمی می‌شود. یکی از مهم‌ترین انواع شتابدهنده‌های ذرات، شتابدهنده سینکروترون است که زیرساخت آزمایشگاهی متمرکز عظیمی را در محدوده پرتو تراهرتز تا ایکس سخت برای بسیاری از کاربردها فراهم می‌کند. این تجهیز، ذرات باردار را در یک مسیر دایروی تا نزدیکی سرعت نور شتاب می‌دهد که مماس بر این حرکت دایروی، تابشی درخشان گسیل می‌شود. درخشندگی این تابش می‌تواند به ۱۰ میلیارد برابر نور خورشید برسد. درخشندگی بالا تابش تولید شده توسط این ابزار، امکان تصویربرداری و اندازه‌گیری نمونه‌ها را با دقت و کیفیتی کم‌نظیر برای طیف گسترده‌ای از کاربردها فراهم می‌کند. به همین سبب این نوع از شتابدهنده‌های ذرات به عنوان پیشران حوزه‌های مختلف علم و فناوری شناخته می‌شود. در این مقاله به معرفی شتابدهنده‌ها، و به طور خاص شتابدهنده سینکروترون و کاربردهای آن در علم و فناوری پرداخته می‌شود.

کلیدواژگان: شتابدهنده‌های ذرات، شتابدهنده سینکروترون، تابش سینکروترون، تابش ایکس سخت

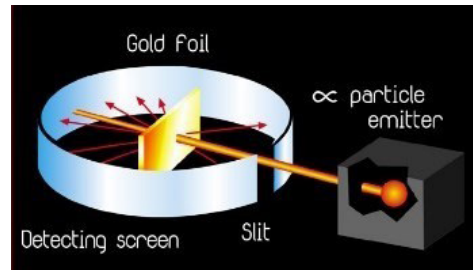
Abstract

With the progress of science and technology, particle accelerators have found extensive applications in various scientific and industrial fields. Some of these applications include the production of radio pharmaceuticals, precise imaging, cancer treatment, enhancing the resilience of rubber and plastics, producing more efficient catalysts for the petrochemical industry, ion implantation for creating decorative items and transistors, wastewater purification in hospitals and industries, irradiation of agricultural products to extend their shelf life, fundamental physics applications, and molecular and atomic-scale material investigation. One of the most important particle accelerators is the synchrotron accelerator, which provides a centralized laboratory infrastructure ranging from terahertz to X-rays, catering to various applications. This equipment accelerates charged particles in a circular path close to the speed of light, resulting in a brilliant synchrotron radiation. The brilliance of this radiation can reach up to 10 billion times that of sunlight. The high brilliance of the radiation produced by this tool enables precise imaging and measurement of samples with unparalleled accuracy for various applications. As a result, synchrotron accelerators are recognized as driving forces in various fields of science and technology. This article introduces accelerators, specifically the synchrotron accelerator, and explores its applications in science and technology.

Keywords: Particle Accelerators; Synchrotron Accelerator; Synchrotron Radiation; Hard X-Ray;

۱- مقدمه

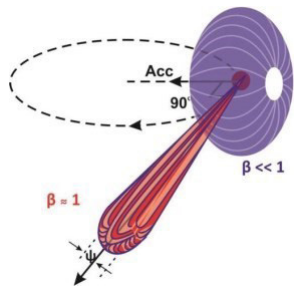
با کشف الکترون و هسته‌ی اتم، دانشمندان برای درک بهتر دنیای زیراتمی و در نهایت جهان هستی، به فکر شتاب و برخورد دادن آنها با یکدیگر و یا هدف‌های شناخته شده افتادند. به عنوان مثال جوزف تامسون به منظور فهم رفتار الکترون که تا آن زمان ذره‌ای ناشناخته بود، باریکه‌ای از این ذرات (الکترون‌ها) رو تحت اختلاف پتانسیلی مشخص شتاب داد و سپس یک میدان مغناطیسی به این ذرات شتاب داده شده اعمال کرد. او مشاهده کرد که باریکه شتاب داده شده به خاطر اعمال میدان مغناطیسی از مسیر مستقیم خود منحرف شده است، بنابراین او نتیجه گرفت که این ذره (الکترون) باید بار منفی داشته باشد. این آزمایش تامسون به لوله پرتو کاتی نیز شهرت دارد. همچنین ارنست رادرفورد نیز در آزمایشی (شکل ۱) با تاباندن باریکه‌ای از ذرات شتاب‌دار (هلیوم دو بار مثبت) به ورقه نازکی از جنس طلا، وجود هسته در اتم را ثابت کرد و نظریه اتمی مشهورش را ارائه داد.



شکل ۱: برخورد باریکه‌ای از ذرات شتاب‌دار (هلیوم دو بار مثبت) به ورقه نازکی از جنس طلا [۱]. به منظور شتاب دادن به ذرات می‌توان دو صفحه موازی را در فاصله معین از هم قرار داد. با ایجاد یک اختلاف پتانسیل مشخص بین صفحات موازی، میدان الکتریکی در فضای بین این دو صفحه ایجاد می‌شود. در صورتی که ذره‌ای باردار به عنوان مثال الکترون در فضای بین صفحه‌ها و در نزدیکی صفحه‌ای که پتانسیل کمتری قرار گیرد، این الکترون با دریافت انرژی از میدان الکتریکی بین دو صفحه، به سمت صفحه‌ای که در پتانسیل بالاتر قرار دارد، حرکت می‌کند. این افزایش انرژی ذره، متناظر با شتاب دادن به آن است. به همین سبب به تجهیز یا دستگاهی که شیوه کار آن به این صورت باشد، شتابدهنده می‌گویند. شتاب دادن به ذرات ابتدا با عبور دادن ذرات باردار از اختلاف پتانسیل الکتریکی ثابت انجام می‌شد. اما به دلیل محدودیت‌های فنی مثل پدیده شکست و تخلیه الکتریکی در ایجاد ولتاژهای بالای ثابت، این روش تنها برای انرژی دادن به الکترون‌ها تا بیشینه انرژی ۲۰ مگا الکترون ولت قابل استفاده است. در تلاش برای افزایش انرژی ذرات باردار، استفاده از میدان الکتریکی متغیر با زمان برای شتاب دادن به ذرات پیشنهاد شد. از نمونه‌های این نوع شتابدهنده می‌توان به شتابدهنده خطی و شتابدهنده‌های حلقوی مانند سیکلوترون، سنکروسیکلوترون و سینکروترون‌ها توسعه داده شدند [۲].

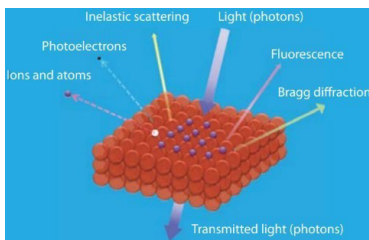
به طور خاص در شتابدهنده حلقوی سینکروترون، ذرات باردار در یک مسیر حلقوی تحت تأثیر میدان‌های مغناطیسی حرکت کرده و به دلیل داشتن تغییر جهت بردار سرعت از یک حرکت شتابدار تبعیت می‌کنند. در نتیجه، این ذرات باردار در راستای مماس بر حرکت خود شروع به تابش الکترومغناطیسی می‌کنند. این تابش الکترومغناطیسی، تابش سینکروترونی نامیده می‌شود [۲].

مطابق شکل ۲ با افزایش انرژی ذرات در یک مسیر دایروی، مقطع گسیل این تابش باریکتر و رو به جلو شده و ویژگی‌های منحصر بفردی پیدا می‌کند که برای بسیاری از کاربردهای علم و فناوری قابل استفاده و ارزشمند است. در انرژی‌های بالا این تابش رو به جلوتر شده و در مخروطی بار یک متمرکز می‌شود که زاویه‌ی گشودگی آن با افزایش انرژی بین ۱ تا ۰/۱ میلی رادیان کاهش یافته و قطر باریکه الکترونی نیز در حد چند میکرون است [۲]. درخشندگی این تابش می‌تواند به ۱۰ میلیارد برابر نور خورشید برسد. البته این تجهیز شتابدهنده به چشمه نور نیز شهرت دارد [۳].



شکل ۲: چگونگی تابش ذرات شتاب‌دار در یک مسیر دایروی. β نسبت سرعت ذرات به سرعت نور است [۴].

طیف این تابش بر حسب نوع ادوات مغناطیسی تولیدکننده آن می‌تواند پیوسته یا گسسته باشد و محدوده فرکانسی ترازتر تا ایکس سخت رو پوشش دهد. می‌توان با استفاده از فیلترهای مناسب می‌توان بخشی از طیف را که برای آزمایش مناسب است را انتخاب کرد. در سینکروترون‌ها، این تابش پالسی بوده و ساختار زمانی مشخص دارد. طول هر پالس بین ۱۰ تا ۱۰۰ پیکو ثانیه و فاصله‌ی زمانی بین پالس‌ها می‌تواند بین ۱۰ تا ۱۰۰ نانو ثانیه باشد [۲].



شکل ۳: آثار برخورد تابش سینکروترونی با یک نمونه مورد آزمایش [۶].

درخشندگی بسیار بالا تابش تولیدشده توسط این ابزار، امکان تصویربرداری و اندازه‌گیری نمونه‌ها را با دقت و کیفیتی کم‌نظیر برای طیف گسترده‌ای از کاربردها فراهم می‌کند. شکل ۳ نحوه شناسایی یک نمونه آزمایشی را به کمک این تابش نشان می‌دهد. برخورد تابش یاد شده با نمونه می‌تواند سبب گسیل فوتوالکترون، یون، اتم خنثی و اثر فلورسانسی از آن شود. همچنین بخشی از تابش می‌تواند جذب نمونه، از آن بازتابیده، پراکنده یا پراشیده شود و بقیه هم از آن عبور کند. هر کدام از این آثار می‌تواند برخی از مشخصات فیزیکی و شیمیایی نمونه را آشکار کند و در نتیجه اطلاعاتی ارزشمند و تصویری دقیق از جزئیات نمونه ارائه دهد [۵و۶]. در آغاز کسانی که می‌خواستند از خصوصیات این تابش استفاده کنند مجبور بودند سربار شتابدهنده‌هایی شوند که برای پژوهش‌های ذرات بنیادی ساخته شده بود. به عبارت دیگر مجبور بودند ابزارهای آزمایش خود را در کنار حلقه‌ی انباشت شتابدهنده‌های برخورددهنده ذرات مستقر کنند و هنگامی که آزمایش‌های ذرات بنیادی متوقف می‌شد، کار خود را انجام دهند.

از اوایل دهه‌ی ۱۹۷۰ میلادی این ایده مطرح شد که شتابدهنده‌هایی ویژه‌ی تولید تابش سینکروترونی ساخته شود. به این ترتیب شتابدهنده‌های تولید تابش سینکروترونی یکی پس از دیگری طراحی و ساخته شدند. اینک بیش از ۷۵ سینکروترون الکترون با هدف تولید و استفاده از تابش سینکروترونی در آمریکای شمالی، اروپای غربی، و خاور دور با حدود ۶۰۰۰۰ کاربر مشغول به کارند [۲]. نقشه پراکندگی چشمه‌های نور سینکروترونی در جهان در شکل ۴ نشان داده شده است [۷].



شکل ۴: نقشه پراکندگی چشمه‌های نور سینکروترونی در جهان [۷].

کرد. به عنوان مثال: ساخت داروهای جدید، طراحی میکروتراشه‌های پر قدرت برای رایانه‌ها، درون کاشته‌های کوچک زیست پزشکی، ساخت آلیاژهای فلزی با استحکام بیشتر برای بال هواپیماها، به بار آوردن مواد جدید برای قالبگیری تزریقی کالاهایی مانند کفش مخصوص دویدن، بدنه‌ی خودرو، سپر خودرو، فوم برای میل، ساخت رنگ‌های بدون حلال، تولید پلاستیک‌های تجزیه‌پذیر زیستی، بررسی سطوح و مرز بین مواد برای مقابله با مشکلات خوردگی در خودروها و هواپیماها و لوله‌ها، ساخت ماشین‌های میکروسکوپی، ارزیابی عملکرد میکروتراشه‌ها، ردگیری غلظت آلاینده‌ها در سیستم‌های طبیعی، تعیین غلظت سرب در سفال، ساخت مواد کاهنده‌ی سایش بسیار نازک مواد، ارزیابی مکان‌های احتمالی برای معدنکاری و بسیاری از کاربردهای مهم دیگر. در ادامه برخی از این کاربردها با توضیح بیشتری بیان شده است.

۳-۱ ابزارهای الکترونیکی بسیار نازک

تبلتی را به نازکی یک برگ کاغذ تصور کنید که می‌توانید آن را تا کرده و در جیب خود بگذارید. یا یک تلویزیون سه‌بعدی که به دور دیوارها پیچیده می‌شود. در حال حاضر این تصورات در فیلم‌های علمی تخیلی دیده می‌شود ولی با استفاده از گرافن در نسل آینده ابزارهای الکترونیکی، قابل تحقق است. گرافن صفحه تک لایه‌ای از اتم‌های کربن است که در یک شبکه لانه زنبوری در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند. این صفحه به صورت غیرقابل باوری مستحکم (تقریباً ۱۰۰ برابر قوی‌تر از آهن) و سبک است، و حرارت و الکتریسیته را به خوبی هدایت می‌کند. این ماده اولین بار در سال ۲۰۰۴ در دانشگاه منچستر ساخته شد و کشف آن جایزه نوبل ۲۰۱۰ را برای سازندگان آن در پی داشت. گروهی از دانشمندان در چشمه نور کانادا توانستند کوچکترین چگالی اپتیکی گرافن را اندازه‌گیری کنند و دریچه‌ای را به سوی ساخت نانواپارهای بر پایه گرافن بگشایند که می‌تواند صنعت ابزارهای الکترونیکی را در آینده متحول سازد. برای ساخت ابزارهای الکترونیکی منعطف با گرافن، شناخت ویژگی‌های ذاتی این ماده در هنگام تا شدن یا ترک خوردن بسیار مهم است. دانشمندان از تابش سینکروترون برای مطالعه خواص گرافن استفاده کرده‌اند. آنها امید دارند که یافته‌های آنها منجر به ساخت ابزارهای الکترونیکی بر پایه گرافن با ساختاری منحصر به فرد و مشخصات بهبودیافته جهت کاربردهای مختلف شود [۱۴].



شکل ۶: تابش سینکروترون، دریچه‌ای رو به ساخت ابزارهای الکترونیکی بسیار نازک.

۳-۲ انرژی خورشیدی

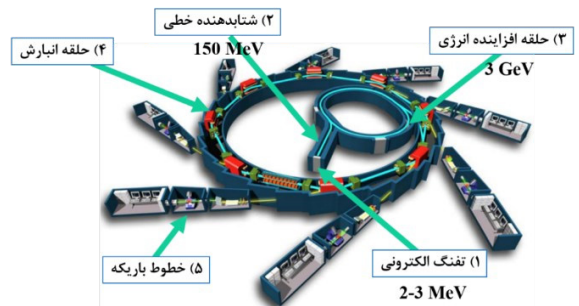
مشکل جهانی انرژی می‌تواند با استفاده از نور خورشید به عنوان منبع انرژی خانگی مرتفع شود. متأسفانه به دلیل عدم کارآمدی فناوری کنونی انرژی خورشیدی، این انقلاب انرژی تنها به عنوان یک آرزو باقی مانده است.

حتی طراحی‌های اخیر تنها ۴۰ درصد انرژی خورشید را به الکتریسیته تبدیل می‌کنند. مطالعه فرآیند فوتوسنتز می‌تواند در این زمینه راه‌گشا باشد. در طبیعت، تنها یک آنزیم فوتوسیستم II توانایی انجام واکنش مهم اکسیداسیون مولکول‌های آب و تولید اکسیژن با بازده بالا را دارد. این آنزیم در گیاهان، جلبک و سیانو باکتری یافت می‌شود و فعالیت آن با انرژی نور جذب شده به گردش درمی‌آید و سبب ایجاد جوی غنی از اکسیژن می‌شود که ما هم اکنون از آن بهره‌مند هستیم. فوتوسیستم II به طور وسیعی با بلورنگاری اشعه ایکس مورد مطالعه قرار گرفته اما دانشمندان با استفاده از تابش سینکروترون توانستند تمامی فرآیندهای چرخه پیچیده اکسیداسیون آب را به طور لحظه به لحظه دنبال کنند. شناخت این مکانیسم کلیدی برای تولید سوخت‌های تجدیدپذیر در آینده خواهد بود. قابل ذکر است که از انرژی خورشیدی می‌تواند برای تولید گاز هیدروژن نیز استفاده کرد [۱۵].

۲- پروژه سینکروتون چشمه نور ایران

ایران فاقد یک مرکز متمرکز تحقیقاتی برای بسیاری از پژوهشگران از حوزه‌های مختلف است. طی چندین نشست رسمی و رأی‌زنی‌های غیررسمی، اندیشمندان ایرانی به این نتیجه رسیدند که ساخت سینکروتون ملی برای کاربران ایرانی و پژوهشگران منطقه بسیار ضروری است.

چشمه نور ایران، یک شتابدهنده سینکروترونی نسل چهارم با انرژی ۳ گیگا الکترون ولت و جریان ۴۰۰ میلی‌آمپر با محیط حلقه انبارش ۵۲۸ متر است [۹و۸]. در این ماشین شتابدهنده، الکترون‌ها توسط تفنگ الکترونی بسامد رادیویی تولید و دسته می‌شوند و به انرژی ۲ تا ۳ مگاالکترون ولت می‌رسند. در ادامه به منظور فشرده‌سازی طولی و حذف کردن دسته‌های کم‌انرژی، باریکه الکترونی از یک مغناطیس آلفا عبور داده می‌شود و برای تزریق به حلقه افزایشده انرژی، توسط یک شتابدهنده خطی به انرژی ۱۵۰ مگاالکترون ولت می‌رسد [۱۱و۱۰]. سپس باریکه ۱۵۰ مگاالکترون ولتی برای رسیدن به انرژی نهایی ۳ گیگا الکترون ولت، وارد حلقه افزایشده انرژی شده و به انرژی نهایی خود می‌رسد. در نهایت باریکه الکترونی ۳ گیگاالکترون ولتی از حلقه افزایشده انرژی به حلقه انبارش منتقل می‌شود. در حلقه انبارش با عبور باریکه پرنانژی از آهنرباهای خم‌کننده، در راستای مماس بر حرکت باریکه، تابش سینکروترونی تولید و توسط ابزارات نوری برای استفاده کاربران به خطوط باریکه منتقل می‌شود. اما باریکه الکترونی در مسیر دایروی حلقه انبارش برای مدت زمانی طولانی ذخیره می‌شود [۱۳و۱۲]. طرحواره یک شتابدهنده سینکروتون در شکل ۵ نشان داده شده است. مشخصات اصلی حلقه انبارش طرح چشمه نور ایران در جدول ۱ ارائه گردیده است.



شکل ۵: طرحواره یک ماشین شتابدهنده سینکروتون.

جدول ۱: پارامترهای اصلی حلقه انبارش چشمه نور ایران [۱۲].

مقدار	واحد	پارامتر
انرژی باریکه الکترونی	گیگا الکترون ولت	۳
جریان باریکه الکترونی	میلی آمپر	۴۰۰
گسیلندگی	نانومتر-رادیا ن	۲۸/۰
محیط حلقه	متر	۵۲۸
فرکانس بسامد رادیویی	مگاهرتز	۱۰۰
بیشینه ولتاژ بسامد رادیویی	مگا ولت	۵/۱

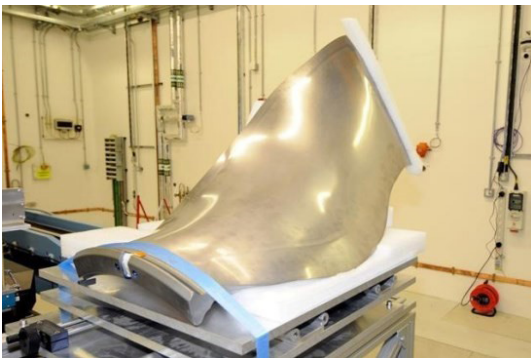
۳- کاربردهای تابش سینکروترونی

تابش سینکروترونی در بسیاری از حوزه‌های علوم، تحقیقات و فناوری مورد استفاده قرار می‌گیرد. همانطور که در مقدمه بدان اشاره گردید، هر جا که نیاز به بررسی ساختار ماده در مقیاس اتمی باشد، تابش سینکروترونی به کار می‌آید. اطلاعاتی که از طریق تابش سینکروترونی حاصل می‌شود، برای صنایع مختلف اهمیت دارد. از نمونه‌های کاربرد این اطلاعات در علوم و مهندسی می‌توان موارد فراوانی اشاره

۳-۵ ساخت آلیاژهای فوق‌سبک

ساخت آلیاژهای فوق‌سبک گروهی از دانشمندان پروژه‌ای را برای یافتن آلیاژی فوق‌سبک و ضدزنگ از منیزیم با استفاده از چشمه سینکروترون استرالیا آغاز کرده‌اند. آنها عقیده دارند چنین آلیاژی می‌تواند مقدار قابل توجهی از وزن کامیون‌ها را کاهش دهد. این مطالعه اولین گام به سوی تولید انبوه فلزی سبک با مقاومت بالا موسوم به "منیزیم ضد زنگ" است که می‌تواند در ساخت ماشین‌ها، کامیون‌ها و هواپیماها مورد استفاده قرار گیرد.

وزن آلیاژ منیزیم-لیتیوم نصف آلومینیوم و ۳۰ درصد سبک‌تر از منیزیم است. این ویژگی، این آلیاژ را به عنوان جایگزین مناسبی برای فلزات رایج مورد استفاده در وسایل نقلیه مطرح می‌سازد که استفاده از آن می‌تواند بازده سوخت را افزایش داده و کاهش گازهای گلخانه‌ای را سبب شود. تاکنون آلیاژهای مشابهی توسط دانشمندان دیگر ساخته شده تا ترکیب سبکی لیتیوم با قدرت و پایداری منیزیم به طور همزمان استفاده شود. چنین فلزی می‌تواند با ارتقای بازده سوخت، مسافتی را که هواپیماها، ماشین‌ها و فضاپیماها می‌توانند با یک بار سوختگیری طی کنند را افزایش دهد. "منیزیم ضدزنگ" اولین آلیاژ مقاوم در برابر خوردگی و زنگ است. دانشمندان با استفاده از باریکه پودری چشمه سینکروترون استرالیا دریافته‌اند که این آلیاژ شامل یک نانو ساختار منحصر به فرد است که شکل‌گیری یک لایه سطحی محافظ را ممکن می‌سازد. تحقیق بر روی ساختار مولکولی این آلیاژ و چگونگی مقاومت آن در برابر خوردگی ادامه دارد [۱۸].



شکل ۹: استفاده از تابش سینکروترون برای بهبود کیفیت آلیاژها.

۳-۶ پیشگیری از بیماری‌های عصبی

به منظور پژوهش در زمینه ژنوم انسان و سایر موجودات زنده و به دلیل نیاز به پروتئین‌های نو ترکیب در پزشکی و بیوفناوری، تقاضا برای ابزاری کارآمد جهت تجزیه و تحلیل ساختارها روز به روز افزایش خواهد یافت. این تقاضا تنها با استفاده فزاینده از تابش سینکروترون پاسخ داده خواهد شد. آنزیم ATP یک ماشین مولکولی است که پروتون‌ها را از میان غشاهای سلولی منتقل کرده و با تولید تری‌فسفات آدنوزین سبب ذخیره انرژی در سلول‌ها می‌شود. مکانیسم عمل و ساختار ATP توسط جان واکر همکارانش تعیین شد و منجر به کسب جایزه نوبل شیمی برای این دانشمند شد. واکر و تیمش با استفاده از بلورنگاری پرتو ایکس در چشمه‌های سینکروترون ساختار سه بعدی این آنزیم را در مقیاس اتمی آشکار کردند. ATP یک آنزیم کلیدی در تولید انرژی سلولی است. این موفقیت حاصل ۱۲ سال تلاش مداوم واکر و تیم همراهش بود. دانشمندان دریافته‌اند که اختلال در عملکرد آنزیم ATP عامل مهمی در تولید بیماری‌های دژنراتیو است. بیماری‌های دژنراتیو گروهی از بیماری‌ها مثل بیماری آلزایمر، پارکینسون و گر هانتینگتون هستند که در نتیجه تخریب تدریجی سلول‌های عصبی در دستگاه مرکزی رخ می‌دهند و مشخصه آنها اختلالات، تباهی و تخریب تدریجی سلول‌های عصبی و افزایش اختلال در رفتارها و عملکرد است. معمولاً توانایی تبدیل غذا به انرژی با افزایش سن افراد، تقلیل می‌یابد. چنین اثراتی می‌تواند به بیماری‌هایی چون آلزایمر و پارکینسون منجر شود. مطالعات در این زمینه در چشمه‌های سینکروترون در جریان است و محققین امیدوارند بتوانند راه حل قطعی برای پیشگیری از بیماری آلزایمر ارائه دهند [۱۹].



شکل ۷: حرکت به سوی انرژی پاک و پایان‌ناپذیر با استفاده از تابش سینکروترون.

۳-۳ سلول‌های سوختی

تابش سینکروترون می‌تواند در بخش‌های مختلف مربوط به توسعه سلول‌های سوختی مورد استفاده قرار گیرد. توسعه غشاهای سلول‌های سوختی مقاوم از نظر مکانیکی و حرارتی، توسعه کاتالیزورهای سلول سوخت، کنترل میزان هیدراسیون غشاهای سلول سوخت و کاهش هزینه‌های مربوط به مواد از طریق فرآیند بهینه‌سازی از جمله این موارد به شمار می‌روند. روش سینکروترونی مورد استفاده، پراش اشعه ایکس سینکروترون خواهد بود که به عنوان یک روش منحصر به فرد در این زمینه مطرح است. این شیوه می‌تواند برای بازبینی تغییرات ساختاری موضعی غشاء یک سلول سوخت در طول چرخه‌های اکسیداسیون/کاهش، تعیین فرآیند هیدراسیون در یک غشاء پلیمری به صورت تابعی از زمان و بازبینی تحولات گرمایی ساختارهای بلوری یک هادی اکسید-یون به عنوان یک الکترولیت جامد، مورد استفاده قرار گیرد. از اطلاعات بدست آمده می‌توان برای افزایش عمر سلول نیز بهره برد.

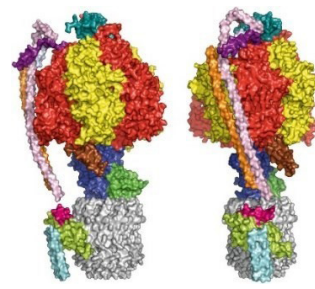
طیف‌سنجی پرتو ایکس جذبی سینکروترون روش دیگری است که برای مشخص کردن کاتالیزورهای سلول سوخت با فراهم کردن اطلاعات در مرحله اکسیداسیون، تعیین فاصله اتم‌های همسایه اتم جاذب، انجام اندازه‌گیری‌های کمی و کیفی در زمان میلی‌ثانیه، مطالعه درجه هیدراسیون غشاها و مشخص کردن نانو مواد (اکسیدهای فلز یا بلورهای آلیاژ) و بهبود گزینش کاتالیزور استفاده می‌شود [۱۶].

۳-۴ صنایع هوافضا

صنعت هوافضا نیازمند دانش عمیق از ویژگی‌ها و رفتار مواد در شرایط بحرانی است. تابش سینکروترون امکان تحلیل تنش با قدرت تشخیص بالا، به شیوه‌ای غیرمخرب در زمانی بسیار کوتاه‌تر از روش‌های آزمایشگاهی موجود را داراست. توانایی ارزیابی ضعف ساختاری مؤلفه‌ها و مواد در مقیاس میکروسکوپی در تضمین امنیت و ارتقاء عملکرد مواد مورد استفاده در صنعت هوافضا بسیار قابل اهمیت است. در صنایع ساخت و حمل و نقل هوایی، برخورداری از دانش کافی در زمینه ارتباط تنش/ کرنش در بسیاری از اجزای فلزی برای ایمنی و طول عمر سیستم بسیار قابل اهمیت است. اندازه‌گیری میزان تغییر شکل مؤلفه با اشعه ایکس در مراکز تابش سینکروترون، که ابزاری ارزشمند برای آنالیز تنش است، این شناخت را میسر می‌سازد. این روش، میزان تغییر شکل در فلزات را با اندازه‌گیری تغییر شکل ساختاری شبکه‌های فلزی در سطح اتمی در یک نمونه حجمی، بدست می‌دهد. نیروهای فشاری که با استفاده از نقشه تغییر شکل محاسبه می‌شوند، مناطق حساس را مشخص می‌کنند. باریکه‌های اشعه ایکس با شدت بالا، می‌توانند برای تجزیه و تحلیل فولاد تا عمق چند میلیمتر مورد استفاده قرار گیرند [۱۷]. شرکت ایرباس تحقیقاتی را با استفاده از تابش سینکروترون در زمینه تنش‌های وارد شونده به اجزای مورد استفاده در صنعت هوایی با عکسبرداری از فرآیندها انجام داده است. نتایج این تحقیقات همچنین برای اصلاح شکل این مؤلفه‌ها به منظور دست‌یابی به عملکرد بهینه مورد استفاده قرار گرفت.



شکل ۸: استفاده از تابش سینکروترون برای شناخت ضعف ساختاری مؤلفه‌ها و مواد مورد استفاده در صنایع هوافضا.



شکل ۱۰: ساختار آنزیم ATP

۷-۳ مبارزه با ویروسها

در دهه ۱۹۸۰ بلورهای ویروس سرماخوردگی برای اولین بار با تابش سینکروترون مورد مطالعه قرار گرفت. این تحقیق منجر به ابداع روش‌های جدید برای مطالعه نمونه‌هایی شد که به تابش بسیار حساس هستند. در ادامه به نمونه‌هایی از ویروس‌های مورد مطالعه قرار گرفته اشاره می‌شود.

آمار قریباً نیاں ایدز تا سال ۲۰۰۷ دو میلیون نفر تخمین زده شده است. هم چنین در این سال حدود ۳۳/۲ میلیون نفر در سراسر جهان با این بیماری درگیر بودند. حدود سه چهارم این مرگ و میرها در آفریقا روی داده است.

این موضوع ضمن کاهش سرمایه انسانی، رشد اقتصادی را نیز تحت تأثیر قرار داده است. انتظار می‌رود که کاهش سرمایه انسانی منجر به شکست اقتصادی و اجتماعی در کشورهایی شود که از آمار بالای مبتلایان به ایدز رنج می‌برند.

در سال ۱۹۸۹ براساس تحقیقات انجام گرفته با استفاده تابش سینکروترون ساختار پروتئین موجود در ویروس HIV به چاپ رسید. پس از آن شرکت‌های داروسازی از این ساختارها به عنوان یک الگو برای طراحی داروهای مهارکننده بهره گرفتند. اغلب داروهای ضد ویروس ایدز، پروتئین مشخصی را در این ویروس مورد حمله قرار می‌دهند و به عنوان پایه و اساس نسل بعدی از داروهای ضد ایدز به شمار می‌روند. در حال حاضر با استفاده از این داروها میزان رشد ایدز در بسیاری از کشورها تحت کنترل در آمده و یا با رشد منفی مواجه شده است [۲۱].

۸- مراجع

- [1] <https://historyoftheatomictheory.weebly.com/ernestruetherford.html>
- [2] <https://ilsf.ipm.ac.ir/EducationalMaterial/SynchRad.pdf>
- [3] <https://www.diamond.ac.uk/Home/About.html>
- [4] Amardeep Bharti and Navdeep Goyal, "Synchrotron Radiation - Useful and Interesting Applications", 8 February 2019, DOI: 10.5772/intechopen.82202.
- [5] Stephen P. Cramer, "X-Ray Spectroscopy with Synchrotron Radiation-Fundamentals and Applications", Book, Springer, Biological and Medical Physics, Biomedical, October, 2020.
- [6] www.nsrc.org.tw/NsrcWebSystem/UPLOADS/ENGLISH/PUBLISH_BROCHURE/Brochure/2.pdf
- [7] David Schimansky, "XIDeR - an X-ray Integrating Detector for the ESRF-EBS Upgrade", HighRR BiWeekly Seminar, University of Heidelberg, 2019.
- [8] J. Rahighi et al., ILSF, "a third-generation light source laboratory in Iran", in Proceedings of 4th International Particle Accelerator Conference, Shanghai China (2013), pg. 1137.
- [9] J. Rahighi et al., "Progress status of the Iranian light source facility", in Proceedings of 5th International Particle Accelerator Conference, Dresden Germany (2014), pg. 240.
- [10] A. Sadeghipanah et al., "Low emittance pre-injection system for Iranian Light Source Facility", Nucl.Instrum. Meth. A 806 (2016) 340.
- [11] A. Sadeghipanah et al., "Bunch compression in low emittance pre-injection system of Iranian Light Source Facility", 2016 JINST 11 P01002.
- [12] H. Ghasem, E. Ahmadi and F. Saeidi, "Lattice design history of the Iranian Light Source Facility storage ring", in Proceedings of 5th International Particle Accelerator Conference, Dresden German, (2014), pg. 249.
- [13] H. Ghasem et al., "Beam dynamics of a new low emittance third generation synchrotron light source facility", Phys. Rev. ST Accel.Beams 18 (2015) 030710.

[14] <http://www.esrf.eu/Industry/applications#bulk>.

[15] <http://www.esrf.eu/Industry/applications#energy>.

[16] <http://www.diamond.ac.uk/Home/News/LatestNews/17-06-15.html>

[17] New Light on Science, "The social and economic impact of the Daresbury Synchrotron Radiation Source", 19812008, read more on GreavesGN, et al., A Structural Basis for Ionic Diffusion in Oxide Glasses, Phil. Mag. A65,10591072, 1991.

[18] Schmidt et al., "Watching the Growth of Bulk Grains During Recrystallization of Deformed Metals", Science, 305: 229 - 232, 2004.

[19] New Light on Science, The social and economic impact of the Daresbury Synchrotron Radiation Source, 1981-2008, read more on Abrahams, J. P. et al. (1993), structure at 2.8 Å resolution of F1- ATPase from bovine heart mitochondria, nature, vol 370, P. 621-628, 25, 1994.

[20] Edgar Morales-Rios, Martin G. Montgomery, Andrew G. W. Leslie, and John E. Walker, "Structure of ATP synthase from Paracoccus denitrificans determined by X-ray crystallography at 4.0 Å resolution", Biochemistry, Oct 12, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1517542112>

[21] New Light on Science, "The social and economic impact of the Daresbury Synchrotron Radiation Source", 19812008, read more on Nature, Sep 2004: Murine Leukaemia virus capsid structure. Insights into retroviral assembly. Steven Gamblin, NIMR Mill Hill.

معرفی افراد

محمد استوار

متولد مهر ۱۳۷۲ تهران، مدرک کارشناسی خود را از دانشگاه صنعتی

شاهرود در رشته مهندسی برق مخابرات دریافت کرد و پروژه کارشناسی

خود را در زمینه کاواک شتابدهی ذرات در طرح چشمه نور ایران گذراند.

او فارغ التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی برق-مخابرات میدان و موج

در دانشگاه تربیت مدرس است. تخصص او تحلیل، طراحی و اندازه‌گیری کاواک‌های

بسامد راد یویی است و هم اکنون در پژوهشگاه دانش‌های بنیادی در پروژه چشمه نور

مشغول به فعالیت است. او همچنین عضویت رسمی دانشجویی انجمن IEEE را دارد و

در شاخه دانشجویی IEEE دانشگاه تربیت مدرس از سال ۲۰۱۹ مشغول به فعالیت است.

او در سال ۲۰۲۱ و ۲۰۲۲ به ترتیب دبیر و رئیس شاخه دانشجویی IEEE دانشگاه تر



بیت مدرس بود.



**مشکل جهانی انرژی می‌تواند با استفاده از نور
خوشید به عنوان منبع انرژی خانگی مرتفع
شود. متأسفانه به دلیل عدم کارآمدی فناوری
کنونی انرژی خورشیدی، این انقلاب انرژی
تنها به عنوان یک آرزو باقی مانده است.**



کاربرد رباتیک در صنعت پرورش دام و طیور

حسین طیبی، سجاد ازگلی^۲

۱- حسین طیبی، کارشناسی ارشد، تربیت مدرس، تهران، H.Tayebi1378@gmail.com
 ۲- دانشیار گروه کنترل، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، تربیت مدرس، تهران، ozgoli@modares.ac.ir

چکیده

در این پژوهش سعی شده است تا کاربرد رباتیک در صنعت پرورش دام و طیور به صورت جزئی بررسی شود. در همین راستا به معرفی کلی و بررسی جایگاه صنعت پرورش دام و طیور در مقیاس کلی پرداخته شده و همچنین کارکرد تکنولوژی روز به ویژه رباتیک در آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. برای این کار نیز چالش‌های موجود در این صنعت و همچنین میزان اهمیت این چالش‌ها تحلیل شده و نهایتاً بررسی شده که رباتیک در چه زمینه‌هایی می‌تواند این چالش‌ها را برطرف کرده و موجب افزایش بهره‌وری در این صنایع شود. کارکردهایی از ربات‌ها که می‌توانند عملیات را به جای نیروی انسانی برعهده بگیرند و یا کارکردی فراتر از نیروی انسانی داشته باشند نیز توضیح داده شده است. تعدادی از ربات‌های طراحی شده توسط محققین و همچنین برخی از ربات‌های تجاری‌سازی شده در سطح جهان معرفی شده‌اند. در اثنای معرفی هر کدام از این ربات‌ها، ساختار و مشخصات فنی آن‌ها مفصلاً آورده شده است. نهایتاً با توجه به اطلاعات به دست آمده، نتیجه‌گیری و پیشنهادهایی نیز ارائه شده است.

کلیدواژگان: رباتیک، هوش مصنوعی، دام و طیور، صنعت، مزرعه

Abstract

In this research, an attempt has been made to investigate the application of robotics in the livestock and poultry breeding industry. In this regard, an introduction and examination of the position of the livestock and poultry industry has been discussed in general, and the function of modern technology, especially robotics, has been examined in them. For this purpose, the existing challenges in this industry as well as the importance of these challenges have been analyzed and finally it has been investigated in which fields, robotics can solve these challenges and increase productivity in these industries. Applications of robots that can take over operations instead of human or have an application beyond human are also explained. A number of robots designed by researchers as well as some commercialized robots have been introduced globally. During the introduction of each of these robots, their structure and technical specifications are given. Finally, according to the obtained information, some conclusions have been presented.

Keywords: Robotics; Artificial Intelligence; Livestock and Poultry; Industry; Farm

۱- مقدمه

تعاریف متعددی را می‌توان برای علم ربایک مطرح کرد. جامعیت و مانعیت این تعاریف بسته به نوع نگاه و اهداف اشخاص می‌تواند متفاوت باشد. به‌عنوان مثال می‌توان ربات را دستگاهی قابل برنامه‌ریزی و خودکنترل تعریف کرد که از واحدهای مکانیکی، الکتریکی یا الکترونیکی تشکیل شده است. ربات‌ها در بسیاری از زمینه‌ها از جمله صنعت، پزشکی، هوانوردی، فضاوردی و... به کار گرفته می‌شوند. ربات‌های متحرک یکی از پرکاربردترین نوع ربات‌ها هستند که می‌توان آن‌ها را بر اساس توانایی‌شان در حرکت مستقل، هوش کافی‌شان برای واکنش و تصمیم‌گیری بر اساس درک محیط، از سایر ربات‌ها متمایز کرد. کاربرد این ربات‌ها نیز محدود نیست و در بسیاری از زمینه‌ها از جمله صنعت و خدمات می‌توانند به کار گرفته شوند.

به تعبیر بسیاری از تحلیلگران، کاربرد هوش مصنوعی در ربایک، یکی از مهم‌ترین کانون‌های توجه زمینه‌های توسعه ربایک است. یک رایانه هوشمند ممکن است بتواند مانند انسان فکر کند، اما یک ربات هوشمند می‌تواند بسیاری از وظایف محول شده را به شیوه‌ای شبیه به انسان عمل کرده و آن را به اجرا درآورد. وسایل نقلیه خودگردان، ربات‌های خدماتی، ربات‌های جست‌وجو و نجات و غیره از ربات‌هایی هستند که فناوری هوش مصنوعی قابلیت نقش‌آفرینی در عملکرد آنها را دارد. این نقش‌آفرینی می‌تواند در جنبه‌های مختلفی از ربات به کار گرفته شود. به‌عنوان مثال ربات می‌تواند از تشخیص گفتار، ناوبری خودکار، بینایی ماشین و... که همه‌وهمه از قابلیت‌های هوش مصنوعی هستند بهره‌بردار.

امروزه باتوجه به توسعه جوامع انسانی و همچنین تفاوت و بالارفتن سطح انتظارات بشر، نیاز جدی در زمینه صنایع غذایی احساس شده و به یکی از مهم‌ترین مسائل مطرح در جهان تبدیل شده است. در نتیجه در دنیای کنونی "صنایع غذایی" یکی از بزرگ‌ترین صنایع فعال در سطح جهان می‌باشد که نه‌تنها به مسئله رفع نیاز انسان‌ها می‌پردازد، بلکه دغدغه اصلی آن تجارت و سودآوری است. صنایع غذایی مجموعه‌ای عظیم از مشاغل هستند که در جهت تولید مواد غذایی برای فعالیت می‌کنند.

در صنایع غذایی نیز مانند بقیه صنایع نیاز به استفاده از تکنولوژی‌های روزآمد احساس شده و این صنعت نیز باتوجه به نیازهای خود از این تکنولوژی‌ها بهره‌بردار شده است. این استفاده علاوه بر بهبود کیفیت تولیدات در صنایع غذایی، در افزایش میزان تولیدات نیز مؤثر بوده است.

بخش قابل توجهی از این تکنولوژی‌های روز که مورد استفاده صنایع قرار می‌گیرد، ربایک است. ربات‌ها در صنایع پروتئینی، لبنی، شیری، میوه، پرورش دام و طیور و... بسیار مورد استقبال قرار گرفته و تعداد زیادی از آن‌ها در صنایع غذایی به کار گرفته شده‌اند. از جمله این ربات‌ها، ربات‌هایی هستند که در صنایع پروتئینی به کار گرفته می‌شوند. ربات‌هایی که جابه‌جایی مواد، برش مواد و... را انجام می‌دهند. این ربات‌ها برخلاف انسان می‌توانند در شرایط سخت، سرد و یخ‌زدگی فعالیت خود را انجام دهند و این شرایط بر عملکرد آن‌ها تأثیر چندانی نداشته باشد. در صورت به‌کارگیری ربات‌ها در این صنعت، خطرات مربوط به برش زدن برای نیروی انسانی از بین می‌رود و همچنین خطرات احتمال بیماری‌زایی و آلودگی توسط انسان به طور چشمگیری کاهش می‌یابد [۱]. در صنایع دام نیز به عنوان مثال عمل شیردوشی از حیوانات اگر به جای نیروی انسانی توسط ربات‌ها انجام گیرد، علاوه بر افزایش بهره‌وری می‌تواند از لحاظ بهداشتی بسیار بهتر باشد. در صنایع پرورش طیور نیز شرایط به همین صورت است. با توجه به حساسیت بالای طیور در مقابل بیماری‌ها و احتمال تلف شدن بسیاری از آنها با شیوع یک بیماری ویروسی، در صورتی که از ربات‌ها در این صنعت استفاده شود، احتمال انتقال بیماری کاهش خواهد یافت.



شکل ۱: نمونه از ربات‌های صنعت پرورش دام.

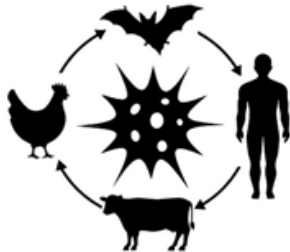
۲- ربات‌های صنعت پرورش طیور

طبق تقسیم‌بندی انجام شده توسط گوجیانگ رنا و همکارانش [۹] در سال ۲۰۲۰، ربات‌های فعال در صنایع کشاورزی (خاصه صنعت پرورش دام و طیور) به سه دسته کلی تقسیم می‌شوند که عبارت است از:

* ربات‌های پایش * ربات‌های عملگر * ربات‌های پایش - عملگر
بر اساس این تقسیم‌بندی، ربات‌های نظارتی ربات‌هایی هستند که بیشتر نقش مشاهده‌گری و تبادل و پردازش اطلاعات را برعهده دارند. دسته دوم ربات‌های عملگر هستند که برخی کارهای اجرایی را در محیط انجام می‌دهند. مثلاً در پرورش طیور، بستر را زیرورو می‌کنند، تخم‌مرغ‌ها را جمع‌آوری می‌کنند و... ربات‌هایی که هر دو نقش را برعهده دارند نیز ربات‌های دسته سوم محسوب می‌شوند.

۱-۲- چالش‌های صنایع پرورش طیور

همانند بسیاری از صنایع فعال، صنعت پرورش طیور نیز با چالش‌ها و مسائلی جدی روبه‌رو می‌باشد. از جمله این چالش‌ها می‌توان به شیوع بیماری و در ادامه آن، ایمنی غذایی اشاره کرد. به‌طوری‌که ضرر جهانی ناشی از شیوع بیماری آنفولانزای مرغی میلیارد دلار تخمین زده می‌شود [۱۶]. به علاوه، کارگران یک مزرعه در صورت حضور فیزیکی در بین طیور، می‌توانند با انتقال غیرعمدی ویروس‌ها از یک مزرعه پرورش طیور به یک مزرعه دیگر، بیماری را در بین گله‌های مختلف طیور منتقل کرده و عامل افزایش آن باشند.



شکل ۲: انتقال بیماری بین انسان و حیوان.

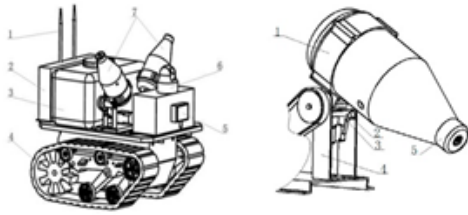
دیگر چالش موجود، نگرانی‌های زیست‌محیطی مربوط به تولید و پرورش جوجه‌های گوشتی می‌باشد. بستر موجود در مزارع پرورش مرغ گوشتی، کاربردی و دارای ارزش تجاری بالایی در بسیاری از زمینه‌ها می‌باشد [۱۸]. با این حال مدیریت نادرست این بستر، می‌تواند موجب مشکلات دیگری گردد. از جمله از بین رفتن مواد معدنی بستر، اسیدی شدن خاک [۱۹]، انتشار گازهای مضر مانند آمونیاک و گسترش پاتوژن‌ها (عامل تولید بیماری که به دو دسته زنده مانند باکتری و غیرزنده بخش می‌شود) شود [۲۰].

چالش‌های دیگری نیز از جمله تفاوت نوع عملکرد نیروی انسانی و احتمال عدم اجرای کارکرد تعریف شده، تفاوت ساختارهای اتوماسیون و عدم امکان به‌کارگیری بسیاری از سطوح اتوماسیون برای مزارع متفاوت و... وجود دارند که با گسترش تکنولوژی راه‌حلی‌هایی برای آن‌ها ارائه شده است.

۲-۲- زمینه‌های کاری ربات‌ها در مراکز پرورش طیور

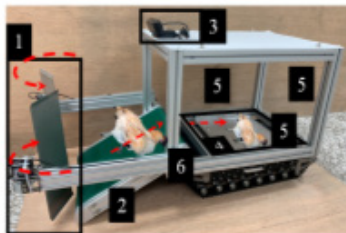
ربات‌ها در بخش‌های مختلفی از مراکز پرورش طیور می‌توانند به کار گرفته شوند و عملیاتی را که توسط انسان انجام می‌شود را به عهده گیرند و حتی آن را با دقت و کیفیت بالاتری انجام دهند. به طور مثال ربات‌ها توسط مراکز داده، می‌توانند به‌صورت شبانه‌روزی بر شرایط محیط رشد طیور نظارت داشته باشند، به‌وسیله چارچوب‌های هوش مصنوعی و استفاده از حسگرها و یا عملگرهای مرتبط، انتقال طیور به کارخانه‌های فرآوری انجام شود، داده‌ها در یک سیستم رایانش ابری ثبت شود، تصمیم‌گیری آگاهانه توسط ربات‌ها با استفاده از افزونه‌های هوش مصنوعی انجام شود، حذف طیور تلف شده در دستور کار ربات‌ها قرار گیرد، نظارت کلی بر نوع رفتار مجموعه طیور انجام شود، اطمینان از رفاه طیور در تمامی لحظات به عمل آید، و بسیاری دیگر از امور که می‌توانند این مهم را تحقق بخشند [۱۵]. البته این جایگزینی کامل شاید تا حدودی ایده‌آل به نظر برسد و در طی این مسیر چالش‌های بسیار مهم و غیرقابل اغمازی وجود داشته باشد که پاسخ به هرکدام از این چالش‌ها ممکن است ماهیت عملکردی ربات را تغییر داده یا کاهش دهد.

سیستم حرکتی خود از ابزار حرکتی شنی استفاده می‌کند. همچنین به علت امکان کمبود نور در محیط برای مسیریابی خود از میخ‌های مغناطیسی و سیستم RFID استفاده می‌کند. شماتیکی از این ربات نیز در شکل ۵ دیده می‌شود.



شکل ۵: شماتیک ربات ضد عفونی کننده محیط مرکز پرورش دام و طیور.

ربات جمع‌آوری طیور تلف شده نیز توسط تعدادی از محققین تایوانی [۲۷] در سال ۲۰۲۱ ساخته شده‌است. سه بخش عمده این ربات، بخش حرکتی، بخش برداشتن طیور تلف شده و بخش ذخیره‌سازی می‌باشد. این ربات همانند ربات جمع‌آوری تخم‌مرغ با دو حالت کلی می‌تواند کنترل شود که عبارت‌اند از حالت کنترل از راه دور توسط کاربر و حالت کنترل خودکار. در حالت کنترل توسط کاربر، ربات با استفاده از وای‌فای با کاربر در ارتباط است و دستورات مورد نیاز را از این طریق دریافت می‌کند. در نتیجه برای جمع‌آوری طیور تلف شده، نیازی به حضور فیزیکی کارکنان مزرعه نمی‌باشد و ربات به طور خودکار تشخیص و جمع‌آوری را انجام می‌دهد. حالت دیگر، حالت کنترل خودکار است. در این حالت نیاز نیست که کاربری به ربات دستورات و نحوه عملکرد مورد نیاز را ارسال کند و ربات خود با یک سیستم جهت‌یابی و یک سیستم تشخیص اشیاء مبتنی بر یادگیری عمیق، می‌تواند مسیریابی و عملکرد خود را انجام دهد. تصویر این ربات نیز در شکل ۶ دیده می‌شود.



شکل ۶: ربات جمع‌آوری طیور تلف شده.

علاوه بر طرح‌های تحقیقاتی و آزمایشگاهی، تعدادی از ربات‌ها در صنعت تجاری سازی شده و مورد استفاده قرار گرفته‌اند. از جمله این ربات‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- ربات Octopus-alpha

۲- ربات Spoutnic Nav

۳- ربات ChickenBoy

تفاوت عمده ربات Chicken Boy با سایر ربات‌ها در نظارتی بودن نقش این ربات است. این ربات برخلاف ربات‌های قبلی، بر روی زمین حرکت نمی‌کند و توسط یک میله از مسیرهایی در بالای مزرعه هدایت می‌شود. این ربات به جای نقش عملگری، نقش نظارتی را ایفا می‌کند. مثلاً به جای زیر و رو کردن خاک و یا جمع‌آوری تخم‌مرغ، دریافت و پردازش اطلاعات محیط از جمله دما، گازهای موجود، تصاویری از شرایط موجود و... را انجام می‌دهد [۳۰].



شکل ۷: ربات Chicken Boy.

۲-۳- ربات‌های طراحی شده در صنعت پرورش طیور

از جمله ربات‌هایی که برای فعالیت در این صنعت طراحی شده‌اند، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- * ربات‌های جمع‌آوری تخم‌مرغ [۲۲]
 - * ربات‌های بررسی سلامت طیور
 - * ربات‌های نظارت بر شرایط محیط مزرعه
 - * ربات‌های جمع‌آوری طیور تلف شده
 - * ربات‌های زیور و روکننده بستر مزرعه
 - * ربات‌های جمع‌آوری داده‌های مزرعه
 - * ربات‌های تصویربرداری از مزرعه و ...
- بدیهی است که برای به‌کارگیری این فناوری، نیاز به ربات‌هایی است که بتوانند انواع وظایف مختلفی مربوط به یک مزرعه پرورش طیور را انجام دهند و با به‌کارگیری قابلیت‌های خود مجموعه کاملی از قابلیت‌های مختلف را در اختیار مالکان مزارع پرورش قرار داده و صرفه اقتصادی به‌کارگیری خود را نیز با این چندوجهی بودن، توجیه نمایند. تعدادی از این ربات‌ها را در ادامه بررسی خواهیم کرد.



شکل ۳: نمونه‌ای از ربات‌های صنعت پرورش طیور.

برای بررسی ربات‌های جمع‌آوری تخم‌مرغ، به ربات طراحی شده توسط بنجامین جاف و کالن آشر [۲۲] در سال ۲۰۱۷ اشاره می‌کنیم. تا قبل از طراحی ربات توسط این دو محقق، راه‌حل تجاری قابل قبولی برای این امر وجود نداشت و تنها تحقیقات اولیه‌ای توسط باستین گروویندویچ [۲۴] صورت گرفت که اجزای پرهزینه‌ای را در برداشت و آن را از لحاظ اقتصادی، بدون دوام می‌کرد. ربات بنجامین جاف و کالن آشر با استفاده از قطعاتی مقرون‌به‌صرفه از لحاظ تجاری و در دسترس، از جمله یک برد رزبری‌پی، یک بازوی رباتیک ۴ درجه آزادی با بار ۵۰۰ گرمی، دوربین و غیره ساخته شده‌است. عملکرد ربات طراحی شده، شامل حرکت بین محل‌های مشخص شده‌ای در مزرعه، راندن طیور و پاک‌سازی مسیر، تشخیص تخم‌ها در حین حرکت با استفاده از بینایی ماشین و جمع‌آوری تخم‌ها به وسیله بازوی ۴ درجه آزادی می‌باشد. شکل ۸-۲ نمایی از عملکرد بینایی ماشین ربات است. همچنین سیستم تشخیص اشیاء در این ربات مبتنی بر رویکرد Faster-RCNN می‌باشد. تصویری از این ربات در شکل ۴ دیده می‌شود.



شکل ۴: ربات جمع‌آوری تخم‌مرغ.

یکی دیگر از ربات‌های به‌کارگیری شده در این زمینه، ربات ضد عفونی کننده مزارع پرورش طیور می‌باشد. برای این نمونه از ربات‌ها نیز ربات چین چان فنگ و چیو وانگ [۲۶] در سال ۲۰۲۰ را بررسی می‌کنیم.

این دو محقق برای اطمینان از بازدهی ضد عفونی در مراکز پرورش دام و طیور رباتی را طراحی کرده و آزمایش‌ها و اندازه‌گیری‌هایی را نیز باتوجه به مؤلفه‌های مختلف بر روی آن انجام دادند. ربات طراحی شده، از ۴ بخش کلی از جمله بخش بدنه و حرکت، بخش کنترل، بخش پاشش مواد ضد عفونی و بخش داده‌ها و پایش تشکیل شده‌است. همچنین کارکرد این ربات با دو حالت مختلف خودکار و دستی صورت می‌گیرد. این ربات باتوجه به شرایط ناهموار محیطی که در آن مورد استفاده قرار می‌گیرد، در

۳- ربات‌های صنعت پرورش دام

فضای مراکز پرورش طیور با مراکز پرورش دام کاملاً متفاوت است؛ در مراکز پرورش طیور ما توضیح دادیم که اگر یک ربات بخواهد صرفه اقتصادی داشته باشد، باید بتواند چندین قابلیت یا به عبارتی چندین کارکرد را هم‌زمان در مزرعه اجرا کند و در هر کدام از این کارها نیز خللی وارد نشود. اما امکان این که یک ربات بتواند قابلیت‌های متعددی را هم‌زمان در مزرعه پرورش دام داشته باشد بسیار کم است. باتوجه به ساختار فیزیکی دام و جثه بزرگ آن، کمتر رباتی قادر است به طور مداوم در بین دام‌ها حرکت کند و به‌مرور زمان به علت برخوردها و یا آسیب‌های احتمالی مستهلک نشود. باتوجه به این مسئله و ساختار کاملاً متفاوت این مراکز، معمولاً ربات‌ها به‌صورت تک منظوره و در بندرت به‌صورت چندمنظوره به کار گرفته می‌شوند. به طور مثال رباتی که برای مسئله شیردوشی به کار گرفته می‌شود، لزوماً نباید برای نظافت فضا نیز به کار گرفته شود چراکه بهتر است ربات شیردوشی در یک مکان ثابت باشد و یا حتی ممکن است از نظر بهداشتی این کار مناسب نباشد. حتی اگر ربات شیردوشی بخواهد چندمنظوره فعالیت کند، کارکردهای دیگرش را می‌توان در راستای بررسی‌های سلامت دام از لحاظ شیر تولیدی یا خود دام قرار داد که تا حد قابل تناقضی ایجاد نشود؛ بنابراین ربات‌ها در صنعت پرورش دام بیشتر به‌صورت تک منظوره به کار گرفته می‌شوند.

۳-۳- ربات‌های طراحی شده در صنعت پرورش دام

یکی از ربات‌هایی که در صنایع پرورش دام به کار گرفته می‌شود ربات شیردوشی است. سامانه‌های خودکار شیردوشی یا به عبارتی دیگر، ربات‌های شیردوشی، برای اولین بار در اروپا طراحی شده‌اند، به‌طوری‌که در سال ۱۹۹۲ در آنجا در دسترس مراکز پرورش دام قرار گرفتند. در سال ۲۰۰۰ نیز این فناوری به ایالات متحده آمریکا برده شد. اولین ربات شیردوشی جهان متعلق به یک شرکت تجهیزات لبنی سوئدی به نام Delaval بوده که با داشتن ۵ ربات داخلی، توانایی شیردوشی ۹۰ دام در ساعت را داشته است. مدل به‌روز ربات Delaval در شکل ۸ دیده می‌شود.



شکل ۸: ربات شیردوشی Delaval.

