پانزدهمین سمینار احتمال و فرآیندهای تصادفی
۸ و ۹ شهریور ۱۴۰۴
دانشگاه کردستان
15th Seminar On Probability and Stochastic Processes
August 30-31, 2025
University of Kurdistan
انجمن آمار ایران

تشخیص اعداد دست‌نویس با رهیافت یادگیری ماشین

نوشین رضائی طالقانی [۱] ، **آرزو حاج رجبی**
گروه آمار، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)

چکیده:

در سال‌های اخیر با گسترش داده‌های تصویری و افزایش نیاز به پردازش و تحلیل خودکار آن‌ها، مسئله‌ی تشخیص اعداد دست‌نویس به عنوان یکی از مسائل مهم و کاربردی در حوزه یادگیری ماشین و بینایی ماشین مطرح شده است. در این پژوهش با استفاده ازالگوریتم‌های یادگیری ماشین مانند جنگل تصادفی و درخت تصمیم، مسئله‌ی تشخیص اعداد دست‌نویس بررسی و پیاده‌سازی گردیده است و برای این منظور از پایگاه‌های داده استاندارد موجود در کتابخانه‌های پایتون بهره گرفته شده است. عملکرد این مدل‌ها با معیارهای آماری مناسب ارزیابی شده و نتایج، حاکی از کارایی بالای جنگل تصادفی در مقایسه با درخت تصمیم می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: یادگیری ماشین، تشخیص اعداد دست‌نویس، جنگل تصادفی ، درخت تصمیم.

۱ مقدمه

در سال‌های اخیر با گسترش فناوری‌های مبتنی بر هوش مصنوعی، مسائلی نظیر شناسایی و دسته‌بندی الگوهای نوشتاری در تصاویر به‌ویژه تشخیص اعداد دست‌نویس، توجه بسیاری از پژوهشگران را به خود جلب کرده است. تشخیص اعداد دست‌نویس یکی از مسائل مهم در حوزه شناسایی الگوها و پردازش تصویر است که در سامانه‌های بانکی، مراکز پستی، آرشیو اسناد و سایر نهادهای اداری کاربرد فراوان دارد. این مسئله به دلیل تنوع در سبک نگارش افراد و ناهماهنگی‌های مختلف در تصاویر، همواره به‌عنوان یکی از چالش‌های اصلی در این حوزه مطرح بوده است. در زمینه بازشناسی اعداد و حروف دست‌نویس پژوهش‌های بسیاری انجام شده است، به عنوان مثال مجموعه اعداد دست‌نویس هدی با ۱۰۲۳۵۳ نمونه‌ی سیاه و سفید از فرم‌های آزمون کارشناسی ارشد ۱۳۸۴ و کاردانی ۱۳۸۳ استخراج شده و برای بازشناسی اعداد و حروف دست‌نویس فارسی با استفاده از ترکیب طبقه‌بندها و ویژگی‌های مختلف به نرخ بازشناسی ۹۹/۱۷ درصد برای اعداد و ۹۶/۳۳ درصد برای حروف دست یافته است (خسروی ، ۱۳۸۴). شناسایی اعداد دست‌نویس فارسی با استفاده از یادگیری عمیق و ماشین بولتزمن دولایه با ۲۰۰ نورون در هر لایه و با استفاده از بانک اطلاعاتی هدی، روش پیشنهادی با دقت بازشناسی ۹۳ درصد در پژوهش فرخی و رضوی (۱۳۹۴) است. زربافی و همکاران (۱۴۰۲)با استفاده از شبکه های عصبی

[۱] سخنران، rezaeinrt@gmail.com

کانولوشنی و مدل ترکیبی شامل حافظه کوتاه مدت و بلند مدت به اعتبار سنجی ۹۸/۰۳ روی پایگاه داده‌ی اعداد فارسی دست یافتند. در این مقاله برای بازشناسی اعداد دست‌نویس از پایگاه داده استاندارد موجود در کتابخانه‌های پایتون از الگوریتم درخت تصمیم و جنگل تصادفی استفاده شده است و با استفاده از معیارهای ارزیابی نشان داده شده که الگوریتم جنگل تصادفی دارای دقت بیشتری نسبت به درخت تصمیم است. در بخش دوم به یادگیری ماشین ومفاهیم مقدماتی پرداخته شده است. الگوریتم جنگل تصادفی و درخت تصمیم در بخش سوم بررسی شده است. در بخش چهارم به مطالعات شبیه‌سازی بر روی پایگاه داده استاندارد پرداخته شده است.

