

مهندسی عمران در عصر هوش مصنوعی

(جلد دوم: کاربردهای هوش مصنوعی و فناوری)

دکتر احد باقرزاده خلخالی

عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

حسین زارعی نمین

دانشجوی دکتری مهندسی عمران

محمد رضا مرادی

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران



انتشارات دانشگاهی فرهمند

نام کتاب : مهندسی عمران در عصر هوش مصنوعی (جلد دوم : کاربردهای هوش مصنوعی و فناوری)

دکتر احد باقرزاده خلخالی / حسین زارعی نمین / محمدرضا مرادی

تاریخ و نوبت چاپ : اول ۱۴۰۵

شمارگان : ۱۰۰ نسخه

بها : ۵۵۰۰۰۰۰ ریال

شابک : ۹۷۸-۶۲۲-۴۹۸۰-۸۲-۳

شابک دوره : ۹۷۸-۶۲۲-۴۹۸۰-۸۳-۰

حق چاپ برای نشر دانشگاهی فرهمند محفوظ می باشد

نشانی : تهران، خیابان انقلاب، روبروی دانشگاه تهران، پاساژ فروزنده ، طبقه اول ، پلاک ۴۱۹

تلفن : ۶۶۴۱۰۶۸۸ - ۶۶۴۸۶۱۴

WWW.FARBOOK.IR

Farbook.pub@gmail.com

سرشناسه	: باقرزاده خلخالی، احد، ۱۳۵۶ -
عنوان و نام پدیدآور	: مهندسی عمران در عصر هوش مصنوعی/احد باقرزاده خلخالی، محمدرضا مرادی، محمد اسمعیلی.
مشخصات نشر	: تهران: نشر دانشگاهی فرهمند، ۱۴۰۵-
مشخصات ظاهری	: ج. ۲: مصور، نمودار.
شابک	: ۲۵۰۰۰۰۰ ریال-3-79-978-622-4980-79: ج. ۱: 3-82-978-622-4980-79: ج. ۲.
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا
یادداشت	: جلد دوم تألیف احد باقرزاده خلخالی، حسین زارعی نمین، محمدرضا مرادی است.
یادداشت	: کتابنامه.
مندرجات	: ج. ۱. کلیات تا کاربردهای هوش مصنوعی. - ج. ۲. کاربردهای هوش مصنوعی و فناوری
موضوع	: هوش مصنوعی -- کاربردهای مهندسی عمران Artificial intelligence -- Civil engineering applications مهندسی عمران -- نوآوری Civil engineering -- Technological innovations
شناسه افزوده	: مرادی، محمدرضا، ۱۳۸۰-
شناسه افزوده	: اسمعیلی، محمد، ۱۳۸۲-
رده بندی کنگره	: TA۶۵۶/۶
رده بندی دیویی	: ۶۲۴/۱۷+۲۸۵
شماره کتابشناسی ملی	: ۱۰۴۶۱۶۰۶
اطلاعات رکورد کتابشناسی	: فیبا

مقدمه مولفین - جلد دوم

با توجه به شتاب روزافزون تحولاتی که در گستره دانش و فناوری‌های مبتنی بر هوش مصنوعی در سطح جهان پدیدار می‌شوند، اکنون روشن است که تنها آشنایی مقدماتی با مبانی این فناوری‌ها پاسخگوی نیازهای تخصصی رشته‌های مهندسی، از جمله مهندسی عمران، نخواهد بود. ورود پرقدردت روش‌های نوین یادگیری ماشین و یادگیری عمیق به عرصه‌های تحلیل، طراحی، ساخت، نگهداری و مدیریت زیرساخت‌ها، ضرورت پرداختن به مباحث تکمیلی، پیشرفته و بین‌رشته‌ای را بیش از پیش نمایان ساخته است. در کنار توسعه مدل‌های دقیق‌تر و کاراتر، ظهور فناوری‌های نوظهور نظیر مدل‌های مولد، سامانه‌های خودیادگیر، حسگرهای هوشمند و شبکه‌های دیجیتال پردازش داده، افق‌های تازه‌ای را پیش‌روی متخصصان عمران گشوده است؛ افق‌هایی که بهره‌برداری صحیح از آنها مستلزم درک عمیق‌تر ابعاد فنی، اجتماعی، اخلاقی و حقوقی این فناوری‌ها می‌باشد.

در جلد حاضر، که به لطف و توفیق الهی به عنوان جلد دوم مجموعه کتاب‌های مرتبط با هوش مصنوعی تدوین و منتشر می‌شود، تلاش شده است تا ادامه مسیر آغازشده در جلد نخست با رویکردی جامع‌تر و پیشرفته‌تر دنبال گردد. این جلد، علاوه بر معرفی و تحلیل کاربردهای تکمیلی و پیشرفته هوش مصنوعی در شاخه‌های مختلف مهندسی عمران، به بررسی فناوری‌های نوظهور و جریان‌های جدید تحقیقاتی نیز می‌پردازد. همچنین موضوعات مهمی همچون توضیح‌پذیری مدل‌ها، شفافیت در تصمیم‌سازی، مسئولیت‌پذیری سامانه‌های هوشمند، و چالش‌های اخلاقی و اجتماعی-حقوقی مرتبط با استقرار فناوری‌های مبتنی بر هوش مصنوعی در پروژه‌های عمرانی، با تکیه بر یافته‌های معتبر بین‌المللی و تجربه‌های صنعتی مورد واکاوی قرار گرفته‌اند.