این ربات‌ها به عبارتی یک سامانه شیردوشی خودکار هستند که به دام اجازه می‌دهند برنامه شیردوشی خود را پس از یک دوره آموزش اولیه با تعامل محدود انسانی، تنظیم کند. این ربات‌ها با کمترین تعامل انسانی و به‌صورت شبانه‌روز فعالیت می‌کنند [۴۴]. در این سامانه، هر ربات به یک برچسب الکترونیک مجهز شده است که به ربات اجازه می‌دهد دام را شناسایی کرده و هنگام ورود دام به ربات، میزان خوراکی را بر حسب میزان شیر تولیدی دریافت می‌کند. سپس ربات با ضدعفونی کردن محل دوشیدن شیر، فنجان‌های مکنده خود را چسبانده و عملیات شیردوشی را آغاز می‌کند. بعد از تکمیل فرایند شیردوشی، فنجان‌ها را جدا کرده و دام از فضای ربات خارج می‌شود. ربات‌های شیردوشی به دو دسته ثابت و متحرک تقسیم می‌شوند که تفاوت اصلی آن‌ها در این است که ربات‌های شیردوشی متحرک مخزن مجزا دارند ولی مخزن در ربات‌های شیردوشی ثابت، جزئی از ربات به شمار می‌رود. در این ربات، علاوه بر چهار بخش اصلی یعنی پمپ تولید خلأ، نوسان‌ساز، لاینرها و مخزن جمع‌آوری شیر، برای بالاتر بردن کارایی ربات و عملکرد بهتر شیردوشی اجزایی از جمله سامانه‌های ضدعفونی‌کننده، سامانه نصب خودکار لاینرها، سامانه RFID، سامانه کنترل کیفیت شیر، برس‌های تمیزکننده و... اضافه شده‌اند.

جمع‌آوری فضولات دامی یکی از مهم‌ترین اقدامات در راستای بهداشت محیط مرکز پرورش دام می‌باشد. برای این کار می‌توان با استفاده از تکنولوژی روز و جایگزینی آن با روش سنتی، از یک ربات نظافتچی سیار استفاده کرد. برای استفاده از این نوع

باتوجه به افزایش روزافزون جمعیت کره زمین و در همین راستا، افزایش تقاضا و نیاز به فرآورده‌های پروتئینی و لبنی، اهمیت گسترش و توجه به صنعت پرورش دام، بسیار احساس می‌شود چرا که در سبد غذایی مصرف‌کنندگان آنچه بیش از هر ماده دیگر حلقه تغذیه انسان را کامل می‌کند، مواد پروتئینی به‌ویژه نوع حیوانی آن است [۳۲،۳۳]. در علم دام‌پروری، افزایش تولید گوشت و لبنیات، رابطه مستقیمی با تأمین مناسب خوراک برای دام‌ها دارد. در دهه‌های اخیر، استفاده از ربات‌ها و سامانه‌های خودکار در دامداری‌ها در حال گسترش است. صرفه‌جویی در کار و کارگر و تقاضا برای تولید بیشتر در واحد سطح، استفاده از فناوری‌های نوین را در دامداری‌ها اجتناب‌ناپذیر نموده است. با پیشرفت فناوری و کاهش هزینه‌های تولید سامانه‌های خودکار، چشم‌انداز دستیابی به ماشینی شدن خودکار و پیشرفته در دامداری‌ها واقع‌گرایانه‌تر می‌شود [۳۴]. ربات‌های صنعت دام‌پروری به‌طور کلی ربات‌هایی ثابت یا متحرک هستند که به تعدادی از ابزارها مجهز شده‌اند و می‌توانند بخشی از عملیات کارخانه را به‌صورت خودکار انجام دهند. این ربات‌ها نه تنها می‌توانند به‌جای انسان این فعالیت‌ها را انجام دهند، بلکه می‌توانند این امور را دقیق‌تر و با کارایی بهتری نیز انجام دهند و موجب بهبود کیفی فعالیت مرکز پرورش دام شوند. در این بخش بنا داریم که مرور مختصری بر چالش‌ها و طراحی‌های رباتیک انجام شده و نمونه‌هایی از ربات‌های تجاری‌سازی شده در مراکز پرورش دام نیز داشته باشیم.

۳-۱- چالش‌های صنایع پرورش دام

از جمله چالش‌های صنایع پرورش دام، میزان غذای مصرفی توسط دام است که همان‌طور که در بخش قبل توضیح داده شد، تأثیر مستقیمی بر تولید گوشت و فرآورده‌های لبنی دارد. کم بودن میزان غذای مصرفی به نحوی، و زیاد بودن میزان مصرف توسط دام نیز به نحوی دیگر ضررهایی را به صنایع پرورش دام وارد می‌کنند. به طور مثال دسترسی آزاد به مواد غذایی پرانرژی حتی با کیفیت بالا می‌تواند منجر به مشکلات فیزیولوژیکی و سلامتی شود [۳۷]. در کنار میزان مصرف، کیفیت غذای مصرفی دام نیز بسیار مهم بوده و بر روند رشد و همچنین کمیت و کیفیت تولیدات دامی تأثیر به‌سزایی دارد. پس به طور کلی میزان و کیفیت مواد غذایی مصرفی دام یکی از چالش‌های مهم در مراکز پرورش دام در سراسر جهان می‌باشد. یکی دیگر از چالش‌های موجود، بحث شیردوشی از گاو می‌باشد. میزان شیردوشی و تعداد دفعات شیردوشی در روز باید به طور کامل دقیق و حساب شده باشد چرا که بر وضعیت سلامت دام بسیار تأثیرگذار است. این کار که یکی از کارهای مهم در پرورش دام می‌باشد باید کاملاً با برنامه و دقیق انجام شود تا آسیبی به دام نرسد. مسئله بهداشت در مراکز پرورش دام یکی دیگر از چالش‌های موجود می‌باشد. همان‌طور که در بخش ۱-۲ گفته شد، بیماری‌های وجود دارند که مشترک بین انسان و دام و طیور هستند. از این‌رو مسئله بهداشت مراکز پرورش دام، نه تنها بر سلامت خود دام بلکه بر سلامتی انسان‌ها نیز تأثیرگذار است. به‌طوری‌که در موارد متعددی، انسان‌ها به علت مشکلات سلامت دام یا محصولات دامی، با بیماری‌هایی مواجه شده‌اند و برای درمان آن‌ها به مراکز بهداشتی مراجعه کرده‌اند [۳۹].

۳-۲- زمینه‌های کاری ربات‌ها در مراکز پرورش دام

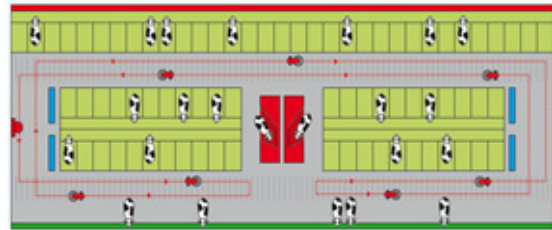
طبق تقسیم‌بندی مسعودی و جلیلی بسحق، ربات‌های مورد استفاده در این صنعت را می‌توان در چهار گروه دسته‌بندی کرد:

- ۱- ربات‌های شیردوشی
- ۲- ربات‌های نظافتچی سیار
- ۳- ربات‌های تغذیه علوفه
- ۴- ربات‌های مراقبت از دام

در کنار این چهار دسته البته می‌توان انواع دیگری از ربات‌ها را نام برد که به‌سختی می‌توان آن‌ها را در چهار گروه فوق دسته‌بندی کرد. به طور مثال ربات ضدعفونی‌کننده محیط، همچنین رباتی را می‌توان در نظر گرفت که آب مصرفی دام را بررسی کرده و از لحاظ کیفی آن را تحلیل کرده و گزارش می‌دهد.

ربات در مرکز، باید اقدامات اولیه‌ای انجام گیرد. از جمله این که باید یک تسمه نقاله در کف دامداری فعال باشد تا بتواند کودهای دامی جمع‌آوری شده توسط ربات را منتقل کند. عملکرد ربات به این صورت است که با استفاده از دو موتور الکتریکی به حرکت در می‌آید. ربات با استفاده از صفحه تمیزکننده و با کشیدن بر روی زمین، فضولات را از سطح زمین جدا می‌کند. به‌علاوه در جلوی صفحه تمیزکننده افشانک‌هایی تعبیه شده‌اند که آب موجود در مخزن ربات را پاشش کرده و باعث نرم‌تر شدن مواد روی زمین می‌شوند تا ربات بتواند آن‌ها را به راحتی از سطح زمین جدا کرده و بکشد. با کشیده شدن صفحه تمیزکننده بر روی زمین و هدایت مواد بر روی سطح زمین، فضولات دامی و... از طریق شیارهایی بر روی سطح زمین که از قبل تعبیه شده‌اند، به سطح زیرین زمین افتاده و توسط تسمه نقاله که قبلاً در مورد الزام آن توضیح داده شد، به بخش‌های موردنیاز و یا بیرون از مرکز پرورش دام منتقل می‌شوند [۴۸]. این ربات برای مسیریابی از سیستم‌های فراصوت یا اولتراسونیک استفاده می‌کند. سیستم‌ها و حسگرهای فراصوت فاصله ربات تا اشیاء اطراف را با ارسال و دریافت امواج فراصوت محاسبه کرده و به پردازنده می‌دهند و پردازنده با اجرای عملیات ریاضی بر روی داده‌ها، فاصله موردنظر بر حسب واحدهای طول را محاسبه می‌کند. نهایتاً باعث می‌شود ربات به دیوارهای اطراف دامداری برخورد نکند و همواره در مسیر موردنیاز حرکت کند.

ربات در مرکز، باید اقدامات اولیه‌ای انجام گیرد. از جمله این که باید یک تسمه نقاله در کف دامداری فعال باشد تا بتواند کودهای دامی جمع‌آوری شده توسط ربات را منتقل کند. عملکرد ربات به این صورت است که با استفاده از دو موتور الکتریکی به حرکت در می‌آید. ربات با استفاده از صفحه تمیزکننده و با کشیدن بر روی زمین، فضولات را از سطح زمین جدا می‌کند. به‌علاوه در جلوی صفحه تمیزکننده افشانک‌هایی تعبیه شده‌اند که آب موجود در مخزن ربات را پاشش کرده و باعث نرم‌تر شدن مواد روی زمین می‌شوند تا ربات بتواند آن‌ها را به راحتی از سطح زمین جدا کرده و بکشد. با کشیده شدن صفحه تمیزکننده بر روی زمین و هدایت مواد بر روی سطح زمین، فضولات دامی و... از طریق شیارهایی بر روی سطح زمین که از قبل تعبیه شده‌اند، به سطح زیرین زمین افتاده و توسط تسمه نقاله که قبلاً در مورد الزام آن توضیح داده شد، به بخش‌های موردنیاز و یا بیرون از مرکز پرورش دام منتقل می‌شوند [۴۸]. این ربات برای مسیریابی از سیستم‌های فراصوت یا اولتراسونیک استفاده می‌کند. سیستم‌ها و حسگرهای فراصوت فاصله ربات تا اشیاء اطراف را با ارسال و دریافت امواج فراصوت محاسبه کرده و به پردازنده می‌دهند و پردازنده با اجرای عملیات ریاضی بر روی داده‌ها، فاصله موردنظر بر حسب واحدهای طول را محاسبه می‌کند. نهایتاً باعث می‌شود ربات به دیوارهای اطراف دامداری برخورد نکند و همواره در مسیر موردنیاز حرکت کند.



شکل ۹: شماتیک مسیریابی ربات نظافتچی سیار.

ربات‌های تغذیه علوفه می‌توانند با اجرای فرایند تغذیه دام‌ها به صورت دقیق و حساب شده، باعث بالاتر رفتن بهره‌وری در مراکز پرورش دام شوند. این ربات‌ها خود به سه دسته تقسیم می‌شوند:

۱. ربات‌های تغذیه علوفه ثابت
۲. ربات‌های تغذیه علوفه متحرک
۳. ربات‌های هل دهنده علوفه

ربات‌های ثابت که برای تغذیه انفرادی دام به کار می‌روند، در دو حالت چرخ‌دار و بی چرخ وجود دارند. این ربات‌ها، مخزن علوفه، بخش آخور، سامانه توزیع‌کننده، سامانه RFID جهت تشخیص دام و دروازه محافظ می‌باشد. مخزن ربات، در قسمت فوقانی ربات قرار داشته و توسط یک کارگر یا ماشین می‌تواند پر شود. با ورود دام به ربات، از طریق سامانه RFID دام شناسایی می‌شود و باتوجه به اطلاعات ثبت شده برای این دام از جمله میزان شیردهی، میزان علوفه مصرف شده قبلی، آبستن بودن یا نبودن دام و... میزان غذای موردنیاز دام توسط ربات تعیین می‌شود. پس از محاسبه میزان موردنیاز، واحد توزیع علوفه فعال می‌شود و غذا را در بخش آخور می‌ریزد.



شکل ۱۰: نمونه‌ای از ربات تغذیه علوفه ثابت چرخ‌دار.

ربات‌های تغذیه علوفه متحرک، برخلاف نوع ثابت ربات‌هایی هستند که برای تغذیه هم‌زمان چند دام استفاده می‌شوند. این ربات‌ها در دو نوع سیار و سقی استفاده می‌شوند. اجزاء اصلی این ربات‌ها، مخزن علوفه، توزیع‌کننده علوفه، دامنه چرخان و حسگرها هستند. در مراکز پرورش دامی که دارای راهروی تغذیه هستند، می‌توان از این نوع ربات‌ها استفاده کرد. یکی از نکات مهم این است که این ربات این قابلیت

۴- نتیجه گیری

باتوجه به گسترش روزافزون تکنولوژی، استفاده از فناوری‌های روز در صنایع اجتناب‌ناپذیر است. همان‌طور که در این پژوهش نیز بررسی شد، صنایع پرورش دام و طیور که از مهم‌ترین و حساس‌ترین صنایع در سطح جهان هستند نیز از این قاعده مستثنی نیستند و آن‌ها نیز باید باتوجه به نیاز روزافزون جهان به فرآورده‌هایشان، از این فناوری‌های روز استفاده نمایند تا بهره‌وری خود را بالا برده و باعث افزایش کمی و کیفی تولیدات خود شوند. در غیر این صورت به طبع این صنایع نمی‌توانند همگام با نیاز جهانی به محصولاتشان جلو بروند و در نتیجه ممکن است امنیت غذایی و سلامت انسان‌ها نیز به خطر بیفتند. باتوجه به نیازهای گسترده موجود در صنعت پرورش دام و طیور می‌توان روزبه‌روز قابلیت‌های مختلفی را به این ربات‌ها اضافه کرد. همچنین ربات‌ها با قابلیت‌های موجود می‌توانند از الگوریتم‌های مختلفی برای اجرا درآوردن کارکرد خود استفاده کنند که با بررسی بیشتر می‌توان الگوریتمی را برای هر کدام از این بخش‌ها انتخاب کرد که از جهات مختلف بهینه بوده و علاوه بر کارکرد بهتر، صرفه اقتصادی نیز به همراه داشته باشد تا ربات بتواند به مراحل تولید انبوه و تجاری‌سازی رسیده و در دسترس قرار گیرد.

۵- مراجع:

- [1] G. A. Nayik, K. Muzaffar, and A. Gull, "Robotics and food technology: a mini review," J. Nutr. Food Sci, vol. 5, no. 4, pp. 1-11, 2015.
- [2] E. Garcia, M. A. Jimenez, P. G. De Santos, and M. Armada, "The evolution of robotics research," IEEE Robotics & Automation Magazine, vol. 14, no. 1, pp. 90-103, 2007.
- [3] R. Siegwart, I. R. Nourbakhsh, and D. Scaramuzza, Introduction to autonomous mobile robots. MIT press, 2011.
- [4] R. Bogue, "The role of artificial intelligence in robotics," Industrial Robot: An International Journal, 2014.
- [5] S. Cucurachi, L. Scherer, J. Guinée, and A. Tukker, "Life cycle assessment of food systems," One Earth, vol. 1, no. 3, pp. 292-297, 2019.
- [6] G. B. P. Recordati, "The food industry: history, evolution and current trends," 2015.
- [7] P. Padma, "Robots to Revolutionize Food Processing Industries," 2020.
- [8] J. Hobson, "How Midwest Dairy Farmers Are Using Robots To Feed And Milk Cows," 2017.
- [9] G. Ren, T. Lin, Y. Ying, G. Chowdhary, and K. Ting, "Agricultural robotics research applicable to poultry production: A review," Computers and Electronics in Agriculture, vol. 169, p. 105216, 2020.
- [10] P. Parajuli, Y. Huang, T. Tabler, J. L. Purswell, J. L. DuBien, and Y. Zhao, "Comparative evaluation of poultry-human and poultry-robot avoidance distances," Transactions of the ASABE, vol. 63, no. 2, pp. 477-484, 2020.
- [11] C. Usher, W. Daley, A. B. Webster, and C. Ritz, "A study on quantitative metrics for evaluating animal behavior in confined environments," in 2015

- https://civilica.com/doc/563596. ماشین های کشاورزی (بیوسستم) و مکانیزاسیون ایران، مشهد.
- [35] S. Soto-Navarro et al., "Comparative digestibility by cattle versus sheep: effect of forage quality," *Journal of animal science*, vol. 92, no. 4, pp. 1621-1629, 2014.
- [36] E.-M. Team, "Animal Husbandry : Calf-feeding Robots," 2018.
- [37] R. B. D'Eath, B. J. Tolkamp, I. Kyriazakis, and A. B. Lawrence, "'Freedom from hunger' and preventing obesity: the animal welfare implications of reducing food quantity or quality," *Animal Behaviour*, vol. 77, no. 2, pp. 275-288, 2009.
- [38] D. Poole, "The effects of milking cows three times daily," *Animal Science*, vol. 34, no. 2, pp. 197-201, 1982.
- [39] C. Lowenstein, W. F. Waters, A. Roess, J. H. Leibler, and J. P. Graham, "Animal husbandry practices and perceptions of zoonotic infectious disease risks among livestock keepers in a rural parish of Quito, Ecuador," *The American journal of tropical medicine and hygiene*, vol. 95, no. 6, p. 1450, 2016.
- [40] H. Hogeveen, N. Rutten, C. Kamphuis, and M. van der Voort, "Economics of precision dairy monitoring techniques," in *Conference on Precision Dairy Farming*, 2017, pp. 87-97.
- [41] E. Skvortsov et al., "Determination of the applicability of robotics in animal husbandry," *The Turkish Online Journal of Design Art and Communication*, vol. 8, no. S-MRCHSPCL, pp. 291-9, 2018.
- [42] I. Mehta, H.-Y. Hsueh, N. Kourtzanidis, M. Brylka, and S. Saeedi, "Far-UVC Disinfection with Robotic Mobile Manipulator," *arXiv preprint arXiv:2203.01286*, 2022.
- [43] E. S. o. I. m. club. (2020). Dairy farming, the future with VMS V300 the innovative milking robots. Retrieved: 2022.7.20 Available: <https://www.industrialmeeting.club/dairy-farming-future-vms-v300-milking-robots/>
- [44] P. Y. Chua, T. Ilschner, and D. G. Caldwell, "Robotic manipulation of food products—a review," *Industrial Robot: An International Journal*, 2003.
- [45] L. Group. Lely Astronaut A4 The natural way to milk, Retrieved: 2022.7.22. Available: <https://www.lely.com/solutions/milking/astronaut-a4/>
- [۴۶] مسعودی، ح. (۲۰۱۶). رایاتیک؛ زمینه ای جدید برای نوآوری و توسعه کارآفرینی در بخش دامپروری. *مطالعات کارآفرینی و توسعه پایدار کشاورزی*، ۳(۳)، ۳۸-۱۹.
- [47] A. POPESCU and E. ANGEL, "Analysis of milk quality and its importance for milk processors," *Scientific Papers Animal Science and Biotechnologies*, 2009.
- [48] L. Group. Lely Discovery Collector, A revolutionary manure robot for dense barn floors, Retrieved: 2022.7.23. Available: <https://www.lely.com/us/solutions/housing-and-caring/discovery-collector/>
- [49] A. Harsur and M. Chitra, "Voice based navigation system for blind people using ultrasonic sensor," *IJRITCC*, vol. 3, pp. 4117-4122, 2017.
- [50] L. Group, "Lely Vector, Automatic feeding is ready for you., Retrieved: 2022.7.22. Available: <https://www.lely.com/solutions/feeding/vector/>
- [51] T. Lely, "Luna Cow Brush provides optimum comfort and hygiene for cows," Retrieved: 2022.7.22. Available: <https://www.lelylife.com/2016/10/lely-luna-cow-brush-provides-optimum-comfort-and-hygiene-for-cows>

ASABE Annual International Meeting, 2015, p. 1: American Society of Agricultural and Biological Engineers.

- [12] J. P. Jacob, J. M. Gaskin, H. R. Wilson, and F. B. Mather, "Avian diseases transmissible to humans," Lexington: Cooperative Extension Services, University of Kentucky, 2011.
- [13] O. Team, "Robotics and Artificial Intelligence working for poultry farming," Retrieved 2022.7.15. Available: <https://www.octopus-biosafety.com/en/animal-welfare/>
- [14] J. Astill, R. A. Dara, E. D. Fraser, B. Roberts, and S. Sharif, "Smart poultry management: Smart sensors, big data, and the internet of things," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 170, p. 105291, 2020.
- [15] M. Park et al., "Artificial intelligence, sensors, robots, and transportation systems drive an innovative future for poultry broiler and breeder management," *Animal Frontiers*, vol. 12, no. 2, pp. 40-48, 2022.
- [16] A. McLeod, N. Morgan, A. Prakash, and J. Hinrichs, "Economic and social impacts of avian influenza," in *Proceedings of the joint FAO/OMS/OIE/World Bank conference on avian influenza and human pandemic influenza*, November, 2005, pp. 7-9.
- [17] E. Scallan et al., "Foodborne illness acquired in the United States—major pathogens," *Emerging infectious diseases*, vol. 17, no. 1, p. 7, 2011.
- [18] J. Zetterholm, E. Bryngemark, J. Ahlström, P. Söderholm, S. Harvey, and E. Wetterlund, "Economic evaluation of large-scale biorefinery deployment: A framework integrating dynamic biomass market and techno-economic models," *Sustainability*, vol. 12, no. 17, p. 7126, 2020.
- [19] C. Beausang, K. McDonnell, and F. Murphy, "Anaerobic digestion of poultry litter—a consequential life cycle assessment," *Science of the Total Environment*, vol. 735, p. 139494, 2020.
- [20] K. Reddy, S. Reddy, R. Malik, J. Lemunyon, and D. Reeves, "Effect of five-year continuous poultry litter use in cotton production on major soil nutrients," *Agronomy journal*, vol. 100, no. 4, pp. 1047-1055, 2008.
- [21] J. Astill, R. A. Dara, E. D. Fraser, and S. Sharif, "Detecting and predicting emerging disease in poultry with the implementation of new technologies and big data: A focus on avian influenza virus," *Frontiers in veterinary science*, vol. 5, p. 263, 2018. Dairydad
- [22] B. P. Joffe and C. T. Usher, "Autonomous robotic system for picking up floor eggs in poultry houses," in *2017 ASABE Annual International Meeting*, 2017, p. 1: American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- [23] Q. Feng, B. Wang, W. Zhang, and X. Li, "Development and Test of Spraying Robot for Anti-epidemic and Disinfection in Animal Housing," in *2021 WRC Symposium on Advanced Robotics and Automation (WRC SARA)*, 2021, pp. 24-29: IEEE.
- [24] B. Vroegindewij, "Floor egg collection with PoultryBot," 2015.
- [25] E. Brown et al., "Universal robotic gripper based on the jamming of granular material," *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 107, no. 44, pp. 18809-18814, 2010.
- [26] Q. C. Feng and X. Wang, "Design of disinfection robot for livestock breeding," *Procedia Computer Science*, vol. 166, pp. 310-314, 2020.
- [27] H.-W. Liu, C.-H. Chen, Y.-C. Tsai, K.-W. Hsieh, and H.-T. Lin, "Identifying images of dead chickens with a chicken removal system integrated with a deep learning algorithm," *Sensors*, vol. 21, no. 11, p. 3579, 2021.
- [28] M. Epp, "Advances in poultry robotics," Retrieved: 2022,7,20 Available: <https://www.canadianpoultrymag.com/advances-in-robotics/>
- [29] T. Team, "Spoutnic NAV," Retrieved: 2022.7.15. Available: <https://www.tibot.fr/en/solutions/poultry-robot-spoutnicnav/>
- [30] B. D. Team, "ChickenBoy Higher productivity and increased welfare with an autonomous robot and artificial intelligence," Retrieved: 2022.7.22. Available: <https://www.bigdutchman.com/en/poultry-growing/news/detail/broiler-production-chickenboy-analysis-robot/>
- [31] M. Timmerman, R. Van Emous, J. Van Riel, B. Vroegindewij, and C. Lokhorst, "Market consultation for a multi-level monitoring system with robots to support poultry farmers," in *8th European Conference on Precision LiveStock Farming*, 2017, 2017.
- [۳۲] آزادی عبدولی، حجیر و غنیان، منصور و خسروی پور، بهمن و یزدان پناه، مسعود، ۱۳۹۲، نقش دامپروری در امنیت غذایی، اولین همایش ملی آلاینده های کشاورزی و سلامت غذایی، چالشها و راهکارها، اهواز، <https://civilica.com/doc/274938>
- [33] K. Ahlin, "The Robotic Workbench and poultry processing 2.0," *Animal Frontiers*, vol. 12, no. 2, pp. 49-55, 2022.
- [۳۴] مسعودی، حسن و جلیلی بسحق، روح اله، ۱۳۹۵، رایاتیک در دامپروری، دهمین کنگره ملی مهندسی

معرفی افراد

حسین طیبی

دانش آموخته مهندسی برق در دانشگاه صنعت نفت و دانشجوی دوره کارشناسی ارشد مهندسی برق-کنترل دانشگاه تربیت مدرس.



دکتر سجاد ازگلی

مدیر گروه کنترل دانشگاه تربیت مدرس تهران و فارغ التحصیل دکتری تخصصی دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی حوزه پژوهشی: رایاتیک، میکاترونیک، کنترل سامانه های زیستی و غیره.



تحول در سازوکار بازرگانی برق در سطح شبکه‌های توزیع

فاطمه جلیلی جشن آبادی^۱

۱- کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران. fatemehjalili@modares.ac.ir

چکیده

در اثر تحولاتی که طی سال‌ها در ساختار صنعت برق و تجارت برق ایجاد شده است، و نیز رشد تکنولوژی، ذی نفعان و بازیگران جدیدی در این صنعت ظهور یافته‌اند. از آنجا که همه کشورهای به یک میزان به تکنولوژی‌های موجود دسترسی ندارند و یا از نظر حاکمیتی تغییر در ساختار صنعت برق آن‌ها در حال حاضر امکان‌پذیر نمی‌باشد، لذا بازیگران متعددی در ساختار فعلی این صنعت به طور همزمان ایفای نقش می‌کنند. شبکه هوشمند به عنوان یک برنامه موفقیت آمیز از سامانه‌های فیزیکی سایبری در بخش انرژی ظاهر شده است. معاملات رخبهرخ، نسل جدیدی از روش‌های مدیریت انرژی است که از نظر اقتصادی به نفع مصرف‌کنندگان فعال است، و به آن‌ها اجازه می‌دهد تا انرژی خود را به عنوان کالا و خدمات معامله کنند. در این مقاله به معرفی این تجارت پرداخته و مزایا و معایب تجارت رخبهرخ را بررسی می‌شود.

کلیدواژگان: تجارت رخبهرخ، شبکه‌های توزیع، بازرگانی برق، شبکه هوشمند، مصرف‌کنندگان فعال

Abstract

As a result of changes have occurred over the years in the structure of the electricity industry and electricity trade, as well as the growth of technology, new stakeholders and actors have emerged in this industry. Since all countries do not have access to existing technologies to the same extent, or from the point of view of governance, it is not possible to change the structure of their electricity industry at the moment, so many actors play a role in the current structure of this industry at the same time. The smart grid has emerged as a successful application of cyber-physical systems in the energy sector. Peer-to-peer trading is a new generation of energy management methods that economically benefit prosumers, allowing them to trade their energy as goods and services. This article introduces and examines advantages and disadvantages of this trade.

Keywords: Peer-to-peer trading; Distribution networks; Electricity trading; Smart grid; Prosumer;

۱- مقدمه

معاملات رخبهرخ، نسل جدیدی از روش‌های مدیریت انرژی است که از نظر اقتصادی به نفع مصرف‌کنندگان فعال (پروسیومرها) است و به آن‌ها اجازه می‌دهد تا انرژی خود را به عنوان کالا و خدمات معامله کنند. تجارت رخبهرخ خرید و فروش انرژی بین دو یا چند بخش متصل به شبکه است که غالباً به صورت انرژی خورشیدی است اما هر انرژی مازاد را می‌توان از طریق یک بستر امن منتقل و به سایر کاربران فروخت. تجارت انرژی رخبهرخ به مصرف‌کنندگان این امکان را می‌دهد تا تصمیم بگیرند که از چه کسی برق خریداری می‌کنند و به چه کسی برق می‌فروشند. در معاملات رخبهرخ، تجارت انرژی از طریق یک بستر ایمن انجام می‌شود که به صورت معمول از فناوری بلاک‌چین استفاده می‌شود. در سال‌های اخیر، در منابع انرژی توزیع شده در مقیاس کوچک، رشد گسترده‌ای وجود داشته است، به ویژه در سطح خانوارها افزایش استفاده از منابع انرژی توزیع شده بی‌سابقه بوده است. با توجه به این زمینه، از نرخ تعرفه تضمین (FiT) به طور گسترده استفاده شده است تا تولیدکنندگان بتوانند در تجارت انرژی شرکت کنند. در FiT، تولیدکنندگان دارای صفحات خورشیدی در پشت‌بام، می‌توانند انرژی خورشیدی اضافی خود را به شبکه بفروشند و در صورت کمبود انرژی می‌توانند دوباره انرژی را از شبکه خریداری کنند [۱]. متأسفانه، سود مصرف‌کنندگان برای شرکت در طرح‌های FiT بسیار ناچیز بوده است. در نتیجه، طرح‌های FiT در برخی از نقاط جهان مانند ایالت کوفینزلند در استرالیا متوقف شده است. به همین ترتیب، معاملات رخبهرخ به عنوان معاملات نسل جدید ظاهر شده‌اند. با کنترل معاملات و تعیین شرایط معاملات و تحویل کالا و خدمات توسط پروسیومرها، انتظار می‌رود سود حاصل از مشارکت فروشندگان در تجارت P2P قابل توجه باشد. از طرفی در تمام دنیا طبق مقررات، مصرف‌کننده‌ی کمتر از ۵ مگاوات حق ورود به بازار و رقابت را ندارد، این در حالی است که تعداد این تولیدکنندگان کوچک بسیار زیاد است [۱].

۲- تاریخچه‌ی تجارت رخبهرخ

اولین تجارت ثبت شده انرژی رخبهرخ در بروکلین نیویورک، در سال ۲۰۱۶ انجام گرفت. هنگامی که ساکنان یکی از خانه‌های دارای پنل خورشیدی، چند کیلو وات ساعت برق خود را از طریق بلاک‌چین (اتریوم) به همسایه‌ی خود فروخت. این ایده، متخصصین این حوزه را به تکاپو انداخت و آزمایشاتی در سطح مصرف‌کنندگان خانگی در استرالیا و سایر نقاط جهان انجام گرفت که البته برخی با شکست روبه‌رو شدند. به دلیل بازار فعلی، این روند با سرعت بسیار کمی در حال پیش‌روی است. هرچند که تجارت انرژی رخبهرخ، ممکن است هنوز در مرحله ادغام انبوه نباشد، ولی این ایده به سرعت به عنوان یک راه‌حل برای آینده پذیرفته شده است. با ایجاد انقلابی در این فناوری، مصرف‌کنندگان نیازی به اتکا به

می‌کند. از این رو، تشویق تولیدکنندگان به همکاری در چنین فضای بی‌اعتمادی یک کار چالش برانگیز است. به علاوه، در یک سیستم انرژی با تعداد کاربر زیاد، مدل‌سازی فرآیند تصمیم‌گیری برای انواع مختلف دشوار است. زیرا، پارامترهای تجارت انرژی هر یک از کاربران می‌تواند در تعارض با منافع سایر فروشندگان شبکه باشد.

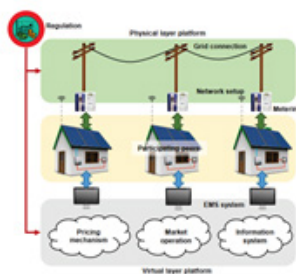
همچنین تبادل برق با مبادله کالاهای دیگر متفاوت است. به دلیل این واقعیت که پروسیومرها بخشی از یک شبکه برق هستند، که دارای سخت‌افزار فنی خاص خود هستند. تجارت کاملاً غیر متمرکز P2P می‌تواند در حفظ شبکه در حدود فنی ایمن آن، زبان‌آور باشد. بنابراین، نحوه‌ی تجارت انرژی در شبکه P2P بدون به خطر انداختن امنیت شبکه باید مورد توجه قرار گیرد [۱].

۶- بررسی اجمالی عناصر شبکه در تجارت رخ‌به‌رخ

اگر شرکت‌کنندگان در شبکه بخشی از منابع خود را با یکدیگر به اشتراک بگذارند، می‌توان ساختار شبکه‌ی توزیع شده را به عنوان شبکه P2P تعریف کرد. این منابع مشترک، خدمات و محتوای ارائه شده توسط شبکه را فراهم می‌کنند و سایر هم‌تایان بدون دخالت نهادهای واسطه می‌توانند به طور مستقیم به آن‌ها دسترسی داشته باشند [۱].

علاوه بر این در یک شبکه P2P، هر عنصری می‌تواند در صورت لزوم، حذف یا اضافه شود، بدون این که شبکه در معرض خطر عدم سرویس‌دهی مناسب قرار بگیرد. همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، شبکه P2P را می‌توان به دو لایه مجازی و فیزیکی تقسیم کرد. لایه‌ی مجازی، در اصل یک اتصال ایمن برای شرکت‌کنندگان فراهم می‌کند تا در مورد پارامترهای تجارت انرژی خود، تصمیم بگیرند. این لایه اطمینان می‌دهد که دسترسی همه شرکت‌کنندگان به یک بستر مجازی که در آن انتقال انواع اطلاعات، سفارشات خرید و فروش، مکانیسم مناسب بازار برای مطابقت با سفارشات خرید و فروش و در نهایت معاملات مالی به‌طور موفقیت‌آمیزی انجام می‌شود [۱].

لایه‌ی فیزیکی یک شبکه‌ی فیزیکی است که انتقال برق از فروشندگان به خریداران را پس از تسویه حساب‌های مالی بین دو طرف از طریق بستر لایه مجازی تسهیل می‌کند که چارچوب لازم برای امکان برقراری ارتباط بین مشتریان مختلف و شبکه را دارد. در این جا، توجه به این نکته مهم است که تسویه حساب‌های مالی بین فروشندگان مختلف در سیستم‌عامل مجازی، تحویل فیزیکی برق را تضمین نمی‌کند، بلکه پرداخت می‌تواند نشانه‌ای از سمت خریداران به تولیدکنندگان آن‌ها در شبکه P2P برای تزریق انرژی تجدیدپذیر به شبکه‌ی توزیع باشد. برای موفقیت در تجارت انرژی بین پروسیومرهای مختلف در شبکه P2P، باید عناصر کلیدی که در زیر بخش مورد بررسی قرار می‌گیرد موجود باشند [۱].



شکل ۱: لایه‌های شبکه رخ‌به‌رخ [۱].

۶-۱- عناصر موجود در لایه‌های مجازی

۶-۱-۱- سیستم‌های اطلاعاتی

قلب شبکه انرژی رخ‌به‌رخ یک سیستم اطلاعاتی با عملکرد بالا و ایمن است. سیستم اطلاعاتی باید بتواند:

- همه‌ی فعالان بازار را قادر سازد تا برای شرکت در تجارت انرژی با یکدیگر ارتباط برقرار کنند.
- شرکت‌کنندگان را در یک بستر مناسب بازار ادغام کند.
- به شرکت‌کنندگان دسترسی مساوی به بازار را بدهد.
- نظارت بر عملکرد بازار، برای اطمینان از امنیت و قابلیت اطمینان شبکه، تصمیمات شرکت‌کنندگان را محدود کند [۱].

۶-۱-۲- عملیات بازار

سیستم اطلاعاتی شبکه P2P عملیات بازار متشکل از تخصیص بازار، قوانین پرداخت و

خرده‌فروشان برای تهیه انرژی خود نخواهند داشت و می‌توانند درباره نحوه‌ی استفاده و توزیع انرژی، انتخاب‌های پایدار و هوشمندانه‌ای انجام دهند.

۳- مزایای تجارت رخ‌به‌رخ

این فناوری‌های نوآورانه به‌طور بالقوه مزایای مختلفی دارد که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- کسانی که از پنل‌های خورشیدی برخوردار نیستند نیز قادر به دسترسی به انرژی‌های تجدیدپذیر با قیمت مناسب از همسایگان خود هستند و کسانی که انرژی مازاد خود را می‌فروشند، می‌توانند این کار را با قیمتی بیش از آنچه به عنوان تعرفه خرید تضمینی از خرده‌فروش یا شبکه دریافت می‌کند، انجام دهند.
- نیازی به انتقال انرژی از نیروگاه‌های متمرکز نیست و این باعث کاهش هزینه‌های انتقال برق می‌شود.
- تولید انرژی می‌تواند از طریق انرژی‌های تجدیدپذیر ایجاد شود که این خود به تنهایی مزایای زیادی دارد.
- انرژی را می‌توان از یک منبع شناخته شده خریداری کرد که به ما این امکان را می‌دهد تا تضمین‌کننده‌ی انرژی خود را تعیین کنیم. برای مثال ممکن است تمایل به پشتیبانی و خرید از پروژه‌ی خصوصی را داشته باشیم.
- ارائه‌ی گزینه‌ای برای معامله با سایر مصرف‌کنندگان و قطع ارتباط با واسطه‌ها یا خرده‌فروشان برق.
- با استفاده از بلاک‌چین تمام معاملات عمومی هستند و نمی‌توان شفافیت آن را تغییر داد [۱].

۴- ورود بلاک‌چین

به‌طور سنتی، برای خرید یا فروش برق، بازرگانان باید قرارداد را پیش‌نویس کرده و مستقیماً با یکدیگر ارتباط برقرار کنند. و نیز پس از آن نیاز به ابزاری مرکزی برای انجام معاملات است. با معرفی بلاک‌چین، معامله‌گران می‌توانند پیشنهادات خود را برای خرید و فروش برق ارائه دهند و خریده‌ها را از طریق اجرای قراردادهای هوشمند انجام دهند، بدون این که نیازی به ابزار یا ارگان مرکزی داشته باشند.

بلاک‌چین یک فناوری پایگاه داده است که اطلاعاتی مانند معاملات دارایی را پردازش و ذخیره می‌کند. این دارایی‌ها می‌توانند به صورت اعتبارات انرژی تجدیدپذیر باشند که می‌توانند از طریق پایگاه داده معامله شوند. سیستم عامل‌های تجارت انرژی رخ‌به‌رخ مانند بلاک‌چین به مصرف‌کنندگان امکان می‌دهد که انرژی مازاد خود را بین یکدیگر تقسیم کرده و نحوه توزیع آن از طریق ریزشبکه را کنترل کنند. قراردادهای هوشمند اساساً معاملاتی هستند که تنها پس از تحقق شرایط مشخصی انجام می‌شوند. علاوه بر این، پرداخت‌ها به صورت زمان واقعی انجام می‌شود و اختلافات موجود بر سر کسری اعتبار و زمان تسویه بین طرفین از بین خواهد رفت.

۴-۱- مزایای فن‌آوری بلاک‌چین

- بالا رفتن دقت در عملکرد با حذف نیروی انسانی در روند تایید.
- کاهش هزینه‌ها با حذف واسطه یا شخص ثالث در روند تایید.
- عدم تمرکز، دست‌کاری اطلاعات را سخت‌تر می‌کند.
- تراکنش‌ها و معاملات ایمن، اختصاصی و کارآمد هستند.
- فناوری شفاف است.

۵- چالش‌های تجارت رخ‌به‌رخ

در عین حال که انتظار می‌رود تجارت انرژی رخ‌به‌رخ با کاهش پیک تقاضا سبب کاهش نیاز به ذخیره‌سازی و کاهش تلفات شود، مقیاس وسیع تجارت رخ‌به‌رخ در شبکه‌های برق چالش‌هایی را در مدل‌سازی معاملات در لایه‌های مجازی و فیزیکی شبکه نیز ایجاد می‌کند. شبکه متشکل از ژنراتورها، خرده‌فروشان و ارائه‌دهنده‌ی سیستم شبکه توزیع (DNSP) در عین حال که می‌تواند از نظر کاهش پیک تقاضا سبب کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری و عملیاتی، به حداقل رساندن نیاز به ذخیره‌سازی و بهبود قابلیت اطمینان سیستم قدرت شود، می‌تواند سود قابل توجهی را نیز کسب کند. با این حال، تجارت در یک شبکه P2P چالش برانگیز است. به این دلیل که در معاملات P2P، انتظار می‌رود که تولیدکنندگان انرژی خود را با نفوذ بسیار کم یا بدون تأثیر کنترل‌کننده مرکزی با یکدیگر معامله کنند. این موضوع سیستم عامل‌های P2P را به یک سیستم بی‌اعتماد تبدیل

رویکرد از پایین به بالا برای توانمندسازی تولیدکنندگان را فراهم می‌کند. شکل ۳ نحوه تجارت در یک شبکه رخنه‌ریز را به خوبی نشان می‌دهد. ساختار بازار در شبکه‌ی رخنه‌ریز به سه نوع تقسیم می‌شود:

(۱) بازارهای کاملاً غیرمتمرکز، (۲) بازارهای مبتنی بر جامعه، و (۳) بازارهای ترکیبی [۱].

۶-۴-۱- بازار کاملاً غیرمتمرکز

در بازار P2P کاملاً غیرمتمرکز، تولیدکنندگان شرکت کننده می‌توانند به طور مستقل و مستقیم با یکدیگر مذاکره کنند تا در مورد پارامترهای تجارت انرژی بدون هیچ گونه نظارت متمرکز تصمیم‌گیری کنند [۱].

۶-۴-۲- بازار مبتنی بر جامعه

یک بازار P2P مبتنی بر جامعه می‌تواند به راحتی در شبکه‌های کوچک و گروهی از تولیدکنندگان همسایه اعمال شود، که در آن اعضای جامعه علائق و اهداف مشترکی دارند حتی اگر در یک مکان نباشند. اعضا ممکن است به صورت مشارکتی یا به صورت رقابتی کار کنند. در یک بازار P2P مبتنی بر جامعه، هر یک از اعضا به طور کلی انرژی خود را در جامعه از طریق یک مدیر جامعه، تجارت می‌کند. در واقع، هم‌تایان ممکن است تصمیم بگیرد که انرژی خود را با شخصی خارج از جامعه تجارت کند، که در آن مدیر جامعه عملکردی در ارتباط با انرژی رد و بدل شده با جهان خارج دارد [۱]. نمای از بازار مبتنی بر جامعه در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳: نمای از بازار مبتنی بر جامعه [۱].

۶-۴-۲- بازار ترکیبی

این بازار، ترکیبی از بازارهای کاملاً غیرمتمرکز و مبتنی بر جامعه است که در آن هر جامعه و هر یک از فروشندگان می‌توانند با یکدیگر تعامل داشته باشند، در حالی که خواص بازار خود را دارند. به این معنا که از یک طرف، هر مشتری خاص می‌تواند در تجارت P2P بین خود مشارکت داشته باشد و در عین حال مانند بازارهای کاملاً توزیع شده با بازارهای فعلی تعامل داشته باشد.

از طرفی مدیر بازار می‌تواند بر تجارت نظارت داشته باشد. در چنین بازاری پروسیورها می‌توانند در یکدیگر تنیده شوند و شبکه‌های کوچک در همسایگی هم درون شبکه‌ی بزرگتر تشکیل دهند. در حال حاضر یک پروسیور ممکن است هم با یک شبکه‌ی تنظیم شده و هم یک شبکه‌ی تنظیم نشده سروکار داشته باشد که این خود چالش بزرگی است [۱].

۷- نتیجه‌گیری

در این مقاله به معرفی تجارت رخنه‌ریز شده است و لایه‌های آن معرفی شد. همچنین به معرفی و بررسی مزایا و چالش‌های تجارت رخنه‌ریز و نیز فن‌آوری بلاک‌چین پرداخته شد. امنیت تجارت از جمله مباحث بسیار مهم در این حوزه می‌باشد.

۸- مراجع:

[1] W. Tushar, T. K. Saha, C. Yuen, D. Smith and H. V. Poor, "Peer-to-Peer Trading in Electricity Networks: An Overview," in IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 11, no. 4, pp. 3185-3200, July 2020.

معرفی افراد

فاطمه جلیلی جشن آبادی

متولد ۱۳۷۰ در درگز است. وی مدرک کارشناسی مهندسی برق-قدرت را از دانشگاه

بیرجند دارد و هم‌اکنون دانشجوی کارشناسی ارشد سیستم‌های قدرت دانشگاه تربیت مدرس است. او همچنین دبیر انجمن علمی برق و کامپیوتر، عضو شورای اجرایی دبیران انجمن علمی دانشگاه تربیت مدرس و سردبیر نشریه علمی تخصصی برق‌کام است.



قالب پیشنهادی کاملاً مشخص را تسهیل می‌کند. هدف اصلی عملیات بازار این است که شرکت‌کنندگان بتوانند با تطبیق سفارشات فروش و خرید نزدیک به زمان واقعی، یک روند کارآمد تجارت انرژی را تجربه کنند [۱].

۶-۱-۳- مکانیزم قیمت‌گذاری

سازوکارهای قیمت‌گذاری به عنوان بخش‌هایی از عملیات بازار طراحی شده‌اند و برای تعادل موثر بین عرضه و تقاضای انرژی استفاده می‌شود. سازوکارهای قیمت‌گذاری مورد استفاده برای تجارت P2P تفاوت اساسی با بازارهای برق سنتی دارند. به عنوان مثال، در بازارهای برق سنتی، بخش قابل توجهی از قیمت برق شامل هزینه‌های اضافی برق و مالیات است. با این حال از آنجایی که انرژی‌های تجدیدپذیر به طور معمول هزینه‌های حاشیه‌ای بسیار کمی دارند، تولیدکنندگان می‌توانند با تعیین مناسب قیمت برای انرژی‌های خود، سود بیشتری کسب کنند. با این وجود، سازوکارهای قیمت‌گذاری بایستی منعکس‌کننده وضعیت انرژی در شبکه P2P باشد، یعنی انرژی مازاد در شبکه باید قیمت انرژی را کاهش دهد و بالعکس [۱].

۶-۱-۴- سیستم مدیریت انرژی

در تجارت P2P، سیستم مدیریت انرژی (EMS) یک مشتری می‌تواند انرژی خود را تامین کند. به همین منظور، یک EMS از طریق کنترلر فعال که براساس آن مشخصات تولید و مصرف مشتری را توسعه می‌دهد، به اطلاعات عرضه و تقاضای مشتری در زمان واقعی دسترسی پیدا می‌کند و متعاقباً تصمیم می‌گیرد استراتژی مناقصه را برای شرکت در تجارت انجام دهد. به عنوان مثال، EMS یک مشتری ممکن است زمانی که قیمت هر واحد انرژی کم‌تر از آستانه حداکثر قیمت خود قرار می‌گیرد اقدام به خرید کند [۱].

۶-۲- عناصر موجود در لایه فیزیکی

* اتصال شبکه * ادوات اندازه‌گیری * زیرساخت ارتباطی [۱].

۶-۳- سایر عناصر

۶-۳-۱- شرکت‌کنندگان بازار

برای تجارت انرژی P2P، وجود تعداد کافی شرکت‌کنندگان بازار در شبکه ضروری است. همچنین یک زیرگروه از شرکت‌کنندگان باید ظرفیت تولید انرژی را داشته باشند. هدف از تجارت انرژی P2P در طراحی برنامه‌های قیمت‌گذاری و سازوکار بازار تأثیرمی‌گذارد و بنابراین باید به وضوح تعریف شود. علاوه بر این، شکل‌های مختلف انرژی (یعنی برق یا گرما) معامله می‌شود [۱].

۶-۳-۲- تنظیم مقررات

موفقیت تجارت P2P در بازار برق آینده بیش‌تر توسط مقررات و سیاست‌های انرژی کنترل خواهد شد. یعنی قوانین دولتی یک کشور تصمیم می‌گیرد که چه نوع طراحی برای بازار مجاز باشد، چگونه مالیات و هزینه‌ها توزیع شود و چگونه بازار P2P در سیستم‌های انرژی موجود، در بازار انرژی وارد شود. بنابراین، دولت‌ها می‌توانند از بازارهای انرژی P2P پشتیبانی کنند تا با استفاده از تغییرات نظارتی، بهره‌وری کارآمد از منابع انرژی تجدیدپذیر را تسریع کرده و روند تخریب محیط‌زیست را کاهش دهند.



شکل ۲: نمای کلی شبکه رخنه‌ریز [۱].

در مقابل، اگر بر سیستم‌های انرژی فعلی تأثیر منفی بگذارد، رگولاتورها می‌توانند از اجرای چنین بازارهایی صرف نظر کنند. یک نمای کلی از شبکه‌های P2P در شکل ۲ نشان داده شده است [۱].

۶-۴- ساختار بازار

در مقابل رویکرد از بالا به پایین بازار انرژی فعلی، تجارت انرژی P2P نیاز به سازماندهی مجدد بازارهای برق در مدیریت غیرمتمرکز و اصل مشارکتی دارد که امکان ایجاد



تحلیل و کنترل وضعیتی بدن انسان جهت توان بخشی

سید شهاب زارع حسینی^۱، صادق بلوکی^۲

۱- کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، seshazahoma2@gmail.com

۲- استادیار، دانشگاه پلی تکنیک، مونتreal، sadeghbolouki@gmail.com

چکیده

در این پژوهش ما به بررسی روش‌های تحلیل و کنترل وضعیت قرارگیری انسان پرداخته‌ایم. ابتدا به اهمیت تعادل در انجام فعالیت‌های روزانه انسان به کالبدشناسی اندام با اهمیت بدن اشاره شد. چندین روش اعم از کنترل بازخورد با ادغام وزن دار حسی و یادگیری عمیق برای کنترل تعادل انسان معرفی و بحث شد. سپس از توان بخشی به عنوان یک روش بهینه برای بهبود سلامت بیماران حوزه نقص توانایی حرکتی و حفظ تعادل نام برده شد و روش‌هایی جهت تشخیص و ارزیابی فعالیت‌های ورزشی حین توان بخشی شرح داده شد. در نهایت یک جریان کار کلی برای انجام بهینه فرآیند توان بخشی پیشنهاد شد.

کلیدواژگان: کنترل وضعیت بدن، تعادل، توان بخشی، شناسایی سیستم، یادگیری عمیق

Abstract

In this research, we have examined the methods of analysis and control of human posture. First, the importance of balance in performing daily human activities was pointed out and anatomy of important organs of the body was discussed. Several methods were introduced and discussed, including feedback control with weighted sensory integration, system identification with power spectrum, and deep learning in order to human balance control. Then, rehabilitation was mentioned as an optimal method to improve the health of patients in the field of motor disability and balance maintenance and methods for diagnosing and evaluating activities during rehabilitation were described. Finally, an overall workflow was proposed to optimally perform the rehabilitation process.

Keywords: Human Postural Control; Balance; Rehabilitation; System Identification; Deep Learning

۱- مقدمه

بی‌شک یکی از مهم‌ترین وظایفی که مغز انسان درگیر آن است، حفظ تعادل بدن در هنگام ایستادن، راه رفتن و بقیه وضعیت‌های بدن می‌باشد. در یک انسان عادی حفظ تعادل در سطح هموار شاید امری بدیهی به نظر برسد، ولی همین امر مانند بسیاری از امور دیگر مانند نفس کشیدن بینایی شنوایی و غیره، حاصل عملیات سلسله مراتبی دستگاه‌های مختلف بدن است. این موضوع زمانی برجسته می‌شود که با افرادی با بیماری‌ها و عارضه‌های عصبی و عضلانی سروکار داشته باشیم. بیماری‌هایی مانند پارکینسون و ام‌اس یا مشکلات حرکتی و ارتوپدی که قرارگیری قائم و حفظ تعادل بدن را با مشکل مواجه می‌کند. جدا از این بحث پایداری وضعیت بدن در سطوح ناهموار نیز حتی برای افراد سالم مسئله‌ای چالش‌برانگیز است. بنابراین، بررسی و تحلیل وضعیت بدن انسان و کنترل آن موضوعی حیاتی به نظر می‌رسد. از میان تمامی گزینه‌ها، از توان بخشی به‌عنوان یکی از مؤثرترین راهکارهای برخورد با این مسئله نام برده می‌شود. چیزی که موضوع این تحقیق است. مهم‌ترین وظیفه عملیات کنترل وضعیت بدن، حفظ تعادل است. قرارگیری قائم به‌وسیله دوطا‌اً امری ناپایدار است. انحراف کم از حالت ایستاده در اثر نیروی جاذبه باعث ایجاد گشتاور می‌شود که بدن را از این حالت منحرف‌تر می‌کند [۱]. اینجا می‌توان اهمیت حفظ تعادل را بهتر درک کرد.

در انسان عادی با مکانیزم‌های مختلف عضلانی، تعادل در هر لحظه تأمین می‌گردد. با اینکه نیروها و گشتاورهای وارده بر بدن انسان حتی زمانی که هیچ نیرو یا گشتاور خارجی بر بدن وارد نشود، صفر نخواهد بود. تمامی فعالیت‌های حیاتی بدن به تولید نیرو و گشتاور به بافت‌ها و اندام بدن منجر خواهد شد. حتی در مقیاس‌های بسیار کوچک، ولی تنفس که شامل حرکت پرده دیافراگم و در نتیجه اعمال نیرو به اندام‌ها و بافت‌های مجاور و تپش قلب که شامل انقباض و انقباض قلب و در نتیجه همان اعمال نیرو می‌باشد، دو فعالیت قابل توجه می‌باشند که می‌توانند زاویه خط ثقل بدن (تاب بدن) را تغییر دهند و در نتیجه راستای آن را از پایه پشتیبانی دور سازند. حفظ تعادل بدن شامل حفظ تاب بدن در وجود این دو آشفتگی و آشفتگی‌های دیگر خارجی است. در انسان‌های عادی حفظ تعادل با وجود این اغتشاش‌ها امری حل‌پذیر است. هر چند در موارد استثنایی مانند معلولیت یا بیماری‌های خاص، این امر ممکن است نیازمند کمک خارجی باشد. در این موارد توان بخشی می‌تواند یک راهکار مؤثر جهت تأمین این نیاز باشد.

این تحقیق به بررسی راهکارهای مؤثر بر پایداری وضعیت بدن و بهبود عملکرد آن به‌وسیله توان بخشی می‌پردازد. موضوعی که از سالیان دور مورد توجه بسیاری از محققان بوده است. طبق گزارش سازمان جهانی بهداشت، در سطح جهانی، تخمین زده می‌شود که ۲.۴ میلیارد نفر در حال حاضر به‌وسیله توان بخشی، سلامتی خود را تأمین می‌کنند. در حال حاضر، نیاز به توان بخشی تا حد زیادی برآورده نشده است. در برخی از کشورهای با درآمد کم و متوسط، بیش از ۵۰٪ مردم خدمات توان بخشی مورد نیاز خود را دریافت نمی‌کنند. خدمات توان بخشی در سال ۲۰۲۰ در ۶۰-۷۰٪ کشورها به دلیل همه‌گیری کووید-۱۹ مختل شده است.

توان بخشی مجموعه‌ای از مداخلات طراحی‌شده برای بهینه‌سازی عملکرد و کاهش ناتوانی در افراد دارای شرایط بهداشتی در تعامل با محیط آن‌ها است. به بیان ساده، توان بخشی به کودک، بزرگسال یا فرد مسن کمک می‌کند تا حد امکان در فعالیت‌های روزمره استقلال داشته باشد و امکان مشارکت در آموزش، کار، تفریح و نقش‌های معنادار زندگی مانند مراقبت از خانواده را فراهم می‌کند. این کار با پرداختن به شرایط زمینه‌ای (مانند درد) و بهبود عملکرد فرد در زندگی روزمره، حمایت از آن‌ها برای غلبه بر مشکلات تفکر، دیدن، شنیدن، برقراری ارتباط، غذا خوردن یا جابجایی انجام می‌شود. توان بخشی می‌تواند تأثیر طیف گسترده‌ای از شرایط سلامتی، از جمله بیماری‌ها (حاد یا مزمن)، عارضه‌ها یا آسیب‌ها را کاهش دهد. همچنین می‌تواند مکمل سایر مداخلات بهداشتی مانند مداخلات پزشکی و جراحی باشد که به دستیابی به بهترین نتیجه ممکن کمک می‌کند. به‌عنوان مثال، توان بخشی می‌تواند به کاهش، مدیریت یا جلوگیری از عوارض مرتبط با بسیاری از شرایط سلامتی مانند آسیب نخاع، سکتة مغزی یا شکستگی کمک کند.

توان بخشی با تجهیز افراد به استراتژی‌های خود مدیریتی و محصولات کمکی مورد نیاز، یا با پرداختن به درد یا سایر عوارض، به کاهش یا کند کردن اثرات ناتوان‌کننده بیماری‌های مزمن سلامتی، مانند بیماری‌های قلبی عروقی، سرطان و دیابت کمک می‌کند. توان بخشی یک سرمایه‌گذاری است که دارای مزایای مالی هم برای افراد و هم برای جامعه است. این کار می‌تواند به جلوگیری از بستری شدن در بیمارستان، کاهش مدت اقامت در بیمارستان و جلوگیری از بستری مجدد کمک کند. توان بخشی همچنین افراد را قادر می‌سازد تا در آموزش و پرورش و اشتغال سودمند شرکت کنند، در خانه مستقل بمانند و نیاز به حمایت مالی یا مراقبتی را به حداقل برسانند. توان بخشی بخش مهمی از پوشش بهداشت جهانی است و یک استراتژی اصلی برای دستیابی به هدف سوم توسعه پایدار است: «اطمینان از زندگی سالم و ارتقای رفاه برای همه در هر سنی» [۲].

در [۳] اثرات توان بخشی نه تنها در عملکرد زیستی بدن بلکه در فاکتورهای اجتماعی و روانشناسی بررسی شده است. توان بخشی پس از سکتة مغزی فعالیت بدنی متناسب با نیازهای بیمار را پوشش می‌دهد. با این حال، ناتوانی حاصل از سکتة مغزی اغلب فیزیوتراپی را محدود می‌کند. واسطه‌های تأثیرگذار بر فعالیت بدنی پس از سکتة مغزی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. ناتوانی جسمی به‌دست‌آمده در نتیجه نگرانی از سکتة مغزی در مورد سلامت و عوامل محیطی به‌عنوان موانعی دیده می‌شود. در مقابل، حمایت اجتماعی و توانایی مطلوب برای انجام فعالیت‌های اساسی زندگی روزمره از عوامل مثبت مؤثر بر فعالیت بدنی هستند. در این بررسی بیش از ۴۰٪ از پاسخ‌دهندگان از نبود عامل مشترک که انگیزه بود شکایت داشتند. بسیاری از بیماران پس از سکتة مغزی به یک سبک زندگی ناسالم ادامه می‌دهند، که ممکن است یک حادثه عروقی دیگر را تحریک کند. بیش از ۱۲٪ بیماران پس از سکتة در طی یک سال اتفاق دیگری را تجربه می‌کنند [۴]. مطالعه دیگر تأثیر عواملی مانند خودکارآمدی، حمایت اجتماعی و موانع درک شده بر فعالیت بدنی کم را در افرادی که سکتة مغزی کرده‌اند، از دیابت نوع ۲ رنج می‌برند یا از هر دو اختلال رنج می‌برند، در نظر گرفت. این مطالعه نشان می‌دهد که حمایت اجتماعی اندک، خودکارآمدی پایین و موانع ذهنی با درجه بالا به‌شدت بر سطح پایین فعالیت بدنی تأثیر می‌گذارد [۵]. همچنین حمایت اجتماعی بالا که به‌ویژه از نظر ذهنی توسط بیماران بررسی می‌شود، به‌عنوان یک عامل محافظ در برابر رشد افسردگی پس از سکتة مغزی مهم است که به‌نوبه خود، انگیزه توان بخشی را در بیماران پس از سکتة مغزی کاهش می‌دهد [۶].