۲ یادگیری ماشین

یادگیری ماشین شاخه‌ای از هوش مصنوعی است که به ماشین‌ها امکان می‌دهد از داده‌ها، الگو بیاموزند و پیش‌بینی کنند. این حوزه در مسائل گوناگون از جمله طبقه‌بندی تصاویر و پردازش متن، کاربرد گسترده‌ای دارد. یکی از مسائل مهم، شناسایی و طبقه‌بندی اعداد دست‌نویس است که به دلیل تنوع در سبک نگارش، چالشی پیچیده به شمار می‌رود. روش‌های یادگیری ماشین به چهار نوع اصلی نظارت‌شده،[1] بدون نظارت،[2] نیمه‌نظارت‌شده[3] و تقویتی[4] تقسیم می‌شوند. در این پژوهش، تمرکز بر روش‌های نظارت‌شده است که این نوع یادگیری یکی از شاخه‌های اصلی یادگیری ماشین است که در آن مدل با استفاده از مجموعه داده‌های برچسب‌دار آموزش می‌بیند تا بتواند پیش‌بینی‌های دقیقی برای داده‌های جدید ارائه دهد. در این روش، داده‌ها شامل جفت‌های ورودی–خروجی هستند که ورودی‌ها (ویژگی‌ها) و خروجی‌های مورد انتظار (برچسب‌ها) را مشخص می‌کنند. هدف، یادگیری یک تابع نگاشت است که بتواند ورودی‌ها را به برچسب‌های صحیح مرتبط سازد. این رویکرد به‌ویژه در مسائل طبقه‌بندی، مانند تشخیص اعداد دست‌نویس، و رگرسیون کاربرد گسترده‌ای دارد. یکی از نکات کلیدی در یادگیری ماشین، انتخاب ویژگی‌های مناسب از داده‌هاست. ویژگی‌هایی مانند شدت پیکسل‌ها در تصاویر یا الگوهای هندسی می‌توانند به شناسایی بهتر اعداد کمک کنند. پیش‌پردازش داده‌ها مانند نرمال‌سازی یا کاهش نویز دقت مدل‌ها را بهبود می‌بخشد. برای مثال در مسائل طبقه‌بندی تصاویر، تبدیل داده‌ها به مقیاس‌های استاندارد یا استفاده از روش‌های کاهش

جدول ۱: دسته‌بندی الگوریتم‌های یادگیری ماشین

ردیف	نوع یادگیری	الگوریتم‌های پرکاربرد
۱	یادگیری نظارت‌شده	رگرسیون خطی، رگرسیون لجستیک، درخت تصمیم، جنگل تصادفی، نزدیک ترین همسایه
۲	یادگیری بدون نظارت	خوشه‌بندی، تحلیل مؤلفه‌های اصلی
۳	یادگیری نیمه‌نظارت‌شده	خودآموز، ماشین بردار پشتیبان نیمه‌نظارتی
۴	یادگیری تقویتی	روش ترکیبی شبکه عمیق و ماشین بردار پشتیبان

ابعاد مانند تحلیل مؤلفه‌های اصلی، سرعت و کارایی مدل‌ها را افزایش می‌دهد. در جدول ۱ به انواع ی یادگیری ماشین اشاره شده است که نتایج نشان می دهد که انتخاب درست الگوریتم نقش مهمی را در برازش مدل مناسب به داده‌ها ایفا می‌کند.