این جلد بر آن است تا مخاطبین گرامی-اعم از پژوهشگران، اساتید، دانشجویان و مهندسان حرفه‌ای را برای بهره‌گیری هوشمندانه‌تر و مسئولانه‌تر از فناوری‌های نوین آماده سازد و زمینه‌ای برای تصمیم‌سازی آگاهانه‌تر، طراحی شفاف‌تر و اجرای کارآمدتر در پروژه‌های مهندسی عمران فراهم آورد. امید است این مباحث بتوانند مسیر تحقیقات آینده و نیز کاربری عملی ابزارهای هوشمند را برای متخصصان این حوزه روشن‌تر سازند.

از آنجا که هدف این مجموعه، ارائه مرجعی پیشرو و به‌روز برای جامعه مهندسی عمران کشور است، نظرات ارزشمند و پیشنهادات خوانندگان فرهیخته همواره راهگشای ارتقای کیفیت ویرایش‌های بعدی و جلد‌های آتی خواهد بود. پیشاپیش از همراهی شما عزیزان سپاسگزاریم و توفیق روزافزون همه علاقه‌مندان این حوزه را از خداوند حکیم مسألت داریم.

احد باقرزاده خلخالی

حسین زارعی نمین

محمد رضا مرادی

فهرست محتوا

فصل ۱.....	۱۱
هوش مصنوعی در مدیریت پروژه‌های ساختمانی و BIM.....	۱۱
کاربردهای هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در چرخه حیات پروژه و صنعت ساخت و ساز.....	۱۱
خاستگاه، مفهوم و تحول فناوریانه هوش مصنوعی و یادگیری ماشین.....	۱۲
وضعیت کاربردهای هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در بخش ساخت‌وساز.....	۱۶
کاربردهای هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در فازهای چرخه عمر پروژه‌های ساخت‌وساز.....	۲۰
کاربرد هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در فاز برنامه‌ریزی.....	۲۰
کاربرد در فاز طراحی.....	۲۲
کاربرد در فاز ساخت.....	۲۳
کاربرد در فاز بهره‌برداری و نگهداری.....	۲۵
کاربرد در فاز تخریب و بازیابی در ساخت‌وساز.....	۲۷
ادغام هوش مصنوعی و BIM در صنعت ساخت‌وساز.....	۲۸
مزایای مدلسازی اطلاعات ساختمان (BIM).....	۲۹
BIM با کمک هوش مصنوعی.....	۳۲
هزینه‌های اضافی.....	۳۳
طراحی مولد و کاهش ریسک بهداشت و ایمنی در BIM با بهره‌گیری از هوش مصنوعی.....	۳۴
کاربرد یادگیری ماشین در داده‌های BIM در مرحله طراحی.....	۳۵
کاربرد یادگیری ماشین در داده‌های BIM در مرحله ساخت.....	۳۸
زمانبندی و مدل‌سازی 4D BIM.....	۳۹
ردیابی پیشرفت ساخت.....	۳۹
فصل ۲.....	۴۱

تکنیک‌ها و کاربردهای هوش مصنوعی در هیدرولوژی و مدیریت منابع آب	۴۱
سیستم کنترل هوشمند خرداقلیم با استفاده از هوش مصنوعی	۴۳
طبقه‌بندی هواشناسی برای کشاورزی هوشمند شهری با استفاده از هوش مصنوعی	۴۴
پیش‌بینی مبتنی بر هوش مصنوعی	۴۴
پیش‌بینی بارش	۴۴
پیش‌بینی دما	۴۵
پیش‌بینی جریان رودخانه	۴۶
پیش‌بینی ورودی سد	۴۶
برآورد لحظه‌ای عمق غرقاب	۴۷
تولید سری زمانی بارش	۴۷
هوش مصنوعی ژئومکانی	۴۸
پردازش داده با استفاده از هوش مصنوعی	۴۸
فصل ۳	۵۰
هوش مصنوعی در مهندسی زلزله	۵۰
کاربرد یادگیری ماشین در مهندسی زلزله	۵۰
پیش‌بینی پاسخ لرزه‌ای با کمک یادگیری ماشین	۵۳
پیش‌بینی ظرفیت لرزه‌ای با کمک یادگیری ماشین	۵۶
پیش‌بینی آسیب لرزه‌ای با کمک یادگیری ماشین	۵۷
ارزیابی فروریزش	۵۸
مکان‌یابی آسیب سازه‌ای	۵۸
ارزیابی آسیب پس از زلزله	۵۸
ارزیابی شکنندگی	۵۹

- ۶۰ ارزیابی ریسک و خسارت لرزه‌ای با کمک یادگیری ماشین
- ۶۲ پل‌ها
- ۶۴ سایر سازه‌ها
- ۶۵ وضعیت و روندها در طراحی لرزه‌ای با کمک یادگیری ماشین
- ۶۵ سازه‌های ساختمانی
- ۶۶ پیش‌بینی تقاضای لرزه‌ای با کمک یادگیری ماشین
- ۶۷ کنترل سازه با کمک یادگیری ماشین
- ۶۸ طراحی لرزه‌ای مبتنی بر عملکرد با کمک یادگیری ماشین
- ۶۸ طراحی بهینه لرزه‌ای با کمک یادگیری ماشین
- ۷۰ چالش‌های کنونی و نیازهای تحقیقاتی آینده یادگیری ماشین در مهندسی زلزله
- ۷۱ داده‌های با کیفیت بالا و انتخاب ویژگی
- ۷۲ قابلیت تعمیم مدل‌های یادگیری ماشین
- ۷۴ پیش‌بینی پاسخ هیسترتیک غیرخطی اجزای سازه
- ۷۵ تحقیقات در مقیاس منطقه‌ای
- ۷۸ یادگیری عمیق در مهندسی زلزله
- ۸۲ تکنیک‌های یادگیری عمیق مورد استفاده در مهندسی زلزله
- ۸۳ شبکه‌های عصبی عمیق - پرسپترون چندلایه
- ۸۵ شبکه عصبی کانولوشنی
- ۸۶ شبکه عصبی بازگشتی
- ۸۹ شبکه مولد تخصصی
- ۹۰ خودرمزگذار
- ۹۳ یادگیری انتقالی