مداخلات توان بخشی فیزیکی (PR) در بخش مراقبت‌های ویژه (ICU) می‌تواند نتایج عملکردی بیماران را بهبود بخشد، اما بازبینی‌های سامان‌مند اثرات ناسازگار و گزارش ضعیف را مشخص کرد. در [۷] برای تعیین میزان مداخلات روابط عمومی ICU و نحوه گزارش و اندازه‌گیری آن‌ها، یک بررسی حوزه‌ای انجام شده است. از سوی دیگر در [۸] مطالعه‌ای به‌منظور بررسی تأثیر برنامه توان بخشی جسمانی هشت‌هفته‌ای برای هر فرد حین دوران نقاهت طراحی شده است. ۱۹۵ نفر به دو گروه تقسیم شدند و یک گروه تحت مداخله توان بخشی قرار گرفت. این برنامه هشت‌هفته‌ای توان بخشی فیزیکی خانگی، میزان بهبودی را در نمونه مورد بررسی افزایش نداد، زیرا هر دو گروه از بازماندگان بدحال، عملکرد جسمانی خود را در ۲۶ هفته پیگیری بهبود بخشیدند. تحقیقات بیشتر باید بهبود اثربخشی مداخله را با افزایش شدت و دفعات ورزش و شناسایی افرادی که بیشترین سود را از این مداخله خواهند داشت، کشف کند. بنابراین صرفاً خود توان بخشی مؤثر نیست و پارامترهای بسیاری از قبیل نوع بیمار، شدت و چگونگی توان بخشی و غیره در این قضیه دخیل است.

کنترل تعادل بدن از دیرباز موضوع مورد علاقه محققان بوده است. محققان بسیاری در پی مدل‌سازی دینامیک و فیزیولوژی بدن و مغز بوده‌اند تا راهکارهای لازم برای انجام عملیات کنترلی مطلوب را به دست آورند. اولین تلاش‌های مهم در [۹] به عمل آمد و در آن به مدل‌سازی کامل مفاصل انسان پرداخته شد. این مدل شامل یک مکانیسم با هفت تکیه‌گاه مفصلی بود که پس از خطی سازی دینامیک آن با بهره‌گیری از معادلات لاگرانژ به یک معادله فضای حالت مرتبه ۹ نائل شد. در این مقاله سعی شد

غیرخطی بودن آشکار می‌شود. بدین معنی که در شرایط ناهموار، فرآیند کنترل و تنظیم وضعیت باید یک سیستم غیرخطی در نظر گرفته شود.

مطالعات بیشتر این مقوله را به سمت شناسایی سیستم پیش برد. در [۱۲] برای شناسایی دینامیک جسم صلب بدن و مکانیسم فیزیولوژیکی آن، می‌توان آشفتگی‌های معینی را به بدن وارد کرد و با ثبت واکنش بدن و با استفاده از روش‌های مختلف شناسایی سیستم مدلی برای توصیف رفتار بدن حین تعادل به دست آورد. مدل‌های دیگر در [۱۳] و [۱۴] معرفی شدند که به ترتیب شامل آونگ معکوس با ممان اینرسی قابل تنظیم و آونگ معکوس چندبخشی (چند مفصلی) می‌باشند. روش‌های جدیدتر شامل استفاده از یادگیری عمیق برای این کار است که طبعاً داده و پردازش بسیاری را می‌طلبد [۱۵].

روش‌های نوین شامل یادگیری ماشین و یادگیری عمیق نه تنها در کنترل تعادل و وضعیت بدن بلکه در تشخیص و ارزیابی فعالیت‌های ورزشی و توان‌بخشی نیز کاربرد دارند. در [۱۶] یک فرآیند شناسایی سیستم توسط شبکه‌های عصبی پیچشی ارائه شده است. در اصل یک مدل غیرخطی برای توصیف وضعیت بدن انسان در نظر گرفته شده و توسط شبکه عصبی تخمین زده می‌شود. یکی از گام‌های مهم برای فرآیند توان‌بخشی ارزیابی تعادل بدن حین انجام فعالیت‌های ورزشی است. در [۱۷] از یادگیری عمیق جهت ارزیابی تعادل توسط حسگرهای متصل به بدن استفاده شده است. جدا از این تشخیص فعالیت ورزشی انجام شده توسط داده‌های جمع‌آوری شده از حسگر که حین انجام فعالیت آن‌ها را جمع‌آوری کرده‌اند، می‌تواند مؤثر باشد. کاری که در [۱۸] توسط شبکه‌های عصبی پیچشی چندمسیره انجام شده است. در نهایت پژوهش‌هایی نظیر [۱۹] راهکاری برای ارزیابی درستی و تأثیر انجام فعالیت ورزشی حین توان‌بخشی ارائه داده است.

۲- بیومکانیک برای توانبخشی

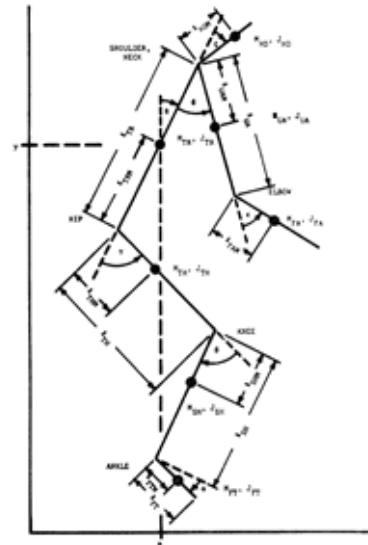
اصطلاح بیومکانیک پیشوند «بیو» به معنی «زندگی» را با رشته مکانیک که مطالعه اعمال نیروها است ترکیب می‌کند. جامعه بین‌المللی دانشمندان اصطلاح بیومکانیک را در اوایل دهه ۱۹۷۰ برای توصیف علمی شامل مطالعه جنبه‌های مکانیکی موجودات زنده به کار بردند. در زمینه‌های علم حرکتی و علم ورزش، موجود زنده‌ای که بیشتر مورد توجه است انسان می‌باشد. نیروهای مورد مطالعه شامل نیروهای داخلی تولید شده توسط ماهیچه‌ها و نیروهای خارجی است که بر بدن عمل می‌کنند [۲۰].

یکی از مشکلات چالش برانگیز بیومکانیک که افراد مسن را مورد هدف قرار می‌دهند، اختلال حرکتی است. افزایش سن با کاهش توانایی تعادل همراه است و افراد مسن نسبت به افراد جوان با نوسان بیشتر راه می‌روند و بیشتر زمین می‌خورند، اگرچه دلایل این تغییرات به خوبی شناخته نشده است. زمین خوردن و به ویژه شکستگی لگن ناشی از افتادن، مشکلات پزشکی بسیار جدی، شایع و پرهزینه در میان افراد مسن است. هر سال زمین خوردن باعث درصد زیادی از شکستگی مچ دست، صدمات سر، شکستگی مهره‌ها و پارگی و همچنین بیش از ۹۰ درصد شکستگی‌های لگن در ایالات متحده می‌شود. گروه‌های تحقیقاتی بیومکانیکی در حال بررسی عوامل بیومکانیکی هستند که افراد را قادر می‌سازد تا از زمین خوردن اجتناب کنند مانند ویژگی‌های فرود ایمن در هنگام زمین خوردن و نیروهایی که قسمت‌های مختلف بدن در هنگام سقوط تحمل می‌کنند [۲۱]. تحقیقات امیدوارکننده درباره توسعه استراتژی‌های مداخله و توان‌بخشی نشان داده است که کلید جلوگیری از زمین خوردن ممکن است توانایی محدود کردن حرکت تنه باشد. افراد مسن می‌توانند به سرعت راهکارهایی را برای محدود کردن حرکت تنه از طریق تمرینات مخصوص وظایف همراه با ورزش کل بدن بیاموزند [۲۲].

۲-۱- سینماتیک بدن

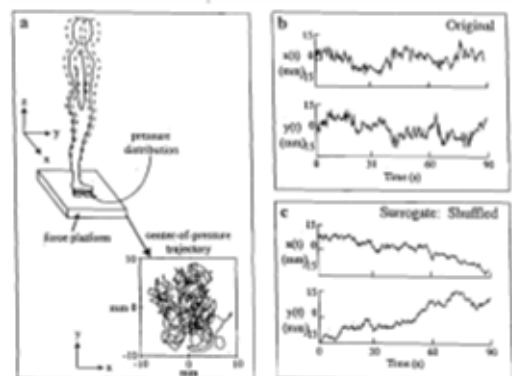
بیشتر حرکت انسان‌ها شامل حرکت عمومی است، ترکیبی پیچیده از حرکت خطی و زاویه‌ای.

با استفاده از قانون کنترلی خطی مدل در حالت ایستاده قرار گیرد و شبیه‌سازی‌ها نیز این موضوع را تصدیق کرد. مرتبه بالای مدل شاید بزرگ‌ترین مشکل این دیدگاه باشد. علاوه بر آن مدل خطی شده با مدل غیرخطی اختلاف دارد و این می‌تواند مخصوصاً در مواقعی که آشفتگی داخلی یا بیرونی داشته باشیم. مدل را ناکارآمد جلوه دهد. به خصوص که در این مقاله تنها اغتشاش خارجی نیروی جاذبه است (شکل ۱).



شکل ۱: مدل هفت بازویی بدن انسان.

تلاش‌های بعدی در [۱۰] شامل شناسایی دینامیک وضعیت بدن انسان بود. این کار با استفاده از اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکی از چندین آزمایش روی ۶ مورد سالم انجام شد. تفاوت این کار با تحقیق قبلی ساده‌تر شدن مدل دینامیکی بررسی شده بود که در اصل از مدل یک آونگ معکوس استفاده شده بود. در [۱۱] دیدگاهی آماری-بیومکانیکی وجود داشت که با آنالیز آماری مسیر حرکت مرکز ثقل و مرکز فشار، سیستم کنترل وضعیت بدن را مطابق شکل ۲ در حالت ایستاده تحلیل می‌کرد و آن را معادل یک سیستم حلقه بسته یا حلقه باز، بنا بر شرایط، در نظر می‌گرفت. این کار می‌توانست مدل‌سازی حلقه بسته سیستم کنترل را توجیه کند.



شکل ۲: (a) نمودار شماتیک تنظیمات آزمایش بررسی پایداری وضعیت ایستاده. (b) سری زمانی مختصات Z و Y مربوط به استابلوگرام در (c). (a) مجموعه داده‌های جایگزین تصادفی که از سری زمانی اصلی COP در (b) تولید شده‌اند [۱۱].

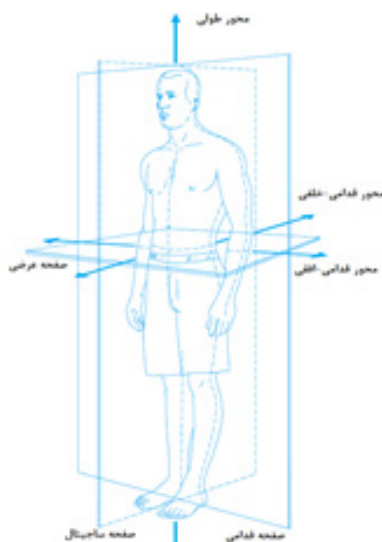
دیدگاه مطرح شده در [۱۱] درب جدیدی را به سوی کنترل حلقه بسته وضعیت انسان باز کرده است. در تحلیل ارائه شده در [۱] اطلاعات وضعیت بدن از ۳ حسگر بدن گرفته می‌شود، این ۳ حسگر به ترتیب انحراف جهت‌گیری سر نسبت به راستای جاذبه، انحراف جهت‌گیری سر نسبت به دنیای بصری و جهت‌گیری پا نسبت به سطح تماس می‌باشند. سیگنال خروجی این سه حسگر طبق فرآیندی خطی ترکیب شده و عملیات کنترلی به صورت حلقه بسته به سیستم ملحق می‌گردد. نتایج [۱] نشان می‌دهد که ترکیب حسگرها و تنظیم وضعیت فرایندهایی خطی برای یک شرایط حسگری خاص و دامنه محرک مشخص هستند. با این حال، با تغییر شرایط محرک،

۱-۱-۲- صفحات مرجع در کالبد شناسی

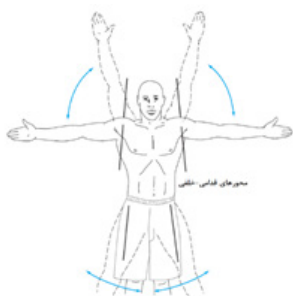
سه صفحه فرضی جرم بدن را در سه بعد به دو قسمت تقسیم می‌کنند. صفحه یک سطح دوبعدی با جهت‌گیری خاص است که توسط مختصات سه‌نقطه مشخصی تعریف می‌شود که همه آن‌ها در یک خط نباشند. صفحه می‌تواند به‌عنوان یک سطح صاف فرضی تصور شود. صفحه ساجیتال که به‌عنوان صفحه قدامی خلفی (AP) نیز شناخته می‌شود، بدن را به‌صورت عمودی به دو نیمه چپ و راست تقسیم می‌کند به طوری که هر یک از آن‌ها دارای جرم یکسانی باشند. صفحه قدامی که به آن صفحه تاجی نیز گفته می‌شود، بدن را به‌صورت عمودی به دو قسمت جلو و عقب با جرم مساوی تقسیم می‌کند. صفحه افقی یا عرضی بدن را به دو نیمه بالا و پایین با جرم مساوی تقسیم می‌کند. برای فردی که در موقعیت مرجع ایستاده است، سه صفحه اصلی همگی در یک نقطه واحد به نام مرکز جرم یا مرکز ثقل بدن قطع می‌شوند (شکل ۳). این سطوح مرجع فرضی فقط در رابطه با بدن انسان وجود دارد. اگر شخصی با زاویه مشخصی به راست یا چپ بچرخد، صفحات مرجع نیز با همان زاویه به راست یا چپ می‌چرخند.

۲-۱-۲- محورهای مرجع کالبدشناسی

وقتی قسمتی از بدن انسان حرکت می‌کند، حول یک محور که از مفصل متصل به آن گذشته است، می‌چرخد. سه محور مرجع برای توصیف حرکت انسان وجود دارد و هر کدام عمود بر یکی از سه صفحه حرکت است. محور قدامی-افقی که به‌عنوان محور میانی-کناری نیز شناخته می‌شود، عمود بر صفحه ساجیتال است. چرخش در سطح قدامی حول محور خلفی-قدامی، یا محور عرضی-ساجیتال رخ می‌دهد (شکل ۳). چرخش صفحه عرضی حول محور طولی یا محور عمودی است. مهم است که تشخیص دهیم که هر یک از این سه محور همیشه با یک صفحه مرتبط هستند صفحه‌ای که محور عمود بر آن است.



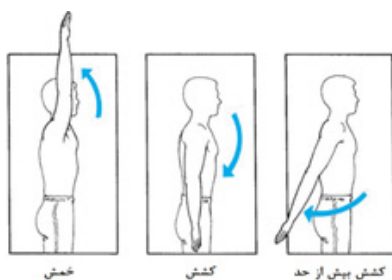
شکل ۳: صفحات و محورهای مرجع کالبدشناسی.



شکل ۵: برای حرکت پروانه، محورهای اصلی محورهای قدامی-خلفی هستند که از مفاصل شانه و لگن می‌گذرند.

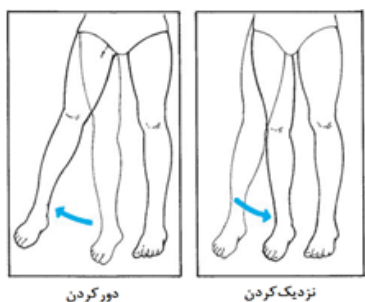
۲-۱-۳- جابه‌جایی‌ها در صفحات مختلف

از نظر آناتومیکی، سه حرکت اصلی که در صفحه ساجیتال رخ می‌دهد عبارت‌اند از: خمش، کشش و کشش بیش‌ازحد (شکل ۶). خمش شامل چرخش صفحه ساجیتال سر، تنه، بالای بازو، ساعد، دست و لگن و چرخش صفحه ساجیتال پشت ساق پا است. کشش به‌عنوان حرکتی تعریف می‌شود که بخشی از بدن را از موقعیت خمش به موقعیت آناتومیکی بازمی‌گرداند و کشش بیش‌ازحد چرخش فراتر از موقعیت آناتومیکی در جهت مخالف جهت حرکت است. اگر بازوها یا پاها به‌صورت داخلی یا خارجی نسبت به موقعیت آناتومیکی بچرخند، ممکن است در صفحه دیگری به‌غیر از صفحه ساجیتال، کشش، خمش و یا کشش بیش‌ازحد زانو و آرنج ایجاد شود.

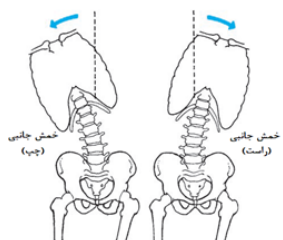


شکل ۶: حرکات شانه در صفحه ساجیتال.

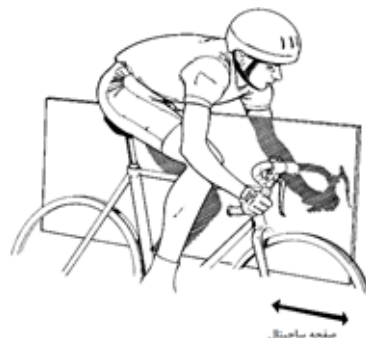
اصلی‌ترین حرکات چرخشی صفحه قدامی دور کردن و نزدیک کردن است. دور کردن یک بخش بدن را از خط وسط بدن دور می‌کند. نزدیک کردن یک بخش بدن را به خط میانی بدن نزدیک می‌کند (شکل ۷). دیگر حرکات صفحه جلویی شامل چرخش تنه به پهلو است که به آن خمش جانبی راست یا چپ گفته می‌شود.



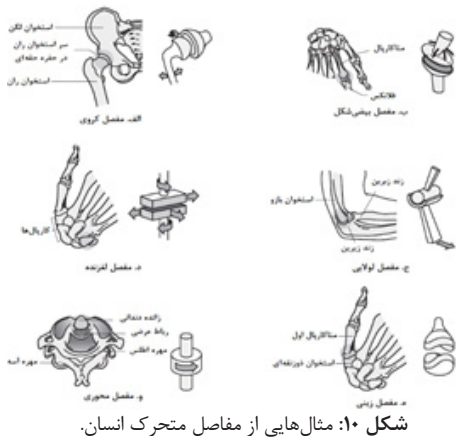
شکل ۷: حرکات لگن در صفحه قدامی.



شکل ۸: حرکات ستون فقرات در صفحه قدامی.



شکل ۴: دوچرخه‌سواری نیاز به حرکت پاها در صفحه ساجیتال دارد.



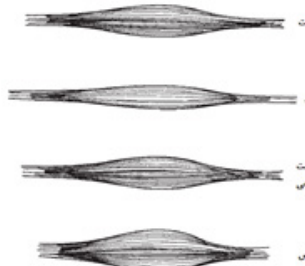
شکل ۱۰: مثال‌هایی از مفاصل متحرک انسان.

۲-۴- ماهیچه‌های اسکلتی بدن انسان

ماهیچه تنها بافتی است که می‌تواند به‌طور فعال تنش ایجاد کند. این ویژگی ماهیچه‌های اسکلتی یا مخطط را قادر می‌سازد تا عملکردهای مهم حفظ وضعیت بدن در حالت ایستاده، حرکت اندام‌های بدن و جذب شوک را انجام دهند. از آنجاکه ماهیچه‌ها تنها در صورت تحریک عصبی مناسب می‌توانند این عملکردها را انجام دهند، سیستم عصبی انسان و سیستم عضلانی اغلب به‌طور یکپارچه به‌عنوان سیستم عصبی عضلانی شناخته می‌شوند [۲۴].

۲-۴-۱- ویژگی‌های رفتاری واحد عضلانی

چهار ویژگی رفتاری بافت ماهیچه‌ای عبارت‌اند از: کشش‌پذیری، الاستیسیته، تحریک‌پذیری و توانایی ایجاد تنش. این ویژگی‌ها بین همه ماهیچه‌ها، از جمله ماهیچه‌های قلبی، صاف و اسکلتی انسان‌ها و همچنین بین ماهیچه‌های دیگر پستانداران، خزندگان، دوزیستان، پرندگان و حشرات مشترک است. خواص کشش‌پذیری و الاستیسیته در بسیاری از بافتهای بیولوژیکی مشترک است. همان‌طور که در شکل ۱۱ نشان داده شده است، کشش‌پذیری توانایی کشش یا افزایش طول است و توانایی بازگشت به طول طبیعی پس از کشش است. حالت کشسانی عضله آن را به حالت طبیعی در حالت استراحت پس از کشش بازمی‌گرداند و باعث انتقال نرم تنش را از ماهیچه به استخوان می‌شود.



شکل ۱۱: ویژگی‌های یک بافت ماهیچه‌ای.

رفتار کشسانی عضله شامل دو جزء اصلی است. مؤلفه الاستیک موازی (PEC) که توسط غشای ماهیچه‌ای ایجاد می‌شود، هنگامی که عضله به‌طور منفعل کشیده می‌شود، مقاومت ایجاد می‌کند. مؤلفه الاستیک سری (SEC) که در تاندون‌ها قرار دارد، مانند یک فنر برای ذخیره انرژی کشسانی در هنگام کشش عضله عمل می‌کند. به این دلیل این مؤلفه‌های الاستیک عضلانی این‌گونه نامیده می‌شوند که غشاها و تاندون‌ها به ترتیب به‌صورت موازی و به‌صورت سری با فیبرهای عضلانی قرار دارند که منجر به ایجاد مؤلفه انقباضی می‌شوند (شکل ۸).

SEC و PEC دارای خاصیت ویسکوز هستند که باعث می‌شود ماهیچه‌ها حین زمان کشیده شده و به حالت اولیه بازگردند. هنگامی که کشش ثابت یک گروه عضلانی مانند همسترینگ با گذشت زمان حفظ می‌شود، ماهیچه به تدریج طولانی می‌شود و انعطاف‌پذیری مفصل را افزایش می‌دهد. به همین ترتیب، پس از کشش یک گروه عضلانی، بلافاصله به طول عادی برنمی‌گردد و به تدریج در طول زمان کوتاه می‌شود [۲۵، ۲۶].

حرکات بدن در صفحه عرضی، حرکت دورانی در محور طولی است. چرخش به چپ و چرخش به راست برای توصیف حرکات در صفحه عرضی سر، گردن و تنه استفاده می‌شود.

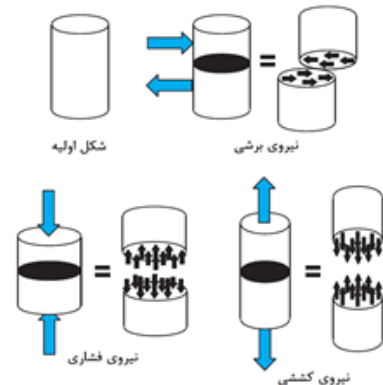
۲-۲- سینتیک بدن

بدن انسان در طول فعالیت‌های روزانه هم نیرو تولید می‌کند و هم در برابر آن مقاومت می‌کند. نیروهای گرانشی و اصطکاک هنگامی که نیروهای داخلی توسط ماهیچه‌ها تولید می‌شوند، راه رفتن و جابجایی اجسام را به‌گونه‌ای قابل پیش‌بینی امکان‌پذیر می‌کند. فعالیت ورزشی شامل اعمال نیروها به اشیاء و جذب نیروها از برخورد با اشیاء مختلف است.

۲-۲-۱- بارهای مکانیکی بدن انسان

نیروی فشاری یا فشردن را می‌توان به‌عنوان نیروی له‌کننده در نظر گرفت (شکل ۹). وزن بدن به‌عنوان یک نیروی فشاری بر استخوان‌های نگه‌دارنده آن عمل می‌کند. هنگامی که تنه راست می‌شود، هر مهره در ستون فقرات باید وزن آن قسمت از بدن را در بالای خود تحمل کند.

نقطه مقابل نیروی فشاری، نیروی کششی یا کشش است (شکل ۹). هنگامی که کودک در یک تاب‌بازی زمین‌بازی می‌نشیند، وزن کودک باعث ایجاد کشش در زنجیرهای متصل به تاب می‌شود. کودک سنگین‌تر کشش بیشتری را در تکیه‌گاه تاب ایجاد می‌کند. ماهیچه‌ها نیروی کششی ایجاد می‌کنند که استخوان‌های متصل را می‌کشند. دسته سوم نیروی برشی نامیده می‌شود. درحالی‌که نیروهای فشاری و کششی در امتداد محور طولی استخوان یا ساختار دیگری که به آن اعمال می‌شود عمل می‌کند، نیروی برشی موازی یا مماس با یک سطح عمل می‌کند. نیروی برشی باعث می‌شود بخشی از جسم نسبت به قسمت دیگری از جسم لغزش، جابجایی یا برش داشته باشد (شکل ۹) [۲۳].



شکل ۹: نیروهای واردشده بر بدن.

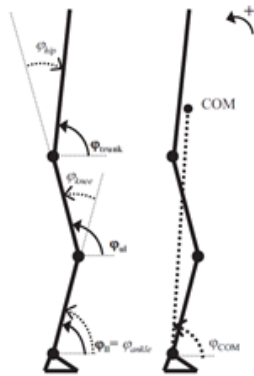
وقتی نیرویی به جسمی وارد می‌شود، تحت تأثیر دو اثر بالقوه قرار می‌گیرد. اولی شتاب و دومی تغییر شکل است. هنگامی که غواص به انتهای یک سکوی پرش نیرویی وارد می‌کند، تخته هم شتاب می‌گیرد و هم تغییر شکل می‌دهد. میزان تغییر شکل که در واکنش به یک نیروی معین رخ می‌دهد بستگی به سختی جسم دارد که بر روی آن عمل کرده است.

۲-۳- مفاصل استخوانی بدن انسان

مفاصل بدن انسان تا حد زیادی توانایی حرکت بخش‌های بدن را کنترل می‌کند. ساختار آناتومیکی یک مفصل مشخص، مانند زانوی آسیب‌نندیده، در افراد مختلف کمی متفاوت است. همچنین جهت‌هایی که قسمت‌های متصل بدن مانند ران و ساق پا مجاز به حرکت در مفصل هستند. با این حال، تفاوت در سفتی یا سستی نسبی بافت نرم اطراف مفصل باعث تفاوت دامنه حرکتی آن می‌شود.

مفاصل متحرک از نظر ساختار و قابلیت‌های حرکتی بسیار متفاوت هستند، همان‌طور که در شکل ۱۰ نشان داده شده است. آن‌ها معمولاً بر اساس تعداد محورهای چرخشی موجود طبقه‌بندی می‌شوند. مفاصلی که به حرکت یک، دو و سه محور چرخش اجازه می‌دهند به ترتیب مفصل‌های تک‌محوری، دومحوره و سه‌محوره نامیده می‌شوند. برخی از مفاصل که در آن‌ها تنها حرکت محدود در هر جهتی مجاز است، مفاصل غیر محوری نامیده می‌شوند. قابلیت‌های حرکت مشترک نیز گاهی اوقات برحسب درجه آزادی (df) یا تعداد صفحاتی که مفصل در آن‌ها اجازه حرکت می‌دهد، توصیف می‌شود. یک مفصل تک‌محوری دارای یک df، یک مفصل دومحوری دارای دو df و یک مفصل سه‌محوری دارای سه df است [۲۴].

بزرگتر از سختی گرانش ناپایدارکننده باشد. نشان داده شده است که سفتی تاندون آشیل در هنگام ایستادن کمتر از سختی گرانش است [۲۷]. پس تاندون آشیل به تنهایی متضمن پایداری در وضعیت ایستاده نیست. در اینجا مدل‌های آونگ معکوس چند مفصلی که درجه آزادی بیشتری دارند. در پژوهشی جهت بررسی و مقایسه این دو مدل انجام شده است. در این پژوهش واریانس زاویه‌های مفصل مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. با استفاده از تجزیه و تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) بر واریانس زوایای قسمت زیرین پا، قسمت فوقانی پا و سر و دست و تنه (HAT)، و همچنین در ساق پا و زاویه COM (زاویه خط گذرنده از مچ پا تا مرکز جرم) مشخص شد که واریانس زاویه مفصل زانو و مفصل ران با واریانس زاویه مچ پا تفاوت ندارد. اولین مولفه PCA نشان داد که به طور کلی، قسمت‌های بالای ساق و HAT، با دامنه تا حدودی بزرگتر، در یک جهت با ساق پا حرکت می‌کنند. اولین مولفه PCA مربوط به واریانس زاویه مچ پا و واریانس زاویه COM نشان داد که جابجایی زاویه مفصل مچ پا تخمین خوبی از جابجایی زاویه COM می‌دهد. دومین مولفه PCA در زوایای بخش‌ها تا حدی اختلاف ظاهری بین این یافته‌ها را توضیح می‌دهد زیرا این مولفه به حرکت متقابل HAT نسبت به زاویه مفصل مچ پا اشاره می‌کند. در نهایت نتیجه گرفته می‌شود که کنترل وضعیت باید بر اساس مدل آونگ معکوس چند مفصلی مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد [۱۴].



شکل ۱۴: مدل آونگ معکوس چندبخشی. زاویه‌های قسمت پایینی پا (LL)، قسمت بالایی پا (UL)، سر و دست و تنه (HAT) و همچنین زاویه مرکز جرم (COM) به صورت خلاف جهت عقربه‌های ساعت نسبت به خط افق به بالا تعریف می‌شوند. می‌توان با استفاده از سینماتیک مستقیم مختصات COM را بر حسب زوایای مفاصل بدست آورد.

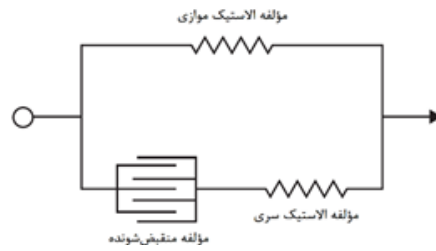
$$x_{COM} = \frac{m_{LL}d_{LL}\cos(\varphi_{LL}) + m_{UL}[L_{LL}\cos(\varphi_{LL}) + d_{UL}\cos(\varphi_{UL})] + m_{HAT}[L_{LL}\cos(\varphi_{LL}) + d_{UL}\cos(\varphi_{UL}) + d_{HAT}\cos(\varphi_{HAT})]}{m_{LL} + m_{UL} + m_{HAT}}$$

$$y_{COM} = \frac{m_{LL}d_{LL}\sin(\varphi_{LL}) + m_{UL}[L_{LL}\sin(\varphi_{LL}) + d_{UL}\sin(\varphi_{UL})] + m_{HAT}[L_{LL}\sin(\varphi_{LL}) + d_{UL}\sin(\varphi_{UL}) + d_{HAT}\sin(\varphi_{HAT})]}{m_{LL} + m_{UL} + m_{HAT}}$$

$$\varphi_{COM} = \tan^{-1} \frac{y_{COM}}{x_{COM}} \quad (3)$$

۲-۶- دینامیک ماهیچه‌ای-عصبی

اکثر مدل‌های ماهیچه‌ای مبتنی بر فیزیولوژی در این حوزه را می‌توان به دو نوع هاکسلی و هیل طبقه بندی کرد. مدل‌های نوع هاکسلی حاصل تکامل مدل‌های پل متقاطع هاکسلی و اساساً بر اساس مکانیسم‌های بیوفیزیکی و بیوشیمیایی انقباض ماهیچه‌ها در سطح مولکولی است. با این حال، این نوع مدل‌ها به طور کلی بسیار پیچیده هستند تا در سیستم‌های کنترل که نیاز به شناسایی سریع مقادیر پارامترها و بهینه سازی نیروی خروجی به کار برده شوند. مدل‌های هیل به ترتیب از موتور، دمپر و فنر برای نشان دادن عناصر انقباضی، ویسکوز و الاستیک بافت عضله استفاده می‌کنند. در یک مدل از نوع هیل معرفی شده است که تابعی را برای فعال سازی عضلات در نظر گرفته است تا مدل بتواند از الگوهای تحریک به عنوان ورودی استفاده کند. این مدل توسط دو معادله دیفرانسیل تعریف می‌شود:



شکل ۱۲: از نظر مکانیکی، واحد ماهیچه‌ای مانند یک مؤلفه منقبض شونده (فیبرهای عضلانی) به موازات یک مؤلفه الاستیک (غشای عضلانی) و به صورت سری با یک مؤلفه الاستیک دیگر (تاندون‌ها) رفتار می‌کند.

یکی دیگر از ویژگی‌های مشخصه ماهیچه‌ها، تحریک پذیری یا توانایی پاسخ به تحریک است. تحریک‌هایی که بر عضلات تأثیر می‌گذارند یا الکتروشیمیایی هستند، مانند پتانسیل ایجاد شده توسط عصب متصل شونده، یا مکانیکی هستند، مانند ضربه خارجی به قسمتی از عضله. هنگامی که عضله با یک محرک فعال می‌شود، با ایجاد تنش پاسخ می‌دهد.

۲-۵- مدل سازی دینامیکی وضعیت بدن

بدن انسان از پیچیده‌ترین مکانیزم‌های جهان هستی است. هر کارکرد و مکانیسمی از بدن انسان جهت مدل سازی نیاز به پارامترهای بسیار دارد. در مدل سازی مدلی که ساده تر بتواند ویژگی‌های مورد نیاز را بیان کند، مدل بهینه تری است. در بحث تعادل بدن در حالت ایستاده یکی از مهم ترین عامل‌های مورد بررسی تاب بدن یا زاویه انحراف مرکز جرم بدن از زاویه قائم است. بنابراین مدلی که می‌تواند در عین سادگی این ویژگی را بطور مستقیم ارائه دهد، مدلی مؤثر خواهد بود. اگر چه عواملی دیگر مانند تأثیر رباط‌های زانو و ستون فقرات نیز مؤثر هستند. دو مدل اصلی برای تحلیل دینامیکی تعادل بدن در حالت ایستاده آونگ معکوس و آونگ معکوس چندبخشی (چند مفصلی) می‌باشند.

۲-۵-۱- آونگ معکوس

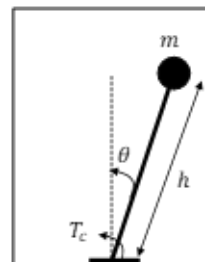
یک آونگ معکوس شامل یک جرم روی یک میله می‌باشد که انتهای میله روی زمین ثابت شده است. سطح زمین بنا بر نوع مدلسازی می‌تواند ثابت یا لغزنده باشد. معادلات دینامیکی آونگ معکوس با استفاده از قوانین نیوتون و خطی سازی بصورت معادله (۱) بدست می‌آید.

$$J \frac{d^2\theta}{dt^2} = mgh \sin \theta + T_c \quad (1)$$

که در آن T_c گشتاور وارد شده به آونگ، J ممان اینرسی حول محور چرخش میله، m جرم جسم متصل به میله، h ارتفاع میله از بالای مرکز جرم و θ تاب بدن می‌باشند. با در نظر گرفتن T_c به عنوان ورودی و θ به عنوان خروجی و همچنین تقریب $\theta \approx \sin \theta$ تابع تبدیل این سیستم بصورت معادله (۲) است.

$$\frac{\theta(s)}{T_c(s)} = \frac{1}{Js^2 - mgh} \quad (2)$$

یک آونگ معکوس بطور ذاتی ناپایدار است. زیرا، یک انحراف کوچک از حالت ایستاده توسط عامل جاذبه $mgh\theta$ شتاب می‌گیرد و باعث انحراف بیشتر می‌شود. معمولاً برای کنترل این آونگ یک گشتاور مخالف حرکت آن به عنوان سیگنال کنترلی در نظر گرفته می‌شود (شکل ۱۳) [۱].



شکل ۱۳: مدل آونگ معکوس.

۲-۵-۲- آونگ چند مفصلی

در مدل آونگ معکوس، پیش شرط پایداری محلی در حالت تعادل این است که سختی خالص مفصل در مچ پا، که از خواص ذاتی ماهیچه‌های و بازخورد عصبی ناشی می‌شود،

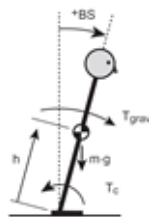
تشخیص می‌دهد که مکانیسم‌های بازخورد به پایدارسازی وضعیتی کمک می‌کند، اما بیان می‌کند که بازخورد به تنهایی کافی نیست و مکانیسم‌های پیش بینی کننده پس‌خوردی برای توضیح رفتار کنترل وضعیت مورد نیاز است [۳۰].

سیستم حسی بدن انسان شامل سیستم‌های بصری، حس عمقی و دهلیزی می‌باشد که به وضوح به کنترل وضعیت کمک می‌کند. یک احتمال این است که سیگنال‌های حسی به طور خطی ترکیب شوند. به این معنا که هر سیستم حسی خطایی را تشخیص می‌دهد که نشان دهنده انحراف جهت‌گیری بدن از برخی موقعیت‌های مرجع است. نشانه‌های حسی دهلیزی انحراف جهت سر از جهت عمودی زمین (گراتش) را تشخیص می‌دهند، حسگرهای بصری جهت‌گیری سر را نسبت به دنیای بصری و گیرنده‌های حس عمقی جهت پا را نسبت به سطح تکیه گاه تشخیص می‌دهند. سیگنال‌های خطای جمع شده و گشتاور اصلاحی مناسب به عنوان تابعی از این سیگنال جمع شده تولید می‌شود. علاوه بر این، می‌توان فرض کرد که تغییرات عصبی مناسب در سیگنال‌های حسی مختلف انجام می‌شود، به طوری که سیستم عصبی نسبت به هر مرجع حسی اطلاعاتی در مورد حرکت مرکز جرم بدن (COM) دارد. (جهت جاذبه برای سیگنال‌های دهلیزی، جهت گیری کلی برای سیگنال‌های بصری و جهت گیری سطحی برای سیگنال‌های حس عمقی) [۱]. مطالعات روانکاوی این واقعیت را تایید می‌کند که چنین تغییراتی می‌تواند رخ دهد [۳۱]. نتایج تجربی قبلی، جایی که تاب بدن با دستکاری سیگنال‌های حسی فردی و ترکیبی برانگیخته شد، به نظر می‌رسد با یک مدل اساساً خطی سازگار است [۳۲].

۳-۲- کنترل فیدبک

سازماندهی کنترل تعادل به عنوان یک سیستم کنترل بازخورد حلقه بسته که یک جسم مکانیکی ناپایدار را پایدار می‌کند (شکل ۱۶) محدودیت‌هایی را بر روی انواع اطلاعات حرکتی مورد نیاز از سیستم‌های حسی و مکانیسم‌های مورد نیاز برای هماهنگ سازی ادغام اطلاعات در حسی مختلف ایجاد می‌کند. سیستم‌های شکل ۱۶ یک نمایش مدل از یک سیستم کنترل بازخورد برای تعادل حین ایستادن را نشان می‌دهد. این سیستم از یک آونگ معکوس ذاتاً ناپایدار تشکیل شده است. کوچکترین انحراف از عمودی باعث ایجاد گشتاور گرانشی می‌شود که بدنه را بیشتر به سمت پایین شتاب می‌دهد. سیستم را می‌توان با اعمال اقدامات اصلاحی مناسب (گشتاور اصلاحی مچ پا) که به عنوان تابعی از اطلاعات جمع آوری شده از سیستم‌های حسی ایجاد می‌شود، پایدار کرد.

مدل شکل ۱۶ روشن می‌کند که گشتاور اصلاحی باید تابعی از موقعیت زاویه ای و سرعت زاویه ای حرکت بدن باشد و سیستم‌های حسی منبع هر دوی این‌ها باشند. اگر عمل اصلاحی (گشتاور مچ پا) فقط تابعی از انحراف موقعیت زاویه ای از حالت قائم مطلوب باشد، در این صورت ایجاد آشفتنی مختصر در حالت تعادل باعث می‌شود بدنه آونگ معکوس به طور مداوم نوسان کند. اگر عمل اصلاحی فقط تابعی از سرعت زاویه ای باشد، آونگ به دلیل عدم وجود گشتاور مربوط به موقعیت مورد نیاز برای غلبه بر گشتاور ناپایدارکننده در اثر گرانش، به سرعت سقوط می‌کند.



شکل ۱۵: مکانیک بدن مدل شده توسط آونگ معکوس.



شکل ۱۶: بلوک دیاگرام کنترل بازخورد تعادل بدن.

$$\frac{dC_N}{dt} = \frac{1}{\tau_c} \sum_{i=1}^n R_i \exp\left(-\frac{t-t_i}{\tau_c}\right) - \frac{C_N}{\tau_c} \quad (3)$$

که در آن $R_i = 1 + (R_0 - 1) \exp(-(t - t_{i-1}))/\tau_c$ می‌باشد و:

$$\frac{dF}{dt} = A \frac{C_N}{K_m + C_N} - \frac{F}{\tau_1 + \tau_2 \frac{C_N}{K_m + C_N}} \quad (4)$$

معادله (۳) نشان دهنده فعال شدن ماهیچه با مدل سازی دینامیک مرحله محدود کننده سرعت است که منجر به تشکیل کمپلکس Ca^{2+} -تروپونین (C_N ، بدون واحد) می‌شود، که در آن R_i (بدون واحد) مجموع غیر خطی Ca^{2+} گذرنده در فیبرهای یک ماهیچه است هنگامی که با دو پالس نزدیک به هم تحریک می‌شود. معادله (۴) نشان دهنده اثر نیروی مکانیکی (F ، نیوتن) است و از یک فنر خطی، دمپر و موتور به صورت سری به دست آمده است. این معادله از معادلات اولیه نیرو به علاوه یک عبارت $C_N/K_m + C_N$ بدست آمده است. مدل نیرو بر اساس شش پارامتر K_m, A, R_0, τ_c تعریف می‌شود. تعاریف نمادهای مورد استفاده در معادلات فوق در جدول به تفصیل آمده است [۲۸].

جدول ۱: مفهوم نمادهای معادلات (۳) و (۴).

نماد	واحد	تعریف
R_0	-	عبارت ریاضی توصیف کننده اندازه افزایش C_N بعد از محرک‌های پی‌درپی
τ_c	میلی ثانیه	ثابت زمانی کنترل کننده رشد یا زوال C_N
n	-	تعداد محرک‌های پی‌درپی قبل از زمان t
A	N/ms	عامل مقیاس کننده نیرو و سرعت انقباض ماهیچه
K_m	-	حساسیت باند پل متقاطع اولیه C_N
τ_i	میلی ثانیه	زمان پالس i ام محرک
τ_1	میلی ثانیه	ثابت زمانی کاهش نیرو در غیاب پل‌های متقاطع با باند قوی
τ_2	میلی ثانیه	ثابت زمانی کاهش نیرو به دلیل اصطکاک اضافی بین آکتین و میوزین در حضور پل‌های متقاطع با باند قوی

۳- مواد و روش‌ها

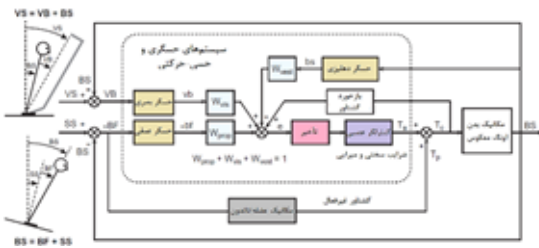
همانطور که قبلاً اشاره شد، تاکید ما بر روی تحلیل وضعیت بدن و کنترل برخط آن می‌باشد. اما دیدگاهی بلندمدت نیز لازم است و اینجاست که توان بخشی وارد کار می‌شود. تمام سعی ما یکپارچه‌سازی و همگام‌سازی سیستم کنترل وضعیت و سیستم توان بخشی است.

۳-۱- تعادل با قرار

تعادل باقرار یا بی‌آشفتنی از بدن است که بدن بدون تاثیر آشفتنی‌های بیرونی در حال تعادل قرار دارد. در اصل تنها آشفتنی‌های مورد بررسی در این مقوله نویزهای داخل بدن هستند که از فعالیت داخلی بدن نشئت می‌گیرند. قرارگیری قائم به‌وسیله دوپا ذاتاً امری ناپایدار است. انحراف کم از حالت ایستاده در اثر نیروی جاذبه باعث ایجاد گشتاوری می‌شود که بدن را از این حالت منحرف‌تر می‌کند. برای حفظ حالت قائم، گشتاور ناپایدارکننده ناشی از جاذبه باید با یک گشتاور اصلاحی که توسط پاها به سطح تکیه گاه وارد می‌شود، خنثی شود. یک دیدگاه رایج این است که گشتاور اصلاحی از طریق سیستم کنترل بازخورد بدن ایجاد می‌شود، ما به این گشتاور اصلاحی، که لزوماً شامل یک تأخیر زمانی به دلیل تبدیل حسی، انتقال پیام، پردازش پیام و فعال شدن عضلات می‌شود، گشتاور فعال می‌گوییم. با این حال، بحث همچنان ادامه دارد. [۲۷] زیرا دیدگاه دیگری معتقد است که گشتاور اصلاحی توسط آهنگ عضلات ایجاد می‌شود که بدون تأخیر زمانی عمل می‌کند [۲۹]. می‌توان به گشتاوری که بدون تأخیر زمانی عمل می‌کند، گشتاور غیرفعال گفت. در نهایت، دیدگاه سومی وجود دارد که

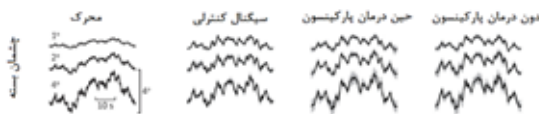
تبدیل حسی-حرکتی سازماندهی شده‌اند که عضلات مناسب را برای انجام وظایف خاص، اما متفاوت و مربوط به هم مانند حفظ تعادل تحت تأثیر گرانش و مقاومت در برابر آشفته‌گی‌ها فعال می‌کند.

یک مدل کنترل بازخورد ساده از کنترل وضعیت، از جمله وزن حسی و بازخورد گشتاور در شکل ۱۸ نشان داده شده است. برای داده‌ها و تجزیه و تحلیل‌هایی که در اینجا ارائه می‌شود، محرک بصری با سطح ثابت و محرک سطحی با چشمان بسته در نظر گرفته شده است. مدل برای شرایط محرک سطح ($W_{vis}=0$) با خطوط سیاه در شماتیک نشان داده شده است. برای شرایط محرک بصری، خط‌چین‌ها به مدل اضافه می‌شوند و هیچ محرک سطحی وجود ندارد. برای جزء ادغام حسی مدل، $W_{prop} + W_{vest} + W_{vis} = 1$ را محدود کردیم. بیومکانیک، کنترل کننده عصبی، بازخورد گشتاور و بلوک‌های تأخیر زمانی شامل نمایش تبدیل لاپلاس از معادلات دیفرانسیل این اجزای مدل است که در آن s متغیر لاپلاس است.

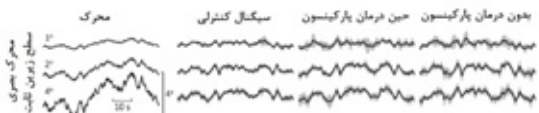


شکل ۱۸: سیستم حسی-حرکتی حین چرخش سطح زیرین.

شکل‌های ۱۹ و ۲۰ تاب بدن حین تأثیر محرک‌های سطحی و بصری را نشان می‌دهد. سری‌های زمانی متوسط مرکز جرم (CoM) به محرک‌های سطحی (شکل ۱۹) و محرک‌های بصری (شکل ۲۰) پاسخ می‌دهد. مناطق خاکستری سایه دار ۹۵٪ فاصله اطمینان از میانگین پاسخ را در بین افراد نشان می‌دهد.



شکل ۱۹: جابه‌جایی COM در حالت چشمان بسته.



شکل ۲۰: جابه‌جایی COM در حالت محرک بصری.

در کمترین دامنه‌های محرک، نوسان CoM بزرگتر از دامنه محرک سطحی بود (شکل ۱۹ ردیف ۱). نوسان CoM با افزایش سطح محرک سطحی افزایش یافت. با این حال، افراد کنترل به اندازه افراد مبتلا به PD در بزرگترین دامنه محرک سطحی تکان نخوردند (شکل ۱۹ ردیف ۳). افراد کنترل کمتر از دامنه محرک سطحی تاب خوردند و PD ها در پاسخ به محرک سطحی تقریباً با دامنه ۴۰٪ محرک سطحی تکان خوردند [۳۳].

۴-۳- تکنیک‌های یادگیری عمیق

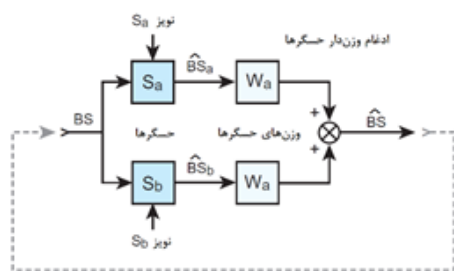
مدل‌های خطی این مزیت را دارند که به سادگی قابل تجزیه و تحلیل هستند و نسبتاً آسان بر داده‌ها برازش می‌شوند. با این حال آزمایشات نشان می‌دهد که کنترل وضعیت بدن دارای عواملی غیر خطی مانند باند مرده و افزایش غیر خطی هستند. مدل‌های غیر خطی پیچیده‌تر برای برازش بر روی داده‌های انسانی مناسب‌تر به نظر می‌رسند ولی برای پیاده‌سازی آن‌ها در حالت کلی باید از روشهای تکراری و پیچیده استفاده کرد. در این کار ما یک سیستم یادگیری عمیق برای شناسایی پارامترهای یک سیستم کنترل وضعیت بدن با الهام از زیست خطی، DEC (تخمین و جبران اغتشاش) پیشنهاد می‌کنیم. مجموعه‌ای از پارامترهای بدست آمده بیانگر مختصر و بیان کننده نتیجه آزمایش کنترل وضعیت بدن است که می‌تواند برای مطالعات علمی و به عنوان پایه ابزارهای تشخیصی آینده برای پزشکان مورد استفاده قرار گیرد. سناریویی که در اینجا در نظر گرفته می‌شود، یک انسان (یا انسان نما) را بر روی

شکل ۱۶ مکانیک بدن با یک پاندول معکوس تک قسمتی که متغیرهای فیزیکی مربوط به درک کنترل تعادل با زاویه تاب بدن در فضا (BS)، جرم بدن (m) و ارتفاع مرکز جرم (h)، بالای مفصل مچ پا را نشان می‌دهد. به گرانش یک نیروی نزولی بر میلی گرم اعمال می‌کند که برای دور شدن از جهت عمودی، گشتاور گرانشی بی ثبات کننده، T_{grav} ایجاد می‌کند. اگر گشتاور اصلاحی کافی، T_c ، متناسب با زاویه تاب بدن (ضریب سختی، K_p) و سرعت زاویه ای آن (ضریب میرایی، K_d) در مفصل مچ پا اعمال شود، می‌توان سیستم را پایدار کرد. توضیح اینکه این ضرایب معادل ضرایب یک کنترل کننده تناسبی- مشتقی (PD) می‌باشد. بلوک دیاگرام شکل ۱۶ اتصال متقابل اجزای یک سیستم کنترل بازخورد منفی با حلقه بسته را نشان می‌دهد که قادر به حفظ و پایدارسازی وضعیت ایستاده است. نوسان بدن توسط دو سیستم حسی تشخیص داده می‌شود که اطلاعات آنها با هم ترکیب می‌شود و تخمینی داخلی از جهت گیری بدن را بدست می‌آورد. مقایسه این برآورد داخلی با جهت گیری بدنه مرجع مورد نظر، خطای حسی ایجاد می‌کند. یک کنترل کننده عصبی، گشتاور اصلاحی مچ پا، T_c را متناسب با خطای حسگر تولید می‌کند. بلوک تأخیر زمانی نشان دهنده تأخیر زمانی به دلیل زمان صرف شده جهت انتقال حسی، پردازش مرکزی و فعال شدن عضلات است [۱۲].

با تعریف این ساختار بازخورد پایه، ما اکنون می‌توانیم ویژگی‌های لازم برای یک مکانیسم ادغام حسی قوی را مورد بحث قرار دهیم و می‌توانیم درک کنیم که ادغام حسی و تبدیل سیگنال حسی به حرکتی شامل یک واحد عملکردی هستند که باید با هم مورد بررسی قرار گیرند.

اگرچه شکل ۱۷ نشان می‌دهد که ادغام حسی و مکانیسم‌های تبدیل سیگنال حسی به حرکتی از یکدیگر جدا هستند، اما لزوماً اینطور نیست. هنگامی که بدن به عنوان یک سیستم چند قسمتی و به صورت واقعی‌تر مدل می‌شود

برای غلبه به این مشکلات می‌توان یک سیستم ادغام درون حسی را طراحی کرد. ادغام درون حسی فرایندی است که سیگنال‌های گیرنده پیچیده ای را که توسط سیستم حسی اولیه کدگذاری شده اند، به سیگنال‌های عصبی سطح بالاتری تبدیل می‌کند که متغیرهای فیزیکی مانند جهت و حرکت اندام در فضا نسبت به محیط را نشان می‌دهد. مطالعات روان شناختی درک حرکت بدن، حرکت اندام و حرکت بصری شواهدی را ارائه می‌دهد که نشان می‌دهد انسان به نمایش سطوح بالاتری از متغیرهای فیزیکی دسترسی دارد که برای ایجاد اقدامات اصلاحی مورد نیاز برای کنترل تعادل (مانند موقعیت و سرعت اندام) مناسب است.

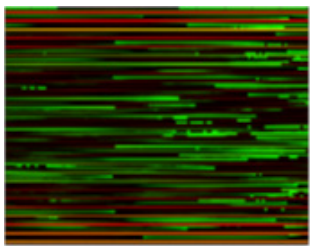


شکل ۱۷: ادغام وزن دار حسگرها.

برای سیستم‌های حلقه باز، میانگین وزنی سیگنال‌های حساس نویزی می‌تواند دارای حداکثر تخمین جهت گیری را با واریانس کمتر نسبت به سیگنال سیستم‌های حسی جداگانه باشد. با این حال، هنگامی که حلقه بازخورد بسته می‌شود (خط‌چین) وضعیت پیچیده تر است زیرا تغییرپذیری سیگنال از هر حسگر تحت تأثیر نویز در هر دو سنسور و سایر منابع تغییرپذیری (به عنوان مثال نویز حرکتی، اختلالات خارجی) قرار می‌گیرد.

۳-۳- تعادل بی‌قرار

تعادل بی‌قرار یا آشفته‌گی شامل بررسی تعادل با در نظر گرفتن آشفته‌گی‌های خارجی در سطح زمین و جاهای دیگر است. مجموعه پیچیده ای از گیرنده‌های حسی محیطی در سیستم‌های حسی مختلف به کنترل تعادل و جهت گیری کمک می‌کند. به نحوی که تمام این اطلاعات برای انجام اقدامات حرکتی مناسب از طریق ادغام حسگرها و



شکل ۲۲: یک نمونه ورودی. محور طولی زمان و محور عرضی فرکانس را نشان می‌دهد. اندازه ورودی $110 \times 110 \times 2$ است. تصویر دارای دو کانال قرمز و سبز است که نشانگر باقیمانده تقسیم فاز تبدیل فوریه تاب بدن بر روی یک پنجره زمانی است.

۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

پنج مبحث کلیدی سراسر این پژوهش مورد تأکید بود که به صورت زیر می‌باشد.

۱. به‌خاطر فعالیت‌های اندام درونی بدن مانند سیستم قلبی-عروقی و حرکت دائم اندامی مانند پرده دیافراگم، بدن انسان حاوی یک نویز داخلی است که به‌خاطر مدل وضعیت ایستاده بدن باعث انحراف مرکز جرم بدن از حالت قائم و ایجاد تاب بدن حتی بدون در نظر گرفتن آشفتگی‌های خارجی می‌شود.
۲. تعادل در دو ساحت باقرار و بی‌قرار بررسی می‌شود. در حالت باقرار از آشفتگی‌های خارجی صرف‌نظر می‌شود و در حالت بی‌قرار با ایجاد آشفتگی مصنوعی که تحریک نامیده می‌شود، سعی بر شناسایی مدل داریم. از این مدل می‌توان در تعادل باقرار نیز استفاده کرد.
۳. مهم‌ترین اندام بدن که مسئولیت تعادل باقرار را به عهده دارد، ماهیچه، مفصل و رباط مچ پا می‌باشد. مدلسازی ویژگی‌های زیستی و کالبدشناسی آنها نهایتاً باعث در نظر گرفتن دو ضریب سختی و میرایی می‌گردد که می‌توان از آنها برای کنترل بازخورد تعادل استفاده کرد.
۴. سیستم حسی-حرکتی بدن شامل سه حسگر بصری، عمقی و دهلیزی است. سیگنال خروجی این سه حسگر بایستی با وزن‌هایی مشخص با هم ادغام شوند به نحوی که سیگنال حاصله اطلاعات مرکز جرم و مرکز فشار را با غیر فعال شدن یکی از این سه حسگر از دست ندهد. خروجی این سه حسگر با سیگنال مرجع مقایسه می‌شود و از سیگنال خطای حاصله جهت کنترل بازخورد استفاده می‌گردد.
۵. توان‌بخشی شامل انجام یک سری از حرکات ورزشی جهت بهبود وضعیت بدن پس از بیماری است. تشخیص و ارزیابی توان‌بخشی نقش مهمی را در فرآیند بهبود بیماران ایفا می‌کند. ارزیابی توان‌بخشی می‌تواند برای هر حرکت ورزشی بطور جداگانه اجرا شود و نتایج جهت کنترل سلامت بدن حین تمرین و ارزیابی جامع توان‌بخشی استفاده گردند.