[1] Supervised
[2] Unsupervised
[3] Semi-Supervised
[4] reinforcement

۳ جنگل تصادفی و درخت تصمیم

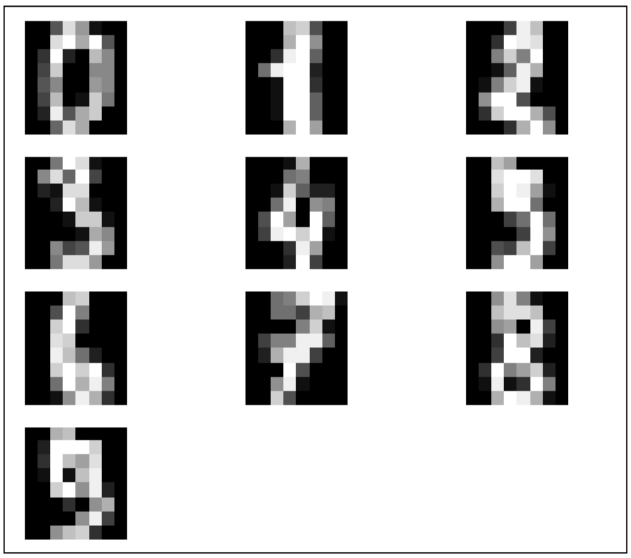
درخت تصمیم یک الگوریتم یادگیری ماشین است که برای شناسایی دست‌نوشته‌های اعداد به کار می‌رود. این روش داده‌های ورودی، مانند ویژگی‌های پیکسلی یا الگوهای هندسی تصاویر دست‌نوشته را در یک ساختار درختی سازمان‌دهی می‌کند. هر گره در درخت یک ویژگی خاص (مثلاً شدت رنگ پیکسل در یک ناحیه) را بررسی می‌کند. و شاخه‌ها، داده‌ها را بر اساس معیارهای تصمیم به زیرمجموعه‌های کوچک‌تر تقسیم می‌کنند تا در نهایت به یک برگ برسند که نشان‌دهنده یک عدد خاص (مثلاً ۰ تا ۹) است. این روش به دلیل سادگی و قابلیت تفسیر آسان، برای مسائل شناسایی اعداد مناسب است. با این حال، اگر داده‌ها دارای خطا باشند یا تنوع زیادی در سبک‌های دست‌خط وجود داشته باشد، درخت تصمیم ممکن است بیش از حد به داده‌های آموزشی وابسته شود و بیش‌برازش بوجود آید و عملکردش روی داده‌های جدید کاهش یابد. جنگل تصادفی یک الگوریتم پیشرفته‌تر است که با ترکیب چندین درخت تصمیم، دقت شناسایی دست‌نوشته‌های اعداد را افزایش می‌دهد. این روش با انتخاب تصادفی زیرمجموعه‌هایی از داده‌ها (مانند تصاویر دست‌نوشته) و ویژگی‌ها (مثلاً بخشی از پیکسل‌ها)، تعداد زیادی درخت تصمیم مستقل می‌سازد و سپس، برای پیش‌بینی نهایی نتایج همه درخت‌ها را ترکیب می‌کند. این رویکرد باعث می‌شود جنگل تصادفی در برابر خطا و تغییرات در دست‌خط‌ها مقاوم‌تر باشد و معمولاً دقت بالاتری نسبت به یک درخت تصمیم تنها ارائه دهد. با این حال، به دلیل استفاده از چندین درخت، محاسبات آن سنگین‌تر است و تفسیر مدل به اندازه یک درخت تصمیم ساده نیست. برای جزییات بیشتر به (اورلین گرون ، ۲۰۱۹) مراجعه شود.

۴ مطالعات شبیه‌سازی

در این پژوهش از مجموعه داده Digits استفاده شده است که یکی از پایگاه‌های داده استاندارد در کتابخانه scikit-learn بوده و به‌عنوان یک نمونه پرکاربرد برای ارزیابی الگوریتم‌های یادگیری نظارت‌شده در مسائل طبقه‌بندی اعداد دست‌نویس می‌باشد. این مجموعه شامل ۱۷۹۷ تصاویر خاکستری ۸×۸ پیکسلی از اعداد ۰ تا ۹ است که در شکل ۱ قابل مشاهده است. این مجموعه داده‌ها باتوجه به حجم کم، ساختار ساده و برچسب‌گذاری دقیق، گزینه‌ای ایده‌آل برای آزمایش سریع و مقایسه عملکرد الگوریتم‌ها محسوب می‌شود. جدول ۲، تعداد نمونه‌ها در هر کلاس مشخص شده است.