۹۳	یادگیری تقویتی
۹۴	شبکه عصبی گراف
۹۶	کاربردهای یادگیری عمیق در مهندسی زلزله
۹۶	ارزیابی خسارت لرزه‌ای و مشخصه‌سازی سازه با استفاده از بینایی ماشین
۱۰۱	مشخصه‌سازی سازه با استفاده از بینایی ماشین
۱۰۳	پیش‌بینی تقاضای لرزه‌ای و وضعیت خسارت
۱۰۵	پیش‌بینی تاریخچه پاسخ لرزه‌ای
۱۰۷	ارزیابی ریسک لرزه‌ای منطقه‌ای و تاب‌آوری جامعه
۱۰۹	ارتعاشات زمین برای مهندسی
۱۱۰	کنترل پاسخ لرزه‌ای
۱۱۱	مسئله معکوس - شناسایی سیستم/آسیب
۱۱۲	چالش‌ها و فرصت‌های یادگیری عمیق در مهندسی زلزله
۱۱۴	تکنیک‌های پیشرفته و چالش‌های تفسیری در مهندسی زلزله
۱۱۸	فصل ۴
۱۱۸	ادغام هوش مصنوعی با فناوری‌های نو ظهور
۱۲۰	روش‌های دوقلوهای دیجیتال در زیرساخت‌های عمرانی
۱۲۰	روش مبتنی بر المان محدود
۱۲۲	رویکرد مبتنی بر داده
۱۲۳	بازسازی مدل سه‌بعدی با استفاده از روش اسکن لیزری
۱۲۳	بازسازی مدل سه‌بعدی با استفاده از روش مبتنی بر پهپاد
۱۲۴	پیشرفت دوقلوی دیجیتال در بخش‌های مختلف زیرساخت
۱۲۵	شهرهای هوشمند و فضاهای شهری

۱۳۰	 دوقلوهای دیجیتال در سیستم‌های حمل‌ونقل
۱۳۳	 دوقلوهای دیجیتال در سیستم‌های انرژی
۱۳۶	 چالش‌های فعلی در کاربردهای دوقلوی دیجیتال برای زیرساخت‌های عمرانی
۱۳۹	 فصل ۵
۱۳۹	 اخلاق، پایداری و چالشهای اجتماعی-حقوقی هوش مصنوعی در مهندسی عمران
۱۴۰	 اخلاق در هوش مصنوعی و رباتیک
۱۴۵	 مسائل اخلاقی هوش مصنوعی و رباتیک در صنعت ساخت‌وساز
۱۴۵	 از دست دادن شغل
۱۴۶	 حریم خصوصی داده‌ها
۱۴۸	 امنیت داده‌ها
۱۵۰	 شفافیت داده‌ها
۱۵۱	 تضاد در تصمیم‌گیری
۱۵۲	 پذیرش و اعتماد
۱۵۴	 قابلیت اطمینان و ایمنی
۱۵۶	 ترس از نظارت
۱۵۷	 مسئولیت‌پذیری
۱۵۸	 جهت‌گیری تحقیقات آینده
۱۶۰	 ایمنی همکاری انسان و ربات
۱۶۰	 هوش مصنوعی توضیح‌پذیر
۱۶۱	 اعتماد به هوش مصنوعی و رباتیک
۱۶۲	 امنیت سایبری
۱۶۳	 سوگیری و انصاف در تصمیم‌گیری

۱۶۴	چارچوب مسئولیت
۱۶۴	استانداردهای هوش مصنوعی و رباتیک
۱۶۷	فصل ۶
۱۶۷	هوش مصنوعی توضیح پذیر در مهندسی عمران
۱۶۹	مروری بر هوش مصنوعی قابل توضیح
۱۷۰	قابلیت توضیح و قابلیت تفسیر
۱۷۲	انواع مدل‌های هوش مصنوعی توضیح پذیر
۱۷۳	رویکردهای مختلف به هوش مصنوعی قابل توضیح
۱۷۵	توضیح پذیری مدل‌ها
۱۷۷	چه چیزی نیازمند توضیح است؟
۱۷۹	آموزش مدل
۱۸۱	آزمون مدل
۱۸۲	استقرار مدل
۱۸۳	درخت مدل ارتفا یافته: راه حل ایده آل هوش مصنوعی توضیح پذیر
۱۸۴	معماری EMT
۱۸۶	ارزیابی EMT در حوزه‌های مختلف XAI
۱۸۶	ارزیابی الگوریتم‌های یادگیری ماشین رایج
۱۸۷	K-NN
۱۸۸	مدل بی‌بی
۱۹۰	مدل درخت تصمیم
۱۹۱	ماشین بردار پشتیبان
۱۹۲	شبکه‌های عصبی مصنوعی

- ۱۹۳ EMT در مورد تکمیلی ملاحظات
- ۱۹۶ EMT فرصت‌های کاربرد هوش مصنوعی توضیح‌پذیر در مهندسی عمران و
- ۲۰۰ منابع و مراجع

فصل ۱

هوش مصنوعی در مدیریت پروژه‌های ساختمانی و BIM

کاربردهای هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در چرخه حیات پروژه و صنعت ساخت و ساز

رشد بهره‌وری در صنعت ساخت‌وساز نقشی اساسی در تأمین نیازهای روزافزون زیرساختی جهان ایفا می‌کند. روندهای جمعیتی نشان می‌دهد که جمعیت جهانی طی دهه‌های آینده جهشی قابل توجه خواهد داشت؛ به گونه‌ای که پیش‌بینی می‌شود این عدد تا سال ۲۰۳۰ به حدود ۸.۵ میلیارد نفر، تا سال ۲۰۵۰ به ۹.۷ میلیارد نفر و تا پایان قرن به بیش از ۱۰ میلیارد نفر برسد. این افزایش گسترده جمعیت به‌طور طبیعی نیاز به توسعه سریع‌تر و گسترده‌تر زیرساخت‌ها را ایجاد می‌کند؛ نیازی که ظرفیت فعلی صنعت ساخت برای پاسخ‌گویی به آن کافی نیست. مهم‌ترین دلیل این ناتوانی، سرعت پایین دیجیتال‌سازی و اتکای مداوم به روش‌های دستی و سنتی در فرآیندهای ساخت است.

