

## تشخیص اصالت خط نسخ با استفاده از یادگیری عمیق ( مطالعه موردی خط استاد احمد نیریزی )

نرگس آریانی<sup>۱</sup>، محبوبه شمسی<sup>۲</sup>، عبدالرضا رسولی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>وزارت میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری  
nargessaryaei@gmail.com

<sup>۲</sup>دانشگاه صنعتی قم  
Shamsi@qut.ac.ir

<sup>۳</sup>دانشگاه صنعتی قم  
rasouli@qut.ac.ir

### چکیده

استفاده از علم کامپیوتر، هوش مصنوعی و شبکه‌های یادگیری عمیق به عنوان علم بین‌رشته‌ای برای کمک به شناسایی اصالت نسخه‌های خطی که از دیرباز تاکنون یکی از مسئله‌های بغرنج کارشناسان این حوزه بوده است می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد در این پژوهش برای اولین بار شناسایی اصالت دستخط نسخه‌های خطی توسط بینایی ماشین و یادگیری عمیق انجام شده است و در ابتدا دو پایگاه داده از نسخه‌های قدیمی که شامل نمونه دستخط استاد احمد نیریزی و نمونه دستخط‌های متنوع از خطوط مختلف با دقت و کیفیت عالی تهیه گردید و مقایسه خط استاد احمد نیریزی با این نمونه دستخط‌ها با استفاده از روش یادگیری عمیق، بینایی ماشین و استفاده از شبکه‌های کانوالویشن و انتقال یادگیری شبکه‌های VGG16 و Efficientnet با تغییر پارامترهای تابع بهینه‌ساز و استفاده از شیوه‌های نوین، پارامترهای بسیار بیشتری از آنچه کارشناسان نسخه جهت شناسایی اصالت نسخه در نظر می‌گیرند استخراج گردید که در نتیجه ضریب بالایی از دقت در شناسایی و پیشگویی (بالای 95%) به دست آمد و به عنوان تحولی جدید در این عرصه می‌تواند به کارشناسان نسخه‌های خطی کمک بسیار زیادی نماید و همین‌طور در حوزه شناخت اصالت سایر آثار میراث فرهنگی کشور مورد استفاده قرار گیرد.

### کلمات کلیدی

یادگیری عمیق، استاد احمد نیریزی، پایگاه داده، شبکه‌های کانوالویشن.

### ۱- مقدمه

مصنوعی و استفاده از آن در حوزه‌های مختلف، به تدریج زمینه استفاده از هوش مصنوعی در حوزه شناخت اصالت نسخه (تشخیص اصل از جعل)، بخصوص خط محقق گردید که از این رهگذار یادگیری عمیق به عنوان رویکرد اساسی جهت استخراج ویژگی‌ها از حجم انبوهی از اطلاعات ناهمگون استفاده می‌شود که در نتیجه الگوهای مناسب و مطلوبی در مقایسه با روش‌های سنتی ارائه می‌دهد لازم به ذکر است کارهایی که تاکنون به منظور شناسایی خط انجام شده است را می‌توان به صورت اختصار چنین

نسخه‌های خطی میراث مکتوب گذشتگان و آیین تمام نمای علم، فرهنگ و هنریک جامعه هستند. شناخت دقیق این آثار و افزایش دانش و آگاهی درباره آن‌ها، راهگشای علما، محققان و هنرمندان است. اما جعل و تزویر در نسخه‌های خطی همواره وجود داشته است [۱] که مانعی در راه این شناخت به شمار می‌رود. با توجه به پیشرفت فناوری در زمینه یادگیری هوش

بیان کرد: ۱- تهیه پایگاه داده CVL: پایگاه داده CVL: یک پایگاه داده عمومی [2] برای بازیابی، شناسایی نویسنده و شناسایی کلمه است. این پایگاه داده از ۷ متن دست‌نوشته متفاوت (۱ آلمانی و ۶ انگلیسی) تشکیل شده است. ۲- ICDAR 2011 Arabic Writer Identification: مجموعه‌ای از داده‌های بزرگ [3] است که به لطف چندین داوطلب با سوابق متفاوت در دانشگاه قطر جمع‌آوری شده است. ۳- IAM: حاوی اشکال متن دست‌نوشته انگلیسی [4] به این شرح است: ۶۵۷ نمونه دستخط، ۱۵۳۹ صفحه اسکن شده، ۵۶۸۵ جمله برچسب دار، ۱۳۵۳ خط برچسب دار، ۱۱۵۳۲۰ کلمه برچسب دار. ۴- ICDAR-2013: مجموعه داده [5] تهیه شده در کشور قطر به منظور پیش‌بینی جنسیت از روی دستخط، در مجموع ۴۷۵ نویسنده چهار سند دست‌نوشته را تولید کردند ۵- KHATT: یک پایگاه داده عربی [6] از ۱۰۰۰ نویسنده مختلف از عربستان سعودی، که تصاویر با کیفیت ۳۰۰ تا ۶۰۰ dpi اسکن شده‌اند و شامل ۲۰۰۰ تصویر منحصر به فرد از موضوعات مختلف مانند هنر، آموزش، بهداشت و فن‌آوری می‌باشد و نیز پایگاه داده‌های دیگری در چین، ژاپن و انگلیس به منظور شناسایی خط تولید شده‌اند که در آخرین کاری [7] که در اوایل ۲۰۲۰ انجام شده بر روی مجموعه داده QUWI با ترکیب CONV3، CONV4، CONV5 و ترکیبی از FC6 و FC7 و نیز به کارگیری روش اضافه کردن داده\* و استفاده از شیوه‌های ALEXNET و SVM توانستند به این میزان دقت دسترسی پیدا کنند: 92.78% دقت و شناسایی بر روی تصاویر دستخط انگلیسی - 92.20% دقت شناسایی بر روی تصاویر دستخط عربی - 88.11% دقت بر روی تصاویر ترکیبی عربی و انگلیسی ولی تاکنون بر روی مجموعه داده خط فارسی گذشتگان و نسخ خطی کاری انجام نشده است.