جدول ۲: تعداد نمونه‌ها در هر کلاس

کلاس	۰	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
تعداد نمونه	۱۷۸	۱۸۲	۱۷۷	۱۸۳	۱۸۱	۱۸۲	۱۸۱	۱۷۹	۱۷۴	۱۸۰



شکل ۱: .تصویر اعداد ۰ تا ۹

در گام اول مجموعه داده Digits از کتابخانه scikit-learn فراخوانی و تصاویر را به بردارهای ۶۴ تایی تبدیل می‌کنیم و به مجموعه‌های آموزشی و آزمایشی تقسیم کرده و سپس مجموعه آموزشی را به مدل‌های یادگیری نظارت‌شده مانند درخت تصمیم و یا جنگل تصادفی می دهیم. مدل با داده‌های آموزشی و برچسب‌های مربوطه (اعداد ۰ تا ۹) آموزش می‌بیند، در درخت تصمیم گره‌ها و شاخه‌ها بر اساس معیارهای تقسیم‌بندی، تشکیل می‌شود. در جنگل تصادفی، هر درخت به‌صورت مستقل آموزش می‌بیند. پس از آن مدل آموزش‌دیده روی داده‌های آزمایشی بررسی شده و نتایج پیش‌بینی در ماتریس درهم‌ریختگی[۵] قرار می‌گیرند. در نهایت عملکرد مدل با معیارهایی مانند دقت و ماتریس درهم‌ریختگی ارزیابی می‌شود. به‌طوری معمول جنگل تصادفی دقتی حدود ۹۷ درصد و درخت تصمیم دقتی حدود ۸۵ درصد برای مجموعه داده Digits گزارش می‌کنند. ماتریس‌های درهم‌ریختگی ارائه‌شده، عملکرد دو مدل یادگیری ماشین یعنی جنگل تصادفی و درخت تصمیم را بر روی داده‌های آزمایشی برای تشخیص اعداد دست‌نویس نشان می‌دهند. در ماتریس درهم‌ریختگی جنگل تصادفی، مقادیر قطری (پیش‌بینی‌های درست) نشان‌دهنده دقت بالای مدل است، به‌طوری‌که برای اکثر کلاس‌ها (اعداد ۰ تا ۹)، بیش از ۸۰ مورد به‌درستی پیش‌بینی شده‌اند. به‌عنوان مثال برای عدد ۰، مدل در ۸۷ مورد از ۸۸ مورد پیش‌بینی درست داشته است و تنها یک مورد به‌اشتباه به‌عنوان عدد ۴ طبقه‌بندی شده است. در مقابل ماتریس درهم‌ریختگی درخت تصمیم نشان‌دهنده عملکرد ضعیف‌تری است، به‌ویژه برای برخی کلاس‌ها مانند عدد ۸ که تنها ۵۸ مورد به‌درستی پیش‌بینی شده و ۱۱ مورد به‌اشتباه به‌عنوان عدد ۵ طبقه‌بندی شده‌اند. به‌طور کلی، بالابودن مقادیر قطر اصلی ماتریس جنگل تصادفی و تعداد خطاهای کمتر در مقایسه با درخت تصمیم، حاکی از برتری این مدل در دقت پیش‌بینی است. این نتایج نشان می‌دهند که جنگل تصادفی به دلیل استفاده از چندین درخت تصمیم و کاهش واریانس، عملکرد بهتری در تشخیص اعداد دست‌نویس دارد.