ضعف در پذیرش فناوری‌های نوین موجب بروز چالش‌هایی نظیر ناکارآمدی در مدیریت هزینه، تأخیر در پروژه‌ها، عملکرد کیفی نامطوب، تصمیم‌گیری‌های مبتنی بر حدس و تجربه، کاهش بهره‌وری، و ضعف در شاخص‌های ایمنی و سلامت شده است. همین مشکلات، بسیاری از سازمانها را به سمت استفاده گسترده‌تر از هوش مصنوعی به عنوان ابزاری برای بهینه‌سازی فرآیندها، افزایش بهره‌وری و ایجاد تحول در الگوهای مدیریت پروژه سوق داده است. به کارگیری فناوری‌های هوش مصنوعی امکان کاهش اضافه هزینه‌ها، بهبود ایمنی کارگاه، تقویت برنامه‌ریزی و مدیریت پروژه، و ارتقای بازده عملیات اجرایی را فراهم ساخته است. علاوه بر آن، فناوری‌های هوشمند مسیر اتوماسیون در صنعت ساخت را هموار کرده و به شرکت‌ها مزیت رقابتی قابل توجهی می‌بخشند. هوش مصنوعی امروز به‌عنوان یکی از ستونهای اصلی تحول دیجیتال در تجهیزات، ماشین‌آلات و مواد ساختمانی شناخته می‌شود.

درک جامع نقش و ظرفیت‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در این حوزه نیازمند بررسی مبانی نظری آنها است. هوش مصنوعی به‌عنوان شاخه‌ای از علوم رایانه، قادر است توانایی‌های شناختی انسان مانند ادراک، نمایش دانش، حل مسئله، استدلال و برنامه‌ریزی را در قالب سیستم‌های محاسباتی

بازتولید کند. این فناوری، امکان مواجهه هدفمند، هوشمند و تطبیقی با مسائل پیچیده را فراهم می‌آورد. در مقابل، یادگیری ماشین فرآیندی است که طی آن الگوریتم‌ها از داده‌های تاریخی یا تجربه‌های گذشته، الگوهایی را استخراج کرده و از آن‌ها برای مدل‌سازی، پیش‌بینی یا کنترل استفاده می‌کنند.

کاربردهای هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در بخش ساخت‌وساز بسیار گسترده شده است. روشهای یادگیری ماشین در مواردی همچون برآورد هزینه، پایش ایمنی و سلامت، پیش‌بینی ریسک‌ها، بهینه‌سازی زنجیره تأمین و ارتقای مدیریت لجستیک مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در کنار آن، فناوری رباتیک نیز در حوزه‌هایی مانند مونتاژ خارج از کارگاه، مدیریت سایت، ارزیابی عملکرد، و بهینه‌سازی عملیات تجهیزات و ماشین‌آلات ساختمانی جایگاه ویژه‌ای یافته است. با وجود این حجم از کاربردها، همچنان نیاز به یک درک ساختارمند و منسجم از نحوه ادغام این فناوری‌ها در مراحل مختلف چرخه عمر پروژه‌های ساخت وجود دارد.