۵- مراجع:

1. Peterka, R., Sensorimotor Integration in Human Postural Control. Journal of Neurophysiology, 2002. 88: p. 1097-1118.
2. WHO. Rehabilitation. 2020; Available from: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/rehabilitation>.
3. Zielińska, D., A. Rajtar-Zembaty, and A. Starowicz-Filip, The influence of cognitive, emotional and social factors on motivation for rehabilitation in patients after stroke. Neuropsychiatria i Neuropsychologia, 2015. 10: p. 64-68.
4. Nicholson, S., et al., A systematic review of perceived barriers and motivators to physical activity after stroke. Int J Stroke, 2013. 8(5): p. 357-64.
5. Adeniyi, A., et al., Comparative influence of self-efficacy, social support and perceived barriers on low physical activity development in patients with type 2 diabetes, hypertension or stroke. Ethiop J Health Sci, 2012. 22(2): p. 113-9.
6. Lewin, A., M. Jöbges, and K. Werheid, The influence of self-efficacy, pre-stroke depression and perceived social support on self-reported depressive symptoms during stroke rehabilitation. Neuropsychol Rehabil, 2013. 23(4): p. 546-62.
7. Reid, J.C., et al., Physical rehabilitation interventions in the intensive care unit: a scoping review of 117 studies. Journal of Intensive Care, 2018. 6(1): p. 80.
8. Elliott, D., et al., Health-related quality of life and physical recovery after

سطح تکیه گاه کج ایجاد می‌کند. شیب سطح پشتیبانی α_{BS} نشان دهنده ورودی سیستم است و برای همه شبیه‌سازی‌ها یکسان است. کج شدن سطح پشتیبانی طبق دنباله سه‌تایی شبه تصادفی، PRTS است که در شکل نشان داده شده است. چنین محرکی در آزمایشات انسانی استفاده می‌شود، زیرا به دلیل ماهیت شبه تصادفی آن، برای فرد مورد آزمایش قابل پیش بینی نیست.

مدل مورد استفاده در این کار گرانش و شیب سطح پشتیبانی را به عنوان اغتشاش در نظر می‌گیرد. به طور خاص تخمین‌ها به شرح معادله (۶) تعریف می‌شوند:

$$T_G = G_p \alpha_{BS}^{est} \quad (6)$$

جایی که G_p بهره مرتبط با تخمین‌گر است. در چارچوب کنترل DEC، اغتشاشات با یک زاویه معادل نشان داده می‌شوند یعنی بدن در یک تقریب خطی، گشتاور اغتشاش را به عنوان گشتاور گرانشی ایجاد می‌کند. مجموع گشتاور فرمان داده شده توسط سروو کنترلر بصورت معادله (۷) می‌باشد.

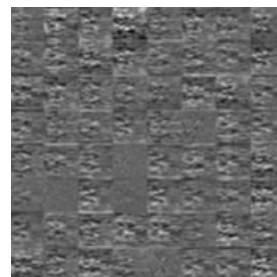
$$\tau_{active} = e^{-s\Delta} (K_p + sK_d) (T_G + \alpha_{BS}^{servo}) \quad (7)$$

آموزش و اعتبارسنجی برای شبکه عصبی با پارامترهای تصادفی از توزیع یکنواخت ایجاد شده است (محدوده‌ها در جدول ۲ نشان داده شده است). مجموعه ای از پارامترها به عنوان نمونه تنها در صورتی مورد استفاده قرار می‌گیرد که رفتاری که ایجاد می‌کند پایدار باشد؛ شبیه‌سازی‌هایی با دامنه α_{BS} بزرگتر از 50° سناریوهایی پایدارسازی واقعی تلقی نمی‌شوند و کنار گذاشته می‌شوند.

چنین شبکه ای برای پیچش یک‌بعدی طراحی نشده است و از این رو ورودی به تصویر تبدیل می‌شود. فیلترهای لایه‌های پیچش وزن یکسانی را برای قسمت‌های مختلف ورودی اعمال می‌کنند. محور تصویر ورودی را می‌توان به صورت زمان و فرکانس مشاهده کرد. این بدان معناست که فیلترهای کانولوشن به شبکه اجازه می‌دهد الگوی انتقال پیدا کرده در زمان (افقی) و فرکانس (عمودی) را تشخیص دهد. در حالی که تغییر ناپذیری سابق به این معنی قابل درک است که شبکه قادر است الگوهای حرکتی یکسانی را که در زمان‌های مختلف ظاهر می‌شوند تشخیص دهد، همانطور که از CNN یک بعدی برای سری‌های زمانی بکار می‌رود، پیچش دوبعدی هیچ توضیح فیزیکی مستقیمی ندارد. نمونه ای از فعال شدن فیلترها در لایه‌های اول در شکل ۲۰ نشان داده شده است [۱۶].

جدول ۲: پارامترهای مجموعه‌داده تولید شده جهت آموزش شبکه عصبی.

پارامتر	نماد	واحد	حداقل	حداکثر
بهره فعال تناسبی	K_p	(N.m)/rad	۵۰۳	۱۲۵۸
بهره فعال مشتقی	K_d	(N.m.s)/rad	۱۲۵	۳۷۷
سختی غیرفعال	K_{ppass}	(N.m)/rad	۶۲	۳۷۷
میرایی غیرفعال	K_{dpass}	(N.m.s)/rad	۶۲	۱۸۸
بهره نویز دهلیزی	N_v	-	۰	۱
آستانه سرعت چرخش پا	θ_{vfs}	rad/sec	۰	۰,۰۰۵۴
تاخیر آنی	Δ	sec	۰	۰,۲۴



شکل ۲۱: تصویر گرافیکی لایه پیچشی اول شبکه عصبی. هر تصویر 8×8 نمایانگر پاسخ یکی از ۶۴ فیلتر اعمال شده به ورودی است.

معرفی افراد

سید شهاب‌الدین زارع حسینی

متولد ۱۳۷۶ یزد، تحصیل کرده رشته مهندسی برق در دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) قزوین در مقطع کارشناسی و دانشجوی دانشگاه تربیت مدرس در رشته مهندسی برق گرایش کنترل در مقطع کارشناسی ارشد. علاقه‌مند به زمینه‌های بیومکانیک، رباتیک، پردازش تصویر، هوش مصنوعی و یادگیری عمیق.



دکتر صادق بلوکی

ایشان دانش‌آموخته مهندسی برق در دانشگاه شریف در مقطع کارشناسی و دکترای پیوسته مهندسی کنترل در دانشگاه پلی‌تکنیک مونترال کانادا می‌باشند. همچنین دوره پس‌دکترای خود را در دانشگاه ایلنویز ایالات متحده در سال ۲۰۱۷ گذرانده‌اند. ایشان به مدت ۴ سال استاد دانشگاه تربیت مدرس بوده‌اند و هم‌اکنون در دانشگاه مونترال کانادا مشغول به فعالیت هستند. زمینه‌های کاری ایشان شامل یادگیری عمیق، یادگیری تقویتی، بهینه‌سازی چندهدفه و



تئوری شبکه‌ها می‌باشد.

a critical illness: a multi-centre randomised controlled trial of a home-based physical rehabilitation program. *Crit Care*, 2011. 15(3): p. R142.

9. Hill, J. 12: A Dynamic Model of the Human Postural Control System. in Seventh Annual Conference on Manual Control: Proceedings of a Meeting Held at University of Southern California, Los Angeles, California, June 2-4, 1971. 1972. Scientific and Technical Information Office, National Aeronautics and Space

10. Johansson, R., M. Magnusson, and M. Akesson, Identification of human postural dynamics. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 1988. 35(10): p. 858-869.

11. Collins, J.J. and C.J.D. Luca, Upright, correlated random walks: A statistical-biomechanics approach to the human postural control system. *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*, 1995. 5(1): p. 57-63.

12. van der Kooij, H., E. van Asseldonk, and F.C.T. van der Helm, Comparison of different methods to identify and quantify balance control. *Journal of neuroscience methods*, 2005. 145(1-2): p. 175-203.

13. Loram, I.D., P.J. Gawthrop, and M. Lakie, The frequency of human, manual adjustments in balancing an inverted pendulum is constrained by intrinsic physiological factors. *The Journal of Physiology*, 2006. 577(Pt 1): p. 417-32.

14. Pinter, I.J., et al., The Dynamics of Postural Sway Cannot Be Captured Using a One-Segment Inverted Pendulum Model: A PCA on Segment Rotations During Unperturbed Stance. *Journal of Neurophysiology*, 2008. 100(6): p. 3197-3208.

15. Hu, B., et al., Using a deep learning network to recognise low back pain in static standing. *Ergonomics*, 2018. 61(10): p. 1374-1381.

16. Lippi, V., T. Mergner, and C. Maurer, Deep Learning for Posture Control Nonlinear Model System and Noise Identification. 2020.

17. Wei, W., C. Mcelroy, and S. Dey, Using Sensors and Deep Learning to Enable On-Demand Balance Evaluation for Effective Physical Therapy. *IEEE Access*, 2020. 8: p. 99889-99899.

18. Zhu, Z.-A., et al., Deep Learning for Sensor-Based Rehabilitation Exercise Recognition and Evaluation. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 2019. 19(4): p. 887.

19. Liao, Y., A. Vakanski, and M. Xian, A Deep Learning Framework for Assessing Physical Rehabilitation Exercises. *IEEE transactions on neural systems and rehabilitation engineering : a publication of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 2020. 28(2): p. 468-477.

20. Matsuo, T., et al., Comparison of Kinematic and Temporal Parameters between Different Pitch Velocity Groups. *Journal of Applied Biomechanics*, 2001. 17: p. 1-13.

21. Robinovitch, S., et al., Prevention of falls and fall-related fractures through biomechanics. *Exercise and sport sciences reviews*, 2000. 28: p. 74-9.

22. Grabiner, M., et al., Trunk kinematics and fall risk of older adults: Translating biomechanical results to the clinic. *Journal of electromyography and kinesiology : official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, 2008. 18: p. 197-204.

23. Yeow, C., P.V.S. Lee, and J. Goh, Direct contribution of axial impact compressive load to anterior tibial load during simulated ski landing impact. *Journal of biomechanics*, 2010. 43 2: p. 242-7.

24. Hall, S.J., *Basic biomechanics*. Eighth edition. ed. 2019, New York, NY: McGraw-Hill Higher Education.

25. Levin, A., J. Wyman, and A.V. Hill, The viscous elastic properties of muscle. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Containing Papers of a Biological Character*, 1927. 101(709): p. 218-243.

26. Williams, J.G.P., *First and Last Experiments in Muscle Mechanics*. *Annals of the Rheumatic Diseases*, 1971. 30(3): p. 333-333.

27. Morasso, P.G. and M. Schieppati, Can muscle stiffness alone stabilize upright standing? *J Neurophysiol*, 1999. 82(3): p. 1622-6.

28. Ding, J., et al., Mathematical model that predicts isometric muscle forces for individuals with spinal cord injuries. *Muscle & Nerve*, 2005. 31(6): p. 702-12.

29. Winter, D.A., et al., Stiffness control of balance in quiet standing. *J Neurophysiol*, 1998. 80(3): p. 1211-21.

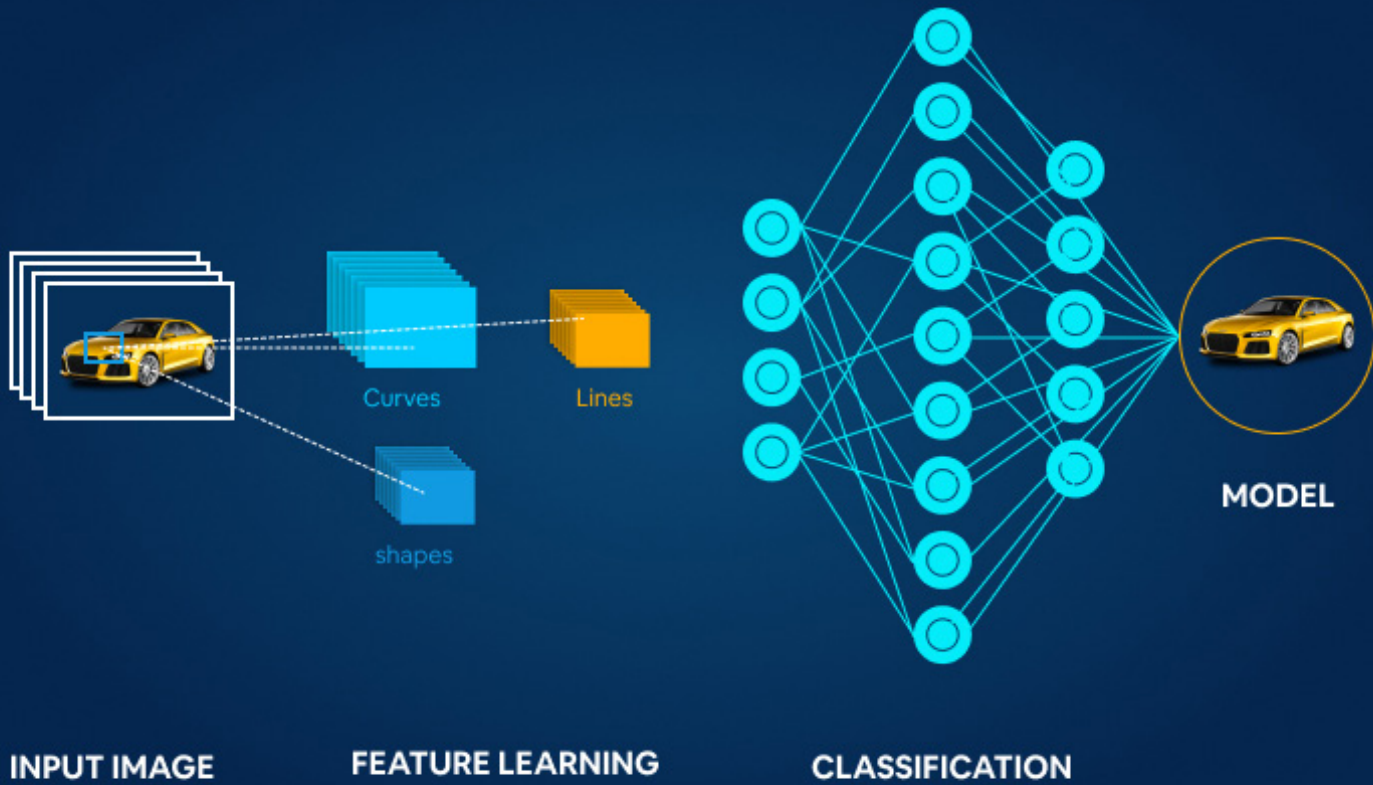
30. Fitzpatrick, R., D. Burke, and S.C. Gandevia, Loop gain of reflexes controlling human standing measured with the use of postural and vestibular disturbances. *J Neurophysiol*, 1996. 76(6): p. 3994-4008.

31. Mergner, T., W. Huber, and W. Becker, Vestibular-neck interaction and transformation of sensory coordinates. *J Vestib Res*, 1997. 7(4): p. 347-67.

32. Jeka, J., K.S. Oie, and T. Kiemel, Multisensory information for human postural control: integrating touch and vision. *Exp Brain Res*, 2000. 134(1): p. 107-25.

33. Peterka, R.J., et al., Implementation of a Central Sensorimotor Integration Test for Characterization of Human Balance Control During Stance. *Frontiers in Neurology*, 2018. 9(1045).

طبق گزارش سازمان جهانی بهداشت، در سطح جهانی، تخمین زده می‌شود که ۲.۴ میلیارد نفر در حال حاضر به وسیله توان بخشی، سلامتی خود را تأمین می‌کنند. در حال حاضر، نیاز به توان بخشی تا حد زیادی برآورده نشده است. در برخی از کشورهای با درآمد کم و متوسط، بیش از ۵۰٪ مردم خدمات توان بخشی مورد نیاز خود را دریافت نمی‌کنند.



طبقه‌بندی تصاویر نانو ساختار به وسیله الگوریتم‌های یادگیری عمیق

سید شهاب زارع حسینی^۱، نوشین بیگدلی^۲

۱- کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، seshazahoma2@gmail.com

۲- استاد، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، nooshin_bigdeli@yahoo.com

چکیده

این پروژه درباره تشخیص نوع تصاویر نانو که در آزمایشگاه‌های شیمی تهیه و گردآوری شده است، می‌باشد. این عملیات با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری عمیق که بطور کلی برای حل مسائل طبقه‌بندی داده‌های بصری مورد استفاده قرار می‌گیرند، انجام شده است. ایجاد شبکه عصبی مصنوعی، انجام عملیات آموزش و تست و مقایسه نتایج با ارائه الگوریتم‌های مختلف از کارهای انجام شده در این پروژه است. نتایج گزارش شده از دقت و خطای آموزش و تست، برتری یادگیری عمیق را بر الگوریتم‌های قدیمی‌تر یادگیری ماشین به اثبات می‌رساند. این پروژه با ۳ روش ConvNet، Fine Tuning و Data Augmentation طبقه‌بندی را انجام داده و با مقایسه نتایج، ترکیب روش دوم و سوم گزینه بهینه‌ای به نظر می‌رسد. همچنین برای توسعه بیشتر کار استفاده از شبکه‌های کپسولی و الگوریتم Dynamic Routing نیز پیشنهاد شده است.

کلیدواژه‌گان: یادگیری عمیق، شبکه‌های عصبی مصنوعی، شبکه کانولوشنی، طبقه‌بندی تصاویر، یادگیری انتقالی، تلفیق داده

Abstract

This project is about identifying different types of nanostructure images that are prepared and collected in chemistry laboratories. This work is done using deep learning algorithms which are generally used to solve visual data classification problems. Creating an artificial neural network, performing training and testing operations and comparing the results by presenting different algorithms are the tasks performed in this project. The reported results of accuracy and error of training and testing prove the superiority of deep learning over older machine learning algorithms. This project performed the classification with the methods ConvNet, Fine Tuning and Data Augmentation and also by comparing the results, the combination of the second and third method seems to be the optimal option. It is also suggested to use capsule networks and dynamic routing algorithm to enhance the project results.

Keywords: Deep Learning; Artificial Neural Networks; Convolutional Network; Image Classification; Transfer Learning; data Augmentation

۱- مقدمه

پس از پیشرفت‌های دهه‌های اخیر در عرصه فناوری اطلاعات، اکنون موج عظیمی در رابطه با هوش مصنوعی ایجاد شده و تجهیزات و خدمات متعدد و متنوعی به طور مستمر در حال ورود به بازار است. یادگیری عمیق عامل مهمی در ایجاد این موج است. یادگیری عمیق به حدی گسترده و مقبول است که نشانی از آن تقریباً در همه جا مشاهده میشود [۱].

موضوعی که در یادگیری عمیق اهمیت زیادی دارد، نحوه ارائه اطلاعات است. ارائه دادن اطلاعات به ماشین باید به نحوی باشد که ماشین در کمترین زمان اطلاعات کلیدی را که می‌تواند با استناد به آن‌ها تصمیم بگیرد را دریافت کند. هنگام طراحی الگوریتم‌های یادگیری عمیق می‌بایست به عوامل دگرگونی که اطلاعات مشاهده شده را توضیح میدهند، توجه کنیم. این عوامل معمولاً عوامل قابل مشاهده‌ای نیستند بلکه عواملی هستند که بر روی دسته‌ی قابل مشاهده تأثیرگذار بوده یا زاده ساختارهای ذهنی انسان برای ساده‌تر کردن مسائل هستند. برای مثال در هنگام پردازش گفتار عوامل دگرگونی می‌توانند لهجه گوینده، سن یا جنسیت او باشند. در هنگام پردازش تصویر یک ماشین، میزان درخشش خورشید یک عامل دگرگونی است. یکی از مشکلات هوش مصنوعی تأثیر زیاد عوامل دگرگونی بر روی اطلاعات دریافتی است. برای مثال بسیاری از پیکسل‌های دریافتی از یک ماشین قرمز در شب ممکن است سیاه دیده بشوند. برای حل این مشکلات بعضاً به درک بالای اطلاعات (در حدود انسان) نیازمندیم و در واقع گاهی یافتن نحوه مناسب نمایش اطلاعات به اندازه خود مسئله سخت و زمان‌بر است. در سال ۱۹۴۹ دونالد هب قانون یادگیری را برای شبکه‌های عصبی طراحی کرد. در سال ۱۹۵۸ شبکه پرسپترون توسط روزنبلات معرفی گردید. این شبکه نظیر واحدهای مدل شده قبلی بود. پرسپترون دارای سه لایه است که شامل لایه ورودی، لایه خروجی و لایه میانی می‌شود. این سیستم می‌تواند یاد بگیرد که با روشی تکرارشونده وزن‌ها را به گونه‌ای تنظیم کند که شبکه توان بازتولید جفت‌های ورودی و خروجی را داشته‌باشد. روش دیگر، مدل خطی تطبیقی نورون است که در سال ۱۹۶۰ توسط برنارد ویدر و مارسیان‌هاف در دانشگاه استنفورد) به وجود آمد که اولین شبکه‌های عصبی به کار گرفته شده در مسائل واقعی بودند. آدالاین یک دستگاه الکترونیکی بود که از اجزای ساده‌ای تشکیل شده بود، روشی که برای آموزش استفاده می‌شد با پرسپترون فرق داشت.

در سال ۱۹۶۹ میسکی و پاپرت کتابی نوشتند که محدودیت‌های سیستم‌های تک لایه و چند لایه پرسپترون را تشریح کردند. نتیجه این کتاب پیش داوری و قطع سرمایه‌گذاری برای تحقیقات در زمینه شبیه‌سازی شبکه‌های عصبی بود. آن‌ها با طرح اینکه طرح پرسپترون قادر به حل هیچ مسئله جالبی نمی‌باشد، تحقیقات در این زمینه را برای مدت چندین سال متوقف کردند.

با وجود اینکه اشتیاق عمومی و سرمایه‌گذاری‌های موجود به حداقل خود رسیده بود، برخی محققان تحقیقات خود را برای ساخت ماشین‌هایی که توانایی حل مسائلی از قبیل تشخیص الگو را داشته باشند، ادامه دادند. از جمله گراسبگ که شبکه‌ای تحت عنوان Avalanche را برای تشخیص صحبت پیوسته و کنترل دست ربات مطرح کرد. همچنین او با همکاری کارپنتر شبکه‌های نظریه تشدید انطباقی را بنا نهادند که با مدل‌های طبیعی تفاوت داشت. اندرسون و کوهونن نیز از اشخاصی بودند که تکنیک‌هایی برای یادگیری ایجاد کردند. وریاس در سال ۱۹۷۴ شیوه آموزش پس انتشار خطا را ایجاد کرد که یک شبکه پرسپترون چندلایه البته با قوانین نیرومندتر آموزشی بود. پیشرفت‌هایی که در سال ۱۹۷۰ تا ۱۹۸۰ [۲] بدست آمد برای جلب توجه به شبکه‌های عصبی بسیار مهم بود. برخی فاکتورها نیز در تشدید این مسئله دخالت داشتند، از جمله کتاب‌ها و کنفرانس‌های وسیعی که برای مردم در رشته‌های متنوع ارائه شد. امروز نیز تحولات زیادی در تکنولوژی ANN ایجاد شده‌است.

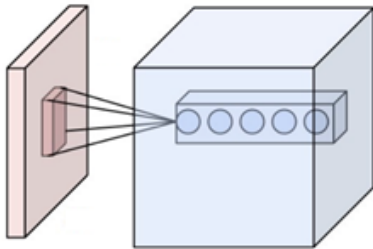
۲- شبکه‌های کانولوشنی

CNNها از نوعی از پرسپترون‌های چند لایه استفاده می‌کنند و برای نیاز به حداقل پیش

پردازش طراحی شده اند [۳]. آن‌ها از فرایندهای بیولوژیک الهام گرفته شده‌اند که در آن الگوی ارتباطی بین نورون‌ها شبیه سازماندهی قشر بینایی حیوان است. نورون‌های قشری جداگانه تنها در محدوده محدودی از میدان دید که به میدان پذیرش معروف است، به تحریک پاسخ می‌دهند. میدان‌های پذیرش نورون‌های مختلف تقریباً با یکدیگر همپوشانی دارند به طوری که آن‌ها تمام میدان بصری را پوشش می‌دهد [۴].

۲-۱- لایه کانولوشن

لایه‌های کانولوشن عملیات کانولوشن را به ورودی اعمال می‌کنند و نتیجه را به لایه بعدی منتقل می‌کنند. کانولوشن واکنش یک نورون مفرد را به تحریک بصری شبیه می‌کند [۵]. لایه کانولوشن بلوک اصلی هسته CNN است. پارامترهای لایه شامل مجموعه‌ای از فیلترهای قابل یادگیری (یا هسته) هستند که دارای یک میدان پذیرش کوچک هستند، اما سراسر عمق حجم ورودی گسترش می‌یابد. در طول گام‌های بعدی، هر فیلتر در سراسر عرض و ارتفاع حجم ورودی با محاسبه ضرب داخلی بین مقدار پیکسل‌های فیلتر و تصویر ورودی و ایجاد نقشه فعالسازی ۲ بعدی از آن فیلتر، کانالو می‌شود. در نتیجه، شبکه فیلترهایی را فعال می‌کند که برخی از ویژگی‌های خاصی را در برخی موقعیت فضایی در ورودی شناسایی می‌کنند.



شکل ۱: نورون‌های یک لایه کانولوشن (آبی)، متصل به میدان پذیرش خود (قرمز).

سه پارامتر اصلی اندازه خروجی لایه کانولوشن را کنترل می‌کنند: عمق، گام و Padding. عمق، حجم خروجی تعداد نورون‌ها را در یک لایه که به یک منطقه از حجم ورودی متصل است کنترل می‌کند. این نورون‌ها برای فعال کردن ویژگی‌های مختلف در ورودی آموزش می‌بینند. گام نحوه اختصاص ستون‌های عمق در اطراف ابعاد فضایی (عرض و ارتفاع) را کنترل می‌کند. هنگامی که گام ۱ است، ما فیلترها را به اندازه یک پیکسل در هر بار روی تصویر می‌لغزانیم. این منجر همپوشانی شدید میدان‌های پذیرش بین ستون‌ها و همچنین بزرگ شدن حجم خروجی می‌شود. با افزایش گام حجم خروجی کوچک می‌شود. گاهی اوقات مناسب است که در مرز حجم ورودی پیکسل صفر اضافه کنید. Padding کنترل اندازه حجم فضای خروجی را تامین می‌کند. به طور خاص، گاهی اوقات مطلوب است که دقیقاً اندازه فضایی حجم ورودی را حفظ کنید [۶].

۲-۲- لایه Max Pooling

این تابع تصویر ورودی را به مجموعه‌ای از مستطیل‌های غیر همپوشان قسمت بندی می‌کند و برای هر یک از این زیر منطقه‌ها حداکثر خروجی را نمایش می‌دهد. بینش این تابع این است که محل دقیق یک ویژگی مهمتر از مکان ناهنجار آن نسبت به سایر ویژگی‌ها است. کاربرد لایه Pooling در کاهش تدریجی اندازه مکانی بازنمایی، کاهش تعدادی از پارامترها و میزان محاسبات در شبکه و از این رو کنترل بیش‌برازش است.

۲-۳- لایه Drop Out

بیش‌برازش استفاده از مدل‌ها یا روش‌هایی است که تیغ اوکام (اصل اختصار تبیین) را نقص می‌کند، از جمله درگیر کردن پارامترهای قابل تنظیم بیشتر از حد مطلوب، یا با استفاده از رویکرد پیچیده‌تر از حد مطلوب. برای مثال در جایی که بیش از حد پارامتر قابل تنظیم وجود دارد، یک مجموعه داده را در نظر بگیرید که داده‌های آموزشی برای Y می‌تواند به واسطه تابعی خطی برای دو متغیر وابسته به طور کامل پیش بینی شود. چنین تابعی نیاز به تنها سه پارامتر (عرض از مبدا و دو شیب) دارد. جایگزینی این تابع ساده با یک تابع درجه دوم جدید و پیچیده‌تر یا با یک تابع خطی جدید و پیچیده‌تر با بیش از دو متغیر وابسته، خطر بیش‌برازش دارد: تیغ اوکام نشان می‌دهد که هر گونه تابع پیچیده کمتر از هر تابع ساده به واقعیت نزدیک‌تر است. اگر تابع جدید و

برد: زمانی که برد تابع فعال محدود است، روش‌های آموزش مبتنی بر گرادینت بیشتر پایدار هستند، زیرا بازنمایی الگوها به طور قابل توجهی فقط وزن‌های محدودی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. وقتی محدوده بی‌نهایت است، آموزش به طور کلی کارآمدتر است زیرا بازنمایی الگوها به طور قابل توجهی بر بسیاری از وزن‌ها تاثیر می‌گذارد. در مورد دوم، نرخ یادگیری کوچکتر معمولاً ضروری است.

مونوتونیک بودن: هنگامی که تابع فعال مونوتونیک باشد، سطح خطای مربوط به یک مدل تک لایه تضمین می‌شود که محدب باشد [۱۲].

تقریب همانی در نزدیکی مبدأ: هنگامی که توابع فعال سازی این ویژگی را دارند، شبکه عصبی وقتی که وزن آن با مقادیر تصادفی کوچکتر آغاز می‌شود به طور موثر یاد می‌گیرد. هنگامی که تابع فعال سازی تابع همانی را در نزدیکی مبدأ تقریب نمی‌زنند، هنگام مقدار دهی اولیه وزن باید مراقب بود [۱۳].

توابع فعال‌سازی زیادی از جمله سیگموئید (لجستیک)، تانژانت هذلولوی و تابع نمایی هموار وجود دارد بطور مثال تابع سیگموئید به شکل زیر است:

$$S(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} = \frac{e^x}{e^x+1} \quad (1)$$

ولی دو تابع مورد استفاده ما بوده است، تابع بیشینه هموار و تابع یکسو شده خطی واحد. یکی از توابع بسیار مورد استفاده شده تابع یکسو شده خطی واحد (Relu) می‌باشد. معادله تابع به فرم زیر است.

$$f(x) = \begin{cases} 0 & \text{for } x < 0 \\ x & \text{for } x > 0 \end{cases} \quad (2)$$

این تابع مونوتونیک، یکبار مشتق پذیر و دارای مشتق مونوتونیک می‌باشد ولی تابع همانی را در نزدیکی مبدأ تقریب نمی‌زند.

Relu به طور مداوم مشتق پذیر نیست و دارای برخی مشکلات با بهینه‌سازی مبتنی بر شیب است، اما هنوز هم این کار برای آن امکان پذیر است [۱۴].

در ریاضیات تابع بیشینه هموار (Softmax) یا تابع نمایی نرمالیزه شده تعمیم تابع لجستیک است. تابع بیشینه هموار یک بردار K بعدی از اعداد حقیقی مانند Z را به عنوان ورودی دریافت می‌کند و بردار K بعدی $\sigma(Z)$ از مقادیر حقیقی $[0, 1]$ را به عنوان خروجی می‌دهد که جمع مولفه‌های آن ۱ می‌شود. ضابطه تابع به شرح زیر است:

$$\sigma(Z)_j = \frac{e^{z_j}}{\sum_{k=1}^K e^{z_k}} \text{ for } j = 1, \dots, K \quad (3)$$

خروجی تابع بیشینه هموار، در نظریه احتمالات می‌تواند برای نمایش یک توزیع رسته‌ای (categorical distribution) استفاده شود. توزیع رسته‌ای، توزیع احتمالاتی بر روی K نتیجه مختلف است [۱۵].

در یادگیری ماشین به منظور انجام طبقه‌بندی از تابع بیشینه هموار استفاده می‌شود. به طور مثال در صورتی که n کلاس مختلف وجود داشته باشد و الگوریتم یادگیری ماشین به طور مستقیم احتمال حضور ورودی در هر کدام از این کلاس‌ها را تولید نکند و به جای آن، برداری از n عدد حقیقی که متناظر با امتیاز قرارگیری ورودی در هر دسته است، خروجی دهد، می‌توان از تابع زیر برای تبدیل امتیازهای حقیقی به احتمال استفاده کرد؛ بدین ترتیب شرایط تعریف یک تابع جرم احتمال (قرارگیری در $[0, 1]$) و جمع احتمالات برابر با ۱ رعایت خواهد شد:

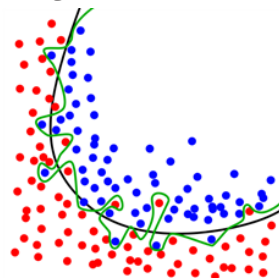
$$(p_1 \dots p_n) = f(s_1 \dots s_n) = \left(\frac{e^{s_1}}{\sum_{\ell=1}^n e^{s_\ell}} \dots \frac{e^{s_n}}{\sum_{\ell=1}^n e^{s_\ell}} \right) \quad (4)$$

که در آن P_1 تا P_n مقادیر مطلوب احتمال S_1 تا S_n مقادیر حقیقی امتیازهای هر کلاس هستند. حال پس از بررسی ضابطه تابع f می‌توان متوجه شد که این عبارت برابر با ضابطه تابع گرادینت بیشینه هموار است. [۱۶]

$$f = \nabla \text{softmax}(s_1 \dots s_n) \quad (5)$$

می‌توان از تابع بیشینه هموار در لایه آخر شبکه‌های عصبی مصنوعی به عنوان تابع فعال‌سازی استفاده کرد. چنین شبکه‌های عصبی معمولاً به وسیله یک تابع اختلاف آنتروپی (Cross Entropy) آموزش داده می‌شوند و یک حالت غیرخطی از تابع رگرسیون لجستیک چندجمله‌ای حاصل می‌شود [۱۷].

پیچیده‌تر به جای تابع ساده انتخاب شود و اگر بهره داده‌ها به اندازه کافی زیاد نباشد تا در آموزش افزایش پیچیدگی را جبران کند، تابع پیچیده جدید مدل را بیش‌برازش می‌کند، و پیچیدگی بیش از حد تابع عملکرد آن را بدتر از تابع ساده در پیش بینی داده‌های اعتبارسنجی که خارج از مجموعه داده‌های آموزشی است می‌کند، حتی اگر تابع پیچیده به خوبی در مجموعه داده‌های آموزشی عمل کند [۷].



شکل ۲: خط سبز نشان دهنده یک مدل بیش‌برازش شده است و خط سیاه نشان دهنده یک مدل متعادل است. با این که که خط سبز به بهترین شکل از داده‌های آموزشی پیروی می‌کند، بیش از حد وابسته به آن داده‌ها است و احتمالاً میزان خطای بالاتری را در داده‌های جدید دیده نشده نسبت به خط سیاه دارد. از آنجایی که یک لایه کامل متصل بیشتر پارامترها را اشغال می‌کند، مستعد بیش‌برازش است. یکی از روش‌های کاهش بیش‌برازش، رها کردن (Drop Out) است. در هر مرحله آموزش، گره‌های منفرد از شبکه با احتمال $1-p$ "رها می‌شوند" یا با احتمال p حفظ می‌شود، به طوری که یک شبکه کاهش یافته باقی می‌ماند؛ لبه‌های ورودی و خروجی به گره رها شده نیز حذف می‌شوند. فقط این شبکه کاهش یافته است که با داده‌ها در آن مرحله آموزش داده می‌شود. بعد از آن گره‌های حذف شده با وزن‌های اولیه خود به شبکه بازگردانده می‌شوند [۸].

۴-۲- ساماندهی وزن‌ها

یک فرم ساده برای ساماندهی وزن‌ها، اضافه کردن زوال وزن است که به طور ساده یک مقدار خطای اضافی، متناسب با مجموع وزن (L1 norm) یا مقدار مربع بردار وزن (L2 norm)، به خطا در هر گره اضافه می‌کند. سطح پیچیدگی مدل قابل قبول را می‌توان با افزایش ثابت تناسب، کاهش داد و با افزایش جریمه برای بردارهای با وزن بزرگ این کار از گرفتن مقادیر بزرگ برای وزن‌ها و در نتیجه بیش‌برازش جلوگیری می‌کند.

۵-۲- توابع فعال‌سازی

در شبکه‌های عصبی که از مبانی زیستی الهام گرفته شده‌اند، تابع فعال‌سازی صرفاً یک مفهوم انتزاعی از نرخ پتانسیل عمل آتش شدن سلول‌های عصبی است. به بیان ساده، این تابع باینری است و به آتش شدن یا نشدن سلول بستگی دارد. تابع به مانند $\varphi(v_j) = U$ که U تابع پله هوی ساید است. در این حالت، بسیاری از نورون‌ها باید فراتر از جداسازی خطی دسته‌های در محاسبات استفاده شوند [۹].

یک خط با شیب مثبت می‌تواند برای نشان دادن افزایش سرعت آتش وقتی که جریان ورودی افزایش می‌یابد، استفاده شود. چنین تابع از فرم $\varphi(v_j) = \mu v_j$ تبعیت می‌کند که μ شیب خط است. این تابع فعال‌سازی خطی است و بنابراین دارای مشکلات مشابه با تابع باینری است. علاوه بر این، شبکه‌های ساخته شده با استفاده از این مدل همگرایی ناپایدار دارند، زیرا ورودی‌های نورون در امتداد مسیرهای مورد علاقه بدون محدودیت افزایش می‌یابد، زیرا این تابع قابل نرمالیزه شدن نیست.

برخی خواص مطلوب در یک تابع فعال‌سازی شامل موارد زیر است:

غیر خطی بودن: هنگامی که تابع فعال‌سازی غیر خطی است، یک شبکه عصبی دو لایه را می‌توان به عنوان یک تقریب زن تابع عام در نظر گرفت [۱۰]. تابع فعال‌سازی همانی این ویژگی را برآورده نمی‌کند. وقتی لایه‌های چندگانه از تابع فعال‌سازی همانی استفاده می‌کنند، کل شبکه برابر با یک مدل تک لایه است.

مشتق پذیری به طور مداوم: این ویژگی برای استفاده از روش‌های بهینه‌سازی مبتنی بر گرادینت مطلوب است. تابع فعال‌سازی پله باینری در صفر مشتق پذیر و برای تمام مقادیر دیگر مشتق آن صفر است، بنابراین روش‌های مبتنی بر گرادینت با استفاده از آن پیشرفتی در پروسه عملکردشان نخواهند کرد [۱۱].

۲-۶- توابع هزینه

قرار می‌دهیم سپس برای هر بار به‌روزرسانی این بردار یک مجموعه داده‌های آموزشی را به صورت تصادفی انتخاب کرده و با نرخ α بردار حاصل از گرادینان تابع هزینه در نقطه θ را از θ کم می‌کنیم:

$$\theta = \theta - \alpha \nabla_{\theta} J(\theta; x^{(i)} \text{ و } y^{(i)}) \quad (9)$$

که در آن J تابع هزینه و $x^{(i)}, y^{(i)}$ یک عضو از داده‌های آموزشی است که به صورت تصادفی انتخاب شده‌است و نشان‌دهنده جمله i ام از جملات تابع هدف است. α نرخ تصادفی است که با آن را به‌روزرسانی می‌کنیم (به آن نرخ یادگیری (lr) می‌گویند) و مقداری تجربی دارد که اگر خیلی کوچک باشد زمان رسیدن به همگرایی را طولانی می‌کند و اگر خیلی بزرگ باشد ممکن است همگرایی رخ ندهد [۲۲].

یکی دیگر از چالش‌های کلیدی مینیم کردن توابع ضرر کاربرد در سیستم‌های عصبی که به شدت غیرمحدب هستند، پیشگیری از گیر کردن در مینیم‌های نسبی است که نسبت به مینیم‌های اصلی بهینه نیستند. داوین و همکاران [۲۳] عنوان کرده‌اند که چالش اصلی مینیم‌های نسبی نیستند بلکه نقاط زینی اند؛ یعنی نقاطی که شیب در یکی از جهت‌ها مثبت و در جهت دیگر منفی است. این نقاط زینی معمولاً با سطحی صاف پر از نقاط مشابه احاطه شده‌اند که خروج از آن‌ها را برای روش SGD دشوار می‌کند زیرا گرادینان در همگی جهات نزدیک صفر است. برای حل این چالش‌ها روش‌هایی پیشنهاد شده که در ادامه ذکر می‌شوند.

۳-۱-۱- روش شتاب

روش شتاب [۲۴] روشی است که به الگوریتم SGD در جهت مناسب سرعت می‌بخشد و تناوب‌ها را میرا می‌کند. این عملکرد در شکل ۴-۲ ب نشان داده شده است. روش شتاب این کار را با اضافه کردن کسری از بردار تغییرات مرحله‌ی قبل یعنی γ به بردار تغییرات فعلی انجام می‌دهد.

$$v_t = \gamma v_{t-1} + \alpha \nabla_{\theta} J(\theta)$$

$$\theta = \theta - v_t \quad (10)$$

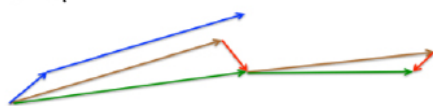
ضریب شتاب یعنی γ معمولاً ۰/۹ یا همین حدود در نظر گرفته می‌شود. اساساً وقتی از روش شتاب استفاده می‌کنیم، مثل این است که یک توپ را از یک تپه به پایین هل می‌دهیم. توپ حین قل خوردن به پایین تپه شتاب می‌گیرد و در راه سریع‌تر و سریع‌تر می‌شود (تا جایی که به سرعت نهایی برسد، البته در صورتی که مقاومت هوا وجود داشته باشد که به معنی γ کمتر از ۱ است). همین اتفاق برای تغییرات ایجاد شده در پارامترها هم می‌افتد: ضریب شتاب در جهت‌هایی که گرادینان نسبت به آن‌ها تغییر علامت نمی‌دهد افزایش می‌یابد و در جهت‌هایی که گرادینان تغییر علامت می‌دهد کاهش می‌یابد. در نتیجه، همگرایی سریع‌تر شده و تناوب‌ها کمتر می‌شود.

۳-۱-۲- روش نستروف

روش گرادینان شتاب یافته‌ی نستروف (NAG) [۱۴] روشی است که با آن می‌توان چنین خاصیتی به ضریب شتاب داد. می‌دانیم که از ضریب شتاب به صورت γv_{t-1} برای حرکت بردار پارامتر θ استفاده می‌کنیم. بنابراین محاسبه‌ی $\theta - \gamma v_{t-1}$ تقریبی از مقدار بعدی بردار پارامترها را به دست می‌دهد (گرادینان که در میزان تغییرات موثر است در اینجا در نظر گرفته نشده)؛ با اینکار درکی مناسب از مقادیر بعدی پارامترها به دست می‌آوریم. اکنون می‌توانیم با محاسبه‌ی گرادینان نسبت به مقدار تقریبی بعدی پارامترها، نه مقدار فعلی آن‌ها، به طور موثری مقدار بعدی داده‌ها را در محاسبات دخیل کنیم:

$$v_t = \gamma v_{t-1} + \alpha \nabla_{\theta} J(\theta - \gamma v_{t-1})$$

$$\theta = \theta - v_t \quad (11)$$



شکل ۳: تغییرات نستروف.

باز هم به ضریب شتاب γ مقداری حدود ۰/۹ می‌دهیم. درحالی‌که روش شتاب ابتدا

تابع هزینه تابعی است که مقدار زیان را در یک پیشامد نشان می‌دهد. برای تعریف تابع هزینه، از متغیر تصادفی X استفاده می‌شود و تابع هزینه به شکل $X=(X_1, \dots, X_n)$ بیان می‌شوند. در یک مسئله بهینه‌سازی هدف مینیمم‌سازی تابع هزینه است [۱۸].

توابع هزینه مورد استفاده در شبکه‌های عصبی بطور معمول بصورت زیر می‌باشند:

خطای جذر میانگین مربعات: تفاوت میان مقدار پیش‌بینی شده توسط مدل یا برآوردگر آماری و مقدار واقعی می‌باشد RMSE ابزار خوبی برای مقایسه خطاهای پیش‌بینی توسط یک مجموعه داده‌است و برای مقایسه چند مجموعه داده کاربرد ندارد [۱۹].

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \hat{x}_i)^2}{n}} \quad (6)$$

اختلاف آنتروپی: در تئوری اطلاعات، اختلاف آنتروپی (آنتروپی متقاطع) بین دو توزیع احتمال p و q در یک مجموعه مشابه از پیشامدها، تعداد متوسط بیت‌های مورد نیاز برای شناسایی یک پیشامد از مجموعه را اندازه‌گیری می‌کند، اگر یک شمای کد گذاری استفاده شده باشد این مقدار برای توزیع احتمال مصنوعی q ، به جای توزیع درست p بهینه می‌گردد.

آنتروپی متقاطع برای توزیع p و q برای یک مجموعه داده شده به شرح زیر تعریف می‌شود:

$$H(p \parallel q) = E_p[-\log q] = H(p) + D_{KL}(p \parallel q) \quad (7)$$

که $H(p)$ آنتروپی p و $D_{KL}(p \parallel q)$ دوزانس کولیک-لایر q از p می‌باشد. آنتروپی متقاطع می‌تواند برای تعریف یک تابع هزینه در بهینه‌سازی و یادگیری ماشین استفاده شود. احتمال واقعی p_i برچسب واقعی است و توزیع داده شده q_i مقدار پیش‌بینی شده از مدل فعلی است.

جدول ۱: نحوه انتخاب تابع فعال‌سازی و تابع هزینه را برای بکارگیری آن‌ها در مسائل یادگیری عمیق.

مساله یادگیری عمیق	تابع فعال‌سازی آخرین لایه	تابع هزینه
طبقه‌بندی باینری	سیگموئید	آنتروپی متقاطع باینری
طبقه‌بندی چنددسته‌ای و تک برچسب	بیشینه هموار	آنتروپی متقاطع چندرسته‌ای
طبقه‌بندی چند دسته‌ای و چند برچسب	سیگموئید	آنتروپی متقاطع باینری
رگرسیون به مقادیر دلخواه	بدون فعال‌سازی	خطای جذر میانگین مربعات
رگرسیون به مقادیر بین صفر تا یک	سیگموئید	خطای جذر میانگین مربعات

۳- بهینه‌سازی شبکه

۳-۱-۱- الگوریتم گرادینان کاهشی تصادفی (SGD)

گرادینان کاهشی تصادفی (Stochastic gradient descent) روشی مبتنی بر تکرار برای بهینه‌سازی یک تابع مشتق‌پذیر به نام تابع هدف (تابع هزینه) است که یک تقریب تصادفی از روش گرادینان کاهشی می‌باشد. در حقیقت گرادینان کاهشی تصادفی الگوریتمی در اختیار ما قرار می‌دهد که طی چند حلقه تکرار مقدار مینیمم یک تابع و مقادیری را که با ازای آن‌ها تابع مینیمم مقدار خود را می‌گیرد، بدست بیاوریم. تفاوت گرادینان کاهشی تصادفی با گرادینان کاهشی استاندارد در این است که برخلاف گرادینان کاهشی استاندارد که برای بهینه‌سازی تابع هدف از تمام داده‌های آموزشی استفاده می‌کند، گرادینان کاهشی تصادفی از گروهی از داده‌های آموزشی که به‌طور تصادفی انتخاب می‌شود برای بهینه‌سازی استفاده می‌کند [۲۱].

فرض کنید مجموعه‌ای از داده‌های آماری داریم و تابع f را برای این داده‌ها فقط بر حسب یک پارامتر θ تعریف کرده‌ایم، در این صورت با دادن داده‌ها از مجموعه داده‌ها به تابع f یک تابع از θ بدست می‌آوریم که آن را $J_i(\theta)$ می‌نامیم. حال مسئله به پیدا کردن ای که عبارت زیر را می‌نیم می‌کند، ساده می‌شود:

$$J(\theta) = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=1}^n J_i(\theta) \quad (8)$$

در پیاده‌سازی کلی گرادینان کاهشی تصادفی ابتدا بردار پارامترها که برداری است که شامل تمام پارامترهای تابع هزینه است را θ می‌نامیم. θ را برابر برداری دلخواه

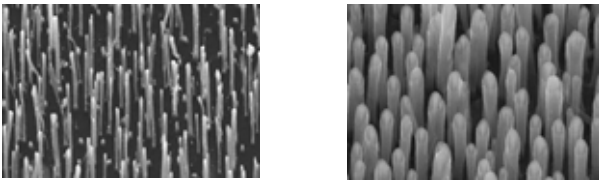
پذیر باشد، سلسله مراتب ویژگی‌های فضایی آموخته شده توسط شبکه آموزش از پیش آموزش دیده شده می‌تواند به طور موثر به عنوان یک مدل عمومی از دنیای بصری عمل کند و از این رو ویژگی‌های آن می‌توانند برای بسیاری از مسائل بینایی کامپیوتر مختلف سودمند باشند، با این که در مسائل جدید ممکن است کلاس‌های کاملا متفاوتی نسبت به مساله اصلی درگیر شوند [۲۷].

۴- مواد و روش‌ها

روند طبقه‌بندی تصاویر نانو شامل اجرای الگوریتم‌های پایه پردازش تصویر روی تصاویر آزمایش و تست برای پیش پردازش داده‌ها و ایجاد مدل‌های یادگیری عمیق و ارزیابی عملکرد آنهاست.

۴-۱- نانولوله‌های کربنی

تصاویر نانو شامل دو گونه تصویر CNT و SEM نانو ذرات می‌باشد. تصاویر CNT شامل دو گونه (کلاس) متراکم و تنگ و SEM نانو ذرات شامل سه گونه بدون کلوخه، نیمه کلوخه و کلوخه می‌باشد. نانولوله‌های کربنی (CNTs) آلوتروپ‌های کربن با یک نانوساختار استوانه‌ای هستند. این مولکول‌های کربنی استوانه‌ای دارای خواص غیر معمولی هستند که برای فناوری نانو، الکترونیک، اپتیک و دیگر زمینه‌های علم و فناوری مواد ارزشمندی می‌باشند. با توجه به استحکام و سختی استثنایی مواد، نانولوله‌ها با نسبت طول به قطر تا $1:1320000000$ ، به طور قابل توجهی بزرگتر از هر ماده دیگر ساخته شده اند [۲۸].

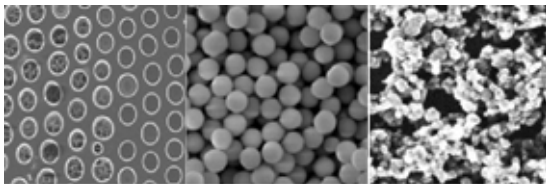


شکل ۵: نمونه تصاویر CNT (الف) متراکم، (ب) تنگ.

علاوه بر این، با توجه به هدایت حرارتی فوق العاده و خواص مکانیکی و الکتریکی، نانولوله‌های کربن کاربردی را به عنوان مواد افزودنی برای مواد ساختاری مختلف مورد استفاده قرار می‌دهند. به عنوان مثال، نانولوله‌ها بخش کوچکی از مواد (ها) را در برخی از کلاه‌های بیسیال (فیبرهای کربن رایج)، چوب‌های گلف، قطعات خودرو و فولاد دیماسک تشکیل می‌دهند [۲۹، ۳۰].

۴-۲- اسکن میکروسکوپی نانو ذرات

میکروسکوپ الکترونی اسکن (SEM) یک نوع میکروسکوپ الکترونی است که تصاویری از یک نمونه را با اسکن کردن سطح با پرتو متمرکز شده ای از الکترون‌ها تولید می‌کند. الکترون‌ها با اتم‌ها در نمونه تعامل برقرار می‌کنند و سیگنال‌های مختلفی را تولید می‌کنند که حاوی اطلاعات مربوط به توپوگرافی سطح و ترکیب نمونه است. پرتو الکترون در یک الگوی شطرنجی اسکن می‌شود و موقعیت پرتو با سیگنال تشخیص داده شده برای تولید تصویر ترکیب می‌شود. SEM می‌تواند به رزولوشن بیش از ۱ نانومتر برسد. نمونه‌ها در مکش بالا در SEM معمولی، یا در شرایط کم یا شرایط مرطوب در فشار متغیر یا SEM محیطی و در طیف وسیعی از دماهای پایین یا بالا با تجهیزات تخصصی دیده می‌شوند [۳۱].



شکل ۶: SEM نانو ذرات، (الف) کلوخه، (ب) نیمه کلوخه، (ج) بدون کلوخه.

۴-۳- داده‌ها و پیش پردازش آن‌ها

تصاویر به دو قسمت آزمایش و تست دسته بندی می‌شوند. تصاویر به صورت ۳ کاناله می‌باشند و با توجه به رنگی نبودن آنها به سطح خاکستری تبدیل گشته اند. در ادامه عملیات پیش پردازش داده شرح داده خواهد شد.

گرادینان فعلی را حساب کرده (بردار کوچک آبی در شکل ۳) و سپس جهشی بزرگ در جهت گرادینان جدید تجمع یافته (بردار قهوه ای) می‌کند، روش نستروف ابتدا جهشی بزرگ در جهت گرادینان تجمع یافته‌ی قبلی می‌کند (بردار قهوه‌ای)، گرادینان را اندازه می‌گیرد و سپس یک اصلاح کوچک انجام می‌دهد (بردار سبز). این تغییرات ایجاد شده با استفاده از پیش بینی مقادیر بعدی، از زیادی سرعت گرفتن تغییرات جلوگیری می‌کند. این امر باعث پاسخگویی بیشتر الگوریتم می‌شود که کارایی شبکه‌هایی عصبی بازگشتی در انجام بسیاری از فعالیت‌ها را به شدت بهبود داده است.

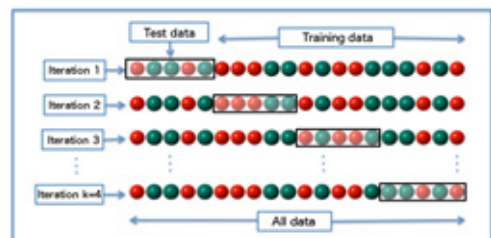
۳-۲- الگوریتم یادگیری بازگشت به عقب

مشکلی که در یادگیری شبکه‌های عصبی وجود دارد این است که این مسئله بهینه‌سازی دیگر محدب (convex) نیست. مهمترین مزیت مسائل بهینه‌سازی محدب در این است که هر نقطه بهینه محلی یک نقطه بهینه سراسری نیز است و هر الگوریتم بهینه‌سازی که یک نقطه بهینه محلی را یافت در حقیقت یک نقطه بهینه سراسری را یافته‌است [۲۵]. از این رو در مسائل غیر محدب با مشکل کمینه‌های محلی روبرو هستیم. یکی از روشهای متداول حل مسئله بهینه‌سازی در شبکه‌های عصبی بازگشت به عقب یا همان propagation back است. روش بازگشت به عقب گرادینان تابع هزینه را برای تمام وزن‌های شبکه عصبی محاسبه می‌کند و بعد از روش‌های گرادینان کاهشی (gradient descent) برای پیدا کردن مجموعه وزن‌های بهینه استفاده می‌کند. روش‌های گرادینان کاهشی سعی می‌کنند بصورت متناوب در خلاف جهت گرادینان حرکت کنند و با این کار تابع هزینه را به حداقل برسانند. پیدا کردن گرادینان لایه آخر ساده است و با استفاده از مشتق جزئی بدست می‌آید. گرادینان لایه‌های میانی اما بصورت مستقیم بدست نمی‌آید و باید از روش‌هایی مانند قاعده زنجیری در مشتق‌گیری استفاده کرد [۲۶].

۳-۳- آزمایش سراسری k بخشی

هدف اعتبار سنجی سراسری، آزمایش توانایی مدل برای پیش بینی داده‌های جدیدی است که در برآورد آن مدل مورد استفاده قرار نگرفته است، می‌باشد و به منظور پررنگ کردن مشکلاتی از قبیل بیش‌برازش یا انتخاب بایاس و دادن یک بینش درباره نحوه تعمیم مدل به یک مجموعه داده مستقل (یعنی یک مجموعه داده ناشناخته، به عنوان مثال داده‌های یک مساله واقعی) به کار گرفته می‌شود.

در آزمون اعتبارسنجی k بخشی، (K-fold Cross Validation) نمونه اصلی به طور تصادفی به نمونه‌هایی با اندازه مساوی تقسیم می‌شود. از زیر نمونه‌ها، یک نمونه واحد به عنوان داده‌های اعتبار سنجی برای تست مدل کنار گذاشته می‌شود و $k-1$ نمونه باقیمانده به عنوان داده‌های آموزشی مورد استفاده قرار می‌گیرند. سپس فرآیند اعتبارسنجی سراسری k بار با هر یک از k نمونه‌ها تکرار می‌شود و هر نمونه به طور دقیق یک بار به عنوان داده‌های اعتبار سنجی مورد استفاده قرار می‌گیرد. پس از آن میانگین k نتیجه می‌تواند یک برآورد واحد باشد. مزیت این روش بر نمونه‌گیری تصادفی تصادفی این است که همه مشاهدات برای آموزش و اعتبار سنجی مورد استفاده قرار می‌گیرند و هر مشاهده برای اعتبار سنجی دقیقا یک بار استفاده می‌شود.



شکل ۴: آزمایش سراسری k بخشی.

۴-۴- یادگیری انتقالی

یک رویکرد رایج و بسیار موثر در یادگیری عمیق در مجموعه کوچک داده‌های تصویر، استفاده از یک شبکه آموزش از پیش آموزش دیده است. یک شبکه آموزش از پیش آموزش دیده یک شبکه ذخیره شده است که قبلا در مجموعه داده‌های بزرگ و معمولا بر روی یک مساله طبقه‌بندی تصاویر در مقیاس بزرگ، آموزش دیده است. اگر این مجموعه داده اصلی به اندازه کافی بزرگ و به طور کلی به اندازه کافی تعمیم

۴-۳-۱- هم‌سایز کردن و نرمالیزاسیون

تمامی تصاویر به دلیل آنکه در هنگام تصویر برداری از میکروسکوپ با سایزهای مختلف گرد آوری شده اند همگی به سایز ۳۰۰ در ۵۰۰ پیکسل تغییر سایز داده شده‌اند و با اینکه مرتب سازی شده‌اند، به هم ریختن آنها در ادامه که باعث جلوگیری از یادگیری ترتیب آن‌ها در شبکه عصبی عمیق می‌گردد و خطر بیش‌برازش را کاهش می‌دهد، انجام شده است. ضمناً همه تصاویر به ساختار داده لیست در پایتون تبدیل گشته‌اند که کار با آن‌ها با کتابخانه‌های مربوطه ساده‌تر گردد. سایز تصاویر بصورت (۱۰۰،۳۰۰،۵۰۰،۱) برای تصاویر SEM و (۵۰،۳۰۰،۱۰۰،۱) برای تصاویر SEM نانوذرات می‌باشد. آرگومان اول تعداد تصاویر، آرگومان دوم و سوم سایز آنها و آرگومان چهارم تعداد کانال آنها را مشخص می‌کند. همه تصاویر نیز با تقسیم تمام مقادیر پیکسل‌ها به حداکثر مقدار آن‌ها در محدوده [۰،۱] نرمالیزه شده‌اند.

۴-۳-۲- یکسان سازی هیستوگرام

یکسان سازی هیستوگرام یک روش در پردازش تصویر برای تنظیم کنتراست با استفاده از هیستوگرام تصویر است. این روش معمولاً کنتراست کلی بسیاری از تصاویر را افزایش می‌دهد، به ویژه هنگامی که داده‌های قابل استفاده با مقادیر کنتراست نزدیک نمایش داده می‌شود. از طریق این تنظیم، شدت نور می‌تواند بهتر در هیستوگرام توزیع شود. این کار اجازه می‌دهد تا برای مناطق دارای کنتراست محلی پایین‌تر کنتراست بالاتری را به دست آورند. یکسان سازی هیستوگرام این کار را با پخش کردن فراوان‌ترین میزان شدت انجام می‌دهد. یکسان سازی هیستوگرام سازگار (AHE) یک روش پردازش تصویر کامپیوتری است که برای بهبود کنتراست در تصاویر استفاده می‌شود. تفاوت این روش با روش عادی در این است که روش سازگار چندین هیستوگرام را محاسبه می‌کند، هر یک از هیستوگرام‌ها مربوط به یک بخش متمایز از تصویر است، و از آن‌ها برای باز توزیع مقادیر روشنایی تصویر استفاده می‌کند. بنابراین مناسب برای بهبود کنتراست محلی و افزایش تشخیص لبه‌ها در هر منطقه از یک تصویر است [۳۲].