در این مقاله از یادگیری عمیق و شبکه‌های کانوالویشن و انتقال یادگیری برای مشخص کردن دستخط نویسنده (بر روی تصاویر) استفاده شده است که این تصاویر از نسخه‌های معتبر و تأیید شده خطاطان برجسته استخراج و استفاده گردید. که از این رهگذار تعداد ۲۵۸۶۰ نمونه دستخط از استاد احمد نیریزی و تعداد ۲۵۵۵۹ نمونه تصویر دستخط از سایر خطوط و برخی کاتبان بسیار معروف و چیره‌دست که در تحول و تطور خط نقش کلیدی داشتند تهیه گردید و طی ۴ آزمایش که به صورت استفاده از شبکه‌های کانوالویشن معمولی و لایه‌های کاملاً متصل، استفاده از شبکه‌های از پیش آموزش دیده، انجام شد نتایج متفاوتی به دست آمد که در هنگام استفاده از مدل به منظور پیشگویی دستخط استاد احمد نیریزی که در نمونه‌ها وجود نداشت و دستخطی متفاوت، نتایج جالبی به دست آمد که به عبارتی نشان می‌داد استفاده از بلوکهای پیچیده و بسیار گسترده و انتخاب تعداد پارامترهای مناسب برای یادگیری به همراه تعداد دوره یادگیری<sup>۱</sup> و پارامترهای بهینه‌ساز نتایج بهتری ارائه خواهد کرد.

## ۲- شیوه انجام تحقیق

فن ارائه شده بر اساس معماری معمولی شبکه‌های کانوالویشن، معماری شبکه VGG16 و معماری شبکه Efficientnet است شبکه‌ها ویژگی‌های

استخراج شده از لایه‌ها را یادگیری می‌کند (این ویژگی‌ها ثابت یا نرمال شده می‌باشند) و استخراج آن‌ها بر اساس لایه‌های کانوالویشن معمولی و شبکه‌های از پیش آموزش دیده است و بر اساس این معماری این خط تولید شامل ۴ قسمت اساسی است: ۱) تهیه نسخه‌های خطی (تهیه پایگاه داده) و گرفتن تأییدیه اصالت نسخه از کارشناسان این حوزه، ۲) پیش‌پردازش تصاویر و استخراج تصاویر با کیفیت، ۳) آماده‌سازی محیط آزمایش و انجام آزمایش بر روی داده‌ها و استخراج مدل‌ها، ۴) استفاده از مدل‌ها به منظور پیشگویی تصاویری که در آزمایش و یادگیری استفاده نشده‌اند.

## ۳- تهیه پایگاه داده

به دلیل اینکه تاکنون هیچ پایگاه داده‌ای برای تصاویر خطوط فارسی ارائه نشده بود، پس تصمیم گرفته شد مقایسه تصاویر کتابت یکی از خطاطان برجسته با یک پایگاه داده کلی به عنوان اصول اصلی کار در نظر گرفته شود از این رو شیوه کتابت نسخ استاد احمد نیریزی که از کاتبان به نام و پایه‌گذار شیوه کتابت خط نسخ ایرانی است به عنوان نمونه اصلی و پایگاه داده کلی از تصاویر کتابت کاتبان برجسته و نیز تصاویر آثار فاخری که کاتب این آثار مجهول الهویه هستند برای یادگیری کلی سیستم استفاده گردد، لازم به ذکر است که این پایگاه داده و مدل‌هایی که از آن‌ها استخراج شده است می‌تواند در دسترس دانش‌پژوهان عرصه شناخت آثار کتابت میراث فرهنگی قرار گیرد.