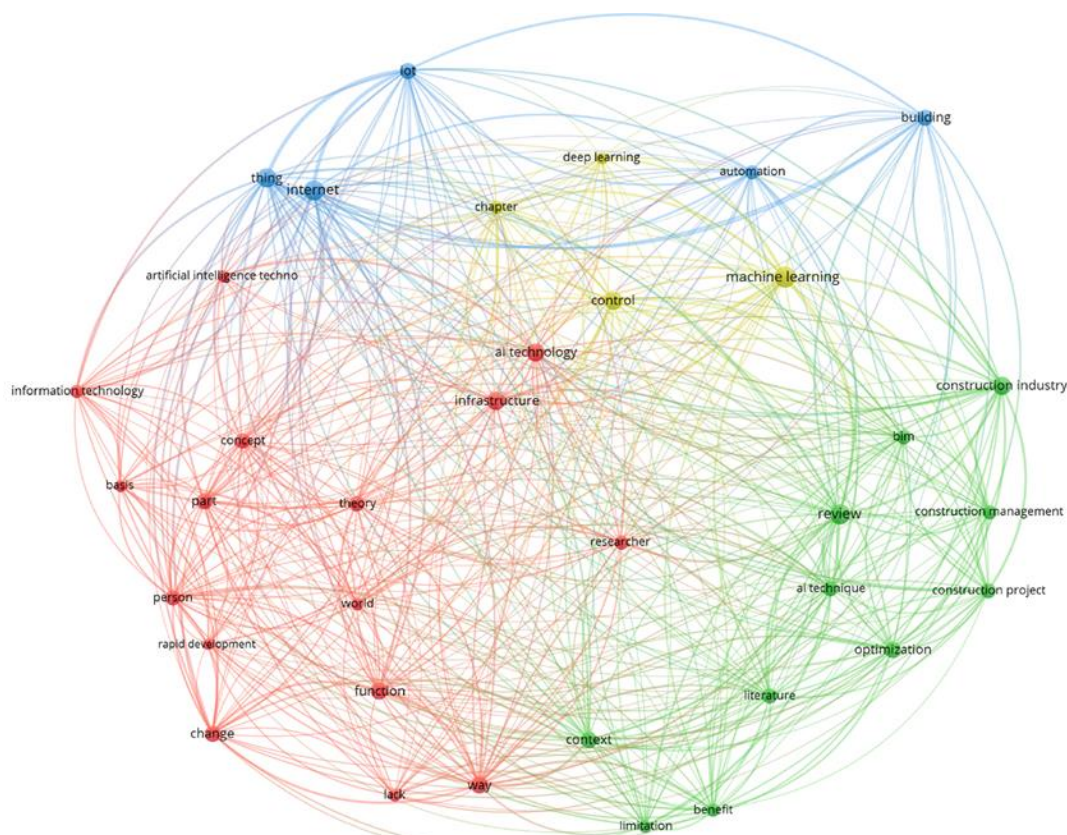
این بخش به بررسی مبانی شکل‌گیری و ابعاد فناورانه هوش مصنوعی و یادگیری ماشین، مرور روند توسعه و میزان پذیرش این فناوری‌ها در صنعت ساخت طی سال‌های اخیر، و همچنین تحلیل نحوه به‌کارگیری آن‌ها در مراحل مختلف چرخه عمر پروژه‌های ساخت‌وساز می‌پردازد. هدف این بررسی، ارائه تصویری روشن از ظرفیت‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین برای ارتقای مدیریت پروژه، کنترل کیفیت، ایمنی، برنامه‌ریزی، و به‌طور کلی بهبود عملکرد کلی صنعت ساخت و ساز است. این فصل به خواننده دیدگاهی یکپارچه درباره نقش سیستم‌های هوشمند در تحول صنعت ساخت و ساز ارائه می‌کند و نشان می‌دهد که چگونه ادغام هوش مصنوعی و یادگیری ماشین می‌تواند راهکارهایی نوآورانه برای چالش‌های سنتی این حوزه فراهم آورد.

خاستگاه، مفهوم و تحول فناورانه هوش مصنوعی و یادگیری ماشین

هوش مصنوعی و یادگیری ماشین حوزه‌هایی پویا و میان‌رشته‌ای هستند که در تقاطع علوم رایانه، علوم شناختی و ریاضیات شکل گرفته‌اند. هوش مصنوعی به مطالعه و توسعه سامانه‌های هوشمندی

می‌پردازد که توانایی‌هایی مشابه انسان در استدلال، حل مسئله و تصمیم‌گیری دارند. یادگیری ماشین، به‌عنوان یکی از زیرشاخه‌های اصلی هوش مصنوعی، بر طراحی الگوریتم‌ها و مدل‌هایی تمرکز دارد که به ماشین‌ها امکان می‌دهند از طریق داده‌ها به‌صورت خودکار یاد بگیرند و عملکرد خود را بر اساس تجربه بهبود دهند.

ایده ایجاد ماشین‌هایی با توانمندی‌های مشابه هوش انسان، ریشه در فلسفه، علوم رایانه، مهندسی، ادبیات علمی-تخیلی و پیشرفت‌های الکترونیک دارد. نقطه عطف مهم در این مسیر، ارائه «آزمون تورینگ» توسط آلن تورینگ بود؛ آزمونی که نگاه علمی به امکان خلق ماشین‌های هوشمند را فراتر از مباحث فلسفی و الهیاتی برد. پس از گذشت چند دهه، سامانه‌های هوشمند در برخی حوزه‌ها، به‌ویژه در یادگیری، عملکردی فراتر از انسان از خود نشان داده‌اند. این پیشرفت چشمگیر محصول توسعه فناوری‌های پیشرفته‌ای چون تحلیل کلان‌داده‌ها و افزایش توان پردازشی رایانه‌ها است.



شکل ۱-۱ شبکه روابط بین مفاهیم هوش مصنوعی در ساخت‌وساز.

بر اساس یکی از تعریف‌های شناخته‌شده، هوش مصنوعی حوزه‌ای است که به توسعه روش‌ها و سامانه‌هایی می‌پردازد که قادر به انجام وظایفی هستند که معمولاً انسان‌ها بهتر انجام می‌دهند. هوش مصنوعی را می‌توان در سه سطح طبقه‌بندی کرد:

هوش مصنوعی محدود^۱، هوش مصنوعی عمومی^۲، و هوش مصنوعی فراهوشمند^۳ این طبقه‌بندی‌ها نشانگر درجات مختلف ظرفیت‌های هوشمند هستند.

در سطح **هوش مصنوعی محدود**، ماشین‌ها تنها در حوزه‌های خاص توانایی شناختی دارند. نمونه‌های این سطح شامل سامانه‌هایی برای ترجمه زبان، شناسایی چهره، پیش‌بینی فروش، پیشنهاد فیلم و پیش‌بینی وضعیت هوا هستند. این نوع هوش، عمومی نیست و تنها برای دامنه‌های مشخص طراحی می‌شود.

در مقابل، **هوش مصنوعی عمومی** با هدف ایجاد سامانه‌هایی توسعه می‌یابد که توانایی انجام گستره‌ای وسیع از وظایف شناختی را مشابه انسان داشته باشند. هوش مصنوعی عمومی تلاش می‌کند ماشینی بسازد که بتواند در حوزه‌های متعدد با سطحی انسانی از درک و استدلال عمل کند.