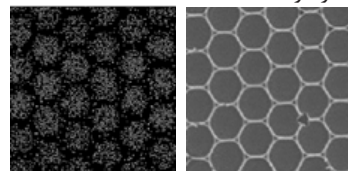
با این حال، AHE تمایل دارد که نویز را در مناطق نسبتاً یکنواخت تصویر تقویت کند. یک نوع از تطبیق هیستوگرام سازگاری به نام کنتراست محدود سازگاری هیستوگرام منقطع (CLAHE) با محدود کردن تقویت از این کار جلوگیری می‌کند [۳۳].

برای یکسان سازی هیستوگرام تصاویر ورودی، به دلیل اینکه توزیع روشنایی در تصاویر مانعی برای تشخیص پهنه لبه‌های شی اصلی می‌باشند (در CNT ها لوله‌های کربنی و در SEM نانوذرات ذرات منفرد)، استفاده از روش CLAHE گزینه مناسب‌تری به نظر می‌رسد. پارامترها در به کار گیری این الگوریتم به صورت پیش فرض انتخاب شده است.

۴-۳-۳- شارپ کردن تصاویر

ماسک کردن غیرشفاف (USM) تکنیک شارپ کردن تصویر است که اغلب در نرم افزارهای پردازش تصویر دیجیتال موجود است. نام «غیرشفاف» از این واقعیت حاصل می‌شود که این تکنیک از یک تصویر منفرد ناهموار یا منحصر به فرد برای ایجاد یک ماسک از تصویر اصلی استفاده می‌کند. ماسک غیرشفاف سپس با تصویر مثبت (اصلی) ترکیب شده است، یک تصویر غیر شفاف‌تر از اصل را ایجاد می‌کند. تصویر حاصل، هر چند واضح‌تر، ممکن است یک نمایش کم‌تر دقیق از بازنمایی تصویر باشد. در زمینه پردازش سیگنال، یک ماسک غیرشفاف به طور کلی یک فیلتر خطی یا غیر خطی است که اجزای فرکانس بالا یک سیگنال را تقویت می‌کند [۳۴].

با استفاده از متد USM درباره تصاویر نانو پس از یکسان سازی هیستوگرام، لبه‌های تصاویر برجسته گشته و کار شبکه برای استخراج ویژگی آسانتر می‌گردد. پارامتر شارپ کردن ۰/۸ در نظر گرفته شده است.

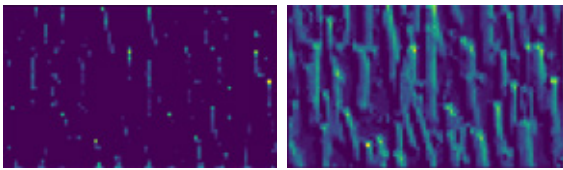


شکل ۷: تصویر SEM و شارپ شده آن

۴-۴- طبقه‌بندی با شبکه کانولوشنی

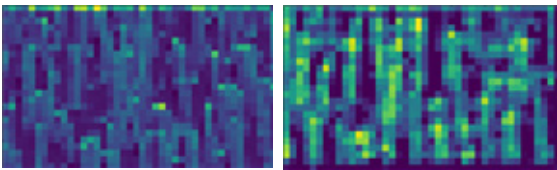
شبکه کانولوشنی که برای طبقه‌بندی تصاویر نانو بطور جداگانه استفاده شده است، بصورت زیر می‌باشد.

الف) لایه اول: کانولوشن دو بعدی با ۲۰ فیلتر که انتظار می‌رود این فیلترها لبه‌های تصاویر را به صورت قابل توجهی استخراج نمایند و ویژگی‌های کلی تصاویر را معین سازد. این لایه با توجه به سایز نسبتاً بزرگ آن از هسته (فیلتر) به سایز ۵ در ۵ استفاده می‌کند تا پوشش تصویر با تعداد عملیات کمتری نسبت به سایز رایج ۳ در ۳ انجام پذیرد، چون با اینکه سایز تصویر به نسبت تصاویر مشهور MNIST بزرگتر است. پیچیدگی و تنوع شی در تصاویر به قدری است که به ما اجازه این کار را می‌دهد. گام ۳ برای پیمایش استفاده شده تا سایز تصویر کاهش یابد و ظرفیت شبکه بیش از حد نشود و بتوان از خطر بیش‌برازش تا حدی دوری کرد. Padding به اندازه همان تصویر اصلی انتخاب شده تا مخصوصاً در تصاویر CNT گوشه‌ها و مرزهای تصویر از بین نروند. این لایه با ورود تصویر با اندازه (۳۰۰،۵۰۰،۱) داده ای به سایز (۱۰۰،۱۶۷،۲۰) را می‌دهد و ۵۲۰ پارامتر قابل یادگیری دارد.



شکل ۸: خروجی دو نورون لایه اول.

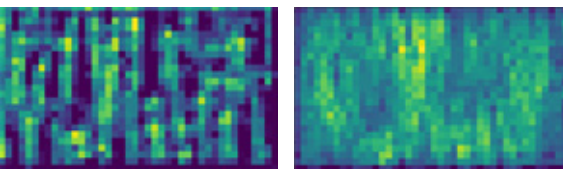
ب) لایه دوم: کانولوشن دو بعدی با ۲۰ فیلتر که ویژگی‌های مرتبه دوم را استخراج می‌کند. گام در این لایه ۲ می‌باشد تا پیکسل‌های مفید بیش از این حذف نشوند و ظرفیت شبکه متناسب باشد. Padding به همان ترتیب قبل است. این لایه با ورود داده با اندازه (۱۰۰،۱۶۷،۲۰) داده ای به اندازه (۵۰،۸۴،۲۰) را می‌دهد و ۱۰۰۲۰ پارامتر قابل یادگیری دارد.



شکل ۹: خروجی دو نورون لایه دوم.

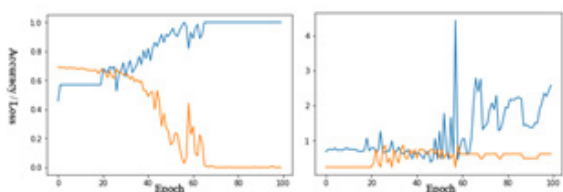
ج) لایه سوم: لایه Max Pooling دو بعدی با سایز هسته ۲ در ۲ برای کاهش بعد تصویر. اندازه هسته محافظه کارانه انتخاب شده است تا پیکسل‌های مفید حفظ شوند ولی این کار می‌تواند ظرفیت شبکه را بیش از حد بالا ببرد.

د) لایه چهارم: کانولوشن دو بعدی با ۴۰ فیلتر. علت افزایش فیلترها اینست که لایه‌های بعدی باید ویژگی‌های عمیق‌تر و بیشتری از تصویر را بیابند مثل: منحنی‌ها، گوشه‌ها و الگوهای جزئی‌تر. در حالت کلی هر چه در لایه‌ها جلوتر می‌رویم شبکه عمیق‌تر می‌گردد. گام در این لایه ۱ می‌باشد زیرا به همه پیکسل‌های باقیمانده برای استخراج ویژگی نیاز است. Padding به همان ترتیب قبل است. این لایه با ورود داده با اندازه (۲۵،۴۲،۴۰) داده ای به اندازه (۲۵،۴۲،۴۰) را می‌دهد و ۲۰۰۴۰ پارامتر قابل یادگیری دارد.



شکل ۱۰: خروجی دو نورون لایه چهارم.

ه) لایه پنجم: لایه Max Pooling دو بعدی با سایز هسته ۲ در ۲ برای کاهش بعد تصویر. (و) لایه ششم: کانولوشن دو بعدی با ۴۰ فیلتر. آخرین لایه کانولوشن اطلاعات مفیدی از ویژگی‌هایی می‌دهد که برای تشخیص کلاس تصویر مفید است. کار استخراج ویژگی در اینجا به پایان می‌رسد. در اصل، داده‌های خروجی این لایه بعنوان داده‌های خام برای الگوریتم پیش بینی کلاس استفاده می‌شوند که لایه بعدی را معین می‌سازند. بقیه تنظیمات مانند لایه‌های قبلی است. این لایه با ورود داده با اندازه (۱۲،۲۱،۴۰) داده ای به اندازه (۱۲،۲۱،۴۰) را می‌دهد و ۴-۰۰۴ پارامتر قابل یادگیری دارد.



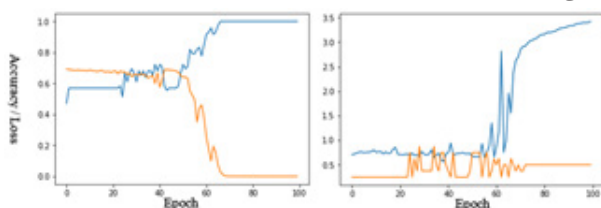
شکل ۱۳: دقت (آبی) و خطا (نارنجی) در داده‌های اعتبار سنجی (راست)

و دقت (آبی) و خطا (نارنجی) در داده‌های آموزش (چپ)

برای مقابله با بیش‌برازش ابتدا بین لایه‌های دوم و سوم کانولوشن یک لایه Drop Out با پارامتر ۰.۸ در انتهای لایه‌های کانولوشن و یک لایه Drop Out با پارامتر ۰.۵ گذاشته شده است.

همچنین از تنظیم L1 و L2 به فرم شبکه الاستیک با پارامترهای ۰.۰۰۱ و ۰.۰۰۲ در لایه‌های کاملاً متصل استفاده شده است.

این دو کار عملکرد سیستم را کمی بهبود می‌بخشد ولی هنوز به عنوان یک مدل قابل اعتنا نمی‌توان به آن نگاه کرد.



شکل ۱۴: دقت (آبی) و خطا (نارنجی) در داده‌های اعتبار سنجی (راست)

و دقت (آبی) و خطا (نارنجی) در داده‌های آموزش (چپ).

یکی دیگر از راه‌های مبارزه با overfitting اعتبار بخشی سراسری k بخشی است که در قبل توضیح داده شد با $k=4$ و استفاده از این روش برای آموزش و اعتبار سنجی مدل دقت ۷۸ درصد بدست آمد که نشان از بهبود عملکرد می‌دهد. با توجه به عملکرد این روش در بهبود خطا و دقت با استفاده از هر الگوریتمی، این روش برای گزارش مقدار نهایی خطا در الگوریتم‌های دیگر نیز استفاده شده است.

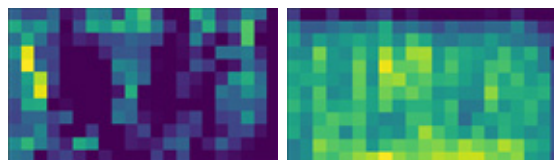
با بررسی تصاویر می‌توان به این نکته پی برد که تصاویر خود متشابه هستند، در سوی دیگر افزایش تعداد نمونه‌ها می‌تواند در مقابله با overfitting موثر باشد زیرا وزن‌ها می‌توانند با آزادی عمل بیشتر مقادیر خود را بروز کنند و تعداد زیاد نمونه‌ها باعث می‌شود سرانجام به مقدار مطلوب برسند. اگر بتوان تصاویر را به گونه‌ای زیاد کرد که بدون ایجاد الگوهای تکراری ویژگی‌های جدید اضافه گردند، کمک بسیار زیادی به روند کار خواهد شد. این کار با تلفیق داده (Data Augmentation) امکان پذیر است. در برنامه نوشته شده با پایتون یک شمارشگر (Iterator) طراحی شده است که با هر ورودی تصویر آن‌را به چهار قسمت مساوی تقسیم می‌کند. با توجه به خود متشابه بودن تصاویر تصاویر تولید شده مشابه تصاویر قبلی با ویژگی‌های موثر و بدون الگوهای تکراری زیاد می‌باشند. سپس داده‌های تولید شده به همراه داده‌های موجود به عنوان داده‌های آموزش استفاده می‌گردند. این کار دقت اعتبار سنجی را به نحو شایانی افزایش داده است.

۴-۵- طبقه‌بندی با یادگیری انتقالی

در این قسمت به جای ایجاد یک شبکه کانولوشنی بطور دستی از یک شبکه از پیش آموزش داده شده به نام VGG19 استفاده می‌کنیم. این شبکه برای طبقه‌بندی تصاویر CIFAR که مجموعه تصاویر عمومی می‌باشند طراحی شده است.

لایه اول لایه‌های VGG19 می‌باشد که شامل ۵ بلوک کانولوشنی است. این لایه ۲۰۲۴۳۸۴ پارامتر دارد که از پیش تعیین شده هستند و در فرآیند یادگیری سهم نمی‌باشند. لایه بعدی نیز لایه کاملاً متصل است که شامل همان پرسپترون ۳ لایه است. این لایه ۶۹۱۲۳۲ پارامتر دارد که ظرفیت معقولی را برای شبکه به ارمغان می‌آورد.

به دو نوع می‌توان شبکه را آموزش داد یک نوع آموزش به همان شیوه قبلی است و نوع دیگر آموزش با تلفیق داده. همچنین می‌توان وزن‌های لایه‌هایی از شبکه از پیش



شکل ۱۱: خروجی دو نورون لایه ششم.

(ز) لایه هفتم: لایه کاملاً متصل این لایه شامل یک پرسپترون سه لایه می‌باشد که لایه اول با ۱۵ نورون و لایه دوم با ۸ نورون و لایه سوم (خروجی) با دو نورون برای طبقه‌بندی CNT و ۳ نورون برای طبقه‌بندی SEM نانوذرات (برابر با تعداد کلاس‌ها) می‌باشد. این لایه وظیفه انتخاب (پیش‌بینی) کلاس هر تصویر با توجه به ویژگی‌های استخراج شده در آن می‌باشد. تعداد پارامترها برای CNT ۱۵۱۳۶۱ و برای SEM نانوذرات ۱۵۱۳۷۰ می‌باشد.

Layer (type)	Output Shape	Param #
conv2d_33 (Conv2D)	(None, 100, 167, 20)	520
conv2d_34 (Conv2D)	(None, 50, 84, 20)	10020
max_pooling2d_17 (MaxPooling)	(None, 25, 42, 20)	0
conv2d_35 (Conv2D)	(None, 25, 42, 40)	20040
max_pooling2d_18 (MaxPooling)	(None, 12, 21, 40)	0
conv2d_36 (Conv2D)	(None, 12, 21, 40)	40040
flatten_9 (Flatten)	(None, 10080)	0
dense_25 (Dense)	(None, 15)	151215
dense_26 (Dense)	(None, 8)	128
dense_27 (Dense)	(None, 2)	18
Total params: 221,981		
Trainable params: 221,981		
Non-trainable params: 0		

شکل ۱۲: ساختار شبکه کانولوشنی طبقه‌بندی تصاویر نانو.

تابع فعالسازی برای همه لایه‌های کانولوشنی و لایه اول کاملاً متصل تابع Relu می‌باشد. دلیل انتخاب این تابع ایجاد سادگی در آموزش می‌باشد زیرا نسبت به دیگر توابع پارامترهای کمتری نیاز دارد. ولی برای لایه آخر تابع بیشینه هموار استفاده می‌شود تا مقادیر نورون‌های خروجی در بازه [۰,۱] قرار گیرد و مقدار هر نورون احتمال تطبیق تصویر با هر کلاس را نشان دهد.

برای آموزش این شبکه از الگوریتم SGD استفاده می‌شود. میزان نرخ یادگیری برای این الگوریتم روی مقدار ۰/۰۰۸ تنظیم شده است که به نظر مقدار کمی است ولی با روند پیشرفت الگوریتم در گام‌های بیشتر شاهد همگرایی آن خواهیم بود. در عوض انتخاب نرخ یادگیری به میزان زیاد باعث می‌گردد تا الگوریتم به سرعت همگرا شود و گرادبان از نقطه بهینه رد شود. مقدار گشتاور (μ) در الگوریتم شتاب برابر با ۰/۹ و میزان نرخ زوال نرخ یادگیری (مقدار decay) به میزان 10^{-5} تنظیم شده است. همچنین برای بهبود عملکرد آن در نقاط زینی از روش نستروف استفاده شده است. در تابع هزینه با توجه به اینکه مساله یک مساله طبقه‌بندی است و با توجه به تابع بیشینه هموار در خروجی، آن‌تروپی متقابل رسته ای به کار برده می‌شود. همچنین معیار دقت نیز محاسبه می‌گردد.

داده‌ها ۸۰ درصد برای آموزش و ۲۰ درصد برای تست هستند. همچنین ۱۰ درصد از داده‌های آموزش برای اعتبار سنجی کنار گذاشته شده اند.

با انجام آموزش در گام (epoch)های اول بطور واضح مشخص است که سیستم بیش‌برازش می‌شود. در گام‌های اول سیستم دقت یادگیری ۴۵ درصد و خطای آن ۰/۶۹ دارد. شایان ذکر است که دقت انتخاب تصادفی میان کلاس‌ها ۵۰ درصد است! ولی در گام ۶۶ دقت به ۱۰۰ درصد و خطا به ۰/۰۱۴ می‌رسد. ولی داستان در داده‌های اعتبارسنجی فرق دارد؛ در طول گام‌ها دقت و خطا روند سینوسی را دارد. بطور مثال در گام اول دقت اعتبار سنجی ۶۲/۵ درصد و خطای آن ۰/۸۳ است ولی در گام صدم دقت ۶۲/۵ درصد و خطا ۲/۶۵ شده است. این روند سینوسی نشان از بیش‌برازش دارد. دقت ۴۸ درصد برای داده‌های تست و خطای ۵/۴۵ برای آنها بر این اتفاق صحنه می‌گذارد. (اعداد مرتبط با آموزش در داده‌های CNT است. ولی در داده‌های SEM نیز همین صادق است.)

- networks with linear growth activation functions. Information Sciences, 2009.
13. Sussillo, D.A., L. F., Random Walk Initialization for Training Very Deep Feedforward Networks. 2014.
 14. Nair, V.H., Geoffrey E., Rectified Linear Units Improve Restricted Boltzmann Machines, in 27th International Conference on International Conference on Machine Learning. 2010, Omnipress: USA. p. 807-814.
 15. Bishop, C.M., Pattern Recognition and Machine Learning. 2006: Springer.
 16. Zheng, C.Y. What does the term soft max mean in the context of machine learning. 2017; Available from: <https://www.quora.com/What-does-the-term-soft-max-mean-in-the-context-of-machine-learning>.
 17. Nielsen, M.A., Neural Networks and Deep Learning. 2015.
 18. Berger, J.O., Statistical Decision Theory and Bayesian Analysis Second edition ed. 1985, New York: Springer New York.
 19. Rob J. Hyndman, A.B.K., Another look at measures of forecast accuracy. International Journal of Forecasting, 2006.
 20. Ian Goodfellow, Y.B., and Aaron Courville, Deep Learning. 2016: MIT Press.
 21. Mei, S.M., Andrea; Nguyen, Phan-Minh, A mean field view of the landscape of two-layer neural networks. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2018.
 22. S, S. Gradient Descent: All You Need to Know. 2018; Available from: <https://hackernoon.com/gradient-descent-aynk-7cbe95a778da>.
 23. Ruder, S. An overview of gradient descent optimization algorithms. 2016; Available from: <http://ruder.io/optimizing-gradient-descent/>.
 24. GitHub. optimization. Available from: <http://cs231n.github.io/optimization-1>
 25. Rockafellar, R.T., Lagrange Multipliers and Optimality. SIAM Review
 26. Bengio, Y., Learning Deep Architectures for AI. Vol. 2. 2009.
 27. Chollet, F., Deep Learning with Python. 2018.
 28. Wang, X.L., Qunqing; Xie, Jing; Jin, Zhong; Wang, Jinyong; Li, Yan; Jiang, Kaili; Fan, Shoushan, Fabrication of Ultralong and Electrically Uniform Single-Walled Carbon Nanotubes on Clean Substrates. Nano Letters, 2009.
 29. nationalgeographic. "Legendary Swords' Sharpness, Strength From Nanotubes, Study Says". Available from: <https://news.nationalgeographic.com/news/2006/11/061116-nanotech-swords/>.
 30. Gullapalli, S.W., M.S., Nanotechnology: A Guide to Nano-Objects. Chemical Engineering Progress, 2011: p. 28-32.
 31. Stokes, D.J., Principles and Practice of Variable Pressure Environmental Scanning Electron Microscopy. 2008, Chichester: John Wiley & Sons.
 32. Hum, Y.C.L., Khin Wee; Mohamad Salim, Maheza Irna, Multiobjectives bihistogram equalization for image contrast enhancement. 2014.
 33. D. J. Ketcham, R.W.L.J.W.W., Image enhancement techniques for cockpit displays. 1974.
 34. A few scanning tips, Sharpening - Unsharp Mask. Available from: <http://www.scantips.com/simple6.html>.

معرفی افراد

سید شهاب الدین زارع حسینی

متولد ۱۳۷۶ یزد، تحصیل کرده رشته مهندسی برق در دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) قزوین در مقطع کارشناسی و دانشجوی دانشگاه تربیت مدرس در رشته مهندسی برق گرایش کنترل در مقطع کارشناسی ارشد. علاقه‌مند به زمینه‌های بیومکاترونیک، رباتیک، پردازش تصویر، هوش مصنوعی و یادگیری عمیق.



دکتر نوشین بیگدلی

ایشان دانش‌آموخته رشته مهندسی برق از دانشگاه شیراز در مقاطع کارشناسی و کارشناسی ارشد و فارغ‌التحصیل مهندسی برق کنترل در مقطع دکترا از دانشگاه شریف (با رتبه اول) است. عنوان پروژه ارشد ایشان سرو کنترل یک روبات دو درجه آزادی در جهت‌های Pan/Tilt به کمک تصویر برداری بوسیله دوربین نصب شده روی آن و عنوان رساله دکترای ایشان PC-Based ECG می‌باشد. ایشان اکنون استاد دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) می‌باشد. از علایق ایشان کنترل پیش‌بین، سیستم‌های آشوب، یادگیری عمیق و سیستم‌های مرتبه کسری است.



آموزش داده شده را در فرآیند آموزش سهیم کرد (یعنی الگوریتم بهینه‌سازی آنها را نیز بهینه کند) تا شبکه برای مجموعه تصاویر نانو بهتر تعمیم یابد. شایان ذکر است که چون لایه‌های آخر برای استخراج ویژگی‌های مخصوص‌تر می‌باشد، این لایه‌های در فرآیند آموزش دخیل می‌شوند. به این کار Fine Tuning گفته می‌شود. هر دو نوع آموزش آزمایش شدند.

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با آموزش مدل‌های مختلف بر روی تصاویر و اندازه‌گیری دقت و خطای آن‌ها، بهترین روش برای طبقه‌بندی تصاویر نانو استفاده از Fine Tuning با تلفیق داده می‌باشد که انجام این کار به همراه اعتبارسنجی سراسری ۴ بخشی برای ما دقت ۱۰۰ درصد در داده‌های آموزش و حدود ۸۵ درصد در داده‌های اعتبارسنجی را به ارمغان می‌آورد. بطور کلی استفاده از شبکه‌های یادگیری عمیق رهیافت بسیار خوبی برای طبقه‌بندی مستقیم تصاویر می‌باشد. از این رو انواع روش‌ها برای طبقه‌بندی تست شده اند و روش بالا به عنوان بهترین روش انتخاب گشته است. ولی روش‌های مدرن و بهتری وجود دارند که این کار را می‌توانند به دقت‌های نزدیک ۱۰۰ درصد برسانند. یکی از این روش‌ها استفاده از شبکه‌های کپسولی است.

CNNها عالی هستند. آن‌ها یکی از دلایلی هستند که یادگیری عمیق امروز بسیار محبوب است. آن‌ها می‌توانند کارهای شگفت‌انگیزی انجام دهند که مردم فکر می‌کنند کامپیوترها قادر به انجام آن برای مدت طولانی نیستند. با این وجود، آن‌ها محدودیت‌های خود را دارند و اشکالات اساسی دارند که از جمله زیر می‌باشند.

عملیات Pooling در شبکه‌های عصبی کانولوشنی یک اشتباه بزرگ است و این واقعیت که آن را به خوبی کار می‌کند، یک فاجعه است. نمایش داخلی داده‌های یک شبکه عصبی کانولوشنی، سلسله مراتب فضایی مهم بین اشیاء ساده و پیچیده را در نظر نمی‌گیرد.

به منظور طبقه‌بندی صحیح و شناخت شیء، مهم است که روابط سلسله‌مراتبی روابط بین قطعات شیء حفظ شود. این شهود کلیدی است که به شما امکان می‌دهد که بدانید چرا نظریه کپسول بسیار مهم است. هنگامی که این روابط به صورت نمایش داخلی داده‌ها ساخته شده است، برای یک مدل بسیار آسان می‌شود تا درک کند که چیزی که آن را می‌بیند، فقط یک دیدگاه دیگر از چیزی است که قبلاً دیدیم.

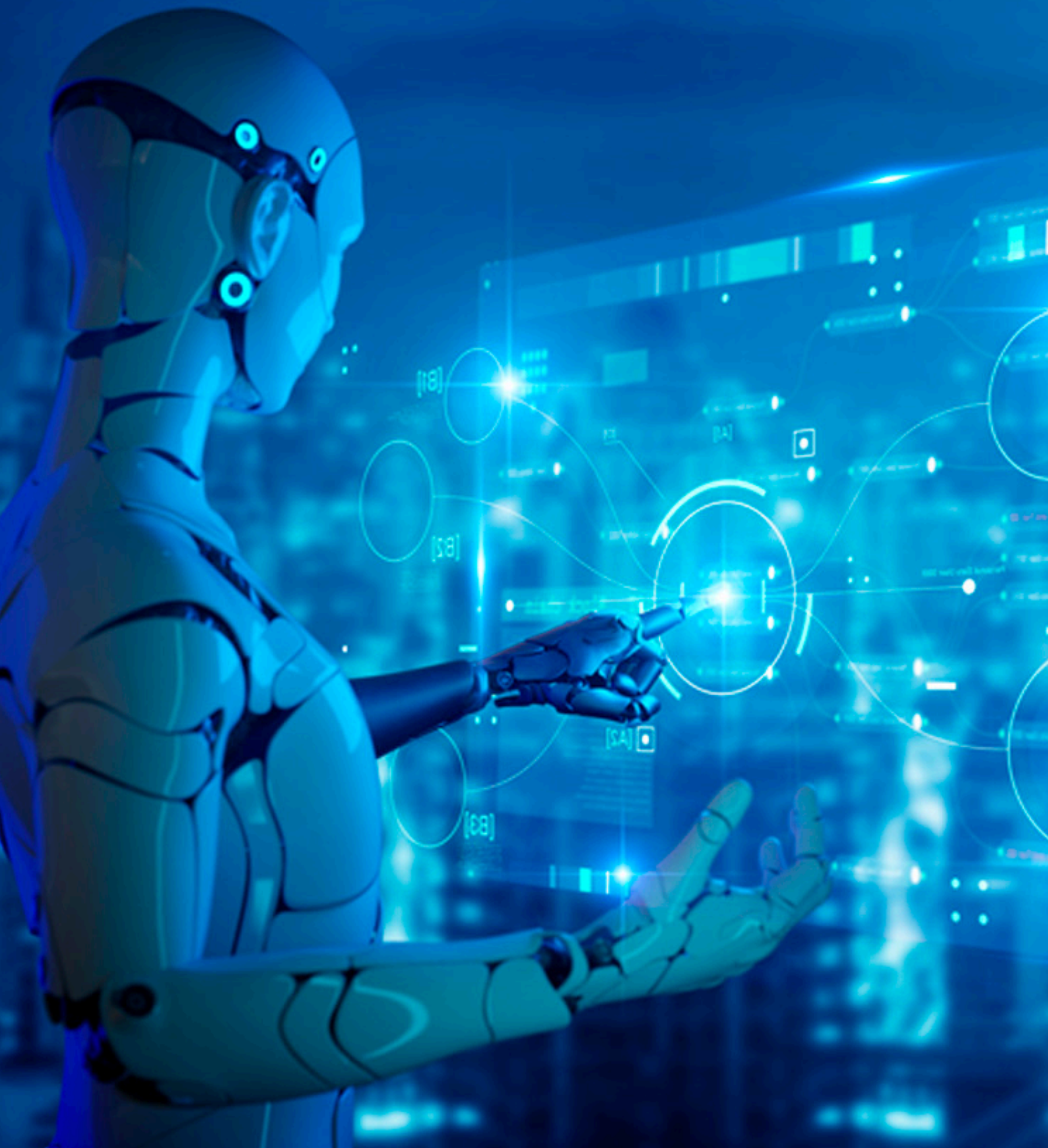
در هر صورت، شبکه کپسولی یک مدل بسیار جالب و در حال حاضر کارآمد است که قطعا در طول زمان بیشتر توسعه یافته و به گسترش بیشتر دامنه کاربرد یادگیری عمیق کمک خواهد کرد.

۶- مراجع:

۱. کیم، ف. یادگیری عمیق در متلب. ۱۳۹۶: نشر نیاز دانش.
2. ویکیپدیا. یادگیری عمیق. Available from: <https://fa.wikipedia.org/wiki/%D8%B8%D8%A7%D8%AF%DA%AF%DB%8C%D8%B1%D8%B8%D8%B9%D9%85%DB%8C%D9%82>.
3. LeCun, Y., LeNet-5, convolutional neural networks. 2013.
4. Matusugu, M.K.M.Y.M.Y.K., Subject independent facial expression recognition with robust face detection using a convolutional neural network. Neural Networks, 2003.
5. Lab, L. Convolutional Neural Networks (LeNet) - DeepLearning 0.1 documentation. 2013; Available from: <http://deeplearning.net/tutorial/lenet.html>.
6. Github. CS231n Convolutional Neural Networks for Visual Recognition. 2017; Available from: <https://cs231n.github.io/convolutional-networks/>.
7. Hawkins, D.M., The problem of overfitting. Journal of Chemical Information and Modeling, 2004.
8. Srivastava, N.C.G.H.A.K.I.S.R.S., Dropout: A Simple Way to Prevent Neural Networks from overfitting. Journal of Machine Learning Research, 2014.
9. Hodgkin, A.L.H., A. F. , A quantitative description of membrane current and its application to conduction and excitation in nerve. The Journal of Physiology, 1952.
10. Cybenko, G.V., Approximation by Superpositions of a Sigmoidal function. Mathematics of Control, Signals, and Systems, 2006: p. 303-314.
11. Snyman, J., Practical Mathematical Optimization: An Introduction to Basic Optimization Theory and Classical and New Gradient-Based Algorithms. 2005: Springer Science & Business Media. .
12. Wu, H., Global stability analysis of a general class of discontinuous neural

نشریه علمی تخصصی برق کام

BARGHCOM MAGAZINE





فصل سوم

مصاحبه

* مصاحبه با ریاست محترم بخش ایران IEEE، پروفیسور وحید احمدی
* مصاحبه با رئیس محترم پارک علم و فناوری دانشگاه تربیت مدرس پروفیسور نادری منش

مصاحبه با ریاست محترم بخش ایران IEEE، پروفیسور وحید احمدی

مصاحبه‌کنندگان: لیلا سادات ساجدی، محمد استوار

تاریخ مصاحبه ۱۴۰۱/۰۸/۱۵

• سلام آقای دکتر، ما سوالاتمون دو بخش داره. بخش اول سوالات عمومی که فضای صمیمی داره و بخش دوم سوالاتی که مرتبط میشه با تخصص‌ها و تجربه‌های کاری تون. در ابتدا میشه خودتون رو معرفی بفرمایید.

سلام، من اول از شما تشکر می‌کنم بابت اینکه در مجموعه دانشگاه فعال هستید. والا معمولا می‌گن خودتون رو معرفی نکنید (با خنده). من متولد سال ۱۳۳۹ در شهر قم هستم. من دکترام رو در رشته اپتو الکترونیک یا الکترونیک نوری (سنسورها و لیزرها و مخابرات نوری و مجموعه ادواتی که در این حوزه قرار گرفته میشه) از دانشگاه کیوتو ژاپن گرفتم و از سال ۱۳۷۳ در دانشگاه تربیت مدرس مشغول شدم. و همانطور که اطلاع دارید به دوره به عنوان نایب رئیس بخش ایران IEEE بودم و هم اکنون هم از سال گذشته به عنوان رئیس بخش ایران IEEE هستم.

• دلیلتون برای انتخاب شغل استادی و تدریس در دانشگاه چه بود؟

خب من به مجموعه دانشگاهی علاقمندی زیادی دارم، چون اون شور، اشتیاق و امید به آینده و فردای بهتر را در مجموعه بچه‌های دانشجو خیلی چشمگیر می‌بینم.

• از سوابق تحصیلی تان برایمان بگویید و چطور شد که رشته مهندسی الکترونیک نوری را انتخاب کردید و معیار تان در انتخاب گرایش چه بود؟

سوال خوبیه! من سال ۱۳۶۹ ژاپن رفتم و آن زمان هنوز بحث مخابرات نوری حداقل تو کشور خیلی مطرح نبود و به طبع منم شناخت زیادی نسبت به حوزه الکترونیک نوری نداشتم. البته به آشنایی نسبی بود ولی اینکه علاقمندی خاصی به حوزه نور باشه، نه نبود، بیشتر با همون بحث‌های عمومی الکترونیک آشنایی داشتم. وقتی ژاپن رفتم، در دپارتمانی که من بودم روی الکترونیک نوری و ساخت المان‌های نوری اپتیکال کامپوزینگ کار می‌کردند و پروژه منم در همین راستا بود. شما همانطور که در مخابرات، مخابرات نوری دارید، کامپیوترهای نسل جدید نیز المان‌هاشون، مثل حافظه یا پردازشگرشون نوری هست. مثلا CPU مجموعه‌ای از المان‌های and و or و ... که این المان‌ها الکترونیکی هستند. حالا بیایید این المان‌ها را نوری در نظر بگیرید. مثلا یک سیگنال نوری دارید، گیت نوری دارید، and و ادوات دیگر نوری دارید. این ادوات رو اصطلاحا اپتو الکترونیک انتگریتد دیوایس یا ادوات مجتمع نوری می‌نامند.

• فعالیت خودتون در دانشکده و توسعه آزمایشگاه الکترونیک نوری میشه بفرمایید؟

زمانی که من اومدم ایران فضای کاربردی در این حوزه در کشور وجود نداشت، البته بحث‌هایی مثل فیبر نوری مطرح بود اما اینکه رشته‌ای در این زمینه وجود داشته باشه مثل الان نبود، و عمدتا بحث‌ها تئوری بود. معمولا وقتی بچه‌ها وارد این رشته

(الکترونیک نوری) می‌شدند، سوالشون این بود که این رشته به چه دردی می‌خوره. ولی خوشبختانه از سال ۱۳۷۳ که من از ژاپن آمدم درس‌های نوری ارائه شد، کم‌کم آزمایشگاه تجهیز شد و پروژه‌های مختلف آمد و هم اکنون آزمایشگاه‌ها الکترونیک نوری دانشکده، یکی از بهترین و شناخته شده‌ترین آزمایشگاه‌های در این حوزه در کشور هست. ما الان در این آزمایشگاه اتاق تمیز داریم، همچنین برخی ادوات نوری مثل سنسورها، LED، لیزر و ... رو خودمون در آزمایشگاه می‌سازیم. الان خیلی از دانشجویهای ما کار تجربی می‌کنند و ترجیح هم میدن بیشتر کار تجربی کنند تا اینکه صرفا کار تئوری انجام بدهند. قبل شرایط تحریم آزمایشگاه وضع خیلی خوبی رو داشت. خب شرایط تحریم در این چند سال اخیر باعث افت آزمایشگاه شد، ولی همچنان ما وضعیت خوبی رو داریم و امیدواریم در آینده بهتر هم شود. غرض اینکه این ذهنیت در بچه‌ها وجود داره که در خارج از کشور کارهای پیشرفته و تجربی خوبی انجام میشه. خب ما همین کارهای پیشرفته و تجربی درجه یک رو با کمک دانشجویهایی مثل خودتون تونستیم توی همین آزمایشگاه الکترونیک نوری دانشکده انجام بدیم. بنابراین یک دانشجو چی می‌خواه!!! وقتی می‌بینه خیلی از کارهای درجه یک و پیشرفته‌ای که در خارج کشور انجام میشه رو، می‌تونه توی یک مجموعه داخلی انجام بده. وقتی دانشجو می‌بینه می‌تونه مقالاتی با ضریب تاثیر بالا بده، Patent بده. الان ما دوتا US-Patent داریم، یک Patent اروپایی داریم و Patent های داخلی هم داریم. تو این شرایط من واقعا افتخار می‌کنم و احساس غرور می‌کنم وقتی می‌بینم دانشجو با علاقمندی میاد، کار می‌کنه، به نتیجه می‌رسه و مهم‌تر از همه احساس توانمندی می‌کنه. البته من منکر مشکلات نمیشم، مشکلات خیلی زیاده.

• آقای دکتر میشه از مشوق‌هاتون در زندگی و کار و به طور خاص تر درس و دانشگاه بفرمایید؟

حقیقتش در دوره دانشجویی‌ام، هم توی فعالیت‌های اجتماعی بودم مثل حضور در انجمن‌ها، و هم در فعالیت‌های علمی حضور داشتم. و اینکه مشوق و انگیزه چی بود؟ حقیقتش از دوره دبیرستان یادمه که ما یک آزمایشگاه درست کرده بودیم و در این زمینه مدرسه هم خیلی همکاری می‌کرد تا بتونیم در این آزمایشگاه کار انجام دهیم (البته دبیرستان ما در شهرستان هم بود). توی خونه هم من یادمه جا نداشتم و من توی راه پله‌ها مجموعه‌ای از لوله‌های آزمایش رو تهیه کرده بودم. و یکبار هم مواد شیمیایی ریخت و تمام مجموعه رو خراب کرد (با خنده). از همون زمان من علاقمندی خاصی داشتم که بتونم توی حوزه‌های آزمایشی و علمی نقش ایفا کنم. در دوره جوانی هم، به عنوان یک جوان علاقه داشتیم یک کاری رو انجام بدیم. خیلی از آمال و آرزوهای که داریم رو بتونیم در کشور خودمون داشته باشیم، خودمون بسازیم، خودمون درگیر بشیم. همیشه در ذهن من یک حالت آرمان‌گرایانه‌ای بود که ما چطور می‌تونیم در صنایع مختلف در سطح دنیا حرف واسه گفتن داشته باشیم. بتونیم در صحنه‌های

برای گسترش ارتباطات با صنعت خیلی زحمت کشیدند. بحث افزایش وینارها را داشتیم، هر چند که اخیرا کمی افت پیدا کرد، اما خود همین فضای ویناری حضور اساتید و محققین برجسته بین‌المللی را برآیمان تسهیل کرد. در مجموعه‌های داخلی نیز کارگاه‌ها و کنفرانس‌ها یک حالت ساختار یافته پیدا کرد. یکی از کارهای اساسی که ما کردیم، ارتباطات با بیرون از مجموعه IEEE بود. مثلا تفاهم‌نامه‌ای را با توانیر به منظور اینکه خود IEEE به طور مستقیم درگیر برخی پروژه‌ها و استانداردها باشد نقش داشته باشد، امضا کردیم. همچنین با شرکت مخابرات تفاهم‌نامه‌ای امضا شده است. قرار شده که تعدادی از پروژه‌ها به IEEE محول بشه. یک کار بسیار اساسی و مهمی که انجام شد، این بود که IEEE در ایران مصوب وزارت علوم نبود و ما در این مدت توانستیم مجوز IEEE را به عنوان یک نهاد زیر مجموعه وزارت علوم بگیریم و این شک و شبهه که شما بلاخره وابسته به کجا هستید، را برطرف کنیم. این مسئله واقعا خیلی زحمت برد ولی خوشبختانه مجوز فعالیت آن گرفته شد و الان IEEE به عنوان یک مجموعه مصوب وزارت علوم و تشکیلات رسمی کشور هست. ثبت کنفرانس‌ها خوشبختانه خیلی خوب و روان شده است. مجموعه زنان در مهندسی خیلی خوب فعال بودند و چندین وینار و سمینار داشتند و من احساسم اینکه حضوری قابل قبول و فعال داشتند. البته ما سرمایه‌گذاری اصلی‌مون روی شاخه‌های دانشجویی هست، چون موتور محرک تمام فعالیت‌هاست. شاخه تربیت مدرس هم همیشه فعال بوده و سال گذشته عنوان شاخه برتر کشور را کسب کرد و امیدوارم که همچنان فعال باشید.

• استاد، از فعالیت‌های اجرایی خودتون مثل حضور در وزارت علوم بفرمایید. و اینکه این چه چیزی باعث که علاوه بر فعالیت‌های علمی وارد عرصه‌های اجرایی هم شوید؟

بله، بازم به نظر نکته مهمی اشاره کردین. من حقیقتش احساسم اینکه توسعه علمی فقط با کار توی آزمایشگاه رخ نمیده. دقت داشته باشید که ابزار توسعه، فقط ابزار آزمایشگاهی نیست. بلکه نظام مدیریت آموزش، نظام مدیریت علمی کشوره. و شاید عواملی که ما باهاش مشکل داریم و با این ظرفیت بالایی که توی مجموعه علمی کشور (جوان‌ها رو داریم، اساتید رو داریم) وجود داره ولی نتونستیم آن طور که باید و شاید نتیجه بگیریم، بحث سیاست‌گذاری علمی کشوره. و من اعتقادم اینکه باید در آن نقش داشته باشیم.

البته بستگی داره، بعضی‌ها دوست دارن صرفا کار علمی و آزمایشگاهی کنند و هیچ عیبی هم نداره ولی من دوس ندارم. ولی من خودم احساس این بوده باید در سیاست‌گذاری علمی نقش داشته باشیم. در همین راستا هم بنده از ابتدای جوانی در

علمی حضور داشته باشیم. این‌ها همه مشوق و انگیزه من برای فعالیت‌هام بود. گاهی با دوستان صحبت می‌کنیم می‌پرسن احيانا قصد مهاجرت ندارید؟ من میگم خب من خارج برم، اونجا هم باید دنبال یک دانشجوی خوب برم. خب وقتی من همین جا دانشجوی خوب دارم چرا برم!! تازه این‌ها بچه‌های خودمون‌اند. یعنی بچه‌های این مملکت‌اند. مال این آب و خاک‌اند. وقتی من روی این بچه‌ها انرژی بذارم و این‌ها فردا خودشون بشن استاد، خب این خیلی حس غرور و عزت به من میده. کما اینکه من الان هر شرکت یا دانشگاه یا اداره‌ای که میرم، می‌بینم که دانشجوی ما شده مثلا معاون دانشگاه یا رئیس یک شرکت، خب آدم احساس افتخار و غرور بهش دست میده. چی از این بهتر وقتی من میرم می‌بینم بچه‌های خودمون حالا خودشون منشاء اثر شدند. باور کنید گاهی اوقات من تو دفترم نشستم یکی زنگ میزنه و میگه دکتر من قبلا دانشجوی شما بودم و الان در فلان قسمت مسئولیت دارم. خب چه چیزی از این بالاتر. حالا شما هزاری هم مال و اموال داشته باشی. هیچ چیزی جایگزین این حس خوب و رضایت بخش نیست.

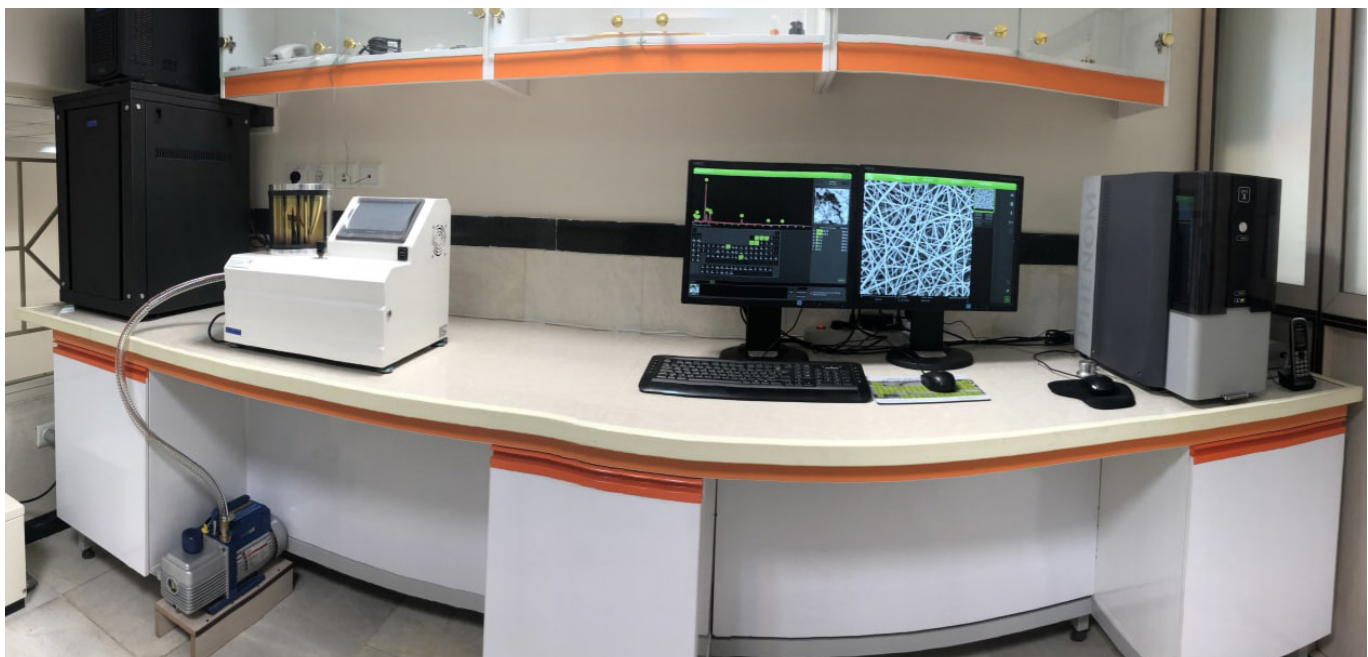
• همیشه نظرتون رو درباره دانشجویان این نسل بفرمایید.

من معتقدم که نسل جوان ما بسیار توانمند و با پتانسیل زیاد است. من خارج هم بودم، به جرات میگم که توانایی جوان‌های ما بسیار بالاست. مثلا همون ژاپنی که من بودم جوانان ژاپنی اشتیاق زیادی به دکترا و کارهای پژوهشی نداشتن و در همان مقاطع لیسانس و فوق لیسانس مشغول به کار می‌شدند، و این هوش و استعداد و علاقه جوان ایرانی به تحقیق و پژوهش واقعا یک نعمت است.

• در کنار شغل شریفتون، چه سرگرمی‌هایی برای اوقات فراغتتون دارید؟ والا حقیقتش من بیشتر مطالعه می‌کنم و یا با خانواده به گردش بریم و یا اینکه با نوه‌هام وقت بگذرونم. اینکه فعالیت خاصی داشته باشم نه. بیشتر همون مطالعه است.

• آقای دکتر همیشه از تجربه حضورتون به عنوان ریاست بخش ایران IEEE بفرمایید. و اینکه بفرمایید در این دوره چه سیاست‌گذاری‌هایی تدوین و عملیاتی شد؟

یکی از مواردی که در این دوره من بسیار روی آن تاکید داشتیم، فعال کردن شاخه‌های دانشجویی بود به طوری بتوانند حضور فعالی در کشور داشته باشند. در همین راستا ما تماس‌های زیادی رو با دانشگاه‌های مختلف انجام دادیم و بعضا دیدارهای حضوری داشتیم که خوشبختانه به طور نسبی فعال‌تر از گذشته شدند. دو بحث کمیته ارتباط با صنعت بود که در این دوره توجه بیشتری به این حوزه شد. ما از یکی از همکاران عزیزمان در صنعت، جناب آقای مهندس ریاضی دعوت کردیم و انصافا در این دوره





است. ما اصلا این‌ها رو تازه شروع کردیم. موقعی که ما اومدیم خیلی از این‌ها نه آیین‌نامه‌هاشون تدوین شده بود نه برنامه‌ریزی‌هاشون انجام شده بود. مثلا همین صندوق نوآوری و شکوفایی در دولت دهم تصویب شد ولی عملا نتونست کاری پیش بره چون بودجه‌اش تامین نشد و طبعاً هم کاری صورت نگرفت. در دولت بعد، ما آیین‌نامه‌ها و سازوکارهای مدیریتی که پول بیاد تو صندوق نوآوری و شکوفایی را تدوین کردیم. قوانین و آیین‌نامه‌های بین صندوق و وزارت علوم و همچنین معاونت علمی و فناوری را تنظیم کردیم. اگر بخوام به طور خلاصه بگم چه کاری در راستای توسعه علمی کشور انجام شد. یک توسعه پارک‌های علمی و فناوری و تدوین قوانین‌شون و نحوه ارتباط‌شون با استانداری، با دانشگاه و مجموعه سازوکاری که بتواند این‌ها رو با هم هماهنگ کند. مثلا تعداد پارک‌ها زیاد شد. یا اینکه پارک‌ها فقط خصوصی باشند یا دولتی یا دستگاه‌های دولتی دیگه مثل وزارت‌خانه‌های دیگه هم می‌توانند پارک داشته باشند یا همشون ذیل وزارت علوم باشند. خب همه اینها خیلی وقت گرفت تا اینکه همه دسته‌بندی شد و در زمانی که من در معاونت بودم تعداد پارک‌ها به بیش از ۴۰ رسید و الان فک می‌کنم تعدادشون بیشتر هم شده است. خود همین مراکز رشد و ارتباط با صنعت دانشگاه توسعه پیدا کرد. قراردادهایی که با وزارت‌خانه‌های دیگه مثل وزارت نفت و وزارت صنعت بسته شد. خب این‌ها قبلا خیلی پراکنده بودند. خوشبختانه پروژه‌های خیلی بزرگ بین مجموعه دانشگاه‌ها و وزارت‌خانه‌ها مثل وزارت نفت به تصویب رسید. همچنین بحث‌های فرصت مطالعاتی در صنعت، یکی از کارهای حساسی بود که صورت گرفت. معمولا جوانی که تازه دکترا گرفته و میاد که جذب دانشگاه بشه، هر چند پروژه‌اش مرتبط با صنعت بوده باشه ولی نیازه که دستی بر صنعت داشته باشه که یک نگرش و دید درست از صنعت پیدا کنه. که در این راستا آن زمان آیین‌نامه‌های فرصت‌های مطالعاتی در صنعت تصویب شد و الان هم در شروط جذب هیئت علمی تاکید شده که فرد متقاضی باید یک

انجمن‌ها و تشکلات حضور داشتیم. به عنوان مثال در دوره دانشجویی در کمیته‌های برنامه‌ریزی و فنی مهندسی ستاد انقلاب فرهنگی به عنوان دانشجو می‌رفتیم و سعی می‌کردیم حضور فعالی رو در برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری علمی داشته باشیم. بعد هم به عنوان معاون پژوهشی مرکز تحقیقات علمی کشور بودم. یه مدتی هم توی معاونت پژوهشی سازمان انرژی اتمی حضور داشتیم. بعد هم مدتی به عنوان معاون پژوهشی وزیر علوم بودم. عمده نگرش من به خصوص در دوره اخیر این بود که نظام علمی کشور باید متحول بشه. توی این دوره هم بحث کارآفرینی و نظام دانشگاهی‌مون از این حالت فقط آموزشی و پژوهشی صرف به سمت نظام آموزشی اصطلاحاً نسل جدید دانشگاه‌ها و آموزشی دنیا بره. در نظام جدید دانشگاه، دانشگاه‌ها صرفاً یک مجموعه جزیره‌ای و جدا شده از جامعه نیستند، بلکه باید درگیر با مسائل جامعه باشند. و درگیر با مسائل جامعه باشند، به معنای حل مشکلات جامعه در همه زمینه‌ها اعم از حل مشکلات علمی، صنعتی، اقتصادی، اجتماعی و غیره است. در شرایط وقتی یک هیئت علمی یا دانشجو وارد دانشگاه میشه با این دید نباشه که من یک مجموعه محفوظاتی رو یاد می‌گیرم و دانشگاه هم یک سری آدما رو داره تربیت می‌کنه که این‌ها بعداً میشن یه سری آدمایی که یه سری چیزا بهشون یاد دادن ولی به درد هیچ جایی از جامعه نمی‌خورند. بنابراین ما باید نظام دانشگاهی‌مون رو متحول کنیم. توسعه پارک‌های علم و فناوری، توسعه مراکز رشد، توسعه ارتباط با صنعت این‌ها چیزایی بود که در این دوره ما روش خیلی سرمایه‌گذاری کردیم و انصافاً هم تغییر و تحول نسبی پیدا کرد. حداقل بذر فرهنگش در کشور کاشته شد. البته من نمیگم همش محقق شد و قطعاً هم محقق نشد، هنوز خیلی فاصله داریم.

• آقای دکتر همیشه به صورت دقیق‌تر سیاست‌گذاری های علمی صورت گرفته تبیین کنید؟

ببینید مهم‌ترین رکن توسعه علمی، داشتن برنامه و نظام قانونی و بودجه و مدیریتی



دوره فرصت مطالعاتی در صنعت برود. از این مجموعه کارها بسیار انجام شد. برای مثال بحث بودجه‌های پژوهشی بود. خب یک دوره‌ای اعتبارات پژوهشی خیلی زیاد شد و وضع آزمایشگاه‌ها در کشور رونق گرفت و شبکه‌های آزمایشگاهی شکل گرفت.

• آقای دکتر همیشه با ذکر یک مثال اهمیت این سیاست‌گذاری‌های علمی رو روشن‌تر کنید؟

خب قبلا می‌آمدیم به اساتید می‌گفتیم بیا پروژه با بیرون دانشگاه بردار. می‌گفتند بابا ول کن، ما که کاری به صنعت نداریم ما همون درس و کار و بحث‌های خودمون رو داشته باشیم. خب الان شما به مجموعه دانشگاه‌های بزرگ دنیا مثل استنفورد، کالیفرنیا، برکلی و غیره نگاه کنید، خیلی از این دانشگاه‌ها علاوه بر این که یک مرکز علمی‌اند یک مرکز اقتصادی بزرگ‌اند. مثلا همین دانشگاه استنفورد به عنوان یک نهاد اقتصادی رتبه یازدهم را در دنیا دارد.

ما پیش‌تر تو ذهن‌مون این بود که دانشگاه باید فقط مقاله بده، آزمایشگاه داشته باشه. البته این موارد رو باید حتما داشته باشه. خیلی از دوستان ما تو ذهن‌شون این هست که این حرکت توسعه علمی ممکنه منجر به تضعیف علم در نهاد علمی مثل دانشگاه بشه. من قبول دارم که اگر نسنجیده برنامه‌ریزی بشه ممکنه تبعاتی رو هم به همراه داشته باشه. مثلا فرض کنید در این شرایط، دانشگاه صرفا به مسائل مالی و سرمایه‌گذاری بپردازد، خب قطعاً از مسیر خود و آن توسعه علمی مد نظر منحرف شده است. ولی مسیری درست این است که، دانشگاه باید نهادی شود که در همه عرصه‌های مختلف مثل علمی، اقتصادی، اجتماعی و حتی سیاسی نقش آفرینی مؤثری داشته باشه.

• استاد به نظر تون ارتباط دانشگاه تربیت مدرس با صنعت و فضای بیرون از دانشگاه چگونه است؟

ببینید این ارتباط خوب هست ولی مطلوب نیست. مثلا در دانشکده برق اساتید عموماً خودشون با صنعت در ارتباط‌اند و پروژه‌های ارتباط با صنعت رو به دانشگاه میارن. اما اینکه این ارتباط ساختار یافته باشه متأسفانه نیست. یک جلسه‌ای هم در مجموعه دانشگاه بود که من اونجا هم عرض کردم: «این رو توجه داشته باشید یکی از اشکالاتی که ما داریم و آن اشکال خود صنعت هم هست. یعنی صنعت علی‌رغم اینکه از دانشگاه و طرح‌های آن استقبال می‌کند اما در عمل و وقتی که می‌خواهد بودجه بگذارد، معمولاً عقب می‌کشد» البته استثنا هم هست. بنابراین خلاء صنعت ما این که با صنعت دنیا یکمی فاصله داره. صنعت ما صنعت نسل قدیمه و مشکل داره. یعنی اینطوری نیست که استقبال جدی بشه از کارهای تحقیق و توسعه بشه و یا اینکه دفاتر تحقیق و توسعه را مرکز خودشون ایجاد کنند. البته الان خوشبختانه فرهنگش آرام آرام داره شکل می‌گیره، مقدماتی صورت گرفته و بعضاً برخی جاها، پروژه‌های خوبی انجام شده است. مثلا پروژه‌های خوبی بین دانشگاه‌ها و وزارت نفت و صنعت تعریف شده است. پروژه‌ها هست ولی مطلوب نیست چرا که هنوز صنعت ما مشکل داره و ما هنوز فاصله داریم. اون رغبتی که باید باشه تا صنعت سرمایه‌گذاری کنه هنوز وجود ندارد.

• آقای دکتر در این رابطه ابهامی برای من ایجاد شد، میشه این موضوع رو برایمان تبیین کنید. صنعت مثل دانشگاه نهاد عمدتاً علمی نیست و از طرفی صنعت، حساب سود و زیانش رو می‌کنه. یعنی اینکه ممکنه دانشگاه پیشنهاداتی به صنعت بده و آن‌ها استقبال کنند، ولی حس می‌کنم اون حساب سود و زیان هست که براشون تصمیم‌سازه نه چیز دیگری؟

بله این درست هست. صنعت برای اینکه بره به سمت تحقیق و توسعه باید یک فضای رقابتی داشته باشه. شما توجه کنید در دنیا صنعت رقابتی هست. صنعتی که دولتی هست، چون فضای رقابتی در آن وجود نداره عموماً انگیزه‌ای هم برای کار تحقیق و توسعه نداره. هر جایی وقتی فضای رقابتی نباشه، هیچ وقت انگیزه‌ای برای توسعه و بهبود پیش نیامد. شما مثلاً کشور کره جنوبی رو ببینید بالای ۴ درصد از GDP رو برای تحقیق و توسعه می‌ذاره در حالی این رقم برای کشور ما حدود نیم درصد هست. البته قانون بین ۳ تا ۴ درصد رو تعیین کرده ولی اون چیزی که محقق شده همین مقدار

من معتقدم که نسل جوان ما بسیار توانمند و با پتانسیل زیاد است. من خارج هم بودم، به جرأت می‌گم که توانایی جوان‌های ما بسیار بالاست. مثلاً همون ژاپنی که من بودم جوانان ژاپنی اشتیاق زیادی به دکترا و کارهای پژوهشی نداشتن و در همان مقاطع لیسانس و فوق لیسانس مشغول به کار می‌شدند، و این هوش و استعداد و علاقه جوان ایرانی به تحقیق و پژوهش واقعا یک نعمت است.