احمد نیریزی (۱۰۶۰-۱۱۶۰ ه.ق): استاد احمد نیریزی متولد ۱۰۶۰ ه.ق در محله سادات نیریز بوده است که زمان ولادت او مقارن با پادشاهی شاه سلیمان صفوی بوده است احمد نیریزی پس از فراگیری اصول و فنون خط و خوشنویسی از استادان مختلف بالأخص استاد محمدابراهیم قمی در این فن مهارتی کم‌نظیر یافت و توانست پایه‌گذار نسخ ایرانی باشد [8]. آثار انتخاب شده از کتابت استاد احمد نیریزی که فایل تصویری آن از کتابخانه و موزه مجلس شورای اسلامی [9] گرفته شده است به این شرح است:

نام اثر: جُنْگ: شناسگر رکورد: ۵۰۹۱۴۳، شماره بازیابی: ۶۵۷، س، تاریخ کتابت: ۱۱۴۷ ه.ق، تعداد نمونه مستخرج از آن: ۶۷۴۶ عدد.

نام اثر: قرآن، شناسگر رکورد: ۱۰۳۱۹۱۱، شماره بازیابی: ۲، تاریخ کتابت: ۱۱۲۲ ه.ق، تعداد نمونه مستخرج از آن: ۱۴۲۲۶ عدد.

نام اثر: مرقع: شناسگر رکورد: ۵۰۳۶۳۴، شماره بازیابی: ۴۱۷۱، تعداد نمونه مستخرج از آن: ۲۷۰ عدد.

نام اثر: الصحیفه السجادیه/ منسوب به امام زین‌العابدین (ع)، شناسگر رکورد: ۵۰۷۳۸۲، شماره بازیابی: ۴۱۶۷، تاریخ کتابت: ۱۱۰۷ ه.ق، تعداد نمونه مستخرج از آن: ۸۱ عدد.

نام اثر: وقف نامه مدرسه امامیه اصفهان/ شاه سلطان حسین صفوی، جمال خوانساری، شناسگر رکورد: ۵۱۱۴۳۸، شماره بازیابی: ۱۵۱۸۱، تاریخ کتابت: ۱۱۲۹ ه.ق، تعداد نمونه مستخرج از آن: ۴۵۳۷ عدد.

کل نمونه‌های استخراج شده جهت استفاده در پژوهش از استاد احمد نیریزی به تعداد ۲۵۸۶۰ عدد است. در این پژوهش از روش یادگیری با ناظر<sup>۲</sup>، که عبارت است از یادگیری نگاشت داده‌های ورودی به اهداف و مقصدهای معلوم، مانند بازشناسی نویسه نوری، گفتار، طبقه‌بندی تصاویر و ترجمه

زبانی. این پروژه که به نوعی طبقه‌بندی تصاویر است در این دسته قرار می‌گیرند لذا می‌بایست از پایگاه داده دیگری استفاده گردد تا سیستم از طریق مقایسه بتواند تصاویر دستخط کتابت استاد احمد نیریزی را فراگیرد، مشخصات پایگاه داده دوم به این صورت است:

نمونه تصاویر دستخط کتابت حاج میرزا محمد رضا زین‌العابدین اشرف الکتاب اصفهانی، عنوان اثر: صحیفه سجادیه، منبع: کتابخانه و موزه مجلس شورای اسلامی [9]، تعداد نمونه مستخرج از آن ۳۰۳۲ عدد.

نمونه تصاویر دستخط کتابت عبدالله صیرفی، عنوان اثر: آداب سماع، منبع: کتابخانه و موزه مجلس شورای اسلامی [9]، تعداد نمونه مستخرج از آن ۱۸۷۶ عدد.

قرآن به خط کوفی با اعراب و اعجام ابوالاسود دوئلی، منبع: کتابخانه موزه ملی فرانسه [10]، تعداد نمونه مستخرج از آن ۲۵۲۶ عدد.

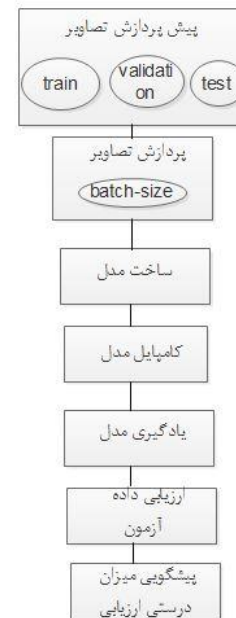
نمونه تصاویر دستخط کتابت احمد بن سهروردی، عنوان اثر: تحفه فتحیه، منبع: کتابخانه ملی ایران [11]، تعداد نمونه مستخرج از آن ۱۳۸۶ عدد.

قرآن به خط ثلث زیبا، منبع: کتابخانه و موزه مجلس شورای اسلامی [9]، تعداد نمونه مستخرج از آن ۳۰۲۴ عدد.

نمونه تصاویر دستخط کتابت ابوالحسن علی بن هلال (ابن بواب)، عنوان اثر: قرآن منبع: موزه چستربیتی دوبلین ایرلند [12]، تعداد نمونه مستخرج از آن ۷۰۲۵ عدد.

نمونه تصاویر دستخط محمد رضا کلهر، عنوان اثر: مخزن الانشاء، منبع: کتابخانه و مرکز اسناد مجلس شورای اسلامی [9]، تعداد نمونه مستخرج از آن ۶۶۹۰ عدد. کل نمونه‌های پایگاه داده دوم ۲۵۵۵۹ عدد است.