بخش‌های اصلی و زیربنایی هوش مصنوعی شامل نمایش دانش، یادگیری، ادراک، عمل، برنامه‌ریزی و ارتباط است. گسترش استفاده از هوش مصنوعی در صنایع مختلف موجب پدید آمدن زیرشاخه‌های مهمی شده است، از جمله: بهینه‌سازی، سیستم‌های مبتنی بر دانش، بینایی رایانه‌ای، پردازش زبان طبیعی، برنامه‌ریزی و زمان‌بندی خودکار، رباتیک و یادگیری ماشین.

یادگیری ماشین بر توسعه الگوریتم‌هایی متمرکز است که بتوانند با تکیه بر داده‌ها دانش کسب کرده و بدون برنامه‌نویسی صریح، عملکرد خود را ارتقا دهند. هدف این الگوریتم‌ها ساخت مدل‌هایی برای پیش‌بینی، کنترل یا اجرای وظایف مختلف است. یادگیری ماشین به چهار دسته اصلی تقسیم می‌شود:

۱. یادگیری نظارت‌شده

^۱ ANI

^۲ AGI

^۳ ASI

در این روش، مدلها با استفاده از داده های برچسب دار—که شامل ورودی ها و خروجی های متناظر هستند—آموزش می یابند. این حوزه شامل دو رویکرد اصلی است: طبقه بندی؛ دسته بندی داده ها در کلاس های تعریف شده و رگرسیون؛ پیش بینی مقادیر عددی.

۲. یادگیری بدون نظارت

در این روش، مدلها در داده های بدون برچسب به دنبال ساختارهای پنهان می گردند. دو روش اصلی آن عبارت است از خوشه بندی؛ گروه بندی نقاط داده مشابه و کاهش ابعاد؛ ساده سازی داده ها با حفظ بخش اعظم اطلاعات.

۳. یادگیری تقویتی

در یادگیری تقویتی، مدل از طریق تعامل با محیط، رابطه ای میان وضعیت ها و اعمال ایجاد می کند تا پاداش یا سیگنال تقویتی را به حداکثر برساند. این رویکرد نوعی چارچوب محاسباتی مبتنی بر تجربه و بازخورد محیط است.

۴. یادگیری عمیق

یادگیری عمیق پیشرفته ترین شاخه یادگیری ماشین است و در مقایسه با روش های کلاسیک، دقت پیش بینی بسیار بیشتری دارد. این رویکرد بر آموزش شبکه های عصبی عمیق متشکل از لایه های متعدد متکی است تا بتوانند الگوهای پیچیده در داده ها را استخراج کنند. بنیان شبکه های عصبی عمیق با معرفی الگوریتم پس انتشار خطا شکل گرفت؛ الگوریتمی که امکان آموزش شبکه های چندلایه را فراهم ساخت. پیش از آن، شبکه های عصبی فاقد ابزار مؤثر برای آموزش شبکه های عمیق بودند.

پس از ارائه الگوریتم پس انتشار، ساختارهایی مانند شبکه های حافظه بلند-کوتاه مدت و شبکه LeNet معرفی شدند. با این وجود، شبکه های عصبی در مراحل اولیه با سه محدودیت مهم مواجه بودند: مشکل ناپایداری گرادیان ها در شبکه های عمیق، کمبود داده های برچسب دار کافی و محدودیت توان سخت افزاری.

تحول بزرگ بعدی در سال ۲۰۰۶ رخ داد، هنگامی که رویکردی جدید برای آموزش شبکه‌های عمیق معرفی شد که مسیر توسعه یادگیری عمیق مدرن را هموار ساخت.

در میان ساختارهای یادگیری عمیق، دو خانواده شبکه بیشترین کاربرد را دارند:

۱. شبکه‌های عصبی کانولوشنی

این شبکه‌ها دو مزیت مهم دارند: امکان استفاده مجدد از ویژگی‌های استخراج‌شده در نقاط مختلف تصویر و تعداد پارامتر کمتر و در نتیجه سرعت یادگیری بیشتر. شبکه‌های عصبی کانولوشنی یکی از پایه‌های اصلی یادگیری ماشین است و در حوزه‌هایی مانند تشخیص اشیا و بازشناسی تصویر نقشی کلیدی دارد.

۲. شبکه‌های عصبی بازگشتی

شبکه‌های عصبی بازگشتی عمدتاً برای داده‌های ترتیبی مانند پردازش زبان طبیعی و تشخیص گفتار استفاده می‌شوند. مدل‌های LSTM و GRU از برجسته‌ترین ساختارهای این دسته‌اند و امکان ذخیره و بازیابی طولانی‌مدت اطلاعات را فراهم می‌کنند.

وضعیت کاربردهای هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در بخش ساخت‌وساز

سطح شناخت و میزان پیشرفت یک حوزه پژوهشی را می‌توان از طریق تعداد انتشارات سالانه آن ارزیابی کرد. روندهای نشان‌داده‌شده در شکل‌های ۱-۲ و ۱-۳ بیانگر رشد مستمر به‌کارگیری هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در صنعت ساخت‌وساز هستند. این نمودارها نشان می‌دهند که ادغام هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در بخش ساخت‌وساز تا سال ۲۰۱۷ نسبتاً محدود بود؛ اما پس از آن، جهشی قابل توجه در انتشارات علمی دیده می‌شود. تعداد مقالات مرتبط با هوش مصنوعی از ۲۶ مقاله در سال ۲۰۱۷ به ۷۲ مقاله در سال ۲۰۲۲ رسید؛ و این رقم برای یادگیری ماشین از ۱۵ مقاله در ۲۰۱۷ به ۱۵۳ مقاله در ۲۰۲۲ افزایش یافت. این روند را می‌توان به دوره اولیه توسعه هوش مصنوعی

و یادگیری ماشین در صنعت تولید نسبت داد که بعدها به حوزه های دیگری، از جمله صنعت ساخت و ساز نیز گسترش یافت و باعث افزایش توجه و پژوهش در این زمینه شد.