می‌گیرد هم مهم است. چون معمولا ما در ایران پروژه‌های جزیره‌ای مون خیلی زیاده ولی تجربه پروژه‌های بزرگ رو نداریم. مثلا سرن یک پروژه بین‌المللی هست که افراد از همه دانشگاه‌ها و صنایع مختلف دنیا در آن حضور دارند. بنابراین اگر کشوری بخواد در عرصه‌های علمی نقش آفرینی کنه و موثر باشه، باید پروژه‌های بزرگ رو تعریف کنه. پروژه‌های بزرگ نقش تنه اصلی یک درخت را دارند و پروژه‌های کوچک حکم شاخ و برگ‌ها را دارد و اصلا هم نباید متوقف شود. خب ما در یک دهه اخیر این پروژه‌های بزرگ را تعریف کردیم مثلا در زمانی که مسئولیت داشتیم خیلی تلاش کردیم تا توانستیم پروژه رصدخانه را یک پروژه ملی کنیم. و آن را در شورای عتف به تصویب رساندیم. پروژه‌های دیگر هم بود. ولی در آن‌ها خیلی سرمایه‌گذاری نکردیم و تزریق بودجه به آن‌ها متوقف شد. من به شخصه نظرم این که باید تعداد پروژه‌های بزرگ را بیشتر کنیم. چون این باعث میشه که مجموعه‌های همکار علمی و صنعتی رو کنار هم داشته باشیم. مثلا فرض کنید پروژه A بین دانشگاه‌های شریف، تهران، سهند و فردوسی تقسیم شده در تحقق این پروژه این مجموعه‌ها با هم همکاری و هم‌افزایی دارند. این خیلی مهمه که ما بتونیم کنار هم هم‌افزایی داشته باشیم، تا اینکه من توی آزمایشگاه خودم یک پروژه کوچک داشته باشم. و ما این تجربه رو با شروع پروژه‌های بزرگ شروع کردیم. و علی‌رغم اینکه ما با پروژه‌های بزرگ از لحاظ‌هایی مشکل داشتیم، اما من اعتقادم این بود که این پروژه‌ها از این جهت که می‌توانند شبکه علمی بین خودشون و بخش‌های مختلف دانشگاه و صنعت ایجاد کنند و در خروجی آن پروژه‌ها همه ذینفع باشند، بسیار مهم و حائز اهمیت هست. بنابراین به نظرم پروژه‌های بزرگ علمی از چند جهت مهم است. یک ایجاد شبکه‌های علمی، دو معمولا پروژه‌های بزرگ، خروجی بزرگی هم دارد و به راحتی از بین نمی‌رود. مثلا در یک آزمایشگاه، وقتی دانشجو کارش تمام شد و رفت، کار آزمایشگاه هم متوقف میشه. اما در پروژه‌های بزرگ به دلیل اینکه افراد و نهادهای بسیار بیشتری نسبت به یک آزمایشگاه در آن حضور دارند و درگیر هستند، به راحتی فعالیتش

هست. بنابراین یکی از کارهایی که انجام شد این بود که ما از مجاری قانونی برای صنعت انگیزه کار تحقیق و توسعه ایجاد کنیم. مثلا وقتی صنعتی میاد و در حوزه تحقیقات سرمایه‌گذاری می‌کنه از یک سری معافیت‌های مالیاتی برخوردار بشه. یک سری قوانین هم باید صنعت را اجبار کند. مثلا این مقدار از درآمدت رو سالانه باید خرج توسعه و تحقیق کنی. شما شرکت نوکیا را ببینید یک زمانی پیش‌تاز تلفن همراه در دنیا بود اما به دلیل اینکه به اندازه کافی در حوزه تحقیق و توسعه سرمایه‌گذاری نکرد از شرکت سامسونگ عقب افتاد، به طوری که نوکیا خرد و تقریبا از این صحنه حذف شد. چرا؟ چون جنگ رقابتی در دنیا وجود دارد. و الان شرکت سامسونگ در حوزه تلفن همراه پیش‌تاز هست. توی ایران خودمون هم تا بود که پیکان بود بعدش هم پراید اومد. شما روی همین پراید هیچ تحقیق و توسعه‌ای نکن، ملت همچنان تو صف خرید هستند. من مثال خودرو را می‌زنم چون نسبت به صنایع دیگر ملموس‌تر هست. حالا خوشبختانه این شرکت‌های دانش‌بنیان فضای خوبی را برای کارآفرینی و نوآوری دانشجویان و اساتید فراهم کرده است. الان یک جوان ما یا استاد ما با این فرهنگ نوآوری و کارآفرینی این احساس را می‌کند که می‌تواند حضور نسبی در فضای نوآوری و کارآفرینی داشته باشد. و این فرهنگ کار بزرگی بود که صورت گرفت.

• آقای دکتر در سال‌های گذشته همانطور که مستحضرد برنامهریزی‌هایی برای انجام پروژه‌های کلان علمی مثل بهبود استخراج نفت از چاه‌های نفت و یا چشمه نور در کشور انجام شد. به نظر شما این چنین طرح‌هایی تا چه میزان می‌توانند در رشد علمی کشور نقش ایفا کنند؟

ببینید در دنیا مرسوم هست که یک سری پروژه‌های بزرگ را تعریف می‌کنند که بتوانند شاخه‌های علمی تولید کنند. یعنی چی؟ مثلا همین پروژه بهبود استخراج نفت و یا چشمه نور، خود پروژه‌اش فقط مهم نیست، بلکه شبکه علمی که کنارش شکل



خواهی شد. بنابراین یک دانشجو باید همانطوری که به کار علمی علاقمند و در جهت رشد علمی خودش تلاش می‌کند باید در تمام حوزه‌های دیگر هم تلاش کند که رشد کند، حالا سرگرمیه، مسائل فرهنگی و غیره است. یکی از مشکلاتی که من در حال حاضر می‌بینم عدم مطالعه کافی است. حدود چهل سال پیش، ما تا پاسی از شب رو به مطالعه کتاب‌هایی در حوزه‌های فرهنگی، تاریخی، دینی، اجتماعی و سیاسی می‌پرداختیم. این مطالعات سبب شکوفایی ذهن آدم و قدرت فکری در همه ابعاد می‌شه. آدمی که مطالعات جانبی نداره، میاد آزمایشگاه، آزمایشش رو می‌کنه. و وقتی ازش سوالی میشه، تمام بنیاد ذهنی‌اش بهم می‌ریزه. بنابراین من توصیه‌ام به دانشجویان اینکه اولاً قدرت و توانمندی، روحیه خودباوری و اعتماد به نفس رو در خودشون تقویت کنند. من به جرات می‌گم، بچه‌های ایرانی توانمندی و پتانسیل بسیار بالایی دارند و کارهایی که می‌کنند هیچ کمی کارهای دیگران ندارند. دوما سعی کنند در حوزه‌های علم و فرهنگ و غیره حضور فعال و موثر داشته باشند.

• مصاحبه شیرینی بود، استاد خیلی ممنونیم که وقتتون رو در اختیار ما قرار دادین.

خیلی ممنونم، منم برایتان آرزوی توفیق و سربلندی دارم. ان شاء الله موفق باشید.

متوقف یا حذف نمی‌شود. مثلاً پروژه بهبود استخراج نفت از چاه‌های نفت، پروژه‌ای است که بین ۱۲ دانشگاه تقسیم شد. یا پروژه‌های دیگری در صنعت نیز به همین صورت. به طور خلاصه بخوام بگم، پروژه‌های علمی کلان می‌توانند شبکه علمی بین بخش‌های مختلف علمی و صنعتی کشور ایجاد کنند و این حالت جزیره‌ای کار کردن رو هم از دانشگاه هم از صنعت بگیره، به علاوه این که می‌تونه شبکه‌ای بین آزمایشگاه‌های کل کشور ایجاد کنه. مدیریت چنین پروژه‌هایی واقعا کار سختیه، شاید برای شاید خیلی ملموس نباشه. مثلاً یک قسمت از پروژه A داره در دانشگاه اهواز انجام میشه، یه قسمت دیگه‌اش تو دانشگاه شریف داره انجام میشه. این‌ها مدیریت پروژه خیلی سختی رو داره. مثلاً حواستون باشه که قسمت‌های مختلف یک پروژه که به جاهای متفاوت سپرده شده، هم تراز پیش بره. یا مثلاً خروجی فلان قسمت باید بره تو ورودی فلان قسمت. پروژه‌های علمی کلان این ویژگی را دارند که شبکه علمی ایجاد می‌کنند.

• آقای دکتر جایگاه علمی ایران را در سطح منطقه و دنیا چطور ارزیابی می‌کنید؟ و چه راهکاری برای رشد علم و فناوری در ایران پیشنهاد می‌کنید؟ سهم دانشجویان در این راهکار را چقدر است؟

ما علی‌رغم اینکه کاستی‌های زیادی که در بخش‌های مختلف مثل بودجه‌های پژوهشی، تجهیز آزمایشگاه‌ها، مواد و مسائل دیگری که داریم، جایگاه نسبتاً خوبی داریم. از نظر سطح مقالات رتبه ۱۴ یا ۱۵ ام هستیم. البته به نظرم این آمار و ارقام ملاک نیست. در کشورهای توسعه یافته میان بگن چون ما رتبه مقالاتمان مثلاً ۱۲ هست پس از نظر علمی بالاتریم. آن‌ها از طریق مدیریت و سیاست‌گذاری علمی و همچنین توسعه زیر ساخت‌های علمی و فنی، سطح علم و فناوری را در کشورشون توسعه میدن. در نتیجه خود به خود رتبه مقالاتشان هم بالا میاد. الان در سطح منطقه رقابت خیلی شدید است و کشورهای منطقه در زمینه توسعه علمی خیلی سرمایه‌گذاری می‌کنند. یعنی دیگه رقیب‌های ما دیگه رقیب‌های ساده نیستند. رقیب‌های سرسختی‌اند. و ما باید صحنه علمی را هم مثل صنعت رقابتی نگاه کنیم. یعنی به این صورت که ما در عرصه مقاله و شاخص‌های مرتبط با آن مثل ضریب تاثیر و تعداد ارجاعات و H-Index جایگاه خوبی داریم. واقعا هم اساتید و هم دانشجویان مایه می‌گذارند و کارهای ارزشمندی را مقاله می‌کنند. در عرصه‌های علمی دیگه مثل شرکت‌های دانش‌بنیان، در حوزه کارآفرینی و نوآوری، باید بیشتر سرمایه‌گذاری بشه. البته ما نسبت به این قضیه جوانیم. ما باید این احساس را برای جوانان و دانشجویان مان فراهم کنیم که اعتماد به نفس داشته باشند. برای مثال یک دانشجو باید بگه که من در همین مجموعه علمی می‌تونم رشد کنم و نقش آفرینی کنم. یعنی وظیفه دانشگاه اینکه فضای اعتماد به نفس، خودباوری، خوشبینی و آرامشی که دانشجویان بتوانند با خیال آسوده کار و فعالیت کنند. برای محققین، اساتید و دانشجویان مان فضای ارتباطات بین‌المللی باید فراهم شود. چون جامعه علمی نمی‌تونه جزیره‌ای کار کند. و در این زمینه IEEE خیلی نقش داشته و دارد و می‌تواند با توجه به ظرفیت‌هایی که دارد این ارتباطات رو به خوبی شکل بدهد. مثلاً با همین ارتباطات بین‌المللی که در IEEE داریم به راحتی توانستیم اساتید برجسته علمی از سراسر دنیا و حتماً از کشور آمریکا دعوت کنیم. در مجموع، رونق علمی همراه با فضای مناسبی است که ما باید برای جامعه علمی (چه برای محققین، چه برای اساتید و چه برای دانشجویان) ایجاد کنیم. یعنی اینکه جامعه علمی باید امنیت خاطر نسبت به اشتغال داشته باشد، به منابع علمی دسترسی داشته باشد. این‌ها جز ابزار اصلی کشوری است که می‌خواهد در حوزه علم و فناوری در منطقه اول باشد و در دنیا حرف برای گفتن داشته باشد.

• برای حسن ختام این مصاحبه چه توصیه‌ای برای دانشجویان دارید؟

من همیشه به دانشجویان می‌گم که سعی کنید، همه جانبه‌نگر باشید. نه درس خوان صرف و نه صرف حضور در فعالیت‌های اجتماعی و سیاسی و غیره. ببینید بشر، هم احساسات داره و هم عقل داره. عقلش نیاز به کار علمی داره و احساساتش هم نیاز به ارتباطات و روابط اجتماعی و عاطفی داره. یعنی اگر شما نتونی با دوستت حرف بزنی، نتونی ارتباطات عاطفی و اجتماعی داشته باشی، معمولاً یک آدم گوشه گیر

اگر کشوری بخواد در عرصه‌های علمی نقش آفرینی کنه و مؤثر باشه، باید پروژه‌های بزرگ رو تعریف کنه. پروژه‌های بزرگ نقش تنه اصلی یک درخت را دارند و پروژه‌های کوچک حکم شاخ و برگ‌ها را دارد و اصلاً هم نباید متوقف شود. خب ما در یک دهه اخیر این پروژه‌های بزرگ را تعریف کردیم مثلاً در زمانی که مسئولیت داشتیم خیلی تلاش کردیم تا توانستیم پروژه رصدخانه را یک پروژه ملی کنیم. و آن را در شورای عتف به تصویب رساندیم.

مصاحبه با رئیس محترم پارک علم و فناوری دانشگاه تربیت مدرس پروفیسور نادری منش

مصاحبه‌کنندگان: لیلا سادات ساجدی، بشیر فعله‌گری

تاریخ مصاحبه ۱۴۰۱/۰۸/۱۵

• با سلام آقای دکتر لطفا خودتون رو معرفی بفرمایید و از سوابق تحصیلی تان برایمان بگویید.

به نام خدا و عرض سلام خدمت مخاطبان عزیز. من در سال ۱۳۳۶ در محله‌ای در خیابان مدرس اصفهان متولد شدم و تا کلاس نهم در دبستان مشتاق و سپس دبیرستان ادب اصفهان تحصیل کردم. تقریباً در تمام این دوران شاگرد اول کلاس بودم. البته من اهل ورزش و بازی هم بودم که همیشه توسط تعدادی از معلمان مورد اعتراض واقع می‌شدم. چون اعتقاد آن‌ها بر این بود که دانش‌آموز درس‌خوان نباید در تیم فوتبال مدرسه و غیره حضور داشته باشد. مخصوصاً معلم ریاضی ما اینگونه فکر می‌کرد. در سال ۱۳۵۰ همراه خانواده به تهران مهاجرت کردیم و سه سال آخر دبیرستان را در تهران گذراندم. کلاس دهم را در مدرسه‌ی کمال، در نارمک تحصیل کردم. چون مدرسه کمال یک مدرسه مذهبی بود، توسط دولت وقت تحت فشار بود. معلم هندسه ما در یک جایجایی اجباری، شهید رجایی شد که از خاطرات خوش بنده آشنایی با ایشان است. مدتی بعد این مدرسه بر اثر فشار ساواک تعطیل شد و دو سال آخر دبیرستان با پیشنهاد یکی از همکلاسی‌ها به دبیرستان هدف شماره یک رفتم. البته این دوران همزمان با بحث‌های سیاسی دانشجویی بود و بخش زیادی از ذهن ما را معطوف به مباحث سیاسی کرد و تا سال‌ها بعد نیز ادامه یافت. سپس به دانشگاه شریف رفتم. چون برادر بزرگتر من هم پیشتر در همین دانشگاه و در رشته مهندسی شیمی تحصیل کرده بود و سپس برای ادامه تحصیل به آمریکا رفته بود، من نیز رشته‌ی مهندسی شیمی را انتخاب کردم. همچنین من علاوه بر کنکور معمول، در کنکور اعزام بانک مرکزی به انگلستان هم شرکت کردم، که سالانه تنها ۱۰ تا ۲۰ نفر را پس از آزمون‌های کتبی و مصاحبه شفاهی و آزمون زبان، گزینش و اعزام می‌کردند. گزینش بنده به دلیل سابقه مدرسه مذهبی، حدود دو ماه طول کشید. بعد از دو ماه اعلام کردند که واجد شرایط دریافت بورس هستم. از طرف دیگر به دلیل وضعیت سیاسی و درگیری‌های شدید در دانشگاه بین ساواک و دانشجویان، به مرور تصمیم به پذیرش بورس بانک مرکزی گرفتم. اما به توصیه برادر بزرگترم برای ادامه تحصیل پس از دو ماه با هزینه شخصی به آمریکا رفتم و در رشته مهندسی برق از دانشگاه کالیفرنیا در سانتا باربارا پذیرش گرفتم. خوشبختانه چون در امتحان آزمون زبان قبل از گرفتن دیپلم شرکت کرده بودم و نمره بالای ۹۰ از ۱۰۰ اخذ کرده بودم، دانشگاه بدون درخواست نمره تافل به من پذیرش داد. یک سال و نیم بعد، برای رشته‌ی سازه دانشگاه برکلی کالیفرنیا اقدام کردم و در برکلی پذیرفته شدم. پس از دو سال تحصیل در برکلی و نزدیک شدن به انقلاب اسلامی در سال ۵۷، طبعاً من هم به عنوان یک دانشجو با نگرش‌های مذهبی، ذهن‌ها درگیر شرایط سیاسی کشور شده بودم و دچار یک بحران ذهنی شدم که آیا مهندسی برای آینده کشور خوب است؟ یا علوم انسانی؟ یا پزشکی؟ (که خانواده شدید متقاضی آن بود). به همین دلیل دروسی اختیاری در فلسفه، اقتصاد، منطق و حتی عرفان و... گرفتم و خوشبختانه در برکلی همه این دروس با ارائه اساتید برجسته وجود داشت. در نهایت رشته بیوفیزیک به عنوان یک رشته پیراپزشکی برای دوره کارشناسی انتخاب کردم و مدرک کارشناسی را در این رشته گرفتم و کم‌کم به خود بیوفیزیک علاقه‌مند شدم و در بیوفیزیک ماندگار شدم. همچنین دوره مشترک دانشگاه برکلی و علوم پزشکی کالیفرنیا در سانفرانسیسکو برای در دکتری پیوسته قبول شدم. استاد راهنمای بنده، مدیر گروه و عضو هیات علمی بیوفیزیک و شیمی دارویی دانشگاه علوم پزشکی سانفرانسیسکو بود. موضوع رساله من نیز، مهندسی پروتئین و تعیین ساختار آن توسط ان ام آر او بعدی بود که تازه در آن زمان داشت شکل می‌گرفت. البته این پروژه مشترکی بین گروه ما و کمپانی جنین تک بود (اولین کمپانی بیوتک در شمال کالیفرنیا و جزو اولین‌ها در دنیا). خوشبختانه خروجی کار در مجله معروف ساینس و مجله بیوشیمی آمریکا و همچنین فصل یک کتاب که ناشر آن انجمن توسعه علم در آمریکا بود، به چاپ رسید.

• لطفا درباره‌ی بهترین اساتیدتون که مشوق و راهنمای شما بودند بفرمایید؟ یکی از معلمین تاثیرگذار من، شهید رجایی، معلم هندسه‌ی ما در دبیرستان بود که نوع برخوردش بسیار متفاوت و ارزنده بود. در آمریکا نیز اساتید خوبی بر سر راه من قرار گرفتند و در این مسیر من را بسیار همراهی کردند.

• نظرتان درباره شیوه‌ی آموزشی و شرایط تحصیلی در حال حاضر را بفرمایید و اینکه نسبت به قبل این شرایط رو چطور ارزیابی می‌کنید؟ همراه با روند دنیا، ما هم قطعاً نسبت به قبل پیشرفت داشته‌ایم و دانشگاه‌ها و دبیرستان‌های ما نسبت به گذشته تغییرات اساسی کرده‌اند. زمانی که من در آمریکا بودم در اوایل انقلاب در ایران بین نخبگان وقت و در شورای انقلاب اسلامی، داشتن دوره‌های ارشد و دکترا در علوم پایه و مهندسی یکی از بحث‌های داغ بود و بسیاری اعتقاد داشتند ما توان راه‌اندازی این مقاطع را نداشته و باید دانشجویان پس از کارشناسی برای ادامه تحصیل به خارج سفر کنند و حتی تاسیس دوره‌های دکتری و کارشناسی ارشد دور از ذهن بود. اما با تلاش همه‌ی دانش‌آموختگان توانستیم این امر را محقق کنیم. اکنون شاهد آن هستیم که سطح آموزش کشور از دوره‌ی ابتدایی تا دکتری پیشرفت شگرفی داشته است. در حال حاضر، سطح آموزشی ایران به مرتبه‌ای رسیده است که فارغ‌التحصیل دانشگاه‌های غیر دولتی ما هم که معمولاً سطح پایین‌تری از دانشگاه‌های برتر کشور دارند در بهترین دانشگاه‌های جهان مشغول دوره‌های دکتری و یا دوره‌های پسا دکترا هستند. همین امر نشان می‌دهد که امروزه دانشجویان به راحتی می‌توانند در دانشگاه‌های برتر دنیا پذیرفته شوند، اما در گذشته پذیرش دانشجویان به آسانی و سهولت الان ممکن نبود. پس سطح علمی کشور به معنی کلان بالا رفته است. اما هم‌زمان در دنیا هم پیشرفت علم سرعت بالایی دارد، بنابراین این روند در کشور باید تداوم و توسعه داشته باشد.

• میشه از چگونگی ارتباط و آشنایی حضرت‌تعالی با صنعت و همچنین سابقه فعالیت‌های اجرایی تون بفرمایید.

موضوع رساله دکتری من بررسی ساختار و فعالیت پروتئین، یعنی طراحی پروتئین جدید و بررسی ساختار آن بود. در این رابطه با روش‌های تجربی مانند مهندسی پروتئین و ان ام آر او همچنین نرم‌افزارهایی مانند امبر و داکینگ آشنا شدم. بحث‌های طراحی هوشمند دارو جزو مباحث گروه ما بود. زیرا استاد راهنمای بنده استاد گروه شیمی دارویی هم بود و جزو اولین کسانی بودیم که روی این موضوع کار می‌کردیم. وقتی ایران آمد، قدم این بود که در صنعت این روش را پیاده‌سازی کنیم و با مدیرعامل دو تا از شرکت‌های بزرگ دارویی در تهران گفت‌وگو کردم اما دریافتم هنوز آمادگی و شرایط لازم در ایران و صنعت دارو مهیا نیست. همین امر باعث شد من تمرکز را بر راه‌اندازی رشته‌های بیوشیمی و بیوفیزیک در دانشگاه تربیت مدرس بگذارم. البته اولین دانشجوی دکتری من، خانم دکتر طاهما نژاد، دانشجوی دکتری شیمی دارویی دانشگاه تهران بود و مقالات او در مجلات معتبر چاپ شد و جزو اولین کسانی بود که یک دوره‌ی شش‌ماهه را نیز در آلمان گذراند. اولین دانشجویان کارشناسی ارشد من نیز در رشته بیوفیزیک در مرکز تحقیقات بیوشیمی و بیوفیزیک دانشگاه تهران (IBB) بود. اولین دانشجوی تربیت مدرس بنده نیز از گروه علوم گیاهی بود که سپس برای ادامه تحصیل در مقطع دکترا در رشته ژنتیک به انگلستان رفت و الان یکی از محققان برجسته در دانشگاه فردوسی مشهد می‌باشد. وقتی به ایران آمدم با پیشنهاد معاون آموزشی وقت وزارت علوم آن موقع که از دوستان بنده از دوران دانشجویی در آمریکا بود به دانشگاه تربیت مدرس آمدم که جزو دانشگاه‌های تازه تاسیس آن زمان بود. سپس شروع به برنامه‌ریزی برای اخذ مجوز کارشناسی ارشد رشته بیوشیمی نمودم زیرا در کشور بیوشیمی از بیوفیزیک شناخته‌تر بود و متقاضی بیشتری داشت. آن زمان فقط رشته‌های علوم گیاهی و ژنتیک در دانشکده علوم پایه تربیت مدرس تاسیس شده بود و در این رشته‌ها تنها یکی دو استاد و در دیگری فقط یک استاد مدعو وجود داشت. جالب است بدانید کل

سال ۱۴۰۴ ایران باید در منطقه، رتبه اول اقتصاد دانش‌بنیان را کسب کرده باشد. در سال‌های ۹۱ تا ۹۲ هنگام حضور بنده در وزارت عتف، کشور از نظر تعداد مقالات و تولید دانش در منطقه اول شده بود. باید در نظر داشت که دانش دانشگاهی در چرخه‌ی خلق دانش تا محصول، ما را به سطح بلوغ فناوری (TRL2-3) می‌رساند. اما برای اول شدن در اقتصاد منطقه باید به TRL9 برسیم. ما در یک دهه به رتبه‌ی اول منطقه برای تولید دانش دست یافتیم و در دهه دوم می‌بایست به هدف خود یعنی جایگاه برتر اقتصادی می‌رسیدیم که این اتفاق باید علاوه بر رشد علمی در دانشگاه‌ها و پژوهشگاه‌ها، در خارج از دانشگاه یعنی در بخش صنعتی و ساختار دیوان‌سالاری و اقتصادی کشور نیز رشد چشم‌گیری داشته باشد. متأسفانه این قسمت به سرعت توان علمی و آموزش عالی ما جلو نیامد. در سال‌های اخیر، بالای چهار میلیون دانشجوی و بالغ بر سه‌هزار موسسه‌ی آموزش عالی داشتیم که در مقایسه با اوایل انقلاب با ۱۷۵ هزار دانشجو و حدود ۳۰۰ موسسه آموزش عالی، به رشد چشم‌گیری در این امر رسیدیم. البته شایان ذکر است که این روند افزایشی را در کنار رشد دو برابری جمعیت در طی این مدت داشته‌ایم. بنابراین، تعداد جمعیت دانشجویی ما بیش از ۲۲ برابر و تعداد موسسات ما ۱۰ برابر شده است و رشد کمی و کیفی خوبی در این زمینه داشتیم.

برای بهره‌برداری از این پتانسیل بالای دانش و نیروی جوان نیاز هست که دانشگاه‌ها از نسل یک یعنی آموزش محور به نسل دو یعنی پژوهش محور برسند و سپس نسل سه یعنی کارآفرین شود و از آن مهم‌تر صنعت به گونه‌ای شکل بگیرد و توسعه یابد که وابسته به نفت نبوده و خوداتکا و سرمایه‌آفرین شود.

با توجه به دانشجویان فارغ‌التحصیل و با استعدادی که سرمایه‌های اصلی کشور ما هستند، ایجاد کار و درآمد برای آن‌ها به صورت مطلوب بسیار حیاتی است و باید این نیاز دانشجویان به صورت مطلوب تامین شود. پس ما باید در صنعت رشد کنیم. در این فرآیند همیشه مشکلات زیادی بر سر راه ما بوده است زیرا بر خلاف گذشته در سده اخیر صنعت ما براساس دانش داخلی‌مان شکل نگرفته است و حتی پس از انقلاب با وجود اجرای رویکردهایی مانند هفته تعامل صنعت و دانشگاه یا ایجاد دفاتر ارتباط با صنعت، این امر هنوز به طور مطلوب محقق نشده است. همچنین مشابه با چهارچوب‌های موجود در دنیا نیاز به ایجاد شرکت‌های نوپای دانش‌بنیان (استارت‌آپ‌ها)، هسته‌های فناوری و شرکت‌های زایشی از دانشگاه‌ها و پژوهشگاه‌ها (اسپین‌اف‌ها) هست که با همکاری مراکز رشد و سپس پارک‌های علم و فناوری می‌توان در این زمینه پیشرفت کرد. پس برای تامین مناسب نیازهای نسل جوان و تحصیل کرده و مهیا نمودن شرایط برای ماندن دانشجویان و نخبگان در کشور و تکمیل چرخه اقتصاد دانش‌بنیان و کمک به رفع مهم‌ترین معضل کشور یعنی تبدیل کشور به یک سپهر (هاب) تولیدی و تولیدمحور کردن کشور، بنده مهم‌ترین وظیفه‌ی خود در این دهه‌ی دوم راه عملیاتی کردن بخش آخر سند چشم‌انداز یعنی توسعه و ایجاد اشتغال برای جوانان تحصیل کرده می‌دانم و در نتیجه مسئولیت پارک دانشگاه و توسعه‌ی آن را وظیفه خود دانستم. خوشبختانه دانشگاه ما در سال‌های اخیر در این رابطه گام‌های خوبی برداشته و یک هسته‌ی اولیه مناسبی شکل گرفته است. فکر می‌کنم بتوانم در این مسئولیت مفیدتر باشم و به عنوان فاز دوم کاری و داشتن تجربه‌ی قبلی در سیستم اجرایی و وزارت تصمیم گرفتم که در این جایگاه بمانم.

• چگونه دانشجویان علاقمند می‌توانند با پارک علم و فناوری همکاری داشته باشند و شرکت خود را تاسیس کنند؟

برای راه‌اندازی شرکت دانش‌بنیان به زبان ساده باید سه عامل وجود داشته باشد: دانش، سرمایه و مدیریت. وقتی می‌توان وارد یک شرکت شد که یا سرمایه مالی داشته باشید یا سرمایه دانشی. خوشبختانه آیین‌نامه‌ی پارک‌ها طوری تنظیم شده است که با استفاده از آن می‌توان از هسته‌ی فناوری و شرکت‌های نوپا حمایت کرد. برنامه‌هایی از جمله طرح فناوری جوان یا دستیار فناوری نیز انجام شده است. در این طرح‌ها، به تیم‌هایی که ایده دارند یک سرمایه اولیه داده شده و به مدت شش‌ماه تا یک سال وقت داده می‌شود. اگر این ایده موفق بود و شکل گرفت، روند ادامه پیدا می‌کند. همچنین

گروه زیستی یک اتاق بود. من و یک استاد از گروه زمین‌شناسی و یکی از گروه فیزیک و یک استاد مدعو. ما ۴ نفر در یک اتاق بودیم و یک نیم طبقه کل مجموعه علوم پایه را تشکیل می‌داد. پس از یک سال مجوز رشته بیوشیمی اخذ شد و چون وقت کنکور گذشته بود و در دفترچه ظرفیتی برای ما اعلام نشده بود و فقط دانشگاه تهران چند دانشجو می‌گرفت از وزارت علوم درخواست معرفی ۱۵ نفر به دانشگاه کردم و پس از مصاحبه ۵ نفر انتخاب شدند که بعضی از آن‌ها الآن هیات علمی دانشگاه‌های مختلف هستند. پس از گذشت دو سال از تاسیس رشته بیوشیمی، گروه بیوفیزیک را تاسیس کردم. هم زمان نیز رئیس گروه بیوفیزیک و گروه بیوشیمی و پس از آن معاون آموزشی دانشکده علوم پایه هم بودم. همچنین جزو ۵ نفر هیات موسس دکتری رشته بیوفیزیک برای IBB بودم. البته در کنار این مسئولیت‌ها ۳ سال هم رئیس مرکز کامپیوتر دانشگاه بودم. همچنین تقریباً از سال ۱۳۷۲ تا ۱۳۷۵ در وزارت علوم، مشاور اعزام دانشجویان به خارج در رشته‌های علوم زیستی بودم. از سال ۱۳۷۴ رئیس دانشکده علوم پایه شدم و تا سال ۱۳۸۴ در این سمت بودم.

در سال ۷۸ صنایع نوین وزارت صمت، قصد راه‌اندازی فناوری نوین و فعالیت در زمینه بیوتکنولوژی، نانوتکنولوژی، الکترونیک، هوافضا و فناوری اطلاعات را داشت. بنده مسئول کمیته بیوتکنولوژی و عضو کمیته نانوتکنولوژی شدم. وظیفه‌ی ما راه‌اندازی شرکت‌های دانش‌بنیان بود. در گروه‌های ما مطالعات مختلفی در زمینه روندهای علوم و فناوری و حمایت از پژوهش‌های هدفمند صورت گرفت. تقریباً کاری شبیه به آنچه امروز معاونت علم و فناوری ریاست جمهوری انجام می‌دهند. حاصل تلاش‌های ما در آن زمان، تاسیس و حمایت از شرکت‌های مختلف مانند شرکت سیناژن است. ما به مجموعه‌ها و شرکت‌ها وام‌ها و تسهیلات زیادی با بهره پایین دادیم تا بتوانند در زمینه‌ی تولید محصولات بیوتکنولوژی مانند دارو برای انسان و دام فعالیت کنند و به یاد دارم در گزارشی توسط مهندس هاشمی رئیس مرکز وقت، حدود ۳۰۰۰ پژوهشگر و استاد در ۵ گروه مختلف با مرکز همکاری می‌کردند که تعداد قابل توجه‌ای بود.

یعنی در سال ۸۴ نزدیک به سه هزار محقق در زیر مجموعه‌ها و کمیته‌های مختلف فعالیت می‌کردند که حاصل آن‌ها، شرکت‌های بزرگی شد که هم‌اکنون در حال فعالیت هستند. یکی از فعالیت‌های ما برگزاری یک دوره مدیریتی برای مدیران عامل و روسای هیات مدیره شرکت‌های دانش‌بنیان بود که اساتید برجسته‌ای از دانشگاه و صنعت کشور، از اروپا و آمریکا با هزینه مرکز دعوت شدند و بنده هنوز پس از ۲۰ سال دوره‌ای در حد و استاندارد آن در کشور ملاحظه نکرده‌ام. یک دوره نیز با اساتید مطرح کره‌ای، اروپایی و ... در زمینه آینده پژوهشی برگزار کردیم که کم نظیر بود. در سال ۸۴ تا ۸۸ معاون آموزشی دانشگاه و از سال ۸۸ تا سال ۹۲ معاون آموزشی وزارت عتف بودم. در سال ۹۰ به عضویت هیات مدیره شرکت دارویی داروپخش که جزو بزرگ‌ترین شرکت دارویی خاورمیانه است، درآمدم و به مدت سه سال نیز عضو هیات رئیسه‌ی آن بودم که تجربه‌ی دوم صنعتی من بوده است. از سال ۹۵ نیز رئیس هیات مدیره شرکت سامان دارویی هشتم متعلق به آستان قدس رضوی شدم و حدود ۴، ۵ سال آن‌جا بودم تا زمانی که پست ریاست پارک علم و فناوری را در سال گذشته را قبول کردم.

• از تجربه حضورتون در پارک علم و فناوری و دلیل قبول این مسئولیت بفرمایید.

با توجه به تجربه من در صنعت و حضور در سطوح مختلف برنامه‌ریزی در وزارت خانه، می‌توانم بگویم که در ۳ دهه‌ی اخیر بخش آموزش کشور خوشبختانه به موفقیت‌های زیادی دست یافت و فعالیت‌های زیادی انجام گرفت. اما به نظر بنده پاشنه آشیل کشور بکارگیری دانش حاصل و یا به عبارت دیگر تولید محور کردن کشور است که حاصل آن خلق شغل و کارآفرینی دانش‌بنیان و بهبود درآمد سرانه کشور و یا همان جی‌دی‌پی کشور است. آن هم نه از فروش مواد و نعمات خامی که خداوند به این سرزمین هدیه کرده است بلکه به قول قدیمی‌ها از کدّ یمین و عرق جبین، البته به سبک و سیاق دانش‌بنیانی. یعنی بکارگیری مغز و هوش افراد و تلاش مستمر دانش مبنایم. بنابراین تصمیم گرفتم در این جهت قدم بردارم. در سند چشم‌انداز ۲۰ ساله تا

• شما چشم‌انداز پارک‌های علم و فناوری به خصوص پارک دانشگاه تربیت مدرس را چگونه می‌بینید؟

من چشم‌انداز و آینده پارک را بسیار خوب می‌بینم البته به شرطی که تلاش و برنامه‌ریزی مستمر داشته باشیم و از حمایت لازم مالی و سیاست‌گذاری دانشگاه و کشور بهره‌مند شویم. خوشبختانه اتفاق‌های خوبی هم در حال وقوع هست. البته مشکلات جدی هم در این مسیر وجود دارد. برای مثال یکی از مشکلات مهم، کمبود بودجه پارک‌های علم و فناوری است. تقریباً کل بودجه پارک‌های استانی و دانشگاهی بالغ بر ۶۰۰ میلیارد تومان است که کمتر از نصف بودجه دانشگاه تهران است. بودجه رسمی پارک ما حدود ۱۸ میلیارد است و باید با این بودجه ۱۷۶ شرکت و ۱۰ هزار دانشجو را تامین کنیم که امکان‌پذیر نیست. گفتنی است ما دارای بودجه‌ی دوم پارک‌های دانشگاهی پس از دانشگاه تهران هستیم. البته باید در نظر داشت که هم باید بودجه مناسب داده شود هم به نحو احسن خرج شود. باید این فرهنگ جا بیفتد که درآمد شرکت‌ها باید از هزینه بیشتر شود.

• برای حسن ختام چه توصیه‌ی علمی و اجتماعی برای دانشجویان و نسل جوان دارید؟

اصل اول موفقیت در تمام فعالیت‌های انسانی علاوه بر اصول مدیریت یک قاعده الهی می‌باشد که بشر امروز هم آن را فهمیده است و آن هم این واقعیت است که شرط اول موفقیت تلاش بی‌وقفه است. کسانی موفق و خوشبخت می‌شوند که تلاش زیادی انجام دهند. انسان‌ها با تنبلی به جایی نمی‌رسند و بنابراین شرط اول: تلاش، تلاش و تلاش است.

برای اینکه انسان تلاش‌گر باشد باید انگیزه داشته باشد و انگیزه نیز نیازمند هدف‌های مشخص است. انسان‌های تلاشگر و با انگیزه در محیط پویا و خلاق شکل می‌گیرند. بنابراین زیست بوم فرهنگی اجتماعی ما باید خلاق و نوآور باشد. به قول سعدی علیه رحمه:

نابرده رنج گنج میسر نمی‌شود
مزد آن گرفت جان برادر که کار کرد
هر کو عمل نکرد و عنایت امید داشت
دانه نکاشت ابله و دخل انتظار داشت

پس باید ابتدا انتخاب‌های درست داشته باشید و تلاش کنید. بعد از تلاش، توکل است و وقتی تصمیم گرفتید و عزم را جزم کردید بدانید که امدادهای الهی هم به کمک می‌آیند.

در جهان امروز بدون شک، سختی وجود دارد و نباید نا امید گشت و دنیا مزرعه‌ی کاشت و کار است و نباید کم آورد.

باید بدانیم که کشور ایران دارای پتانسیل‌های فراوانی است و اگر هوشمندانه و عالمانه این مواهب الهی را بکار گیریم، می‌توانیم در مدت کوتاه به دلیل امکانات، موهبت‌های فراوان الهی، نسل کوشای فعلی و هزینه‌ی قابل توجهی که در امر آموزش و پژوهش کرده‌ایم به یک نقطه‌ی خوب و جایگاه مناسب در هر زمینه‌ی برسیم. این توانمندسازی و آموزش ما باعث شده دانشجویان ایرانی در هرجای دنیا که باشند بسیار قوی و موثر ظاهر بشوند و در مراتب و دانشگاه‌های برتر جهان پذیرفته و موفق بشوند. البته نباید هیچ‌گاه هزینه و زحمتی که برای نسل جوان کشیده شده را فراموش کنیم و باید پس از به ثمر نشستن بار دانش، آن را در مسیر توسعه کشور و کمک به هموطنان خود به کار بگیریم. همچنین وظیفه حاکمیت این هست که شرایط را به گونه‌ای فراهم کند که دانش‌آموختگان ما برای تامین نیازهای اولیه خود مجبور به مهاجرت نباشد.

اگر ایده موفقیت‌آمیز نبود، تیم هزینه‌ی خیلی زیادی نکرده و تجربه خوبی کسب کرده است. پس از موفقیت ایده، به مرحله‌ی رشد می‌رسیم که این فرآیند نیز حدود ۳ الی ۵ سال طول می‌کشد و پس از آن تبدیل به یک شرکت رشد یافته می‌شود و کم‌کم به مراحل بالاتر می‌رسد که در هر مرحله نیز حمایت می‌شود.

برای موفقیت در این عرصه، افراد علاقمند باید از روحیه و خطرپذیری بالا برخوردار بوده و صبر و تحمل زیادی داشته باشند تا بتوانند نوسانات شدید این مسیر را کنترل کنند و این مسیر را همراه با سختی و ناهمواری‌های آن طی کنند.

پارک دانشگاه تربیت مدرس، سایت فعالی دارد و داخل سایت انواع حمایت‌ها در مقاطع مختلف بیان شده است. علاوه بر آن، دوره‌های آموزشی کارآفرینی داریم که حتی شامل آموزش‌های خودشناسی و روان‌شناسی هست تا فرد ارزیابی شود که آیا اصولاً برای این کار و محیط کسب و کار مناسب هست یا خیر. برای ما بسیار اهمیت دارد که جمعیت ۱۰ هزار نفری دانشجو و ۸۰۰ نفری اساتید دانشگاه تربیت مدرس، حمایت شوند و وارد چرخه‌ی اقتصاد و بازار کار شوند.

در کشور ما نقش شرکت‌های دانش‌بنیان در ایجاد درآمد اقتصاد بسیار کم و نزدیک به صفر است. یعنی کمتر از ۱ درصد جی‌دی‌پی کشور. بنابراین هدف پارک‌های علم و فناوری این هست که سهم شرکت‌های دانش‌بنیان مانند بسیاری از کشورها در اقتصاد افزایش داشته باشد. برای مثال در کشور آلمان حدود ۷۰ درصد اقتصاد و فناوری‌های آن توسط شرکت‌های کوچک و متوسط دانش‌بنیان و فناورانه می‌چرخد. بنابراین وظیفه‌ی پارک و علم و فناوری است که بخش قابل توجهی از این توان نهفته‌ی مصرف نشده را وارد چرخه‌ی اقتصاد صنعتی نماید و وابستگی ما به درآمد نفت و خام‌فروشی و سرمایه‌خدادادی را کاهش دهد.

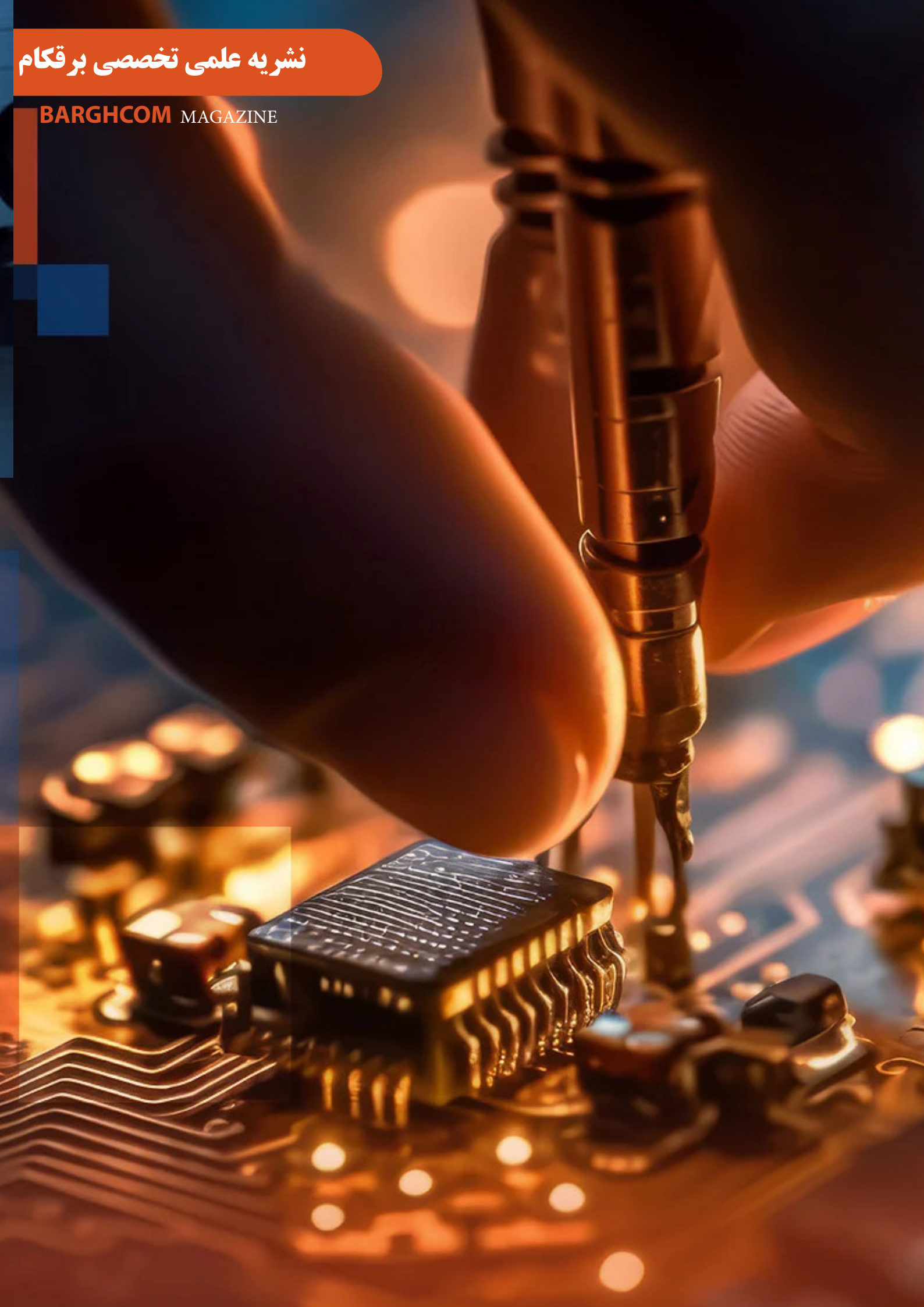
• چه کارهایی برای مناطق محروم می‌توان انجام داد تا از ظرفیت نخبگان این مناطق هم بهره برد؟

پارک‌های علم و فناوری وظیفه‌ی ایجاد یک چهارچوب چابک و فعال و به روز کسب و کاری را دارند. وقتی سرمایه خلق شود منافع آن به همه‌ی کشور می‌رسد. اقتصاد هم بر همین مبنا هست. وقتی پشتوانه‌ی تولیدی وجود داشته باشد تورم پایین و حقوق‌ها افزایش می‌آید. وقتی سرمایه باشد و افراد کار کنند و حقوق بالا داشته باشند، مالیات می‌دهند و دولت صرف مناطق محروم می‌کند. پس مهم‌ترین خدمت برای همه‌ی کشور از جمله مناطق محروم این هست که یک کشور تولیدمحور داشته باشیم آن هم از نوع دانش‌بنیان. همچنین ما امکانات زیادی از جمله منابع نفت و گاز و معادن را دارا هستیم که بسیاری از کشورهای جهان از این نعمت خدادادی بهره‌مند نیستند. برای مثال کشور کره جنوبی، حدود صد هزار کیلومتر مربع مساحت و حدود ۵۴ میلیون نفر جمعیت دارد. این کشور گردش مالی بسیار بالایی داشته و با اینکه صادرات آن کمی از واردات آن پیشی دارد، با همین تراز مثبت شغل ایجاد می‌کند، مالیات می‌گیرد و بر مبنای این سلسله مراتب کشور می‌چرخد. بنابراین اگر فرآیند یک کشور تولیدمحور باشد، پتانسیل زیادی خواهد داشت. برای مثال جزیره قشم به همراه منابع و موقعیت جغرافیایی که دارد به تنهایی پتانسیل تامین ۵ الی ۶ میلیون نفر را دارد زیرا مساحت آن دو برابر مساحت کشور سنگاپور است و نزدیک به منابع انرژی آن است.

متأسفانه ساختار دولت‌های ما ساختار تولیدمحور نبوده‌اند و در این زمینه ضعف داشته و داریم. در کشورهای تولیدی، شرکت‌ها نیاز به یک سرمایه در گردش با بهره‌ی بسیار پایین در حد ۲ الی ۳ درصد دارند. همچنین تورم بایستی تک رقمی باشد. علاوه بر این، اگرچه در تولید دانش و فناوری، رتبه‌ی حائز اهمیتی در جهان داریم و از بسیاری از کشورهای نام‌دار سبقت گرفته‌ایم اما در قوانین و اخذ مجوز رتبه‌ی بالای ۱۱۰ جهانی و مشکلات جدی در این زمینه داریم. همچنین تحریم و فشارهای غرب بر روی ما، بحث بسیار جدی هست. یکی دیگر از معضلات مهم هم بحث دلالی و وجود پول نفت است که در خیلی مواقع جلوی تولیدات داخلی را می‌گیرد. وقتی کشور تولیدمحور باشد باید همه‌ی شاخص و فرآیندها به گونه‌ای باشد که بیشترین مزایا را فرد تولیدکننده ببرد. پس این موارد مانع این شده است که کشور ما بتواند در تولید، جایگاه بالایی داشته باشد و بتواند با دنیا رقابت کند. پس در زمینه تولید، کشور نیاز به اصلاح مسیر و ریل‌گذاری مناسب دارد.

نشریه علمی تخصصی برق کام

BARGHCOM MAGAZINE





فصل چهارم

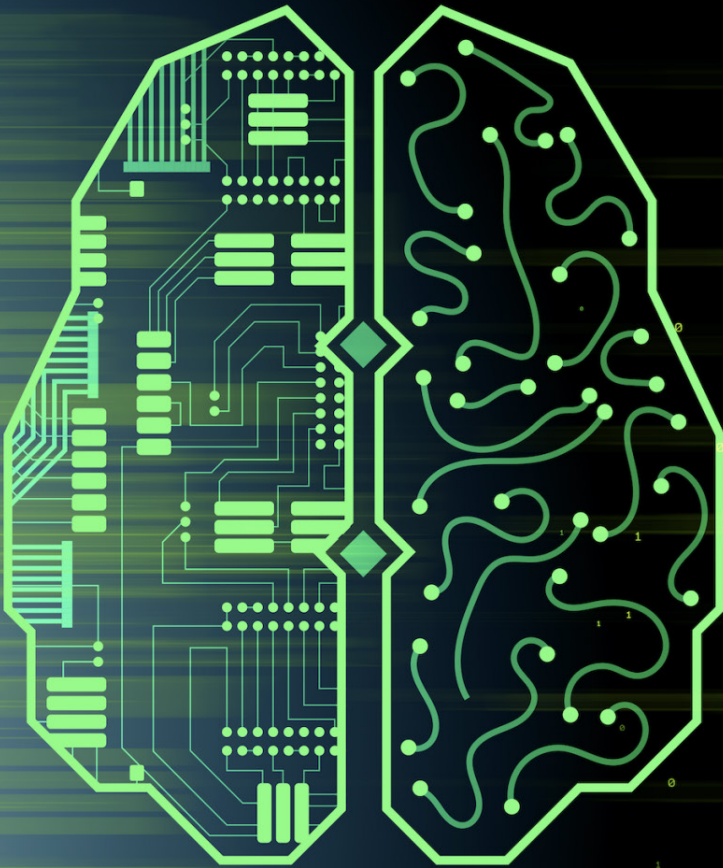
معرفی نرم افزارهای گرایش های مهندسی برق و آموزش نرم افزار

فارسی:

* آموزش یادگیری ماشین و یادگیری عمیق
* معرفی نرم افزار های گرایش های مهندسی برق و کامپیوتر

English:

- Teaching Machine Learning and Deep Learning
- Introducing software for electrical and computer engineering trends



آموزش یادگیری ماشین و یادگیری عمیق

علی صنعتی^۱

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، asanati64@gmail.com

چکیده

یادگیری ماشین علمی است که می توان در آن مدل ها و الگوریتم هایی را آموزش داد که با استفاده از برنامه نویسی پایتون، این کار به راحتی قابل انجام است. امروزه یادگیری ماشین در بسیاری از صنعت های مهم دنیا کاربرد دارد و افراد زیادی آن را به اسم هوش مصنوعی می شناسند. به این منظور نیاز به یادگیری آن روز به روز در هر کشور رو به افزایش است. امروزه از یادگیری ماشین به عنوان یک تخصص میان رشته ای یاد می شود، زیرا که می توان یادگیری ماشین را در رشته های مختلف به کار برد. از کاربردهای آن در صنعت می توان کلیدواژگان: یادگیری ماشین، پایتون، یادگیری عمیق

Abstract

Machine learning is a science in which models and algorithms can be taught. This can be done easily by using Python programming. Nowadays, machine learning is used in many important industries in the world and many people know it as artificial intelligence. In this purpose, the need to learn it is increasing day by day in every country. Today, machine learning is referred to as an interdisciplinary specialty because machine learning can be used in different fields. Among its applications in the industry, we can mention the industries of gaming, automobile manufacturing, electronic commerce, etc.

Keywords: Machine Learning; Python; Deep Learning

۱- مقدمه

۲- داده

در دنیای امروز و آینده داده و اطلاعات از اهمیت فراوانی برخوردار است. برای درک بهتر طریقه‌ی یادگیری مدل‌ها و الگوریتم‌های یادگیری ماشین، می‌توان از دنیای انسان‌ها مثال زد. فرض کنید یک استاد دانشگاه بخواهد درس ریاضی را به دانشجویان خود آموزش دهد. خب طبیعتاً برای این درس جزوه‌هایی را تدارک می‌بیند و در اختیار دانشجویان قرار می‌دهد و با تدریس آن جزوه‌ها به دانشجویان ریاضی را یاد می‌دهد. خب در دنیای یادگیری ماشین هم مشابه همین رویکرد اتفاق می‌افتد. به این صورت که داده‌ها همان جزوه‌ها و مدل‌ها الگوریتم‌های یادگیری ماشین همان دانشجویان هستند. پس در واقع اگر نیاز به مدلی آموزش دیده در تخصص خاصی پیدا شد، باید داده‌ی مربوط به آن تخصص را در اختیار مدل قرار داد تا مدل آموزش ببیند و مدل‌ساز یا توسعه دهنده با مهارت‌های خود برای یادگیری بهتر مدل‌ها، نقش استاد را بازی کند. در ادامه این مثال فرض کنید استاد بخواهد از بین دانشجویان کلاس بعد از آموزش، یک نفر را به عنوان دستیار آموزشی خود انتخاب کند. قطعاً استاد کسی را انتخاب می‌کند که نمرات بهتری را گرفته باشد و یا به عبارت دیگر، بهتر یاد گرفته باشد. حال سوال اینجاست که استاد از چه طریق متوجه یادگیری دانشجویان می‌شود؟

استاد برای درک این موضوع چندین امتحان و آزمون طراحی می‌کند تا دانشجویی برتر را بیابد و دانشجویان را ارزیابی می‌کند. در دنیای یادگیری ماشین نیز رویکرد به همین صورت است که چندین مدل و الگوریتم برای یادگیری انتخاب می‌شود و پس از آموزش هر کدام، ارزیابی می‌شوند و مدل برتر انتخاب می‌شود. البته این نکته هم قابل ذکر است که در بعضی از مسائل ترکیبی از چندین مدل برتر انتخاب می‌شود. به همین منظور داده‌ی موجود به دو قسمت آموزش و آزمایش تقسیم می‌شود. که مدل‌ها با داده‌ی train، آموزش داده می‌شوند و با داده‌ی test آزمایش و ارزیابی می‌شوند.

۳- پیش‌پردازش داده

پیش‌پردازش داده به مجموعه کارهایی گفته می‌شود که روی داده‌ی خام انجام می‌گیرد تا داده، آماده‌ی ورود به الگوریتم یادگیری ماشین شود. اگر دوباره مثال کلاس درس بررسی شود، استاد برای یادگیری بهتر دانشجویان سعی دارد بهترین جزوه را در اختیار آن‌ها قرار دهد. به طوری که مطالب کامل و جامع باشد یا قسمتی از مطالب از دست نرفته باشد یا در جزوه ریاضی مطلبی در مورد درس دیگری نباشد، همچنین باید بین مطالب پیوستگی و انسجام وجود داشته باشد. در کل هدف استاد از طراحی بهترین جزوه این است که برای دانشجو قابل فهم باشد تا دانشجو بتواند بهتر یاد بگیرد. در یادگیری ماشین هم داده‌ها به صورت خام و کثیف به مدل داده نمی‌شوند بلکه یک سری پردازش روی آن‌ها انجام می‌گیرد تا مدل بتواند آن‌ها را خوب یاد بگیرد. انواع این پردازش‌ها با توجه به نوع مسئله و نوع داده متفاوت است. از پرکاربردترین نوع داده‌ها در یادگیری ماشین می‌توان داده‌های عددی، عکسی، متنی، سری زمانی، صوتی و ... نام برد. هر کدام از این داده‌ها پردازش‌های خاص خود را دارند. اما به چند نمونه از پردازش‌های مهم که اکثر مدل‌های یادگیری ماشین به آن نیاز دارند، در این قسمت پرداخته می‌شود.

۳-۱- مستقل بودن مشاهده‌ها

الگوریتم‌ها و مدل‌های یادگیری ماشین برای اینکه بتوانند به خوبی عمل کنند و تبدیل به یک مدل کاربردی شوند باید داده‌هایی را که دریافت می‌کنند مشاهده مستقل از یکدیگر داشته باشند. به عنوان مثال آزمایشی روی نت‌های موسیقی بتهوون انجام شده بود و هدف این بود که الگوریتمی طراحی شود تا از روی عکس نت موسیقی، بتواند موسیقی بتهوون را تشخیص دهد. این الگوریتم پس از آموزش و ارزیابی‌ها به دقت ۱۰۰ درصد رسید. یعنی می‌توانست همه‌ی موسیقی‌های بتهوون را از روی نت آن‌ها تشخیص دهد. اما پس از چند آزمایش و ارزیابی مجدداً با مشکلی مواجه شدند که در تشخیص یکی از موسیقی‌ها به شدت ضعیف عمل کرد. بعد از

یادگیری ماشین، همان‌طور که از اسمش پیداست، به ما نشان می‌دهد که در این رشته چه فعالیت‌هایی در حال انجام است. خیلی از افراد این حوزه را به اسم هوش مصنوعی یا AI می‌شناسند. مدل‌ها و الگوریتم‌های یادگیری ماشین فرمول‌های ریاضی هستند و منظور از یادگیری برآورد پارامترها در این فرمول‌ها است. برای اینکه تعریف دقیقی از یادگیری ماشین بیان شود، به این مثال توجه کنید: اگر به سیستم آموزشی کشور به صوت کلی نگاه شود، می‌توان در این سیستم، هر انسان را به یک ماشین تشبیه کرد. فرض کنید در کشورهای پیشرفته از خردسالی تا دکتري و مقاطع بالاتر، برای افراد تحصیل رایگان در نظر می‌گیرند. چرا رایگان؟ به این دلیل که در آینده هر فرد در زمینه‌ای که تخصص پیدا کرده است از تخصص خود برای بهبود روند کشور استفاده می‌کند. همین رویکرد در حوزه یادگیری ماشین هم کاربرد دارد، به این منظور یک سری الگوریتم‌ها و مدل‌ها درست می‌شود، که این الگوریتم‌ها، فرمول‌ها و محاسبات ریاضی هستند که قابلیت یادگیری دارند و در حوزه‌های مختلف آموزش داده می‌شوند. و بعد از یادگیری از آن‌ها استفاده می‌شود. با توجه به این تعریف می‌توان اظهار نمود که یادگیری ماشین در اکثر حوزه‌ها و رشته‌ها کاربرد دارد و از این رو به این رشته تخصص میان رشته‌ای می‌گویند. از کاربردهای این حوزه می‌توان به Google translate، ماشین‌های خودران گوگل، دستیارهای مجازی (Alexa-Cortana-Siri) و ... اشاره کرد. در هر کدام از این حوزه‌ها چندین مقاله علمی و معتبر به چاپ رسیده است. با توجه به صحبت‌های گفته شده، آینده درخشان یادگیری ماشین بر هیچ‌کس پوشیده نیست.