به صورت کلی مراحل انجام آزمایش را می‌توان به صورت شکل شماره ۱ تشریح و طی چند گام مشخص نمود.



شکل ۱- مراحل انجام آزمایش

## ۴- پیش پردازش تصاویر

متأسفانه بسیاری از اسکن‌ها دارای کیفیت مناسب نبودند و یا دارای فرمت‌های مختلف بودند به عنوان مثال اکثر کتاب‌های مجلس شورای

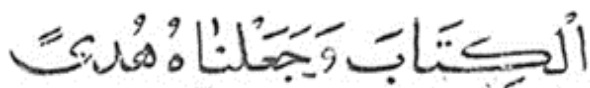
اسلامی دارای فرمت jpg بودند که می‌بایست این فرمت حداقل تبدیل به pdf یا jpg گردد. کیفیت بسیاری از تصاویر به گونه‌ای بود که حتی بعد از چند مرحله پیش‌پردازش باید از آن‌ها صرف‌نظر می‌شد. و به صورت خلاصه می‌توان این مراحل را چنین بیان کرد:

برش تصاویر و جدا کردن تذهیب و ابری اندازه‌ی و سایر تزیینات صفحه، تنظیم نور و شدت افتراق تصویر، کاهش نویز و یا به عبارتی لکه‌زدایی از تصاویر که برای تصاویر مختلف بود، افزایش کیفیت و شفافیت، سیاه‌وسفید کردن و تنظیم اندازه و برش تکه‌ای تصاویر (Slice) و سپس ذخیره کردن در فرمت pg با اندازه ۵۷\*۴۱۳ پیکسل در محیط فتوشاپ و این تنظیمات در تصاویر نسخه‌ها متفاوت بود زیرا کیفیت برخی نسخه‌های اسکن شده خوب و بسیاری از نسخه‌های اسکن شده فاقد کیفیت مناسب بودند و روی هر نسخه پیش‌پردازش به صورت دستی و تجربی انجام می‌گرفت. به عنوان نمونه تصویر شماره ۲ متعلق به قرآن کتابت شده به خط کوفی واقع در موزه ملی فرانسه است.

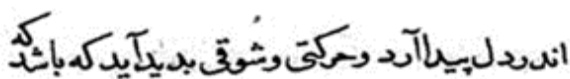


تصویر شماره ۲ صفحه ای از قرآن کتابت شده به خط کوفی

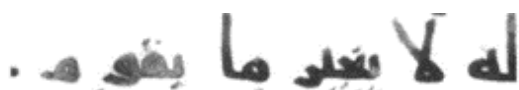
تصویر شماره ۳ استخراج شده از کتاب جنگ استاد نیریزی، تصویر شماره ۴ استخراج شده از کتاب آداب سماع- عبدالله صیرفی، تصویر شماره ۵ استخراج شده از قرآن به خط کوفی متعلق به موزه ملی فرانسه می‌باشد.



تصویر شماره ۳ نمونه تصویر کتاب جنگ استاد نیریزی



تصویر شماره ۴ نمونه تصویر کتاب آداب سماع عبدالله صیرفی



تصویر شماره ۵- نمونه تصویر قرآن به خط کوفی

## ۵- آماده سازی محیط آزمایش و انجام آزمایش

### بر روی داده‌ها و استخراج مدل‌ها

به منظور انجام آزمایش‌های خود از محیط ابری Google Colab استفاده کرده به منظور انجام سریع‌تر آزمایش‌های خود بجای استفاده از GPU از فناوری TPU برای سرعت بالاتر استفاده می‌گردد.

## ۵-۱- آزمایش اول: مقایسه خط استاد احمد نیریزی با پایگاه داده کلی

تعداد نمونه‌های استاد احمد نیریزی ۲۵۸۶۰ و تعداد نمونه‌های پایگاه داده کلی ۲۵۵۵۹ عدد است که در مجموع تعداد ۵۱۴۱۹ نمونه در این مدل فراگیری حضور داشتند و مراحل انجام آزمایش شامل گام‌های شکل ۱ می‌باشد که این گام‌ها برای سایر آزمایش‌ها نیز تکرار می‌شود و در یکسری پارامترها تغییراتی ایجاد می‌شود.

**گام اول: پیش‌پردازش تصاویر و تهیه پوشه تصاویر یادگیری، ارزیابی و آزمون:** دو پوشه یکی برای استاد نیریزی و دیگری برای پایگاه داده کلی تهیه شد که داخل هر کدام به صورت جداگانه پوشه یادگیری به تعداد ۷۵٪ و ۱۵٪ برای ارزیابی و ۱۵٪ نیز برای آزمون از تصاویر متعلق به همان دسته تقسیم‌بندی شد.