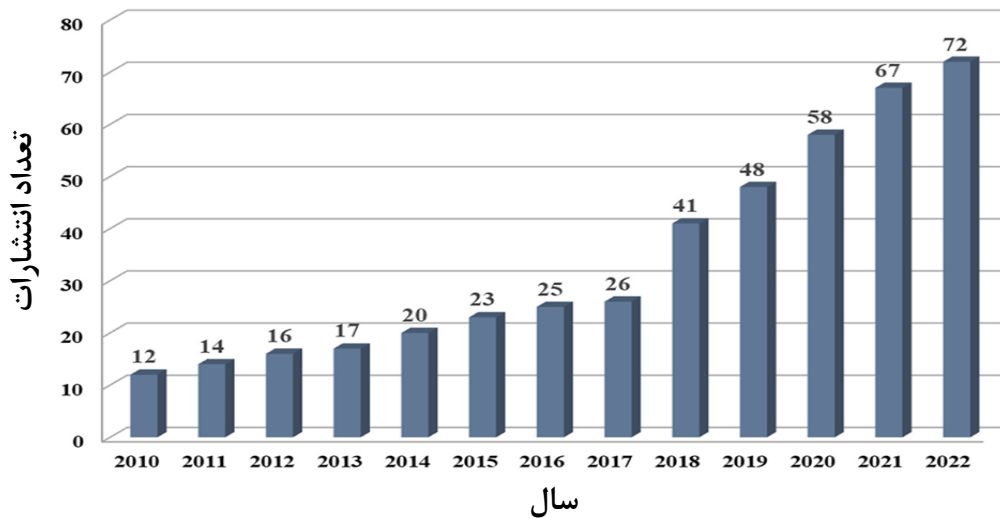
بررسی روند پژوهش ها در صنعت ساخت و ساز نشان می دهد که طی دهه گذشته، یادگیری ماشین از نظر میزان توجه پژوهشی از سیستم های دانش محور پیشی گرفته است. یکی از دلایل این تغییر، نیاز روزافزون به جبران کمبود نیروی کار ماهر و متخصص در پروژه های ساخت و ساز است. علاوه بر این، رباتیک به یکی از حوزه های کلیدی ادغام هوش مصنوعی در ساخت و ساز تبدیل شده و فناوری هایی مانند چاپ سه بعدی، پهنپاها و اسکلت های بیرونی^۱ کاربردهای گسترده ای در فرایندهای مختلف ساخت پیدا کرده اند.

در سالهای اخیر فناوری های مبتنی بر بینایی ماشین به طور فزاینده برای اهداف مختلفی مانند پیش ایمنی کارگاه، بهبود بهره وری عملیات و ارزیابی سلامت سازه ها در صنعت ساخت و ساز مورد استفاده قرار گرفته اند. در مقایسه با روش های سنتی مبتنی بر حسگر، روش های بینایی محور مزایای مهمی دارند؛ از جمله غیرتهاجمی بودن، امکان اندازه گیری از راه دور، سهولت استفاده و دسترسی عمومی، بدون نیاز به نصب تجهیزات اضافی برای اندازه گیری یا دریافت داده. با توجه به فراگیری دوربین های دیجیتال کم هزینه و با کیفیت، انتظار می رود فناوری های مبتنی بر بینایی ماشین کاربرد گسترده تری در این صنعت پیدا کنند. اهمیت این موضوع در محیط های پرریسک ساخت و ساز، مانند کار در ارتفاع یا کار با مصالح خطرناک، دوچندان است.

در این میان، روش های مبتنی بر بینایی ماشین برای تشخیص ترک در سازه ها به دلیل کارایی بالا در ارزیابی سلامت و نظارت بر فرایندهای ساخت بسیار محبوب شده اند. پژوهش های متعددی روش های کنونی تشخیص نقص و ارزیابی شرایط زیرساخت های بتنی و آسفالتی را بررسی کرده اند و نشان داده اند که سامانه های مبتنی بر تصویر برای تشخیص و طبقه بندی ترک ها و اسپالینگ^۲ ظرفیت خودکارسازی فرایندهای پیش آسیب را دارند. با وجود پیشرفت در جمع آوری داده های تصویری و ویدئویی، دستیابی به خودکارسازی کامل همچنان چالش برانگیز است.