۱-۱- انواع یادگیری ماشین: یادگیری ماشین به سه دسته تقسیم می‌شود که در زیر به آن اشاره شده است:

1. Supervised learning یادگیری با نظارت
2. Unsupervised learning یادگیری بدون نظارت
3. Reinforcement learning یادگیری تقویتی

۱-۱-۱- یادگیری با نظارت

در این نوع یادگیری که از اسمش هم پیداست در طول یادگیری ناظر وجود دارد. بدین صورت که در این نوع یادگیری پیش‌بینی انجام می‌شود. در این نوع یادگیری داده ما از دو قسمت X و Y تشکیل شده که به X متغیر مستقل یا ویژگی می‌گویند. همچنین به Y متغیر پاسخ می‌گویند. در این نوع یادگیری، مدل هم X و هم Y را می‌گیرد و رابطه بین X و Y را یاد می‌گیرد. پس از یادگیری با رابطه‌ای که یاد گرفته، X را می‌گیرد و Y را برای آن پیش‌بینی می‌کند که در واقع ناظر ما در این مسئله Y هست؛ یعنی مدل روابط را با نظارت وجود Y یاد می‌گیرد.

۱-۱-۲- یادگیری بدون نظارت

در این قسمت دیگر Y نداریم و تمرکز مدل روی X ها یا featureها است.

۱-۱-۳- یادگیری تقویتی

در این نوع یادگیری، الگوریتم بر اساس پاداش و جزا کار می‌کند. بدین صورت که اگر کاری درست انجام داد، پاداش بگیرد و اگر اشتباه انجام داد مورد جزا قرار بگیرد. البته می‌توان برای آن جزایی را در نظر نگرفت. این رویکرد باعث می‌شود که مدل در مسیر درستی از یادگیری قرار بگیرد و برای گرفتن پاداش تلاش کند. در این نوع یادگیری داده از تعامل با محیط به دست می‌آید. در صورتی که در دو نوع قبلی برای یادگیری ابتدا داده به مدل داده می‌شد و سپس مدل شروع به یادگیری می‌کرد. به این مثال توجه کنید: فردی می‌خواهد دوچرخه یاد بگیرد و اگر شما به صورت تئوری توضیح دهید که فرمان چیست و چگونه تعادل خود را حفظ کند، او دوچرخه سواری را یاد نمی‌گیرد تا اینکه خودش سوار دوچرخه شود. که در ابتدا امکان دارد چندین بار زمین بخورد و زخمی شود (جزا) یا حتی زمین نخورد اما نتواند تعادل دوچرخه را حفظ کند. چندین بار امتحان می‌کند، سوار دوچرخه می‌شود، چند متری را حرکت می‌کند تا در نهایت بتواند تعادل دوچرخه را حفظ کند و مسیر دلخواهی را طی کند. اینکه بتواند تعادل دوچرخه را حفظ کند، پاداش می‌گیرد به همین دلیل در این مسیر برای گرفتن پاداش تلاش می‌کند و دوچرخه سواری را یاد می‌گیرد.

مقیاس‌بندی از مشکلاتی که ممکن است در یادگیری مدل اتفاق بیافتد، جلوگیری می‌کند. یکی از ویژگی‌های minmaxscaler این است که داده‌ها را بین ۰ و ۱ خروجی می‌دهد.

۳-۴- داده‌های از دست‌رفته

داده‌های از دست‌رفته با nan یا na (Not Available) نشان داده می‌شود. در بعضی از داده‌ها ممکن است یک سری از اطلاعات و مشاهدات به هر دلیلی ثبت نشود. در صورتی که مدل به همه‌ی اطلاعات برای یادگیری نیاز دارد. در صورت ثبت نشدن داده‌ای یا باید آن را حذف کرد یا باید با روش‌های مختلف آن را برآورد کرد. روش‌های برآورد در هر داده می‌تواند متفاوت باشد اما برای داده‌های عددی می‌توان از میانگین داده‌هایی که مشاهده شده‌اند برای برآورد داده‌های گمشده استفاده کرد. همچنین به کمک سایر featureها می‌توان برآورد انجام داد. به مثال زیر توجه کنید:

Gender:	Stature:
W	160
M	170
W	150
M	180
Nan	160

میانگین قد زنان مشاهده شده:

$$\text{mean}(160,150)=155 \quad (۳)$$

میانگین قد آقایان مشاهده شده:

$$\text{mean}(170,180)=175 \quad (۴)$$

۱۶۰ به ۱۵۵ نزدیک‌تر است. پس می‌توان گفت این مشاهده با قد ۱۶۰، جنسیت زن دارد.

۴- مدل‌ها

در یادگیری با نظارت دو نوع مسئله وجود دارد. نوع اول، مسائلی هستند که متغیر پاسخ آن‌ها پیوسته است که این مسائل رگرسیونی هستند. نوع دوم مسائلی هستند که متغیر پاسخ آن‌ها دسته‌بندی شده هستند و مشاهده‌ها باید طبقه‌بندی شوند که به این نوع مسائل طبقه‌بندی می‌گویند. به مثالی که در ادامه آورده شده است، توجه کنید. فرض کنید یک سری اطلاعات از چندین خانه داریم مانند مترآژ خانه، تعداد اتاق‌ها، مترآژ اتاق‌ها و... حال قرار است با استفاده از این‌ها قیمت خانه پیش‌بینی شود. قیمت خانه‌ها متغیری پیوسته است و هر عددی می‌تواند داشته باشد. پس مسئله رگرسیونی می‌شود. اما اگر با همان اطلاعات قرار بود که گران‌قیمت یا ارزان قیمت بودن خانه‌ها تعیین شود، در واقع یک مسئله دسته‌بندی می‌شود. در این نوع مسائل انواع مدل‌ها و الگوریتم‌ها وجود دارد که در این‌جا به بررسی یک مدل در هر قسمت (رگرسیونی و طبقه‌بندی) پرداخته می‌شود.

۴-۱- رگرسیون خطی

رگرسیون خطی یک ابر صفحه است که تلاش دارد رابطه بین X و y را با کم‌ترین خطا بدست بیاورد. برای درک مسئله فرض کنید یک عدد feature وجود دارد که در این صورت متغیر پاسخ از فرمول زیر بدست می‌آید:

$$Y = X\beta + \epsilon \quad (۵)$$

در دنیای ریاضی با معادله خط آشنایی دارید به این صورت که اگر معادله‌ای مانند معادله زیر داشته باشیم و نقطه ۲ را به عنوان x به معادله بدهیم، نقطه ۴ را به عنوان y می‌دهد.

$$Y = x + 2 \quad (۶)$$

اما اگر مدل‌ها و الگوریتم‌های یادگیری ماشین روی داده‌هایی که در دنیای واقعی وجود دارد پیاده شود، وقتی x به مدل داده می‌شود دقیقاً همان y که از معادله بدست می‌آید را تحویل نمی‌دهد. بلکه کمی خطا دارد. این موضوع به این دلیل است که نمی‌توان خطی را روی این داده‌ها رسم کرد که دقیقاً از همه‌ی نقطه‌ها عبور کند و همه نقطه‌ها و داده‌ها روی خط بیافتند. پس با این وجود هدف رگرسیون این است که خطی را از بین داده‌ها رسم کند که کمترین فاصله را با همه‌ی مشاهدات داشته باشد.

تحقیق فراوان متوجه شدند که در همه عکس‌هایی که به مدل، برای یادگیری نت‌های موسیقی بتهوون داده‌اند، از کاغذهایی استفاده شده بود که رویشان پانچ داشت. در واقع مدل هر عکسی که پانچ داشت را برای بتهوون تشخیص می‌داد. و اگر موسیقی بتهوون در عکسی بدون پانچ بود نمی‌توانست آن را به درستی تشخیص دهد. پس این وابستگی میان مشاهدات (داشتن پانچ) مانع از یادگیری درست مدل یادگیری ماشین شده بود و باید برای یادگیری، مشاهداتی را به مدل داد که مستقل از یکدیگر باشند.

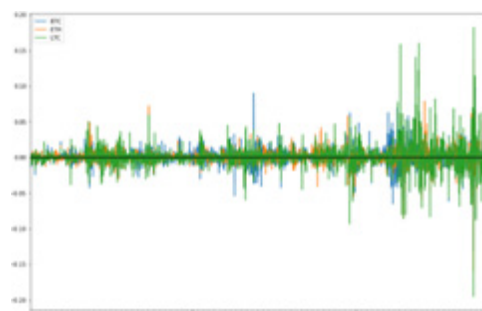
۳-۲- فرض ایستایی

داده‌هایی که برای یادگیری الگوریتم‌های یادگیری ماشین استفاده می‌شوند، از توزیع‌های احتمالی با پارامترهایی پیروی می‌کنند. این الگوریتم‌ها فرض دارند که پارامترهای این داده‌ها، کاملاً ثابت و ایستا باشند. به طور مثال فرض کنید از تغییرات قیمت یک ارز که از توزیع نرمال با پارامترهای μ و σ^2 پیروی می‌کند، برای پیش‌بینی قیمت آن در آینده استفاده می‌شود. اگر شکل ۱ بررسی شود، مشاهده می‌شود که در بازه‌های مختلف پارامترها با یکدیگر متفاوت هستند.

در این موارد با توجه به تغییراتی که در بازه‌های مختلف قیمت داشته است، مدل به خوبی روند را یاد نمی‌گیرد که در آینده قرار است چه اتفاقی بیافتد زیرا پارامترهای جامعه ثابت و ایستا نبوده است. در این مواقع راه‌هایی برای ایستاکردن وجود دارد که یکی از راه‌ها تغییر feature هست. به عنوان مثال در این نوع مسائل به جای استفاده از تغییرات قیمت از return log استفاده می‌شود که در بازه‌های طولانی تغییرات چندانی ندارد و توزیع آن ایستا می‌باشد که نمودار آن مانند شکل ۲ است.



شکل ۱: تغییرات قیمت بیت کوین در یک سال اخیر [۱].



شکل ۲: log return برای بیت‌کوین، اتریم و لایت‌کوین [۲].

۳-۳- مقیاس‌گذاری

مقیاس‌گذاری به این معناست که داده‌ها به هم نزدیک شوند و بازه‌ی تغییرات آن‌ها کم شود. به طور مثال دو عدد ۱۰ و ۱۰۰۰۰ فاصله زیادی با یکدیگر دارند، اما وقتی که لگاریتم آن‌ها را در پایه ۱۰ بگیریم دو عدد ۱ و ۴ داریم که فاصله کمی با یکدیگر دارند. برای خیلی از مدل‌ها و الگوریتم‌های یادگیری ماشین بهتر است که داده‌ها را ابتدا مقیاس‌بندی کنیم و سپس به مدل‌ها بدهیم، زیرا که مدل‌ها داده‌های scale شده را بهتر یاد می‌گیرند. برای scale کردن می‌توان از کلاس‌های standardscaler و minmaxscaler استفاده کرد که فرمول آن‌ها به ترتیب به شرح زیر است.

$$x_i = \frac{(x_i - \text{mean}(X))}{\text{std}(X)} \quad (۱)$$

$$x_i = \frac{(x_i - \min(X))}{(\max(X) - \min(x))} \quad (۲)$$

که در شکل ۴ ابر صفحه دیگر خط نیست و تبدیل به صفحه شده است. همانطور که در عکس مشخص است و در توضیحات گفته شده است هر مشاهده یک خطا دارد و اگر بخواهیم این خطاها به کمترین حد خودشان برسند، می‌توان از میانگین آن‌ها استفاده کرد. اما بعضی از مشاهدات در پایین صفحه و بعضی از آن‌ها در بالای صفحه قرار دارند که ممکن است بعضی از آن‌ها مثبت و بعضی‌ها منفی شود و هنگامی که آن‌ها را با هم جمع می‌کنیم برای میانگین اثر یکدیگر را خنثی کنند. به عنوان مثال فرض می‌کنیم شرایط زیر را داشته باشیم.

$$Y_1=10, \hat{Y}_1=12$$

$$Y_2=2, \hat{Y}_2=0$$

در نتیجه خطاهای زیر را داریم:

$$(10) e_1 = Y_1 - \hat{Y}_1 = -2$$

$$(11) e_2 = Y_2 - \hat{Y}_2 = 2$$

$$(12) (e_1 + e_2) / 2 = 0$$

در اینجا میانگین خطاها برابر صفر شد در صورتی که خطاها وجود دارند و یکی بالای ابر صفحه و دیگری زیر آن قرار دارد. برای اینکه خطاها اثر یکدیگر را خنثی نکنند از اندازه آن‌ها استفاده می‌شود. برای این منظور دو رویکرد وجود دارد که یکی به توان ۲ رساندن خطاها و دیگری قدر مطلق گرفتن از آن‌هاست. اگر از خطاها در ابتدا قدر مطلق و در ادامه میانگین گرفته شود، معیاری بدست می‌آید به نام میانگین خطای مطلق (MAE) می‌گویند. فرمول آن مطابق زیر می‌باشد:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \quad (13)$$

اگر این فرمول به توان ۲ برسند و بعد میانگین گرفته شود به آن خطای میانگین مربعات (MSE) گفته می‌شود که فرمول آن برابر است با:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (14)$$

به طور خلاصه رگرسیون با استفاده از این دو معیار سعی می‌کند بهترین β را برآورد کند و همچنین برای ارزیابی مدل می‌توان از این دو معیار استفاده کرد. در قسمت بعدی یک پروژه ساده با مدل رگرسیون خطی در پایتون آورده شده است. در این پروژه قرار است با توجه به یک سری feature مربوط به ماشین و افراد، فاصله صدلی این افراد تا فرمان پیش‌بینی شود تا راننده بهترین دید را داشته باشد.

```
import numpy as np
import pandas as pd
from sklearn.linear_model import LinearRegression
from sklearn.model_selection import train_test_split
from sklearn.metrics import mean_absolute_error, mean_squared_error
df = pd.read_csv("seatdata.csv")
X = df.iloc[:, :-1]
y = df.iloc[:, -1]
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X, y, test_size = 0.2)
model = LinearRegression()
model.fit(X_train, y_train)
y_hat = model.predict(X_test)
print(f'MAE : {mean_absolute_error(y_test, y_hat)}')
print(f'MSE : {mean_squared_error(y_test, y_hat)}')
MAE : 37.66
MSE : 1984.06
```

وجود عبارت ε در معادله به این دلیل است که وقتی x یک مشاهده به معادله داده می‌شود y با کمی فاصله از y واقعی آن مشاهده بدست می‌آید. که ε در این معادله همان فاصله است. اگر فرمول برای چند feature در نظر گرفته شود، معادله به صورت ماتریسی و به شکل ۳ در می‌آید.

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_1 \\ 1 & x_2 \\ \vdots & \vdots \\ 1 & x_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}$$

$$Y = X\beta + \varepsilon$$

شکل ۳: فرمول رگرسیون خطی برای حالت چندمتغیره [۳].

در شکل ۳ مشاهده می‌شود که در ستون اول ماتریس X همه اعداد ۱ هستند که دلیل آن، این است که β_0 عرض از مبدا هست و باید برای همه‌ی مشاهده‌ها یکسان شود. اگر به ابعاد نیز توجه شود، متوجه خواهید شد که بعد برابر با تعداد featureها است. همچنین برای هر مشاهده یک ε وجود دارد که می‌تواند برابر و یا مخالف صفر باشد. اگر ε برای مشاهده‌ای برابر صفر شد یعنی مشاهده روی خط افتاده است و با آن فاصله‌ای ندارد. همان‌طور که در معادله دیده می‌شود، برای به دست آوردن y از طریق X به β نیاز است. و این β همان پارامتری است که الگوریتم و مدل رگرسیون خطی باید آن را یاد بگیرد. برای این منظور X و y به مدل داده می‌شود و مدل با توجه به این دو، β را برآورد می‌کند که آن را با $\hat{\beta}$ نشان می‌دهد. وقتی که مدل $\hat{\beta}$ را به دست آورد (که از طریق داده آموزش آن را به دست می‌آورد)، مدل آماده برای پیش‌بینی استفاده می‌شود. اگر یک سری داده که y واقعی آن‌ها را داریم به مدل بدهیم، با $\hat{\beta}$ به دست آمده و X های آن داده یک پیش‌بینی از آن‌ها به ما می‌دهد. که به آن \hat{Y} می‌گویند. در واقع داریم:

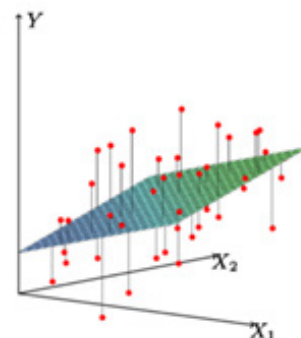
$$(7) \hat{Y} = X\hat{\beta}$$

$$(8) Y = X\beta$$

از طرفی مقدار واقعی این داده‌ها، داده شده است. حال اگر فاصله مقدار واقعی متغیر پاسخ و مقدار پیش‌بینی شده این داده‌ها از هم کم شود، مقدار ε بدست می‌آید.

$$(9) \varepsilon = Y - \hat{Y}$$

با توجه به فرمول شماره ۹ اگر معادله را با توجه به معادله‌های شماره ۷ و ۸ باز کنیم، متوجه می‌شویم که در واقع خطای رگرسیون تفاوت $\hat{\beta}$ و β واقعی است. پس اگر $\hat{\beta}$ که مدل برآورد می‌کند برابر با β واقعی باشد، بهترین رگرسیون رسم می‌شود چون ε برابر صفر می‌شود. پس می‌توان این چنین بیان کرد که رگرسیون خطی در تلاش است که $\hat{\beta}$ را تا جایی که ممکن است نزدیک به β واقعی برآورد کند تا جای ممکن ε برابر یا نزدیک به صفر شود. اما چون در اکثر اوقات β واقعی داده‌ها وجود ندارد، برای ارزیابی مدل $\hat{\beta}$ ها با یکدیگر مقایسه نمی‌شود، بلکه y ها مقایسه می‌شوند. چون هم y واقعی از داده‌ی آزمایش (داده‌ای که برای ارزیابی مدل ایجاد شد) وجود دارد و هم \hat{Y} را می‌توان از طریق مدل به دست آورد. با توجه به شکل ۴ که در یک صفحه سه بعدی قرار دارد و نقاط با مختصات (X_1, X_2, Y) .



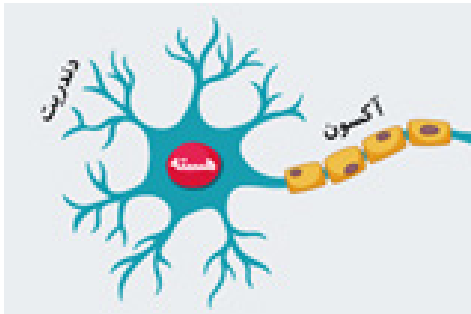
شکل ۴: رگرسیون خطی در فضای سه بعدی [۴].

```
print(f'Accuracy: {model.score(X_test, y_test)}')
```

Accuracy: 0.9666666666666666

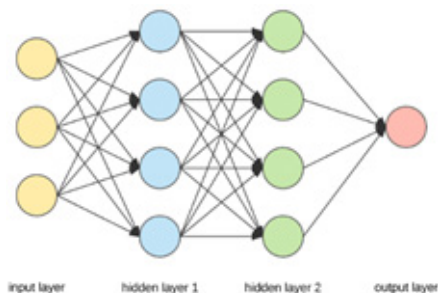
۵- یادگیری عمیق

یادگیری عمیق زیر مجموعه‌ای از یادگیری ماشین است که می‌توان مدل‌ها را به صورت جزئی‌تر و لایه به لایه آموزش داد تا یادگیری آن‌ها عمیق‌تر و بهتر صورت گیرد. در یادگیری عمیق از شبکه‌های عصبی برای یادگیری استفاده می‌شود. این شبکه‌های عصبی عملکرد خود را از شبکه‌های عصبی مغز انسان الگو گرفته‌اند. در شکل ۶ یک شبکه‌ی عصبی انسان دیده می‌شود.



شکل ۶: ساختار نورون [۶].

عملکرد این شبکه به این صورت است که پالس‌های عصبی به صورت ۰ و ۱ (یا پالس می‌آید یا نمی‌آید) از سمت دندریت وارد هسته می‌شوند و در هسته محاسبات اصلی را انجام می‌دهند. و از طریق آکسون خروجی پیام را به یک شبکه‌ی دیگر ارسال می‌کنند که دوباره شبکه‌ی دیگر از طریق دندریت ورودی می‌گیرد. در واقع خروجی یک شبکه، ورودی شبکه‌ی بعدی می‌شود که به این نوع شبکه، شبکه‌ی سریالی می‌گویند. همین رویکرد در شبکه‌های عصبی یادگیری عمیق هم رخ می‌دهد. برای درک بهتر، معماری یک شبکه کلاسیک که به ANN معروف است در شکل ۷ آورده شده است.

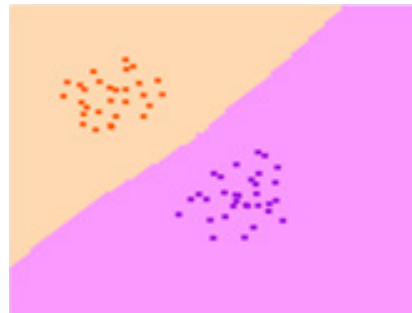


شکل ۷: معماری شبکه عصبی کلاسیک [۷].

در این شبکه ۱ لایه ورودی با ۳ نورون و ۲ لایه پنهان داریم که این ورودی‌ها وارد این لایه‌های پنهان می‌شوند که در هر گره محاسبات روی آن‌ها انجام می‌شود و با ترکیب خطی سایر گره‌ها به لایه بعدی می‌روند تا در نهایت به لایه نهایی و گره‌های خروجی برسند و خروجی مورد نظر را بعد از محاسبات پی‌درپی و سریالی، تحویل دهد. در این شبکه‌ها اهمیت مقیاس‌بندی به شدت مشاهده می‌شود. چون اگر در بدو ورود داده‌ها به شبکه مقیاس نشوند، با وجود این همه محاسبات سریالی، باعث بوجود آمدن بسیاری از مشکلات در یادگیری شبکه می‌شود. در شبکه‌های عصبی هر گره تابع فعال‌سازی وجود دارد که در هر لایه می‌تواند متفاوت باشد و محاسبات را روی ورودی‌ها انجام می‌دهد (مانند هسته در شبکه عصبی مغز انسان) و با ترکیب خطی سایر گره‌ها، آن‌ها را به گره‌های بعدی در لایه‌های بعدی ارسال می‌کند. برای یادگیری مدل‌ها به صورت عمیق و با استفاده از شبکه‌ها در ابتدا باید معماری شبکه مورد نظر طراحی شود که معماری‌های معروف و متنوعی نسبت به داده و مسئله وجود دارد. پس از آن که معماری شبکه تعیین شد باید پارامترهای آن را به عنوان مدل‌سازی تنظیم کرد که به طور مثال شبکه دارای چند لایه باشد و در هر لایه چند گره وجود داشته باشد، در هر لایه و هر گره از چه تابع فعال‌سازی استفاده شود، اندازه دسته‌ها چقدر باشد، چند دوره مدل ران شود و ... (در ادامه به توضیح اندازه دسته و

۴-۲ طبقه‌بندی

همانطور که در توضیحات گفته شد در این نوع مسائل مشاهدات طبقه‌بندی شده‌اند که باید ابر صفحه‌ای بین کلاس‌ها رسم شود که به آن طبقه‌بندی گفته می‌شود. به عنوان مثال در شکل ۵ داده‌ها دارای دو feature و دو کلاس (گروه) نارنجی و بنفش هستند.



شکل ۵: طبقه‌بندی دو گروه [۵].

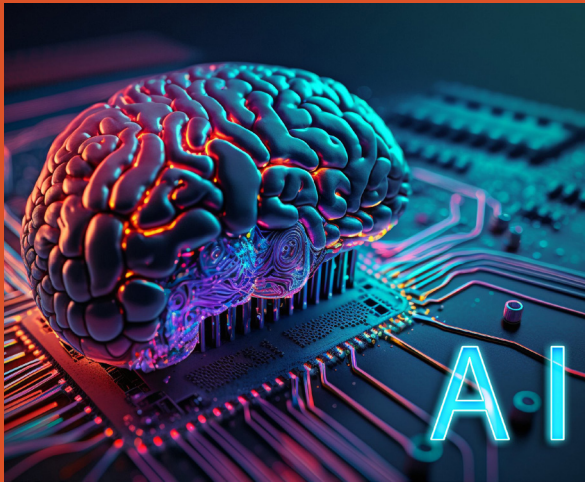
خود این classifier یک معادله ریاضی دارد که اگر داده‌ای در سمت راست این معادله قرار گرفت بر چسب بنفش و اگر در سمت چپ قرار گرفت بر چسب نارنجی به آن داده می‌شود. یکی از مدل‌های معروف طبقه‌بندی نزدیک‌ترین همسایگی (KNN) است که الگوریتم آن به شرح زیر است:

فاصله‌ی مشاهده‌ی جدید را با تمام مشاهده‌های قبلی محاسبه می‌کند (مثلاً فاصله اقلیدسی) K تا از نزدیک‌ترین همسایه‌های مشاهده‌ی جدید را انتخاب می‌کند. برای این کار فاصله‌های به دست آمده را از کوچک به بزرگ مرتب می‌کند و K تایی اولی انتخاب می‌شود. برای برچسب‌گذاری مشاهده‌ی جدید، به K تا داده‌ای که انتخاب شده است توجه می‌شود و این نتیجه به دست می‌آید که کدام برچسب بیشتر تکرار شده و همان را به مشاهده‌ی جدید می‌دهد.

(برای درک بهتر این الگوریتم و سایر الگوریتم‌های طبقه‌بندی می‌توان از سایت <https://ml-playground.com> استفاده کرد.)

در این الگوریتم K پارامتری است که بسیار نقش مهمی در یادگیری مدل دارد که باید توسط مدل‌سازی انتخاب شود. این نوع پارامترها که توسط مدل‌سازی باید انتخاب شوند را اصطلاحاً باید تنظیم کرد. یعنی باید عددی انتخاب کرد که مدل بهترین یادگیری را داشته باشد. در مسائل طبقه‌بندی برای ارزیابی مدل از دقت استفاده می‌شود. به این صورت که داده‌ها به دو دسته Train, Test تقسیم می‌شوند. سپس مدل با تعداد K بهینه شده روی داده Train، آموزش داده می‌شود. در اینجا هم برای آموزش X, Y را داریم چون مسئله نظارت‌شده است و Y برچسب‌ها هستند. پس از آموزش از مدل برای پیش‌بینی و برچسب‌گذاری داده‌های Test استفاده می‌شود و پس از اینکه مدل آن‌ها را بدست آورد، باید برای ارزیابی مدل آن‌ها را با Y های واقعی مقایسه کرد که بررسی شود چه تعداد از پیش‌بینی‌ها با مقدار واقعی آن‌ها برابر است که در نهایت دقت مدل بدست آید. همانطور که برای مسائل رگرسیونی معیارهای ارزیابی فراوان است برای مسائل طبقه‌بندی نیز معیارهای زیادی برای ارزیابی وجود دارد که به پرکاربردترین آن (دقت مدل) پرداخته شد. در این قسمت یک پروژه ساده با مدل KNN در پایتون آورده شده است در این پروژه قرار است با توجه به طول و عرض کاسبرگ و طول و عرض گلبرگ یک سری گل زنبق، مدل نوع گل را تشخیص دهد.

```
from sklearn.datasets import load_iris
from sklearn.model_selection import train_test_split
from sklearn.neighbors import KNeighborsClassifier
iris = load_iris()
X = iris.data
y = iris.target
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X, y, test_size = 0.2)
model = KNeighborsClassifier(n_neighbors = 10)
model.fit(X_train, y_train)
```



دوره پرداخته شده است). هم‌چنین در این شبکه‌ها حتی می‌توان تعیین کرد که برای یادگیری از چه الگوریتم بهینه‌سازی استفاده شود.

۵-۲- اندازه دسته‌ای

در این شبکه داده‌ها را به یک‌باره وارد الگوریتم نمی‌کنند و بلکه به صورت دسته دسته وارد شبکه می‌شوند. به این دلیل که فرصت یادگیری به مدل داده شود. معمولاً سایز دسته‌ها توان‌های عددی ۲ است. مثل ۱۶ و ۳۲ و ۶۴ و ۱۲۸ و ...

۵-۲- دوره

هر بار که داده‌ها به صورت دسته دسته وارد شبکه می‌شوند و زمانی که آخرین batch وارد شد یک دوره تمام می‌شود. پس در واقع دوره، تعداد بارهایی است که الگوریتم برای یادگیری اجرا می‌شود. پس در شبکه‌های عصبی فرآیند یادگیری به تعداد دوره انجام می‌شود. قابل توجه است که دسته‌هایی که در هر دوره ایجاد می‌شوند به صورت تصادفی درست می‌شوند و این کمک می‌کند که همه‌ی داده برای یادگیری استفاده شود. در هر دوره، مقداری از داده برای آموزش استفاده می‌شود و مقداری نیز برای ارزیابی مدل در هنگام یادگیری، که به آن اعتبارسنجی گفته می‌شود. این کار باعث می‌شود که روند یادگیری شبکه توسط مدل‌ساز بررسی شود. به عنوان مثال یکی از موارد مهمی که باید در روند یادگیری شبکه‌ها بررسی شود این است که آیا معیارهای ارزیابی مدل (MSE یا دقت...) در epochهای پایانی به عددی همگرا می‌شود یا خیر. که در صورت همگرا شدن یعنی شبکه به درستی در حال یادگیری است و در صورت همگرا نشدن باید پارامترها یا معماری شبکه دوباره تنظیم شوند.

۶- مراجع:

- [1] <https://coinmarketcap.com/currencies/bitcoin/>
- [2] <https://towardsdatascience.com/cryptocurrency-analysis-with-python-log-returns-f9c198a27884>
- [3] <https://online.stat.psu.edu/stat462/node/132/>
- [4] https://bookdown.org/brianmachut/uofm_analytics_r_hw_sol_2/linreg.html
- [5] <https://ml-playground.com/>
- [6] <https://howsam.org/artificial-neuron/>
- [7] <https://towardsdatascience.com/applied-deep-learning-part-1-artificial-neural-networks-d7834f67a4f6>

معرفی افراد

علی صنعتی

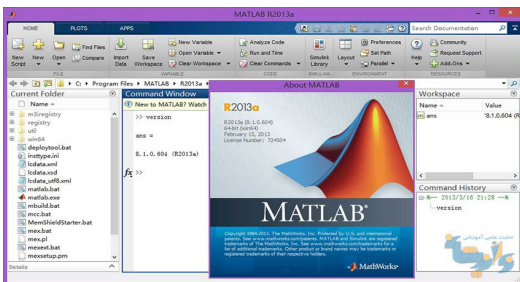
متولد ۱۳۷۷ در شیراز، در سال ۱۴۰۰ مدرک کارشناسی خود را در رشته مهندسی صنایع از دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی اخذ نموده و هم‌اکنون دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی است. او اکنون مدرس برنامه‌نویسی پایتون و هوش مصنوعی در موسسه‌ها و انجمن‌های علمی دانشگاه‌ها می‌باشد. از علاقه‌مندی‌های وی می‌توان به کاربرد یادگیری ماشین در حوزه‌های پژوهشی اشاره کرد.



یادگیری ماشین، همان‌طور که از اسمش پیداست، به ما نشان می‌دهد که در این رشته چه فعالیت‌هایی در حال انجام است. خیلی از افراد این حوزه را به اسم هوش مصنوعی یا AI می‌شناسند. مدل‌ها و الگوریتم‌های یادگیری ماشین فرمول‌های ریاضی هستند و منظور از یادگیری برآورد پارامترها در این فرمول‌ها است. برای اینکه تعریف دقیقی از یادگیری ماشین بیان شود، به این مثال توجه کنید: اگر به سیستم آموزشی کشور به صوت کلی نگاه شود، می‌توان در این سیستم، هر انسان را به یک ماشین تشبیه کرد.

معرفی نرم افزارهای گرایش های مهندسی برق و کامپیوتر

- ساخت کد از Object های تعیین شده توسط سیستم
- ساخت خودکار Library های داینامیک
- شبیه سازی EDA
- رابط کاربری بهینه شده برای جاسازی
- امکان محاسبه و ثبت مسیر توسط خط و خط تعمیم یافته



شکل ۱: محیط نرم افزار متلب.

**فرشاد ارغنده، مینا خادم، طاهره طالعی،
لیلا سادات ساجدی، امیر حسین فلاح باقری، فاطمه جلیلی
جشن آبادی، محمد امیر رضائی گزیک**

۱- مخابرات میدان و موج نرم افزار متلب

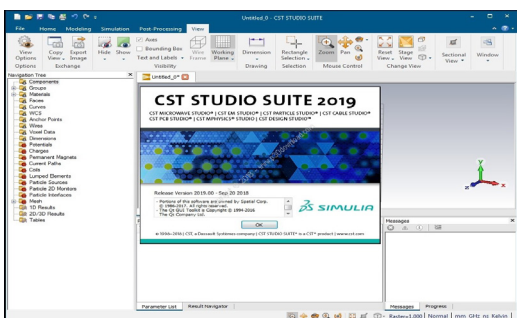
متلب محصول شرکت MathWorks یکی از قدرتمندترین نرم افزارهای محاسبات عددی و رسم پیشرفته نمودار بوده که کاربرد وسیعی بین دانشجویان، مهندسی و محققان انواع حوزه های علمی دارد و صرفاً به محاسبات ریاضی محدود نمی شود بلکه با امکان کدنویسی پیشرفته و نسبتاً راحت می توان انواع محاسبات مهندسی را نیز انجام داد. اولین نگارش این نرم افزار در دانشگاه نیومکزیکو و استنفورد در سال ۱۹۷۰ برای حل مسائل تئوری ماتریس ها، جبر خطی و آنالیز عددی ارائه شد و امروزه صدها هزار کاربر دانشگاهی، آکادمیک، صنعتی و غیره در زمینه های متنوع مهندسی نظیر ریاضیات، پیشرفته، جبر خطی، مخابرات و مهندسی سیستم از آن استفاده می کنند. ریاضیات، زبان مشترک بسیاری از علوم مهندسی است. ماتریس ها، معادلات دیفرانسیل، رشته های عددی اطلاعات، ترسیمات و گرافها از ابزار اصلی بکار گرفته در ریاضیات و نیز در این نرم افزار هستند. در هر رشته ای که نیاز به محاسبات ریاضی، ترسیم منحنی، شبیه سازی مدل، آنالیز عددی و شبیه سازی ریاضی باشد، استفاده از متلب می تواند مفید باشد. این نرم افزار دارای جعبه ابزارهای مختلفی است که دانشجویان و مهندسان هر رشته می توانند از جعبه ابزار متناسب با مسئله خود استفاده کنند. شما می توانید به سادگی، توابع و برنامه های خاص خودتان را با استفاده از کدها و توابع متلب بنویسید و در صورتی که تعداد آن ها زیاد باشد، با اختصاص یک زیر شاخه برای هر کدام یک جعبه ابزار درست کنید. شکل ۱، محیط متلب را نشان می دهد. برخی از قابلیت های نرم افزار متلب را در ادامه گفته می شود. قابلیت های کلیدی نرم افزار متلب عبارت است از:

- عملکرد یکپارچه برای انتگرال گیری عددی
- شبیه سازی انواع پدیده های فیزیکی و مهندسی
- بهینه شده برای ریاضیات پایه و عملکردهای میانگیری
- حل مسائل تئوری ماتریس ها، جبر خطی و آنالیز عددی
- برنامه نویسی FPGA و HDL
- برنامه نویسی آسان تر و ساده تر نسبت به C و Fortran
- دارای جعبه ابزارهای مختلف مهندسی
- پشتیبانی از استانداردها و مدل های رادیویی و مخابراتی
- پشتیبانی از رادیو USRP

نرم افزار CST STUDIO

یکی از قوی ترین ها نرم افزارها در حوزه شبیه سازی عددی میدان های الکترومغناطیس، طراحی انواع آنتن ها و مدارات فرکانس بالا نرم افزار CST Studio است. قابلیت های کلیدی CST Studio:

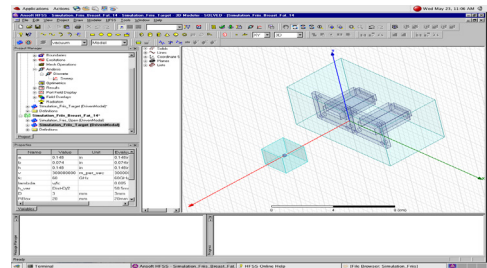
- طراحی سه بعدی مدل های الکترومغناطیس و آنتن های فرکانس بالا
- شبیه سازی عددی محاسبات EM و مصورسازی نتایج
- بررسی تداخل و سازگاری الکترومغناطیس (EMC, EMI)
- تحلیل اثر نیروی الکترومکانیکال بر مولدها و تجهیزات توان بالا
- کاهش تعداد Sample های فیزیکی و ریسک خطای محاسباتی
- سازگاری بالا با نرم افزارهای شبیه سازی SIMULIA



شکل ۲: محیط نرم افزار CST Studio Suite

نرم افزار HFSS

نرم افزار Ansys HFSS امروزه جایگاه شبیه سازی و به کارگیری روش های عددی در توصیف نزدیک به واقعیت سیستم های الکترومغناطیسی، به ویژه آنتن ها و قطعات موجبری و میکرواستریپ بر کسی پوشیده نیست. یکی از نرم افزارهایی که بدین منظور مورد استفاده مهندسان قرار می گیرد Ansys HFSS می باشد. همچنین یکی از مهمترین نرم افزارهای شبیه سازی میکروویو و ادوات فرکانس بالا می باشد و جهت شبیه سازی عملکرد ساختارهای سه بعدی در فرکانس های بالا استفاده می شود و برای دانشجویان مهندسی برق و مخابرات بسیار پر کاربرد می باشد. شکل ۳ محیط این نرم افزار را نشان می دهد.



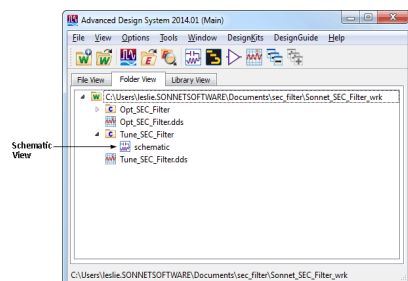
شکل ۳: محیط نرم افزار HFSS.

قابلیت های کلیدی این نرم افزار:

- شبیه سازی میدان الکترومغناطیسی فرکانس پایین
- طراحی موتور، عملکرد مکانیکی، مبدل و سایر دستگاه های الکترومغناطیسی
- طراحی انواع دستگاه های الکترومکانیکی
- شبیه سازی پیشرفته سه بعدی امواج الکترومغناطیسی حول میدان
- شبیه سازی نتایج میدان های الکترومغناطیسی، پارامترهای پراکندگی و جریانات
- شبیه سازی سیستم های کنترل شونده الکتریکی
- آنالیز و شبیه سازی در مقیاس های خیلی کوچک و خیلی بزرگ

نرم افزار ADS

نرم افزار ADS قدرتمندترین محصول شرکت Keysight EEsof EDA، در حوزه تحلیل ادوات میکروویو بوده که ابزار طراحی قدرتمندی را در اختیار مهندسان RF/Microwave قرار می دهد. این برنامه شامل المان های فشرده، خطوط انتقال، مقسم های توان، دیودها، ترانزیستورها، منابع و غیره می باشد که از آن ها برای ساخت و شبیه سازی یک مدار یا سیستم استفاده می شود. همچنین به کمک این نرم افزار روش های بهینه سازی مختلفی را برای رسیدن به عملکرد مورد نظر مدار می توان به کار برد. شکل ۴ محیط نرم افزار Advanced Design System (ADS) را نشان می دهد.



شکل ۴: محیط نرم افزار ADS.

برخی از قابلیت های کلیدی این نرم افزار:

- تجزیه و تحلیل DC
- تجزیه و تحلیل AC
- محاسبه انواع نویز حرارتی و خطی
- تجزیه و تحلیل تقویت کننده های توان
- تجزیه و تحلیل گذرا Transient
- تحلیل هارمونیک Harmonic Balance

- تحلیل پارامترهای S

- میزان سازی (Tuning)

- بهینه سازی

- صفحه بندی یا (Layout)

- انتقال المان های مدار به پنجره شماتیک

- طراحی Layout و انتقال آن به schematic

- اندازه حرکت Momentum مومنتوم

- طراحی و بهینه سازی فیلتر Band Stop

- طراحی فیلترهای دیجیتال

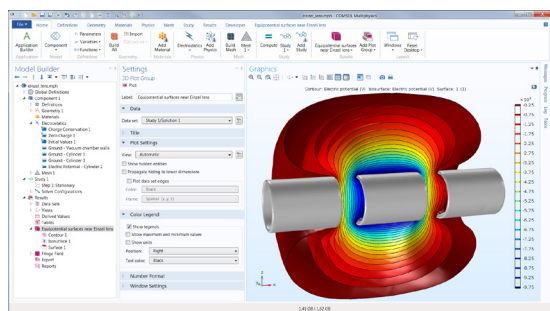
- طراحی فیلترهای آنالوگ

- محاسبه و سنتز خطوط انتقال و مدارات میکرواستریپ

- کار با نمودار اسمیت

نرم افزار کامسول

با استفاده از COMSOL Multiphysics می توان طراحی و شبیه سازی پروژه های مهندسی برق، مکانیک، علوم زمین، شیمی، فیزیک، نجوم و کوانتوم را انجام داد. این نرم افزار یک مجموعه شبیه سازی است که می تواند معادلات دیفرانسیل سیستم های غیر خطی را توسط مشتق های جزئی روش المان محدود در فضاهای یک، دو و سه بعدی حل نماید. این نرم افزار می تواند در حضور چالش هایی نظیر میدان های الکترومغناطیسی، کشش، دینامیک سیالات و دینامیک گاز به خوبی راهگشا باشد. همچنین این برنامه امکان تعامل با نرم افزار های مهندسی دیگر مانند Matlab و Catia را دارد. شکل ۵ محیط نرم افزار COMSOL Multiphysics را نشان می دهد.



شکل ۵: محیط نرم افزار COMSOL Multiphysics.

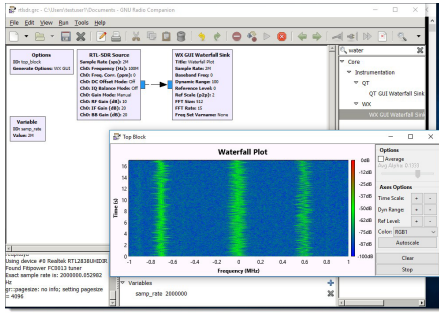
قابلیت های کلیدی COMSOL Multiphysics:

- طراحی و شبیه سازی پروژه های مهندسی برق، مکانیک، علوم زمین، شیمی، فیزیک، نجوم و کوانتوم
- حل معادلات دیفرانسیل سیستم های غیر خطی را توسط مشتق های جزئی روش المان محدود در فضاهای یک، دو و سه بعدی
- راهگشای خوبی در حضور چالش هایی نظیر میدان های الکترومغناطیسی، کشش، دینامیک سیالات و دینامیک گاز
- امکان تعامل با نرم افزار های مهندسی دیگر مانند Matlab و Catia
- قابلیت نصب در سیستم عامل Mac OS و Linux

نرم افزار LUMERICAL

مهندسی با استفاده از محصولات Lumerical قادر خواهند بود تا به چالش برانگیزترین مشکلات طراحی مثل آنالیزهای سطح اجسام با استفاده از حل کننده های نوری و شبیه سازی ها و طراحی های سیستم های پیچیده، بپردازند. قابلیت های این نرم افزار شامل: مدل سازی گرافن، کاهش زمان شبیه سازی، تجزیه و تحلیل واکنش پرتوهای فرابنفش، مادون قرمز و نور مرئی، شبیه سازی فرآیند TCAD، حاشیه نویسی در طرح های شماتیک و امکان تعریف ساختار پیچیده اشاره نمود. شکل ۶ محیط نرم افزار Lumerical را نشان می دهد.

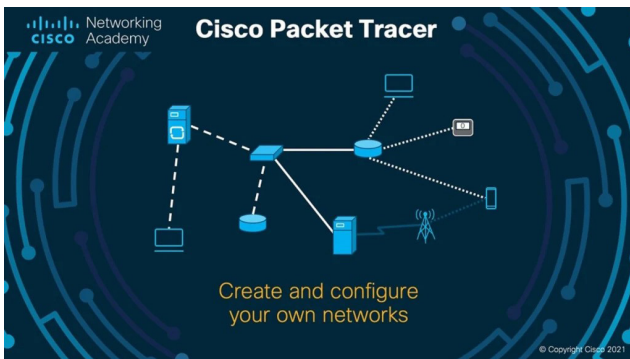
ایجاد کنند، از طرح های مدولاسیون و فرم سیگنال های دریافتی و ارسالی که در آن ها به صورت برنامه ریزی پیکربندی شده و از ساده ترین دستگاه های سخت افزاری برای گرفتن و تولید سیگنال ها استفاده می شود. شکل ۸ نمایی از محیط نرم افزار را نشان می دهد.



شکل ۸: محیط نرم افزار GNU radio

نرم افزار CISCO PACKET TRACER

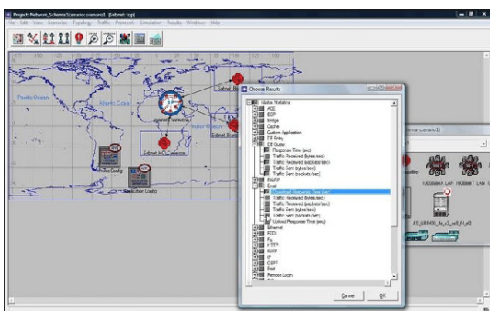
نرم افزار Cisco Packet Tracer ابزاری بسیار عالی از سوی کمپانی سیسکو، جهت شبیه سازی شبکه های سیسکو است و دارای یک محیط مجازی برای استفاده از انواع ابزارهای مورد کاربرد در شبکه های LAN و یا شبکه های بی سیم است. به عنوان مثال می توان در محیط شبیه سازی نرم افزار Packet Tracer کامپیوترهایی را به عنوان ایستگاه ها تعریف کرده و با تنظیم IP به صورت استاتیک یا اختصاص آبی به هر یک از آنان، وضعیت ارسال و دریافت بسته های داده را در میان آنان آزمایش کرد. در واقع Cisco Packet Tracer یکی از بهترین نرم افزارها جهت تفهیم صحیح مسائل مرتبط با شبکه های سیسکو است. شکل ۹ محیط این نرم افزار را نشان می دهد.



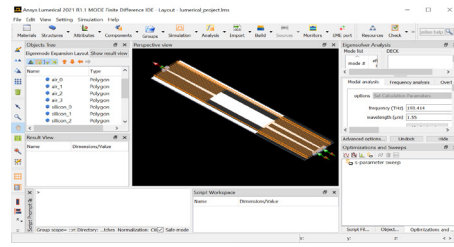
شکل ۹: محیط نرم افزار Cisco packet tracer

نرم افزار OPNET

در یک محیط مجازی شبکه را مدل سازی می کند که شامل رفتار مسیر یاب ها، سوئیچ ها، پروتکل ها، سرورها، کامپیوترهای شخصی و برنامه های کاربردی است. برنامه شبیه ساز شبکه OPNET دارای گستره وسیعی از پروتکل ها و تکنولوژی ها است که قادر است در قالب محیط توسعه ای کاملا ویژوال برای پیاده سازی و تحلیل عملکرد انواع شبکه های LAN, WAN, WLAN و غیره به کار رود. شکل ۱۰ محیط نرم افزار OPNET را نشان می دهد.



شکل ۱۰: محیط نرم افزار OPNET



شکل ۶: محیط نرم افزار Lumerical

ابزارهای مجموعه Lumerical Suite:

FDTD Solutions

حل کننده مساله ی ماکسول سه بعدی (3D Maxwell solver) می باشد که قادر به تجزیه و تحلیل فعل و انفعالات UV، نور مرئی و مادون قرمز با مقیاس طول موج است.

MODE Solutions

یک محیط جامع طراحی waveguide برای تجزیه و تحلیل و بهینه سازی فیبرها، ادوات و موجبرهای اپتیکیال متحد است.

INTERCONNECT

یک محیط طراحی مدار یکپارچه ی فوتونیک برای تجزیه و تحلیل مدارهای نوری یکپارچه، فوتونیک های سیلیکون و همچنین اتصالات داخلی اپتیکیال است.

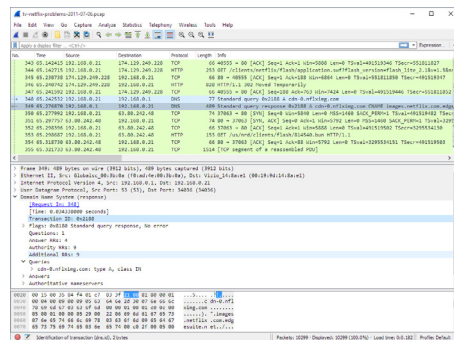
DEVICE

به عنوان شبیه ساز دیوایس های نیمه رسانای TCAD و طراحی، تجزیه و تحلیل و بهینه سازی قطعات اپتو الکترونیک می به کار می رود.

۲- مخابرات سیستم

نرم افزار WIRESHARK

نرم افزار Wireshark کاربردهای زیادی دارد، از جمله عیب یابی شبکه هایی که مشکلات عملکردی دارند. متخصصان شبکه های مخابرات و شبکه اغلب از Wireshark برای ردیابی اتصالات، مشاهده محتویات ترانکشن های مشکوک شبکه و شناسایی حجم ترافیک شبکه استفاده می کنند. در واقع این نرم افزار بسته های داده ای را که از طریق یک رابط شبکه (مانند Ethernet، LAN، یا SDR) عبور می کند، ضبط می کند و آن داده ها را به اطلاعات ارزشمندی برای متخصصان تبدیل می کند. شکل ۷ محیط نرم افزار Wireshark را نشان می دهد.



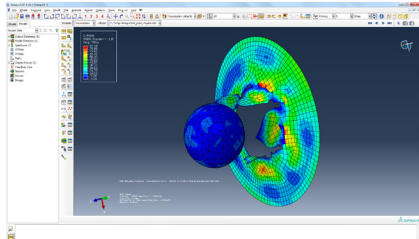
شکل ۷: محیط نرم افزار Wireshark

نرم افزار GNU RADIO

امروزه تمامی سخت افزارهای مدرن حوزه الکترونیک و مخابرات از تکنولوژی رادیو نرم افزار (SDR) استفاده می کنند. GNU radio یک پروژه متن باز برای توسعه پروژه های SDR است. این فریم ورک اکثر بلوک های پردازش سیگنال و انواع مدولاسیون های مخابراتی را برای کاربران و علاقمندان رادیو نرم افزار فراهم می کند. این فریم ورک به طور گسترده ای در محیط های دانشگاهی و تجاری (در زمینه های ارتباطات بی سیم و سیستم های رادیویی) استفاده می شود. در واقع این نرم افزار مجموعه ای از برنامه ها و کتابخانه ها است که به مهندسان مخابرات امکان می دهد سیستم های رادیویی دلخواه

نرم افزار آباکوس

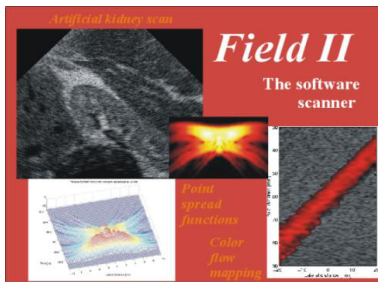
نرم افزار آباکوس (ABAQUS) یک مجموعه از برنامه‌های مدل‌سازی قوی است که مبتنی بر روش المان محدود است و قابلیت حل مسائل از یک تحلیل خطی ساده تا پیچیده‌ترین مدل‌سازی غیر خطی را دارا است. نرم‌افزار آباکوس کاربردهای بسیاری در زمینه‌های مختلف از علوم مهندسی به ویژه علم مهندسی زیست پزشکی و بیومکانیک دارد. این نرم‌افزار در طراحی و مدل‌سازی اندام‌ها و ارگان‌های بدن، شبیه‌سازی سیستم‌های تجهیزات پزشکی و بیولوژیکی، ایجاد نقشه طرح استخوان‌ها و مفاصل و تعیین پارامترهای مکانیکی موجود در سیستم‌های بیولوژیکی، انتقال حرارت، انتشار جرم، مدیریت حرارت اجزای الکتریکی، مسائل مربوط به صوت و التراسوند و تحلیل‌های پیزوالکتریک، کاربرد تخصصی دارد. نرم‌افزار آباکوس در گروه بیومکانیک قرار می‌گیرد که با استفاده از آن می‌توان به طراحی تجهیزات مختلف پزشکی، طراحی رابط‌های مکانیکی که در تجهیزات پزشکی استفاده می‌شوند، طراحی انواع پروتزها مثل پروتزهای زانو و پروتزهای دندان، شبیه‌سازی فرسودگی و اثرات ضربه برای افزایش طول عمر و قابلیت اعتماد ایمپلنت‌ها، طراحی دریچه قلب، ارزیابی و پیش‌بینی جراحی‌ها، طراحی سیستم‌های داروسازی، مدل‌سازی مفاصل و شبیه‌سازی فیزیولوژیکی پاسخ سیستم‌های مختلف بدن پرداخت. شکل ۱۳ محیط این نرم‌افزار را نشان می‌دهد.



شکل ۱۳: محیط نرم‌افزار آباکوس.

نرم‌افزار Fild II SIMULATION PROGRAM

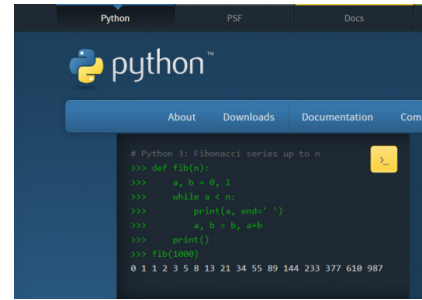
با اضافه کردن تولباکس Fild II به متلب می‌توان انواع مبدل‌های اولتراسوند و تصاویر مرتبط را شبیه‌سازی کرد. فوکوس و آپوڈیزاسیون مبدل‌ها را می‌توان به صورت دینامیکی کنترل کرد و بنابراین، شبیه‌سازی انواع سیستم‌های تصویربرداری اولتراسوند امکان‌پذیر است. تصاویر زیر نمایی از تصاویر Fild II است. شکل ۱۴ نمایی از محیط این نرم‌افزار را نشان می‌دهد.



شکل ۱۴: محیط نرم‌افزار Fild II Simulation Program.

جعبه ابزار EEGLAB

یکی از تولباکس‌های متلب، تولباکس EEGLAB است. EEGLAB یک رابط گرافیکی تعاملی (GUI) فراهم می‌کند که به کاربر اجازه می‌دهد داده‌های EEG یا سایر داده‌های مغزی را به صورت تعاملی با استفاده از ICA، تحلیل زمان / فرکانس و غیره پردازش کند. تولباکس EEGLAB یک خودآموز کامل و پنجره help دارد که به کاربر کمک می‌کند تا صفحات تجزیه و تحلیل سفارشی خود را جهت تحلیل داده مورد نظر ایجاد کند. این تولباکس روش‌های متعددی جهت مدلسازی و نمایش دینامیک‌های مغزی وابسته به رویداد ارائه می‌دهد. EEGLAB، برای کاربران با تجربه متلب، یک محیط برنامه‌نویسی جهت ذخیره، دسترسی، اندازه‌گیری، و نمایش داده‌های EEG وابسته به رویداد ارائه می‌دهد. برای برنامه‌نویسان خلاق و توسعه‌دهندگان الگوریتم‌ها،

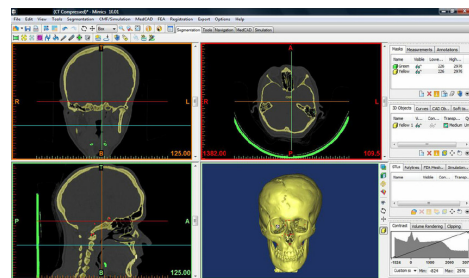


شکل ۱۱: محیط نرم‌افزار پایتون.

پایتون (Python) یک زبان اسکریپتی شی‌گرا سطح بالاست که برخلاف زبان‌های معمول دیگر به دلیل آن که همیشه در پشت صحنه قرار دارد، کمتر به گوش مهندسين خورده است. پایتون با کمک متن باز (Open Source) بودن خود دارای کتابخانه‌ها و ماژول‌های متعددی است که در بسیاری از زبان‌های کامپیوتری دیگر به طور کامل به آن پرداخته نشده است به همین دلیل این زبان در بین برنامه‌نویسان و مهندسی پزشکی گرایش بیوالکتریک و مکانیک که مایلند در مباحث تشخیص و طبقه‌بندی و رسم شکل‌ها و گراف‌ها و اشکال پیچیده و مصورسازی (Visualization) خروجی کدهای نوشته شده در زبان‌های دیگر اقدام کنند، یکی از محبوب‌ترین زبان‌های برنامه‌نویسی است. نرم‌افزار Python امکان اجرای کدهای ذخیره شده در پلتفرم‌های مختلف را دارا است. شکل ۱۱ محیط این نرم‌افزار را نشان می‌دهد.

نرم‌افزار (MIMICS)

میمیکس (MIMICS) یک نرم‌افزار تخصصی برای رشته‌های پزشکی به ویژه مهندسی زیست پزشکی است که به وسیله آن می‌توان تصاویر دریافتی از ام‌آر‌آی، سی‌تی اسکن و اف‌ام‌آر‌آی (fMRI) را در سه برش اصلی آکسیال، کرونال و ساجیتال ارائه کرد که به وسیله این برش‌ها می‌توان تصویری سه بعدی از عضو مورد مطالعه را جهت بارگذاری‌های نیرو و محاسبات مربوط به مقاومت مصالح و استاتیک اعضا به دست آورد. این نرم‌افزار توسط کمپانی بلژیکی متریالایز در سال ۱۹۹۱ منتشر شده است. نمایی از محیط نرم‌افزار در شکل ۱۲ نشان داده شده است.



شکل ۱۲: محیط نرم‌افزار میمیکس (MIMICS).