**گام دوم: پردازش تصاویر**، پیش از تزریق داده به شبکه، این داده باید درون تنسورهای اعشاری مناسبی که مورد پیش‌پردازش قرار گرفته‌اند، قالب دهی شوند تصاویر خوانده شده کدگذاری گردیده و مقادیر پیکسلی بین (۰-۲۵۵) را به بازه (۰-۱) تغییر مقیاس داده و حالت رنگ تبدیل به خاکستری شده و اندازه فایل دسته‌ای<sup>۱</sup> عدد ۱۰ تعیین می‌گردد.

**گام سوم- ساخت مدل:** در این آزمایش از مدل Sequential استفاده می‌کنیم و به ما امکان می‌دهد یک مدل را لایه به لایه بسازیم. هر لایه دارای وزنهایی است که با لایه زیر آن مطابقت دارد و نیز استفاده از تابع فعال ساز که یک "دروازه" ریاضی بین ورودی نورون فعلی و خروجی آن به لایه بعدی است و این توابع اساساً تصمیم می‌گیرند که آیا نورون باید فعال شود یا خیر و در این آزمایش از تابع فعال سازی خطی اصلاح شده یا به اختصار ReLU استفاده می‌گردد در این آزمایش از تعداد ۱۶،۳۲،۶۴ فیلتر ۳\*۳ در قسمت کانولوشن مدل و در قسمت لایه‌های کاملاً متصل از تعداد ۵۰،۱۰ و در انتها ۱ نرون و فعال ساز sigmoid به منظور تشخیص باینری خط استاد نیریزی و هر خطی به غیر از خط ایشان) استفاده گردید که در انتها تعداد کل ۸۰۷۸۶۷ پارامتر به دست آمد که همه آن‌ها قابل یادگیری بودند.

**گام چهارم: کامپایل مدل:** در این قسمت سه پارامتر باید مشخص شوند: یک تابع هزینه یا زیان که در این آزمایش از 'binary\_crossentropy' استفاده شده است که از بین رفتن آنتروپی بین برچسب‌های واقعی و برچسب‌های پیش‌بینی شده را محاسبه می‌کند یک بهینه‌ساز<sup>\*\*</sup> Adam که این تابع بهترین خصوصیات الگوریتم‌های Momentum (این الگوریتم با در نظر گرفتن میانگین وزنی نمایی شبیه‌ها برای سرعت بخشیدن به الگوریتم نزولی گرادینان استفاده می‌شود) و Rmsprop (در حقیقت این تابع سعی در بهبود تابع Adagrad (عمل جمع کردن شیب حرکت) را دارد و به جای عمل جمع کردن میانگین نمایی آن‌ها را به دست می‌آورد) را باهم ترکیب می‌کند تا یک الگوریتم بهینه‌سازی ارائه دهد که بتواند شیب کم را در مشکلات سخت کنترل کند، در اینجا نرخ یادگیری<sup>□□</sup> (0.001) است. طبق تعاریف فوق تابع Adam طبق فرمول (۱) تعریف می‌شود.

$$\text{فرمول (۱)} \\ m_t = B_1 m_{t-1} + (1 - B_1) \left[ \frac{\partial l}{\partial w_t} \right] v_t \\ = B_2 v_{t-1} + (1 - B_2) \left[ \frac{\partial l}{\partial w_t} \right]^2$$

$m_t$ : جمع شیب‌ها در زمان  $t$  (در ابتدا  $m_t = 0$ ),  $m_{t-1}$ : جمع شیب‌ها در زمان  $t-1$ :  $W_t$ : وزن در زمان  $t$ :  $W_{t-1}$ : وزن در زمان  $t-1$ :  $\partial L / \partial t$ : مشتق تابع هزینه،  $\partial W_t$ : مشتق وزن‌ها در زمان  $t$ :  $V_t$ : جمع مربع شیب‌های قبلی،  $\beta_1$  &  $\beta_2$ : کاهش نرخ میانگین شیب‌ها در دو فرمول Momentum و Rmsprop که می‌شود:

$$\beta_1 = 0.9 \text{ \& } \beta_2 = 0.999$$

معیار برای پایش در حین آموزش و آزمون ( $\text{metrics} = [\text{'acc'}]$ ) در نظر می‌گیریم.

**گام پنجم - یادگیری مدل:** در این گام تصاویر پوشه یادگیری در دسته‌های ۱۰ تایی در ۱۰ دوره یادگیری تحت آموزش قرار می‌گیرد و نتیجه این یادگیری بر روی پوشه ارزیابی مورد مقایسه قرار می‌گیرد و نتیجه 66.67% به دست می‌آید.

**گام ششم - ارزیابی داده‌های آزمون** در این مرحله عملیات محاسبه تابع هزینه و میزان درستی و دقت یادگیری بر روی داده‌های آزمون انجام می‌شود (نمونه‌های آزمون تابه‌حال توسط مدل دیده نشده‌اند) که میزان دقت 66.67% به دست آمد.