^۱ Exoskeletons

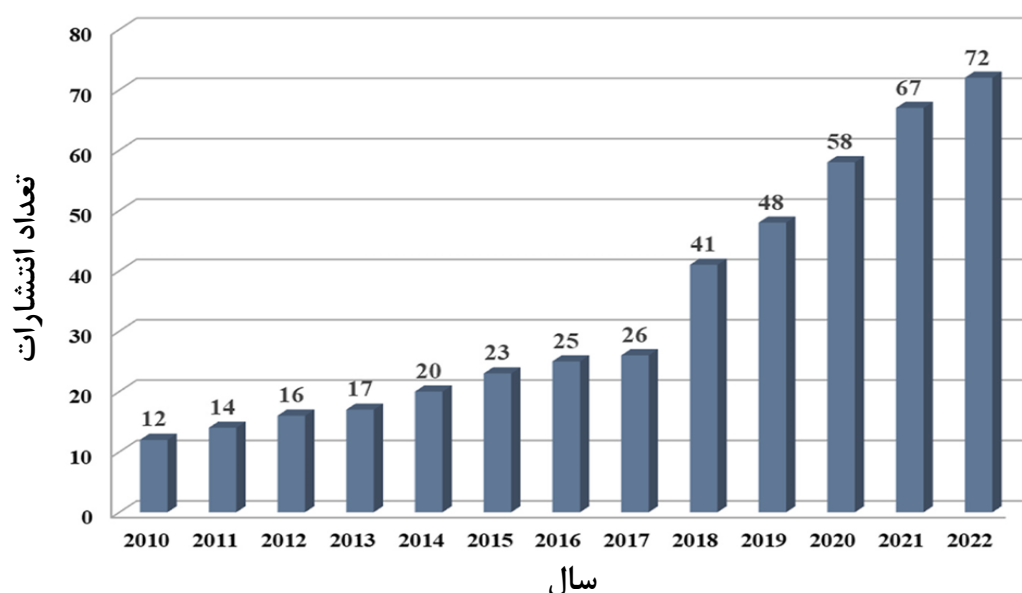
^۲ Spalling



شکل ۱-۲ رشد سالانه به‌کارگیری هوش مصنوعی در صنعت ساخت‌وساز.

پژوهشگران روشی برای شناسایی و طبقه‌بندی آسیب‌های بتن به چهار گروه — شامل نمایان شدن میلگرد، لکه، اسپالینگ و ترک — بر اساس تحلیل تصاویر ارائه کردند. روش پیشنهادی آنها توانایی بالایی در شرایط نوری متفاوت داشت، که یکی از چالش‌های اصلی تشخیص آسیب سطحی در نور شدید محسوب می‌شود. علاوه بر این، روش مذکور از نظر زمان استنتاج و دقت عملکرد، بهتر از الگوریتم‌های رایج شبکه‌های عصبی کانولوشنی مانند YOLOv^۳ و SSD گزارش شده است.

به‌کارگیری روشهای تصحیح تصویر نیز برای افزایش ایمنی کارگران و شمارش دقیق مصالح ساختمانی مفید واقع شده است. این روش کاربرد دوگانه دارد: هم برای پایش رفتار ایمن کارگران و هم برای برآورد دقیق مقادیر مصالح در کارگاه.



شکل ۱-۳ رشد سالانه به کارگیری یادگیری ماشین در صنعت ساخت و ساز.

در پژوهشی دیگر، گروهی از محققان سیستمی مبتنی بر تحلیل بلادرنگ تصاویر دوربین ارائه کردند که با هدف جلوگیری از برخورد ماشین آلات سنگین با کارگران در کارگاه، اطلاعات بصری را در لحظه پردازش می کند.

مدیریت ایمنی در صنعت ساخت و ساز در گذشته عمدتاً بر الگوریتم های یادگیری سطحی^۱ در کاربردهای یادگیری ماشین تکیه داشت. همچنین محققان روشی برای تشخیص جلیقه های ایمنی پیشنهاد کردند که می تواند گامی در جهت شناسایی خودکار کارگران باشد؛ این روش از پیکسل های رنگی جلیقه های حفاظتی برای این منظور استفاده می کند. برخی دیگر از محققان نیز پژوهشی درباره قابلیت استفاده از شتاب سنج های مچی برای تشخیص حرکات افراد در کارگاه های ساخت و ساز ارائه کردند.

در دهه دوم قرن بیست و یکم، پردازش تصویر با ظهور یادگیری عمیق دچار تحول شد. با وجود توسعه اولیه این الگوریتم ها، ورود آنها به صنعت ساخت و ساز با تأخیر همراه بوده است. برای مثال، شبکه های

^۱ Shallow Learning

عصبی‌بازگشتی در دهه ۱۹۸۰ معرفی شدند، اما حدود ۲۶ سال بعد برای نخستین بار در اجتناب از برخورد در بیل‌های مکانیکی رباتیک استفاده شدند. شبکه‌های عصبی کانولوشنی نیز که در ۱۹۸۹ معرفی شدند، تا سال ۲۰۱۲ به‌طور گسترده مورد توجه قرار نگرفتند؛ سالی که از آنها برای شناسایی خطر سقوط در کارگاه‌های ساخت‌وساز استفاده شد.

امروزه فناوری‌های نوظهور یادگیری عمیق به دلیل مزایای گسترده در صنعت ساخت‌وساز مورد استقبال قرار گرفته‌اند و فاصله زمانی میان توسعه الگوریتم و کاربرد عملی آن کاهش یافته است. الگوریتم YOLOv۳ نمونه بارزی از این روند است؛ این الگوریتم در سال ۲۰۱۸ معرفی شد و تنها یک سال بعد، در ۲۰۱۹، برای ایجاد سامانه‌ای خودکار در تشخیص نقص‌های ساختاری خطوط فاضلاب به‌کار گرفته شد.

کاربردهای هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در فازهای چرخه عمر پروژه‌های ساخت‌وساز

این بخش به‌صورت جامع به بررسی کاربردهای روبه‌گسترش هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در صنعت ساخت‌وساز می‌پردازد. ساختار بررسی بر اساس فازهای مختلف چرخه عمر یک پروژه ساختمانی تنظیم شده است. این فازها شامل برنامه‌ریزی، طراحی، ساخت، بهره‌برداری، نگهداری، تخریب و بازسازی هستند.

کاربرد هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در فاز برنامه‌ریزی

فاز برنامه‌ریزی جایگاهی حیاتی در چرخه عمر پروژه‌های ساخت‌وساز دارد، زیرا تأثیر مستقیمی بر موفقیت کلی پروژه در ابعاد مهمی همچون هزینه، زمان، کیفیت و کمیت بر عهده دارد. برنامه‌ریزی ناکافی غالباً پیش‌زمینه‌ای برای شکست پروژه به شمار می‌رود و می‌تواند به نتایج نامطلوب و اجرای ناموفق منتهی شود.