[5] Confusion Matrix

ماتریس درهم‌ریختگی جنگل تصادفی

۸۷	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰
۰	۸۰	۰	۱	۲	۱	۰	۰	۰	۷
۱	۰	۷۸	۴	۰	۰	۰	۰	۰	۳
۱	۱	۰	۷۸	۰	۳	۲	۶	۰	۰
۱	۰	۰	۰	۸۵	۱	۱	۳	۰	۱
۰	۰	۰	۰	۰	۸۷	۱	۰	۰	۳
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۹۰	۰	۱	۰
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۸۸	۱	۰
۰	۲	۱	۱	۱	۴	۰	۲	۷۶	۱
۰	۰	۰	۱	۰	۲	۰	۰	۳	۸۶

ماتریس درهم‌ریختگی درخت تصمیم

۷۹	۰	۰	۰	۲	۳	۱	۰	۲	۱
۰	۵۹	۱	۶	۴	۱	۰	۳	۱۱	۶
۱	۴	۶۴	۸	۱	۰	۲	۰	۳	۳
۰	۲	۲	۶۹	۰	۴	۰	۳	۷	۴
۶	۱	۰	۰	۷۱	۶	۳	۰	۴	۱
۰	۴	۰	۲	۰	۶۸	۱	۰	۱	۱۵
۱	۱	۲	۰	۱	۲	۷۷	۰	۷	۰
۰	۱	۰	۴	۳	۸	۰	۶۹	۳	۱
۰	۴	۳	۳	۳	۱۱	۲	۲	۵۸	۲
۰	۱	۰	۵	۰	۱۳	۰	۰	۳	۷۰

بحث و نتیجه‌گیری

این پژوهش به بررسی تشخیص اعداد دست‌نویس با استفاده از روش‌های یادگیری ماشین پرداخت. با بهره‌گیری از مجموعه داده استاندارد و اعمال پیش‌پردازش‌های لازم، الگوریتم‌های جنگل تصادفی و درخت تصمیم آزمایش شدند. ماتریس‌های درهم‌ریختگی نشان دادند که جنگل تصادفی با مقادیر قطر اصلی بالاتر و خطاهای کمتر، دقت پیش‌بینی بهتری نسبت به درخت تصمیم دارد. این برتری به دلیل ترکیب چندین درخت تصمیم و کاهش واریانس در جنگل تصادفی است. در نهایت، این پژوهش نشان داد که انتخاب الگوریتم مناسب نقش کلیدی در بهبود دقت مدل‌های یادگیری ماشین دارد.

مراجع

خسروی، ح. (۱۳۸۴)، بازشناسی اعداد و حروف دست‌نویس در فرم‌های آزمون سراسری، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.

زربافی، م. و همکاران (۱۴۰۲)، تشخیص اعداد گفتاری با استفاده از شبکه‌های یادگیری عمیق، مجله علمی-پژوهشی فناوری اطلاعات و ارتباطات، ۱۰، ۴۵-۵۶.

فرخی، س. و رضوی، م. (۱۳۹۴)، تشخیص اعداد دست‌نویس با استفاده از یادگیری عمیق، کنفرانس بین‌المللی سیستم‌های غیرخطی و بهینه‌سازی مهندسی برق و کامپیوتر

نادری، ح. و حبیبی، ر. (۱۳۹۶)، تشخیص اعداد دست‌نویس با استفاده از شبکه‌های عصبی، کنفرانس ملی فناوری‌های نوین در مهندسی برق و کامپیوتر، تهران، ایران.

Geron A.(2019), Hands on Machine Learning with Scikit Learn, Keras and TensorFlow, Second Edition, O'Reilly Media,Inc.

Handwritten Digit Recognition Using a Machine Learning Approach

Doctor Arezoo Hajrajabi[1], **Nooshin Rezaei Taleghani**[2]

[1]Department of Statistics, Imam Khomeini International University, Qazvin

[2]Department of Statistics, Imam Khomeini International University, Qazvin

---

Abstract:

In recent years, with the expansion of image data and the increasing need for their automatic processing and analysis, the problem of handwritten digit recognition has emerged as a significant and practical issue in the fields of machine learning and computer vision. In this research, the problem of handwritten digit recognition has been investigated and implemented using machine learning algorithms such as Random Forest and Decision Tree. For this purpose, standard datasets available in Python libraries have been utilized. The performance of these models has been evaluated using appropriate statistical metrics, and the results indicate the superior performance of Random Forest compared to Decision Tree.

Keywords: Machine Learning, Handwritten Digit Recognition, Random Forest, Decision Tree.

Mathematics Subject Classification (2020): 68T07, 68T10, 62H30.