**گام هفتم - پیشگویی میزان درستی ارزیابی:** توسط تابع predict که نشان می‌دهد تا چه اندازه داده‌های آزمون را به درستی ارزیابی کردیم و تا چه اندازه خروجی ارزیابی ما به داده‌های واقعی نزدیک است در این قسمت می‌توانیم ماتریس آشفتگی را به دست آوریم. مدل به دست آمده از این آزمایش با میزان دقت 66.67% ذخیره گردید.

## ۵-۲- آزمایش دوم: مقایسه خط استاد احمد نیریزی با پایگاه داده کلی با استفاده از شبکه عصبی کانوالوشنی از پیش آموزش یافته

یک روش معمول و بسیار مؤثر برای یادگیری عمیق در مجموعه داده‌های تصویری استفاده از یک شبکه از پیش آموزش یافته برای گرفتن نتایج بهتر است. در این آزمایش از شبکه VGG16 به عنوان شبکه از پیش آموزش دیده استفاده شد تا استخراج برخی پارامترهای آموزش دیده آن بتواند به یادگیری بهتری در خصوص شناخت خط استاد نیریزی از خطوط متفرقه منجر گردد که بعد از وارد کردن مدل VGG پارامتر weight آن ImageNet (شامل ۱۰۰۰ کلاس) و include\_top آن False و input\_shape آن اندازه تصاویر داده با عمق رنگ ۳ به مدل داده شد به علت تعداد زیاد پارامترها مجبور به تنظیم دقیق شبکه بودیم، مراحل تنظیم دقیق یک شبکه به این صورت خواهد بود: ۱- افزودن شبکه سفارشی خود به بالای یک شبکه مبنا که از قبل آموزش یافته است، ۲- منجمد ساختن شبکه مبنا، ۳- آموزش دادن بخشی که به تازگی اضافه گردید، ۴- خارج کردن بخشی از لایه‌های شبکه مبنا از حالت انجماد. ۵- آموزش توأمان و هم‌زمان این لایه‌ها و بخشی که اضافه شد و سپس مرحله بعدی: منجمدسازی تمام لایه‌ها تا یک لایه خاص که در این آزمایش از block3\_conv1 اقدام به

batch-size<sup>□</sup>

optimizer<sup>\*\*</sup>

lerning rate<sup>□□</sup>

در نهایت در این آزمایش نیز از تعداد 2 دوره یادگیری استفاده شد و تعداد کل پارامترها 5,714,135 و تعداد پارامترهای قابل یادگیری 1,664,571 و پارامترهای غیرقابل یادگیری 4,049,564 عدد هست و دقت 66.67% ارائه داد و مدل ذخیره گردید.

## انجام دو آزمایش برای فراخوانی مدل ها به منظور پیشگویی و نتیجه گیری استفاده از مدل در تشخیص خط.

حال با توجه به ضریب دقتی که از نمونه خطهای استفاده شده در آزمون گرفتیم این سؤال مطرح می شود که چرا باید از آزمایش پیشگویی استفاده کرد؟ به سه دلیل این کار می باید صورت بگیرد:

۱- تهیه تمامی نمونه دستخط استاد نیریزی میسر نبود در ثانی خط استادان کتابت در طول زمان متفاوت بوده است و اکثر آن ها در طول زمان اقدام به فراگیری خطوط دیگر می نمودند که در کارهای بعدی آن ها این فراگیری شیوه و خط جدید نیز به نوعی مشخص بود و گاهی باعث می شد یک نمونه جدید با نمونه های قبلی متفاوت باشد به عنوان مثال خط یک کودک در آغاز نوشتن با خط بزرگ سالی او متفاوت خواهد بود و ممکن است با نمونه دستخط دوران میان سالی یا کهنوت وی متفاوت باشد در مورد استادان خط نیز به همین صورت است خاصه این که کار کتابت را داشته باشند به عنوان مثال در مورد استاد نیریزی ذکر شده که از روی خطوط علاءالدین تبریزی مشق بسیار می کرده است و وی در اواخر عمر به زیارت عتبات عالیات رفت و در آنجا با وجود کبر سن از کتابت بازنشست [۸] چنانکه یک نسخه دعای کمیل به خط وی اکنون در کتابخانه سلطنتی ایران است که آن را به سال ۱۱۵۲ ه.ق در نجف اشرف کتابت کرده است و با آثار قبلی وی متفاوت و بسیار فاخر است، از این رو این مدل ها می بایست در بوته آزمایش گذاشته شوند تا مشخص شود کدام یک از آن ها توانایی پیشگویی دقیق و مناسبی از خط و سبک استاد نیریزی را دارند.

۲- از بین مدل های به دست آمده ۳ مدل به دقت یکسان رسیدند 66.67% پس باید مدلی که کارایی بیشتری دارد مشخص می گردید.

۳- باید میزان دقت و تشخیص این مدل ها بر روی تصویری خارج از شرایط آزمایش و پیش پردازش دقیق مشخص می گردید.