نرم‌افزار میمیکس قابلیت‌های متعددی دارد که از جمله آن‌ها می‌توان به امکان مش‌بندی در گونه‌های متفاوت، امکان انتخاب لایه‌های تصویر و نوع داده خروجی از نظر فرمت، امکان مشاهده تصویر به صورت همزمان در سه برش مختلف و مشاهده تغییرات هر یک حین انجام عمل ویرایش، امکان حذف نویز در تصویر و امکان اجرای همزمان چندین فیلتر تصویری و مشاهده تغییرات در لحظه بر مدل مربوط و غیره اشاره کرد. قابلیت‌های این نرم‌افزار به طراحی‌ها محدود نمی‌شود. چرا که در انجام جراحی‌هایی چون جراحی عروق و اعصاب و جراحی‌های مغز مثل خارج کردن تومورها از نواحی مختلف مغز و دیگر نقاط بدن نیز کاربرد داشته و جهت به دست آوردن تصویر سه بعدی و دقیق از محل و شکل تومور به یاری پزشکان می‌آید. در این نرم‌افزار می‌توان بافت نرم، عضله، عروق، اعصاب و بافت سخت را به تفکیک از یکدیگر بدست آورد و مدل سه‌بعدی از آن‌ها ترسیم کرد. این نرم‌افزار در گروه بیومکانیک قرار می‌گیرد.

۴- الکترونیک

نرم افزار پی اسپیس

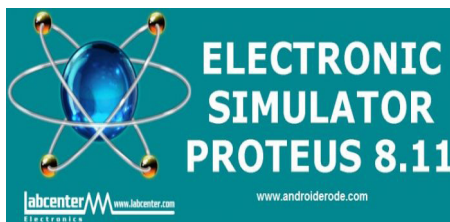
پی اسپیس یک برنامه نرم افزاری برای شبیه سازی مدارهای آنالوگ و سیگنال مخلوط است. پی اسپیس یا OrCAD EE معمولاً شبیه سازی‌هایی را برای مدارهای تعریف شده در OrCAD Capture اجرا می‌کند و می‌تواند با استفاده از رابط Simulink to PSpice در کنار SLPS با متلب/سیمولینک یکپارچه شود. OrCAD Capture و PSpice Designer در کنار هم یک راه حل کامل برای شبیه سازی مدار با ورودی شماتیک، آنالوگ، سیگنال مختلط و موتورهای تجزیه و تحلیل ارائه می‌دهند. قابلیت شبیه سازی تجزیه و تحلیل پیشرفته PSpice تحلیل‌های مختلفی را شامل می‌شود: حساسیت، مونت کارلو، بهینه ساز و رسم پارامتری که درک عمیقی از عملکرد مدار می‌دهد. قابلیت- OrCAD PSpice Simulink- PSpice Integration یا همان SLPS شبیه سازی مشترک را فراهم می‌کند و به بررسی رفتار سطح سیستم کمک می‌کند.



شکل ۱۸: نرم افزار PSpice.

نرم افزار پروتئوس

پروتئوس (Proteus) نرم افزاری برای پیاده سازی مدارهای الکترونیکی، شبیه سازی آن‌ها و همچنین طراحی نقشه‌های PCB است. یکی از ویژگی‌های بارز برنامه پروتئوس این است که محیط آن شبیه دنیای واقعی است. پروتئوس دو قسمت اصلی دارد که یکی برای طراحی و ترسیم مدارهای مختلف استفاده می‌شود و دیگری برای طراحی شماتیک PCB است. اولی ISIS است که با آن می‌توان مدارها را طراحی و شبیه سازی کرد و دومی ARES است که برای طراحی یک برد مدار چاپی استفاده می‌شود. پروتئوس، همچنین قابلیت‌های مربوط به نمای سه بعدی طراحی در PCB را فراهم می‌کند.



شکل ۱۹: نرم افزار Proteus.

نرم افزار مولتی سیم

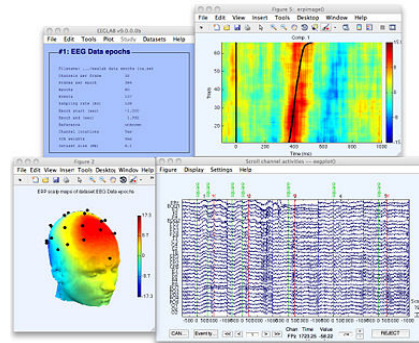
مولتی سیم برای شبیه سازی و تجزیه و تحلیل رفتار مدار الکترونیکی، شبیه سازی SPICE استاندارد صنعت را با یک محیط شماتیک تعاملی ادغام کرده است. رابط بصری این نرم افزار به مدرسان کمک می‌کند تا نظریه مدار را در برنامه مهندسی به خوبی مشخص کنند. مولتی سیم با افزودن شبیه سازی مدار قدرتمند و تجزیه و تحلیل به روند طراحی، به محققان و طراحان کمک می‌کند تا تکرارهای نمونه مدار چاپی (PCB) را کاهش دهند و در هزینه‌های توسعه صرفه جویی شود.



Multisim

شکل ۲۰: نرم افزار مولتی سیم.

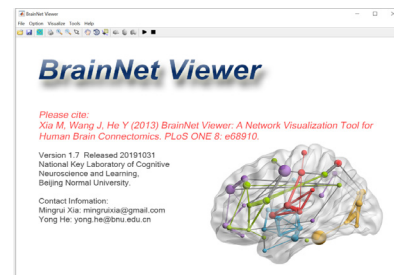
یک پلتفرم منبع باز ارائه می‌دهد که از طریق آن می‌توانند روش‌های جدید خود را به صورت توابع پلاگین EGLAB با سایر پژوهشگران به اشتراک بگذارند. شکل ۱۵ نمایی از این محیط نرم افزار را نشان می‌دهد.



شکل ۱۵: محیط نرم افزار EEGLAB.

جعبه ابزار BRAINNET

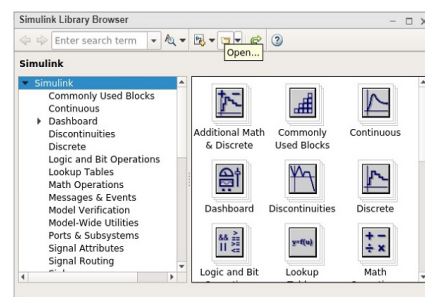
BrainNet Viewer یک ابزار تجسم شبکه مغز است که به محققان کمک می‌کند تا الگوهای اتصال ساختاری و عملکردی را از سطوح مختلف به روشی سریع، آسان و انعطاف پذیر تجسم کنند. این نرم افزار به صورت رایگان در دسترس است. شکل ۱۶ نمایی از محیط این نرم افزار را نشان می‌دهد.



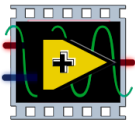
شکل ۱۶: محیط نرم افزار BrainNet.

سیمولینک متلب

نرم افزار همراه GUI متلب است که برای شبیه سازی از آن استفاده می‌شود و در واقع، توسط زبان برنامه نویسی متلب طراحی شده است. بسیاری از مهندسان برق به این دلیل از سیمولینک استفاده می‌کنند که کار با آن بسیار ساده تر از متلب است. در این صورت، کاربر برنامه نویسی متنی و گرافیکی را برای طراحی سیستم خود در یک محیط شبیه سازی ترکیب می‌کند و در واقع از هزاران الگوریتم موجود در متلب استفاده می‌کند. اگرچه سیمولینک یک نرم افزار عمومی برای پیاده سازی شبیه سازی گرافیکی است، اما جعبه ابزارهای ویژه‌ای برای شبیه سازی سیستم‌های مختلف دارد. جعبه ابزار سیستم‌های قدرت یکی از معروف ترین این جعبه ابزارها، جعبه ابزار سیستم‌های قدرت است که از آن برای شبیه سازی، تجزیه و تحلیل منابع انرژی تجدیدپذیر، خطوط انتقال، باس‌های الکتریکی، منبع تغذیه و غیره استفاده می‌شود. شکل ۱۷ نمایی از محیط نرم افزار را نشان می‌دهد.



شکل ۱۷: محیط نرم افزار Simulink.

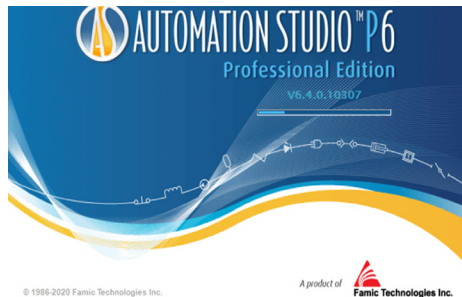


LabVIEW

شکل ۲۴: نرم افزار LABVIEW.

نرم افزار AUTOMATION STUDIO P6

نرم افزاری بسیار معروف و مفید در زمینه اتوماسیون صنعتی برق می باشد. البته این نرم افزار تماما برقی نیست اما از آن جایی که در کشور ما یک برقکار صنعتی یا یک مهندس طراح برق باید در زمینه مکانیک برقی نیز تخصص داشته باشد و در قسمت اتوماسیون صنعتی این امر محسوس تر می باشد. مهندسان جهت طراحی سیستم های شبیه سازی و تعمیر و نگهداری، از این نرم افزار بهره می برند. به عنوان مثال شما می توانید در این نرم افزار بخش هیدرولیک و پی ال سی ها را بهم پیوند دهید و نرم افزار اتوموشن استودیو شبیه سازی را انجام داده و شما دو داده سه بعدی و اطلاعات عمومی را از نتایج بدست آمده در نرم افزار استفاده کنید تا به بهترین طراحی برسید. همچنین شما می توانید مدارات هیدرولیک سیال را در این نرم افزار شبیه سازی کنید. فرآیند فعال سازی این نرم افزار کمی دشوار است.



شکل ۲۵: نرم افزار Simulink.

نرم افزار LOGO SOFT COMFOR

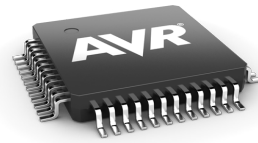
این نرم افزار برای کسانی که به PLC علاقمند هستند بسیار پیشنهاد می شود. نرم افزار لوگو سافت کامفورت از محصولات شرکت زیمنس می باشد و کاربرد اصلی آن کنترل کردن PLC های لوگو است. همچنین از کاربردهای دیگر نرم افزار LOGO Soft Comfort می توان به قابلیت برنامه دهی به PLC (پی ال سی) با بلوک دیاگرام، قابلیت برقراری ارتباط با استفاده از کابل Ethernet یا همان LAN بین لب تاپ و پی ال سی و غیره اشاره کرد. با استفاده از این نرم افزار می توان مانیتورینگ انجام داد و همچنین این نرم افزار این قابلیت را دارد که با آن یک اتوماسیون کامل را راه اندازی کرد. البته منظور ما در اینجا پی ال سی های سری S نیستند، بلکه PLC های لوگو که برای راه اندازی اتوماسیون های هوشمند کوچک هستند. محیط گرافیکی کاربر پسند و آسانی کار با آن از جمله ویژگی های این نرم افزار هستند.



شکل ۲۶: نرم افزار LOGO SOFT COMFOR.

نرم افزار کدویژن

نرم افزار کدویژن یکی از برنامه های بسیار کاربردی برنامه نویسی و میکرو می باشد که با محیط کاربردی بسیار مناسب و کاربردی و دارا بودن محیط Code Wizard این قابلیت را دارد تا کاربر بتواند به سادگی برنامه نویسی کرده و بتواند آن را در نرم افزارهای کامپایل مانند Proteus Designer برنامه خود را به راحتی تست و عیب یابی کند.



شکل ۲۱: نرم افزار کدویژن.

نرم افزار ارکد کپچر

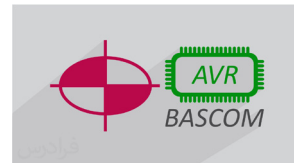
ارکد کپچر (Orcad Capture) یک از نرم افزارهای شرکت (Cadence Design Systems, Inc) است که برای تحلیل و شبیه سازی مدارهای الکترونیکی عرضه شده است. ارکد کپچر امکان تحلیل های ریاضیاتی را برای پژوهشگران فراهم می کند.



شکل ۲۲: نرم افزار Orcad Capture.

نرم افزار بسکام

نرم افزار بسکام BASCOM نرم افزاری است، جهت برنامه نویسی و طراحی مدارات الکترونیکی بر اساس میکروکنترلرها، با استفاده از زبان برنامه نویسی بیسیک توسعه داده شده است. به کمک BASCOM می توان با استفاده از آی سی های IC خانواده AVR و MCS-8051 مدارات پیشرفته و قابل انعطاف ایجاد کرد. در کنار نرم افزار BASCOM، نرم افزارهای دیگری نیز برای برنامه نویسی این آی سی ها وجود دارد، که البته با توجه به قدرت، آسانی و انعطاف پذیری فوق العاده نرم افزار بسکام، مخصوصا در سطح آماتوری بسیار مورد توجه قرار گرفته است.



شکل ۲۳: نرم افزار BASCOM.

۵- کنترل

نرم افزار LABVIEW

نرم افزار لبویو، یک زبان برنامه نویسی گرافیکی است که امروزه بیشترین کاربرد را در زمینه طراحی سیستم های کنترل و پایش به کمک کامپیوتر دارد. لبویو ابزارهای متنوعی را در همه زمینه های مهندسی، با کاربردهای صنعتی، پژوهشی و آموزشی برای مهندسان و دانشجویان ارائه می دهد. با کمک این نرم افزار و محیط گرافیکی کاربر پسند آن می توان به سرعت برنامه های کاربردی را ایجاد کرد و توسعه داد. لبویو در رشته های مختلفی از قبیل مهندسی برق، مهندسی کامپیوتر، مهندسی مکانیک و مهندسی شیمی کاربرد دارد. همچنین در همه زمینه های صنعتی و اتوماسیون کاربرد دارد. لبویو در زمینه های مختلف، از پروژه های دانشجویی تا صنعتی، را در بر می گیرد. طیف متنوعی از عملکردها و قابلیت ها در کنار محیط توسعه آسان این نرم افزار، آن را به یکی از محبوب ترین و کاربردی ترین نرم افزارهای دنیا در زمینه اتوماسیون تعریف کرده است.



شکل ۲۸: نرم افزار EPLAN.

نرم افزار SPI

نرم افزار SmartPlant Instrumentation Intergraph یا همان INtools را می توان قوی ترین نرم افزار در زمینه طراحی و مدیریت سیستم های کنترل و ابزار دقیق به شمار آورد. استفاده از این نرم افزار این امکان را به مهندسان و طراحان کنترل و ابزار دقیق می دهد تا با مدیریت بهتر اطلاعات یک سیستم کنترلی، از وقوع اتفاقاتی همچون قطعی های بی موقع جلوگیری کنند. این نرم افزار تمامی داده های سیستم را در قالب یک پیکره ی واحد طبقه بندی می کند و با این روش تمامی اجزای سیستم در تمام مدت قابل پیگیری وضعیت می باشند. از جمله قابلیت های کلیدی این نرم افزار می توان به این موارد اشاره کرد: تهیه ی نقشه ها به صورت اتوماتیک بر مبنای داده های ورودی، اطمینان دهی از پیوستگی عملیات و رفع زمان بررسی های مجدد تنها با استفاده از یک برگه اطلاعات از پیش آماده شده، پانل مدیریت از پیش آماده، امکان وارد کردن فایل.



شکل ۲۹: نرم افزار SPI.

نرم افزار SCILAB

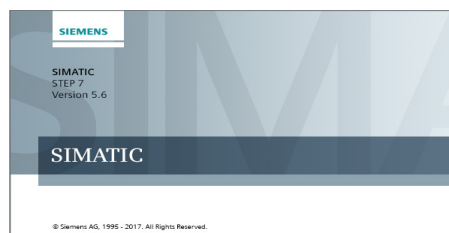
نرم افزار Scilab یک بسته محاسباتی عددی است که در مهندسی ابزار دقیق و کنترل بسیار مهم است. همچنین در تجزیه و تحلیل داده ها، پردازش سیگنال، شبیه سازی دینامیک سیالات و بهبود تصویر استفاده می شود. این یک نرم افزار متن باز جایگزین برای MATLAB است.



شکل ۲۸: نرم افزار SCILAB.

نرم افزار SIMATIC STEP 7

حدود ۷۰ درصد از صنایع مختلف کشورمان از پی ال سی های شرکت زیمنس استفاده می کنند. در این نرم افزار می توان برای PLC های سری S200، S300، S400 و حتی S1500 و S2000 برنامه نویسی به صورت نردبان (Ladder (Lad))، اسمبلی (STL) و بلوک دیاگرام (FBD) را انجام داد. یکی از دلایلی برتری این نرم افزار پایداری ۱۰۰ درصدی پی ال سی های تولید شده توسط این شرکت می باشد. فعال سازی این نرم افزار بسیار ساده می باشد. STEP 7 معروف ترین و پرکاربردترین نرم افزار برنامه نویسی در صنعت است. این نرم افزار در دو نسخه SIMATIC Manager برای برنامه نویسی خانواده ۳۰۰ و ۴۰۰ و Step7 TIA Portal برای برنامه نویسی سری ۱۲۰۰ و ۱۵۰۰ استفاده می شود.



شکل ۲۷: نرم افزار SIMATIC STEP 7.

نرم افزار TIA PORTAL

Tia portal نرم افزار مهندسی زیمنس است که برای طراحی و اجرای پروژه های اتوماسیون تولید شده و در ابتدا برای PLC های جدید زیمنس S7-1200 که جایگزین S7-200 بودند، طراحی شده بود و بعدها نسخه جدید و کامل تر آن توسط شرکت زیمنس برای PLC های سری S7-300، S7-400 و S7-1500 تولید شد. این نرم افزار به عنوان قسمتی از تحقق رویای زیمنس به منظور ایجاد دسترسی تمام عیار به فرایندهای اتوماسیون طراحی شده است. در واقع Tia portal تنها یک نام و ترکیبی از چند نرم افزار است، به عبارت ساده تر زیمنس برای یکپارچه سازی محصولات خود، چند نرم افزار همچون WinCC، Step7، StarDrive و غیره را در یک پکیج کامل جمع آوری کرده و آن را تیا پورتال نامیده است.



شکل ۲۷: نرم افزار Tia portal.

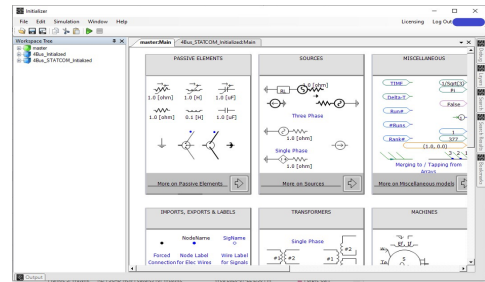
نرم افزار EPLAN

نرم افزار ePLAN یک بسته طراحی به کمک کامپیوتر است که به طور گسترده در بسیاری از صنایع مورد استفاده قرار می گیرد (مثلاً شرکت زیمنس در طراحی های الکتریکی خود از داخل استفاده می کند و رابط مستقیمی با PLM دارد. این نرم افزار یک محیط پروژه تلفیقی را به کاربر ارائه می دهد که در آن برنامه ریزی، کار با اسناد و مدیریت پروژه های اتوماسیون الکتریکی با سیستم های سیال برای هیدرولیک و پنوماتیک، طراحی سه بعدی تابلو برق و تجهیزات تابلو، طراحی دوبعدی و سه بعدی و تهیه اسناد مربوط به کابل ها و تجهیزات مختلف دیگر را انجام دهد. دسترسی مبتنی بر وب به جدیدترین داده های تجهیزات مختلف تولیدکنندگان پیشرو نیز به این نرم افزار افزوده شده است. نرم افزار ePLAN به طور گسترده ای در صنعت برای طراحی نقشه ها و طرح های تأسیسات الکتریکی به کار می رود.

۶- قدرت

نرم افزار PS CAD

در مهندسی سیستم‌های قدرت و الکترونیک قدرت دو حالت چالش برانگیز داریم که مسائل این دو حالت را این نرم افزار تقریباً کم حجم ولی قدرتمند و بهینه انجام می‌دهد. دو حالتی که بیش تر با این نرم افزار یعنی PS CAD تحلیل می‌شوند عبارتند از حالت‌های گذرا و ماندگار. همچنین این نرم افزار در کتابخانه‌های خود از عناصر و المان‌های ساده‌ی پسیو و اکتیو تا انواع ماشین‌های الکتریکی و خطوط توزیع و انتقال را پوشش می‌دهد. پیش‌نیاز این نرم افزار اغلب متلب و همزمان با یادگیری متلب می‌توانید این نرم افزار را یاد بگیرید. معمولاً برای محاسبات ساده‌تر از این نرم افزار استفاده می‌شود اما به طور کلی برای سیستم‌های قدرتی به کار می‌رود. شکل ۱۹ نمایی از محیط این نرم افزار را نشان می‌دهد.



شکل ۲۹: محیط نرم افزار PS CAD

قابلیت های کلیدی نرم افزار:

- طراحی، شبیه‌سازی و اجرای مجازی مدارها در سیستم قدرت
- کتابخانه شامل المان های پسیو ساده، توابع کنترلی، ماشین های الکتریکی، دستگاه ها و خطوط انتقال
- تحلیل مدار و مشاهده نتایج به شکل متغیرهای عددی یا نمودارهای گرافیکی
- رسم همزمان نمودارها و اندازه گیری متغیرهای سیستم
- بررسی پارامتریک مدل
- ارائه ی رابط کاربری شبکه الکتریکی Electric Network Interface به اختصار ENI
- اجرای چند طرح شبیه سازی EMTDC به صورت موازی

نرم افزار PLECS

نرم افزار PLECS شامل تمام قطعات و ابزارهایی است که برای طراحی یک مدار الکترونیکی نیاز است. شما با کنار هم قرار دادن قطعات مورد نظر و برقراری ارتباط میان آن‌ها در یک آزمایشگاه مجازی مدار خود را مونتاژ، کنترل و تست نمایید. همچنین این نرم افزار می‌تواند با رندر بسیار بالا و سریع به شما کمک کند تا بتوانید طراحی‌های حرفه‌ای و در کیفیت بالا داشته باشید، مدارها را تست کنید و در صورت وجود هرگونه مشکل به رفع آن‌ها اقدام کنید. اگر استقلال از سایر سیستم عامل‌های شبیه‌سازی مهم باشد، PLECS Standalone یک راه‌حل همه جانبه برای مدل‌سازی مدارهای پیچیده الکتریکی و کنترل‌های پیشرفته در یک محیط واحد را فراهم می‌کند. با توجه به موتور بهینه‌سازی آن، PLECS Standalone بسیار سریعتر از PLECS Blockset عمل می‌کند PLECS Standalone با استفاده از کتابخانه بلوک جامع، راه حل مقرون به صرفه اما قدرتمند برای شبیه‌سازی سیستم پویا به طور کلی ارائه می‌دهد. شکل ۲۰ نمایی از محیط این نرم افزار را نشان می‌دهد.

ویژگی‌های نرم افزار:

- شبیه‌سازی سیستم‌های الکتریکی پیچیده
- پشتیبانی از رویکرد طراحی بالا به پایین
- اعمال کنترل کامل و تست مدل ساخته شده
- شامل قطعات و ابزارهای مورد نیاز در طراحی مدار
- فراهم نمودن یک آزمایشگاه مجازی مدار
- راه‌حلی مقرون به صرفه و قدرتمند برای شبیه‌سازی سیستم‌های پویا

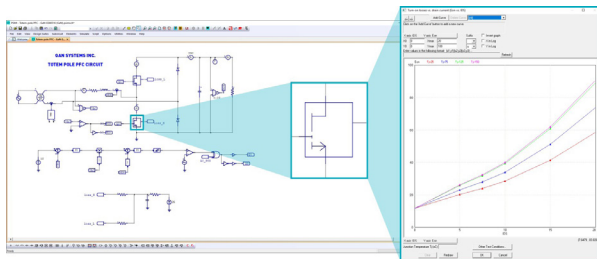


PLECS
Standalone
www.p3download.com

شکل ۳۰: محیط نرم افزار PLACES.

نرم افزار PSIM

یک نرم افزار شبیه‌سازی است که به طور خاص برای الکترونیک قدرت و درایوهای موتوری طراحی شده است. دارای ماژول درایو شامل ماشین‌های الکتریکی و مدل‌های بار مکانیکی برای مطالعات سیستم درایو موتور ساخته شده است. با استفاده از این برنامه مهندسين الکترونیک و قدرت قادر هستند انواع قطعات الکترونیک را از کتابخانه عظیم این برنامه انتخاب و در مدار خود استفاده کنند. PSIM یک آزمایشگاه کامل برق و الکترونیک است که در آن انواع سنجش‌گرها و دستگاه‌های اندازه‌گیری مانند اسیلوسکوپ‌ها، تحلیل‌گرهای موج، نمایشگر و تحلیلگرهای گرمایی، بررسی جریان‌های مستقیم و غیر مستقیم، همچنین کار با موتورهای AC و DC را در دسترس قرار داده است تا بتوان درک کاملی از عملکرد مدار داشته باشیم. در حین شبیه‌سازی می‌توانید با استفاده از پروب‌ها، جریان، ولتاژ و سایر پارامترها را به صورت زنده ببینید. این برنامه قدرت بالایی در نمایش و شخصی‌سازی موج‌ها دارا می‌باشد. یکی از مزایای PSIM توانایی ارتباط با نرم افزار متلب و سیمولینک جهت شبیه‌سازی‌های پیچیده‌تر و دقیق‌تر می‌باشد در واقع خروجی این برنامه را به صورت داده‌های ریاضی می‌توانید وارد این برنامه‌ها کنید و از مزایای آن‌ها نیز برخوردار شوید. شکل ۲۱ نمایی از این محیط نرم افزار را نشان می‌دهد.



شکل ۳۱: محیط نرم افزار PSIM

نرم افزار GAMS

مدل‌سازی ریاضی برای به دست آوردن مناسب‌ترین روش تصمیم‌گیری، کاربردهای فراوانی در طول تاریخ داشته است. نرم افزار گمز ابزاری تخصصی جهت حل این گونه مدل‌های ریاضی هست که به دنبال بهینه کردن اهداف خود با توجه به محدودیت‌هایی که هر تصمیم‌گیری با آن مواجه است، همچون محدودیت سرمایه، مواد اولیه، انرژی مصرفی، زمان اتمام، نیروی کار و غیره است. GAMS یک سیستم مدل‌سازی و بهینه‌سازی سطح بالا جهت حل مدل‌های پیچیده و بزرگ ریاضی است که می‌تواند مدل‌های خطی، غیرخطی، مختلط و غیره را با روش‌ها و الگوریتم‌های بسیار متنوع و به انتخاب کاربر حل نماید. از دیگر مزیت‌های این نرم افزار ساختار ساده و سهولت کدنویسی با آن است، به طوری که بسیاری از دستورها و عبارات مورد استفاده شباهت بالایی به ادبیات نوشتاری مدل‌های ریاضی دارد. در گرایش سیستم‌های قدرت از نرم افزار GAMS برای حل مسائل بازار برق، جابجایی بهینه تولیدات پراکنده، خازن‌گذاری، نحوه آرایش تولید نیروگاه‌ها و غیره استفاده می‌شود. یکی از منابع مهم آموزشی در این حوزه کتاب بهینه‌سازی سیستم‌های قدرت در نرم افزار گمز، نوشته‌ی دکتر علیرضا سرودی است. این نرم افزار در گرایش سیستم‌های قدرت کاربرد دارد.

نرم افزار ANSYS MAXWELL

امروزه با رشد صنایع و پیشرفت علم و تکنولوژی، تعداد قطعات و دستگاه‌های الکتریکی موجود در اطراف ما از انواع موتورهای الکتریکی گرفته تا خودروهایی برقی، ادوات مغناطیسی و الکترواستاتیکی و غیره رو به افزایش است. به همین جهت، شبیه‌سازی این وسایل گامی بسیار مهم در راستای فهم بیشتر و ساخت اجزا و دستگاه‌های جدیدتر محسوب می‌شود. نرم‌افزار آنسیس ماکسول (ANSYS Maxwell) را می‌توان یکی از جامع‌ترین نرم‌افزارهای برق دانست که در نوع خود نیز بی‌نظیر است، با پیشرفت صنعت برق و افزایش روزافزون نیاز به انرژی‌های پاک، از جمله انرژی برق، بر اهمیت شناخت لازم نسبت به این نرم‌افزار، افزوده می‌شود، چرا که برای ساخت اکثر وسایل برقی از جمله: ماشین‌های الکتریکی، گیربکس‌های مغناطیسی و... نیازمند شبیه‌سازی آن‌ها هستیم تا به خروجی بهینه و مطلوبی دست پیدا کنیم (ANSYS Maxwell). یکی از محصولات شرکت Ansys بوده که در زمینه آنالیز پیشرفته میدان‌های مغناطیسی و تحلیل اجسام الکترومغناطیسی فعالیت می‌کند. از این نرم‌افزار در طراحی و شبیه‌سازی موتورهای الکتریکی، ترانسفورماتورها، سیم‌پیچ‌های میدان و به صورت کلی دستگاه‌های که در میدان مغناطیسی کار می‌کنند، استفاده می‌شود. شما با این نرم‌افزار پر قدرت می‌توانید انواع حالات مغناطیسی چه در ترانسفورماتورها و یا در ماشین‌های الکتریکی را پیاده‌سازی نمایید. از جمله کاربردهای این نرم‌افزار می‌توان به شبیه‌سازی میدان الکترومغناطیسی فرکانس پایین، شبیه‌سازی سیستم‌های الکترومکانیکی و الکترونیک قدرت، بهینه‌سازی و مدل‌سازی پارامتری و غیره اشاره کرد. این نرم‌افزار در گرایش الکترونیک قدرت و ماشین‌های الکتریکی کاربرد دارد.



شکل ۳۶: نرم افزار ANSYS MAXWELL.

نرم افزار ALTIUM DESIGNER

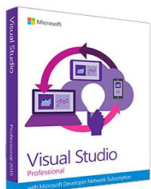
امروزه می‌توان اهمیت مدارهای چاپی را هم تراز با برق دانست چرا که تقریباً در تمامی وسایل برقی تولیدی امروزه، از بردهای مدار چاپی برای برقراری اتصال بین ادوات الکتریکی استفاده می‌گردد. استفاده از بردهای مدار چاپی سبب افزایش سرعت و دقت و آسانی در مونتاژ، کاهش نویز، جلوگیری از اشتباهات انسانی و بسیاری مزایای دیگر می‌شود. این موارد سبب شده نه تنها در تولیدات با تیراژ بالا بلکه در محصولات نمونه نیز از مدارات چاپی استفاده گردد. نرم‌افزار آلتیوم دیزاینر یکی از مشهورترین و قدرتمندترین نرم‌افزارهای طراحی مدارات چاپی است از جمله کاربردهای این نرم‌افزار طراحی پی‌سی‌بی است. این نرم‌افزار در گرایش الکترونیک قدرت و ماشین‌های الکتریکی هم کاربرد دارد.



شکل ۳۷: نرم افزار ALTIUM DESIGNER.

۷- کامپیوتر**نرم افزار MICROSOFT VISUAL STUDIO ULTIMATE**

نرم‌افزار Visual Studio، نرم‌افزاری توسعه یافته برای برنامه‌نویسان کامپیوتر است که توسط شرکت نرم‌افزاری Microsoft تولید شده است.



شکل ۳۸: محیط نرم افزار MICROSOFT VISUAL STUDIO ULTIMATE.



شکل ۳۲: نرم افزار GAMS.

نرم افزار DIGSILENT POWER FACTORY

نرم‌افزار DigSILENT Power Factory یکی از قوی‌ترین نرم‌افزارهای تحلیل شبکه است که در هر سه حوزه تولید، انتقال و توزیع کاربرد دارد. قدرت و صحت نتایج حاصل از این نرم‌افزار تا اندازه‌ای است که در شرکت‌های برق منطقه‌ای و شرکت مادر تخصصی توانیر برای تحلیل شبکه سراسری ایران از این نرم‌افزار استفاده می‌شود. از این نرم‌افزار برای آنالیز پایداری و مطالعات حالت گذرای الکترومغناطیسی، مطالعات شبه دینامیکی، قابلیت اطمینان سیستم قدرت، کیفیت توان و هارمونیک‌ها و غیره استفاده می‌شود. این نرم‌افزار در گرایش سیستم‌های قدرت کاربرد دارد.



شکل ۳۳: نرم افزار DIGSILENT Power Factory.

نرم افزار ETAP

نرم‌افزار ETAP یکی از نرم‌افزارهای قدرتمند و در عین حال انعطاف پذیر در تحلیل سیستم‌های قدرت است که به کاربر امکان انجام هرگونه تحلیل لازم را می‌دهد. این نرم‌افزار با رویکرد صنعتی پاسخگوی تمامی محاسبات لازم برای یک مهندس طراح جهت آنالیز سیستم قدرت می‌باشد. به طور کلی این نرم‌افزار دارای قابلیت‌های اجرای محاسبات پخش بار متعادل و نامتعادل، اجرای محاسبات اتصال کوتاه در استانداردهای مختلف و نیز محاسبات تخلیه قوس و رسم نمودارهای مرتبط، محاسبات هماهنگی تجهیزات حفاظتی مختلف، محاسبات طراحی سیستم زمین و غیره است. این نرم‌افزار در گرایش سیستم‌های قدرت کاربرد دارد.



شکل ۳۴: نرم افزار ETAP.

نرم افزار PSCAD

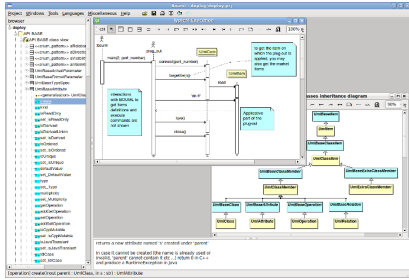
این نرم‌افزار یک برنامه شبیه‌ساز در زمینه اهداف مختلف، برای سیستم‌های قدرت چند فاز و شبکه‌های کنترلی می‌باشد. در واقع این نرم‌افزار به منظور مطالعه سیستم‌های قدرت زودگذر طراحی شده است. یک رابط کاربری گرافیکی و ابزارهای کنترلی بسیار زیاد، کار با این نرم‌افزار را بسیار راحت و ابزارهایی برای هم آنالیز و هم طراحی سیستم‌های قدرت، کار را بسیار دلپذیر و جذاب می‌سازد. کتابخانه این نرم‌افزار شامل عناصر سیستم‌های قدرت و الکترونیک قدرت نظیر موارد زیر می‌باشد: کابل‌ها و خطوط انتقال وابسته به فرکانس ترانسفورماتورها ماشین‌های مختلف (سنکرون، آسنکرون، DC، توربین‌های مختلف اعم از آبی، بخاری و بادی) کانورترها درایوها و بلوک‌های کنترلی رله‌ها. این نرم‌افزار در گرایش الکترونیک قدرت و ماشین‌های الکتریکی کاربرد دارد.



شکل ۳۵: محیط نرم افزار Pscad.

نرم افزار BOUML

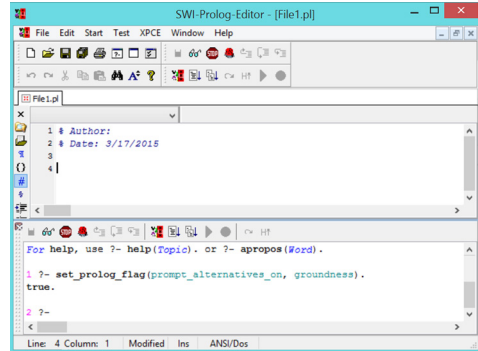
یک طراح نمودار یکپارچه مدل سازی زبان (UML) است. این برنامه در ++C و Qt، چند زبانه است و از تولید کد و مهندسی معکوس کد پشتیبانی می کند.



شکل ۴۳: محیط نرم افزار BOUML.

نرم افزار SWI PROLOG

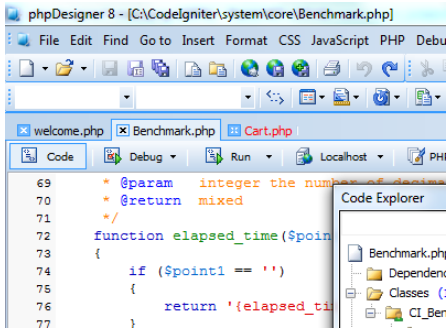
یک اجرای رایگان از زبان برنامه نویسی Prolog است، که معمولاً برای آموزش و برنامه های وب معنایی استفاده می شود.



شکل ۳۹: محیط نرم افزار SWI Prolog.

نرم افزار PHP DESIGNER

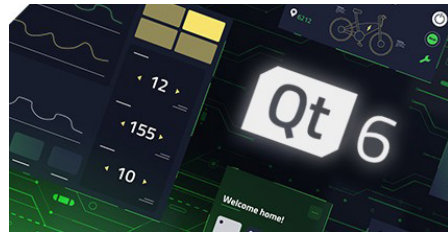
نرم افزار PhpDesigner به شما امکان می دهد تا بتوانید همه نیازهای خود را در مورد PHP برطرف نمایید. نرم افزار PhpDesigner به شما امکان ادیت و آنالیز فایل های PHP را می دهد.



شکل ۴۴: محیط نرم افزار PHP Designer.

نرم افزار QT

فریم ورک برنامه نویسی برای ایجاد نرم افزارهای گرافیکی (GUI) و خط فرمان (Console) چند سیستم عاملی است.



شکل ۴۰: نرم افزار Qt.

نرم افزار ECLIPSE FOR JAVA DEVELOPERS

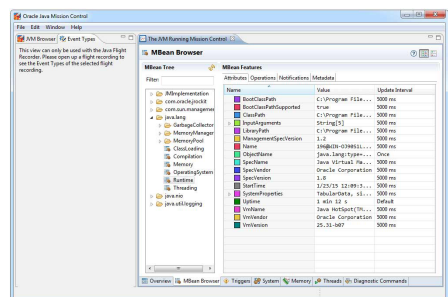
Eclipse جدیدترین نسخه از اسدی کی معروف ایکلیپس، به عنوان قدرتمندترین محیط برنامه نویسی جاوا، مورد کاربرد توسعه دهندگان این زبان برنامه نویسی است.



شکل ۴۱: محیط نرم افزار Eclipse For java Developers.

نرم افزار JAVA SE DEVELOPMENT

یک مجموعه ویژه مخصوص برنامه نویسان زبان برنامه نویسی جاوا (Java) می باشد که دارای ابزارهای فوق العاده برای توسعه نرم افزار می باشد.



شکل ۴۲: محیط نرم افزار Java SE Development.

امروزه می توان اهمیت مدارهای چاپی را هم تراز با برق دانست چرا که تقریباً در تمامی وسایل برقی تولیدی امروزه، از بردهای مدار چاپی برای برقراری اتصال بین ادوات الکتریکی استفاده می گردد. استفاده از بردهای مدار چاپی سبب افزایش سرعت و دقت و آسانی در مونتاژ، کاهش نویز، جلوگیری از اشتباهات انسانی و بسیاری مزایای دیگر می شود.

انجمن

معرفی

و افتخارات

معرفی افراد

دکتر سید حامد دلخوش

عضو هیات علمی مهندسی برق قدرت

مشاور انجمن علمی مهندسی برق و کامپیوتر



دکتر مریم ایمانی

عضو هیات علمی مهندسی برق مخابرات

مشاور شاخه IEEE دانشگاه تربیت مدرس



لیلا سادات ساجدی

مدیر مسئول نشریه برقکام

خزانه‌دار شاخه IEEE دانشگاه تربیت مدرس



مهدی غفوری وایقان

نائب رئیس شاخه IEEE دانشگاه تربیت مدرس

ویراستار



محمد استوار

رئیس شاخه IEEE دانشگاه تربیت مدرس

مدیر داخلی نشریه علمی تخصصی برقکام



فاطمه جلیلی جشن آبادی

سر دبیر نشریه علمی تخصصی برقکام

دبیر انجمن علمی مهندسی برق و کامپیوتر



محمدامیر رضائی گزیک

دبیر شاخه IEEE دانشگاه تربیت مدرس



طاهره طالعی

عضو شورای مرکزی انجمن علمی مهندسی برق و کامپیوتر



- کسب رتبه دوم دوازدهمین جشنواره بین‌المللی حرکت در حوزه محتوای دیجیتال-۱۳۹۹
- کسب رتبه دوم سیزدهمین جشنواره بین‌المللی حرکت در حوزه نشریه ۱۳۹۹
- کسب رتبه شایسته تقدیر چهاردهمین جشنواره بین‌المللی حرکت در حوزه محتوای دیجیتال ۱۴۰۱
- کسب عنوان برگزیده در ششمین جشنواره حرکت دانشگاهی در حوزه انجمن برتر-۱۴۰۰
- کسب عنوان برگزیده در ششمین جشنواره حرکت دانشگاهی در حوزه نشریه ۱۴۰۰
- کسب عنوان برگزیده در ششمین جشنواره حرکت دانشگاهی در حوزه محتوای دیجیتال ۱۴۰۰
- کسب عنوان شایسته تقدیر در ششمین جشنواره حرکت دانشگاهی در حوزه کتاب-۱۴۰۰
- کسب رتبه اول در پنجمین جشنواره حرکت دانشگاهی در حوزه محتوای دیجیتال ۱۳۹۸
- کسب عنوان برگزیده در سومین جشنواره حرکت دانشگاهی در حوزه برنامه‌های آموزشی ۱۳۹۵
- کسب عنوان قابل تقدیر در نهمین جشنواره ملی حرکت در حوزه برنامه‌های آموزشی ۱۳۹۵
- تقدیر شده از سوی رئیس بخش ایران IEEE جهت همکاری و چاپ شماره اول نشریه علمی تخصصی برقکام
- تقدیر شده از سوی رئیس محترم دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر جهت همکاری و چاپ شماره اول نشریه علمی تخصصی برقکام
- تقدیر شده از سوی IEEE بخش ایران، جهت فعالیت مؤثر در کمیته توسعه عضویت بخش ۱۳۹۸ و کمیته حرفه‌ای‌های جوان ۱۳۹۹

انجمن علمی برق و کامپیوتر و شاخه دانشجویی IEEE دانشگاه تربیت مدرس یکی از پراسابقه‌ترین و پرافتخارترین انجمن‌های علمی در سطح کشور به شمار می‌رود. اعضای شورای مرکزی و هیئت رئیسه دانشجویی به صورت شرکت در انتخابات از سوی دانشجویان این دانشکده انتخاب می‌گردند.

انجمن علمی برق و کامپیوتر و شاخه IEEE با همکاری با زیر مجموعه‌های معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری همچون شتابدهنده رهنشان، بنیاد ملی نخبگان و ستاد زیست فناوری توانسته است به عنوان انجمنی پویا و موثر در فعالیتهای علمی پژوهشی کشور ظاهر شود. همچنین عضویت در کمیته‌ها و مجامع مهندسی برق و کامپیوتر بخش ایران IEEE، عضویت در کمیسیون‌های علمی پژوهشی اتحادیه مهندسی برق کشور از دیگر همکاری‌های این انجمن پیشرو به شمار می‌رود. از مهم‌ترین فعالیتهای این انجمن می‌توان به برگزاری کارگاه‌های آموزشی نرم‌افزارهای کاربردی، وبینارهای علمی تخصصی با حضور اساتید بلندپایه ایران و جهان، مسابقات بین‌المللی، تاسیس و چاپ نشریه علمی تخصصی برقکام تحت نظارت معاونت فرهنگی دانشگاه تربیت مدرس، چاپ رایگان کتاب آموزش میکروکنترلر آرم، ارتباط با دانشجویان و اساتید دانشگاه‌های داخل و خارج از کشور، بروزرسانی مداوم سایت دو زبانه انجمن، شرکت در جشنواره‌های ملی و بین‌المللی، همکاری با دانشجویان جهت یافتن شغل و امریه سربازی اشاره کرد. انجمن علمی برق و کامپیوتر و شاخه دانشجویی IEEE دانشگاه تربیت مدرس همواره در تلاش است تا بتواند با برگزاری برنامه‌های مختلف آموزشی و پژوهشی در راستای نیازمندی‌های علمی و فنی کشور گامی مؤثر بردارد.

جوایز دریافت شده جهت فعالیتهای اجرایی و فرهنگی - انجمن‌های علمی دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

• کسب عنوان برترین شاخه دانشجویی IEEE بخش ایران (رتبه اول) در سال ۲۰۲۱ میلادی

گزارش تصویری و پوسترهای طرح شده جهت تبلیغ رویدادها: برگزاری دوره های آموزشی



مهندس محمد محمودنژاد
مدیر گروه آموزشی کامسول

دوره آموزش جامع و کامل عمومی کامسول (از پایه تا پیشرفته)

مدت دوره: ۷ ساعت آموزشی
شیوه برگزاری: ویدئو-پوستر
شروع دوره: ۲۹ فوریه
ساعت برگزاری: دوره ۱۲ الی ۱۹ روزهای برگزاری کلاس-شنبه و چهارشنبه
با ارائه مدرک معتبر دوره

دوره جامع عمومی کامسول ۶

هفته اول: آموزش جامع رسم هندسه
هفته دوم: آموزش تعاریف و ماده ها
هفته سوم: آموزش عمومی
هفته چهارم: آموزش جامع مش بندی
هفته پنجم: آموزش مطالعه و ابزار های تحلیل
هفته ششم: آموزش دریافت نتایج از کامسول
هفته هفتم: آموزش ساخت اپلیکیشن
هفته هشتم: مباحث ویژه



برگزاری دوره های آموزشی

معرفی و افتخارات انجمن علمی دانشجویی مهندسی برق و کامپیوتر



شاخه IEEE دانشگاه تربیت مدرس و انجمن علمی برق و کامپیوتر برگزار می کند:

دوره آموزش ماشین لرنینگ

مدرس: علی سعیدی
مدرس دوره های زبان و ماشین لرنینگ در دانشگاه تربیت مدرس

سرفصل دوره:

- روش برداشتن و هندساری داده
- مهندسی ویژگی ها
- مدل های کلاسیک
- مدل های زگرسومی
- انواع مدل های شبکه های ...

پایتون مقدماتی

انجمن علمی برق و کامپیوتر برگزار می کند

مدرس: پوریا الفخوری، دانشجو، مهندسی برق، رشته مهندسی برق، دانشکده تربیت مدرس

@TMSU_IEEE | IEEE_TMSU | TMSU-IEEE-student-branch



شاخه IEEE دانشگاه تربیت مدرس و انجمن علمی برق و کامپیوتر برگزار می کند:

دوره آموزش ماشین لرنینگ

مدرس: علی سعیدی
مدرس دوره های زبان و ماشین لرنینگ در دانشگاه تربیت مدرس

سرفصل دوره:

- روش برداشتن و هندساری داده
- مهندسی ویژگی ها
- مدل های کلاسیک
- مدل های زگرسومی
- انواع مدل های شبکه های ...

یکشنبه و چهارشنبه
ساعت ۱۸-۲۰

۱۵ جلسه

مهلت ثبت نام: تا ۲۰ آبان

www.ieee-student-branch
instagram.com/ieee_tmsu
@TMSU_IEEE



شاخه IEEE دانشگاه تربیت مدرس و انجمن علمی برق و کامپیوتر برگزار می کند:

یادگیری عمیق نظارت شده از مفهوم تا کد

مدرس: پوریا الفخوری، دانشجو، مهندسی برق، رشته مهندسی برق، دانشکده تربیت مدرس

سرفصل دوره:

- مقدمه بر یادگیری عمیق
- راه اندازی برای آموزش عمیق
- ماتریس بردار
- روش های شبکه های
- روش های شبکه های عمیق

اطلاعات دوره:

- به مدت ۷ جلسه
- شروع از ۱۶ آبان
- پوششده تا ساعت ۱۷ الی ۱۸
- شهریه: ۲۰۰ هزار تومان

www.ieee-student-branch | @TMSU_IEEE | IEEE_TMSU | TMSU-IEEE-student-branch



شاخه IEEE دانشگاه تربیت مدرس و انجمن علمی برق و کامپیوتر برگزار می کند:

یادگیری عمیق نظارت شده از مفهوم تا کد

12th شهریور
به مدت ۶ جلسه
ساعت ۱۷ الی ۱۸

مدرس: پوریا الفخوری، دانشجو، مهندسی برق، رشته مهندسی برق، دانشکده تربیت مدرس

سرفصل دوره:

- مقدمه بر یادگیری عمیق
- راه اندازی برای آموزش عمیق
- ماتریس بردار
- روش های شبکه های عمیق
- Classification, Regression, SVM, denoising, segmentation, CNN

شهریه: ۲۰۰ هزار تومان

www.ieee-student-branch | @TMSU_IEEE | IEEE_TMSU | TMSU-IEEE-student-branch

برگزاری دوره های آموزشی



شاخه IEEE دانشگاه تربیت مدرس و انجمن علمی برق و کامپیوتر برگزار می کند:

آموزش و بیان تجربیات یک پژوهش موفق و نگارش مقاله

سر فصل های کارگاه :

- پیش زمینه ها و الزامات نگارش مقاله
- نکات کلیدی در انتخاب موضوع و عنوان
- ساختار و قواعد مقاله نویسی
- نحوه انتخاب مجله
- معرفی نرم افزار LaTeX

مدرس : مهندس رضا زمانی دانشجوی دکتری مهندسی برق
گرایش قدرت دانشگاه تربیت مدرس، مقاله بیش از 20 عنوان مقاله کتاب و گزارش در نشریات معتبر دنیا، سردبیر مجله IEEE ACCESS و عضو یک برده داور برتر دنیا ACM Transactions

زمان : پنجشنبه و جمعه 2 و 3 مرداد ماه از ساعت 12 الی 17

📍 @TMC_IEEE
🌐 www.tmc.tmu.ac.ir
📱 @TMC_IEEE



دوره آموزشی etap

تحلیل و طراحی سیستم های قدرت

پیش نیاز دوره : معارف های مهندسی 1 و 2
مدیریت و اقتصاد در مهندسی 1 و 2

مدرس های دوره :
• معرفی نرم افزار و محیط آن
• معرفی و استفاده های طراحی

موضوعات توانمندی های نرم افزار
• پخش بار و مطالعات شبکه
• تحلیل موتور در سیستم قدرت
• راه اندازی موتورهای الکتریکی
• سیستم زمین و ارتینگ

دانش آموزان رشته مهندسی برق
رشته 26 کشور در آخرین
رشته سوم همایش دانشجویی
دارای پذیرش مقاله داخلی و بین المللی
داور ژورنال IET کشور انگلستان
داور نظریه علمی برق و الکترونیک ایران

... 8

معرفی و افتخارات انجمن علمی دانشجویی مهندسی برق و کامپیوتر



شاخه IEEE دانشگاه تربیت مدرس و انجمن علمی برق و کامپیوتر برگزار می کند :

کارگاه کنونیسی روش RL در پایتون

مدرس :
دانشجویان تربیت مدرس 15 هزار تومان
شهریه آزاد 150 هزار تومان

AI

27th شهر یون

📍 @TMC_IEEE
🌐 www.tmc.tmu.ac.ir
📱 @TMC_IEEE



آموزش نرم افزار DIGSELENT

مجموعه تیمه نام با 25 مرداد

مدرس : مهندس امیرشاه

همراه برای : دانشگاه های همکار 150 هزار تومان
برای سایر شرکت کنندگان 200 هزار تومان
راه ارتباطی برای نام نویسی : mohamadsoltani_2002

📍 @TMC_IEEE
🌐 www.tmc.tmu.ac.ir
📱 @TMC_IEEE

برگزاری دوره های آموزشی

معرفی و اختراعات انجمن علمی دانشجویی مهندسی برق و کامپیوتر





دوره آموزش
الکترومغناطیس و الکترواستاتیک
در نرم افزار کامسول

مدرسین
دکتر نوره افراز
مهندس محسن بهمنی

سرفصل دوره

- مقدمه‌های بر کامسول
- نحوه رسم دو بعدی
- نحوه رسم سه بعدی
- مطالعه الکترو استاتیک
- شبیه سازی خازن به صورت سه بعدی
- مطالعه الکترومغناطیس و معرفی پارامترهای مهم
- شبیه سازی میدان مغناطیس ساکن
- شبیه سازی ژنراتور
- نحوه م شبیه بندی در ماشین دوار
- شبیه سازی پدیده هیستریزیس







دوره آموزش
ماژول های ODE و PDE
در نرم افزار کامسول

مدرسین
دکتر نوره افراز
مهندس محسن بهمنی

سرفصل دوره

- آموزش تئوری معادلات دیفرانسیل معمولی و جزئی
- آشنایی با معادلات دیفرانسیل معمولی Ordinary Differential Equations
- آموزش روشهای حل ODE شامل BPVs و IPVs
- آموزش انواع معادلات دیفرانسیل با مشتقات جزئی Partial Differential Equations
- آموزش ماژولهای Wave Form PDE, Coefficient Form PDE, General Form PDE
- آشنایی و آموزش ماژول ها و اینترفیس های معادلات دیفرانسیل جزئی کلاسیک





شاهه IEEE دانشگاه تربیت مدرس
با همکاری انجمن علمی برق و کامپیوتر
 برگزار می کند

**کارگاه مقدماتی
تحلیل و طراحی
فیلترهای مایکروویو
در نرم افزار ADF**

مدرسین
دکتر آسیبه آسمی
دکتر آرمین آرمین
دانشگاه تربیت مدرس، ۳۰ سالگی معادله مرتبه اول در زمینه آنتن و انتقال انرژی

سرفصل کارگاه

- طراحی معادله انتقال مایکرو امپدانس با ADF
- تحلیل فیلتر با ADF
- تحلیل فیلتر با ADF
- تحلیل فیلتر با ADF
- تحلیل فیلتر با ADF





شاهه IEEE دانشگاه تربیت مدرس و انجمن علمی برق و کامپیوتر برگزار می کند

**دوره مقدماتی متلب
(Matlab)**

**1st
شهریور**

به مدت ۸ جلسه
ساعت ۱۹:۳۰ - ۲۱:۰۰

مدرسین
دکتر محسن رضا آبروی
مدرس ۱۵ دوره متلب

سرفصل دوره

- ساختار کلی در دستورات - انواع عملی و انتزاعی
- بردارهای عددی - بردارهای منطقی - جبر ماتریسی
- عمل عملیات و انواع توابع آرایه ای و ...



برگزاری وینارها

معرفی و افتخارات انجمن علمی دانشجویی مهندسی برق و کامپیوتر

شاهه IEEE دانشگاه تربیت مدرس و انجمن علمی
برق و کامپیوتر برگزار می‌کند:
سلسله وینارهای علمی تخصصی مهندسی برق و کامپیوتر

وینار بررسی کاربرد تکنولوژی آرایه‌های میکروالکترونی در نوروساینس



نام ارائه‌دهنده: آرشه ده‌داد
پژوهشگر دانشگاه ETIS زوریخ
فارغ التحصیل کارشناسی ارشد بیوالکترونیک
دانشگاه تربیت مدرس

زمان: پنجشنبه 15 اردیبهشت
ساعت: 18

Instagram: @IEEE_UMS
Site: www.studnet.tmu.ac.ir
http://www.tmu.ac.ir
+98 21 8121 1111

شاهه IEEE و انجمن علمی برق و کامپیوتر دانشگاه تربیت مدرس برگزار می‌کند:
سلسله وینارهای علمی تخصصی مهندسی برق و کامپیوتر

وینار هوش مصنوعی و یادگیری عمیق در پردازش تصاویر پزشکی



ارائه دهنده: آرشه ده‌داد
فارغ التحصیل کارشناسی ارشد
دانشگاه خواجه امیرالمؤمنین موسی
متخصص و فعال در حوزه
هوش مصنوعی

زمان: پنجشنبه 15 اردیبهشت
ساعت: 18

Instagram: @IEEE_UMS
Site: www.studnet.tmu.ac.ir
http://www.tmu.ac.ir
+98 21 8121 1111

مدرسه تابستانه ستاد توسعه زیست‌فناوری

اقتصاد انرژی‌های تجدیدپذیر و جایگاه آن برای امروز و آینده کشور

ارائه دهنده: **مهندس سهراب نصیری**
دانشجوی دکتری برق قدرت دانشگاه تربیت مدرس

انجمن علمی مهندسی برق و کامپیوتر
شاهه IEEE و انجمن علمی برق و کامپیوتر
دانشگاه تربیت مدرس

IEEE

زمان: پنجشنبه 27 فروردین
ساعت: 18

Instagram: @IEEE_UMS
Site: www.studnet.tmu.ac.ir
http://www.tmu.ac.ir
+98 21 8121 1111

شاهه IEEE دانشگاه تربیت مدرس و انجمن علمی برق و کامپیوتر برگزار می‌کند:
سلسله وینارهای علمی تخصصی مهندسی برق و کامپیوتر

وینار بررسی شتاب‌دهنده‌های پزشکی و معرفی روش رادیوتراپی حین عمل جراحی (iort)



ارائه دهنده: سهراب نصیری
دانشجوی دکتری مهندسی برق پزشکی دانشگاه صنعتی امیرکبیر
و پژوهشگر حوزه شتاب‌دهنده‌های پزشکی
در پژوهشگاه دانش‌های بنیادی (IPM)

زمان: پنجشنبه 27 فروردین
ساعت: 18

Instagram: @IEEE_UMS
Site: www.studnet.tmu.ac.ir
http://www.tmu.ac.ir
+98 21 8121 1111

برگزاری وبینارها

همکاری با مسابقات

معرفی و افتخارات انجمن علمی دانشجویی مهندسی برق و کامپیوتر

دست به کار شو!
مسابقه مسئله محور ره‌نشان انرژی

انجمن علمی دانشجویی مهندسی برق و کامپیوتر
معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری
www.rahneshan.ir/energy

وبینار آنلاین ۱۵ رویدادستان*

دست نام رایگان

مسیر شغلی دیجیتال مارکتینگ

1.8 million ۱۵۰۰۰۰ تومان

مدیر دیجیتال مارکتینگ
شرکت آپسِل
LAPSELL

با زینب فاطمه مهاجری

اپل

همکاری با انجمن علمی دانشجویی IEEE و مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه تربیت مدرس در
دومین دور مسابقات مسئله محور ره‌نشان علمی نخبگان ره‌نشان

۷۵۰,۰۰۰,۰۰۰ تومان جایزه نقدی

۱. دست به کار شو! مسابقات علمی نخبگان
۲. تور به انجام پروژه‌های واقعی شرکت‌های فناوری و صنعتی
۳. امکان همکاری قراردادهای همکاری در فروش با شرکت‌های معروف مانند پروژکتور صوت، هواگفت، شرکت‌ها
۴. بهره‌مندی از تسهیلات طرح شهید احمدی روشن برای ایجاد و تکمیل دفتر صورت چاپ نظر شرکت‌ها
۵. آشنایی علمی و تخصصی به‌زور بر اساس نظریات BSC-FIVE و BSC-8M
۶. کارگاه‌های آموزشی عمومی و تخصصی

تختیف ویژه انجمن علمی TMUIEEE

دست به کار شو!
مسابقه مسئله محور ره‌نشان سلامت

انجمن علمی دانشجویی مهندسی برق و کامپیوتر
معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری
www.rahneshan.ir/health





Barghcom Magazine


Student Scientific Society of Electrical and Computer
Engineering at the University of Tarbiat Modares

Iran, Tehran

To Contact with Us

 tmu.ieee.org.ir

 Barghcom.Elecom@gmail.com

 [TMU_IEEE](#)