**آزمایش اول:** پیشگویی دستخط (این جانب) که متعلق به استاد احمد نیریزی نبود که بعد از ورود در گوگل درایو و فراخوانی مدل ها در نو تبوک پیشگویی و انجام تغییرات پیش پردازشی بر روی این تصویر در این آزمایش تقریباً تمامی مدل ها به درستی و با دقت بالای 98% توانستند تشخیص دهند که نمونه خط وارد شده متعلق به استاد نیریزی نیست.

**آزمایش دوم:** پیشگویی نمونه دستخط استاد نیریزی که در هیچ کدام از نمونه ها نبوده است و متعلق به یکی از قرآن های چاپ دوران پهلوی بوده است، و دارای پیش پردازش دقیقی نبود، بعد از فراخوانی مدل ها تنها دو مدل استخراج شده از آزمایش اول با درصد تقریبی 62.35% و مدل متعلق به آزمایش سوم با درصد تقریب بسیار عالی 99.82% توانستند نمونه خط استاد احمد نیریزی را تشخیص دهند.

یادگیری می نماید و بعد از این قسمت لایه های کاملاً متصل مدل قرار می گیرند. در این مدل تعداد کل پارامترها 17,866,069 و تعداد پارامترهای قابل یادگیری 3,151,381 و پارامترهای غیرقابل یادگیری 14,714,688 عدد بوده و از بهینه ساز Adadelta که یک روش نزولی شیب تصادفی است که بر اساس میزان یادگیری انطباقی در هر بعد و برای رفع کاهش مداوم میزان یادگیری در طول آموزش استفاده می شود و نرخ یادگیری (2e-5) تعیین گردید و در مرحله یادگیری به علت تعداد بسیار زیاد پارامترها پردازش آن بسیار زمان بر بوده با تعداد ۲ دوره یادگیری، در نهایت میزان دقت این یادگیری 55.96% به دست آمده و مدل ذخیره گردید.

## ۵-۳- آزمایش سوم: مقایسه خط استاد احمد

### نیریزی با پایگاه داده کلی با استفاده از شبکه عصبی کانوالوشنی از پیش آموزش یافته با پارامترهای متفاوت

در این آزمایش که مانند آزمایش قبلی از شبکه VGG16 استفاده شد تنها در یک سری پارامترها تغییراتی حاصل کردیم و توانستیم میزان دقت بالاتری بگیریم.

۱- آموزش از block4\_conv1 آغاز گردید. ۲- لایه های کاملاً متصل آن از ۵۱۲,۱۰۱ به ۵۰,۱۰۱ تغییر پیدا کرد. ۳- از تابع بهینه ساز Nadam با نرخ یادگیری 0.001 استفاده شد، تابع بهینه ساز Nadam برای شیب های سخت یا شیب هایی با انحنای زیاد استفاده می شود. فرآیند یادگیری با جمع بندی تحلیل نمایی میانگین متحرک برای شیب قبلی و فعلی تسریع می شود و این تابع ترکیبی نتیجه بهتری به ما می دهد. در این آزمایش نیز از تعداد 2 دوره یادگیری استفاده شد و تعداد کل پارامترها 15,022,459 و تعداد پارامترهای قابل یادگیری 307,771 و پارامترهای غیرقابل یادگیری 14,714,688 عدد بود و دقت 66.67% ارائه داد که سپس مدل ذخیره گردید.

## ۵-۴- آزمایش چهارم: مقایسه خط استاد احمد

### نیریزی با پایگاه داده کلی با استفاده از شبکه عصبی

### کانوالوشنی از پیش آموزش یافته Efficientnet B0

شبکه Efficientnet [13] یک ساختار شبکه عصبی کوچک است، که در آن مدل ها تمام ابعاد را با یک ترکیب مقیاس بندی می کنند مقیاس بندی اصولی از سه عامل: عمق، عرض و وضوح نسخه کوچک شده جدید شبکه عصبی (Convolutional (CNN)، استفاده می کند. EfficientNet از ۸ مدل تشکیل شده است مدل هایی از B0 تا B7، که در آن هر شماره مدل بعدی به انواع پارامترهای بیشتر و دقت بالاتر اشاره دارد. در این مرحله باید آن را در نو تبوک خود فراخوانی کرده و تصاویر را به عنوان ورودی به آن داده در ضمن تعداد کلاس های فراخوانی شده را مشخص نماییم در مرحله بعد تنظیم دقیق پارامترها برای یادگیری انجام می شود در این تنظیم از block3a\_expand\_conv (Conv2D) باز شدن لایه های منجمد انجام شده و شروع یادگیری مشخص می گردد، تعداد لایه های کاملاً متصل به ترتیب 50، 10 و 1 است و از تابع بهینه ساز Adamax استفاده گردید این یک نوع Adam است که بر اساس هنجار بی نهایت بنا شده است.

## ۶- پارامترهای ارزیابی

جدول شماره (۱) خلاصه نتایج آزمایش را نشان می‌دهد

جدول (۱): خلاصه نتایج آزمایش

آزمایش	میزان پارامترها	نتیجه شناخت خط نیریزی	نتیجه شناخت خط غیر نیریزی
اول	807.867	62.35%	98.53%
دوم	17,866,069	-	99.02%
سوم	15,022,459	-	98.73%
چهارم	5,714,135	99.82%	99.65%

پارامترهای ارزیابی بر حسب: FLOPS, Accuracy و Runtime نشان داد که آزمایش ۱ از لحاظ کمترین میزان عمل انجام شده و دقت مناسب در وضعیت خوبی است و آزمایش ۳ نیز از لحاظ هر ۳ پارامتر در وضعیت مناسبی قرار دارد. با استفاده از ماتریس اشفنگی مقادیر زیر برای بهترین مدل که متعلق به آزمایش سوم بود و توانست هر دو نمونه دستخط را با دقت بالایی پیش‌بینی کند به دست آمد.

precision= 0.85

Recall= 0.82

که نزدیک بودن این دو مقدار نشان می‌دهد که تقریباً توانسته ایم مدل مناسبی بدست آوریم.

## ۷- نتیجه‌گیری

قبلاً تصور بر این بود که هر چه در یک مدل تعداد پارامترها بیشتر باشد مدل دقت بهتری ارائه خواهد کرد در حالی که می‌بینیم در آزمایش دوم با وجود زیاد بودن تعداد پارامترها دقت مناسبی بدست نیامد و نیز آزمایش چهارم با وجود تعداد پارامترهای زیاد در پیشگویی نهایی موفق به تشخیص خط استاد نیریزی نگردید پس باید به نوعی تمامی عوامل را در نتیجه‌گیری موثر دانست، در این پژوهش موفق به ساخت اولین پایگاه داده از کتابت استادان برجسته خط به تعداد ۵۱۴۱۹ عدد گردیدیم و سپس با انجام آزمایش‌های مختلف به منظور شناخت دستخط کتابت استاد احمد نیریزی، عوامل مؤثر بر نتایج به این ترتیب به دست آمد:

۱- پیش‌پردازش مناسب تصویر سهم بسزایی در نتیجه‌گیری دارد. ۲- تعداد دوره‌های یادگیری می‌تواند در ضریب دقت و نیز در پیشگویی مدل مؤثر باشد. ۳- تعداد پارامترهای مناسب برای یادگیری و تعداد پارامترهای غیرقابل یادگیری و تنظیم دقیق لایه‌ها می‌تواند نتایج بهتری ارائه دهد (نه صرفاً تعداد زیاد پارامترها). ۴- استفاده از تابع بهینه‌ساز مناسب با نرخ یادگیری مؤثر می‌تواند کارآمد باشد. ۵- پایگاه داده‌ای که به منظور مقایسه با پایگاه داده استاد نیریزی تهیه شد دارای انواع خطوط مختلف و متفاوتی است از نمونه خط کوفی و نمونه ثلث و محقق و نیز نمونه خط نسخ بسیار شبیه به خط استاد نیریزی (اشرف الکتاب که نمونه خط ایشان در تهیه پایگاه داده استفاده شده بود ملقب به نیریزی دوم است) و به همین دلیل دقت بسیار زیادی در آزمایش‌ها گرفته نشد ولی تشخیص دستخط با استفاده از مدل نشان داد که می‌توان به این مدل‌ها تا حدی اعتماد کرد.

## مراجع

[۱] ج. قلیچ خانی، فرهنگ واژگان و اصطلاحات خوشنویسی، تهران: انتشارات روزانه، ۱۳۹۰.

[2]- <https://cvl.tuwien.ac.at/research/cvl-databases/an-off-line-database-for-writer-retrieval-writer-identification-and-word-spotting>

[3]- <https://www.kaggle.com/c/WIC2011>

[4]- <http://www.fki.inf.unibe.ch/databases/iam-handwriting-database>.

[5]- <https://www.kaggle.com/c/icdar2013-gender-prediction-from-handwriting/overview/description>.

[6]- <http://khatt.ideas2serve.net/>.

[7]- S N M I R I A H. ARSHIA REHMAN ,

"Automation Visual Features for Writer

Identification: A Deep learning Approach ", *IEEE*

Access, 2020 .

[۸] ح. ا. فضایی، اطلس خط، اصفهان: انتشارات مشعل، ۱۳۶۲.

[9] [https://dlib.ical.ir/faces/search/bibliographic/biblioAdvancedSearch.aspx?\\_afPfm=-p4fbd58io](https://dlib.ical.ir/faces/search/bibliographic/biblioAdvancedSearch.aspx?_afPfm=-p4fbd58io).

[10]- <https://www.retronews.fr/?gclid>

[11] <http://dl.nlai.ir/UI/Category/NewCategory.aspx?Index=true&Authority=24&TreeExpand=1000&PageNo=1>.

[12]- <https://viewer.cbl.ie/viewer>

[13]- <https://towardsdatascience.com/efficient-inference-in-deep-learning-where-is-the-problem-4ad59434fe36>.

[14]- "Tashin Ahmed, Noor Hossain Nuri Sabab ", Classification and understanding of cloud structures via satellite images with EfficientUNet, "Reserchgate, 27 Sep 2020 ."