Language and Linguistics
Spring & Summer 2023, 18 (35)
DOI: 10.30465/LSI.2023.8500

Original Research
Received: 2022-11-7
Accepted: 2023 - 5 – 27
ISSN: 23223847

Fajik: A Neural Encoder-Decoder Model along with Required Language Resources for an Accurate Tajiki-Persian Transliteration

Sadraei Javaheri, Mohammad Ali[1]

Asgari, Ehsan[2]

Rabiee, Hamid Reza[3]

Master Student at Sharif University, Artificial Intelligence Group, Department of Computer Engineering Data Science & Machine Learning Lab, Tehran. Iran.

Applied Science and Technology, University of California Berkeley Language Processing and Digital Humanities Lab, AI Group, SUT, Tehran. Iran.

Professor at Sharif University, Artificial Intelligence Group, Department of Computer Engineering Data Science & Machine Learning Lab, Tehran. Iran

Abstract

The Tajik language, also known as Tajiki Persian, is a variation of Persian (Farsi) spoken in Tajikistan. One of the main distinctions between Iranian Persian and Tajiki Persian is the writing script. Since the early 1900s, Tajiki has been written in the Cyrillic script. Although the difference between spoken Tajiki and spoken Persian is not significant, the script difference caused a culturalbreak between these two nations making many cultural resources (e.g., poems, stories, etc.) unavailable for the newer generations. An automatic and accurate transliterator model can again fill the gap between Persians and Tajiks and facilitate transfer learning between these two language variations. The efforts on Persian-Tajiki transliteration have primarily been rule-based and context-independent, causing many errors. Deep learning methods, particularly neural language models, revolutionized computational linguistics in the last decade by providing language understanding through contextualized representations. In this work, we create a Persian-Tajiki transliteration dataset for training and evaluation purposes. We also train an accurate neural sequence-to-sequence model transliterating between Tajiki-Persian and Persian-Tajiki.

Keywords: Deep learning, Encoder-decoder model, Transliteration, Tajiki Persian

1. m.sadraei@sharif.edu 2. ehsan.asgari@sharif.edu 3. rabiee@sharif.edu

How to Cite: Sadraei Javaheri, M. A., Asgari, E., & Rabiee, H. R. (2023). Fajik: A Neural Encoder-Decoder Model along with Required Language Resources for an Accurate Tajiki-Persian Transliteration. *Language and Linguistics*, *18*(35), 87-103. doi: 10.30465/lsi.2023.8500

زبان و زبان‌شناسی
دوره ۱۸، شماره ۳۵، بهار و تابستان، سال ۱۴۰۱، ۸۷- ۱۰۳
DOI: 10.30465/LSI.2023.8500

مقاله پژوهشی
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۱۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۰۶؛ تاریخ انتشار: بهار ۱۴۰۲
ISSN: 23223847

فاجیک: مدل شبکه عصبی ژرف رشته به رشته و منابع زبانی مرتبط برای نویسه‌گردانی میان تاجیکی و فارسی

صدرایی جواهری، محمدعلی دانشجوی کارشناسی ارشد هوش مصنوعی دانشکده مهندسی کامپیوتر شریف، تهران، ایران
عسگری، احسان‌الدین استادیار گروه هوش مصنوعی دانشکده مهندسی کامپیوتر شریف، تهران، ایران
ربیعی، حمیدرضا استاد گروه هوش مصنوعی دانشکده مهندسی کامپیوتر شریف، تهران، ایران

چکیده: زبان تاجیکی، یا به شکل درست‌تر گویش تاجیکی زبان فارسی، از گونه‌های زنده زبان فارسی است که در کشور تاجیکستان رواج دارد. مهم‌ترین تفاوت فارسی رایج در ایران با فارسی تاجیکی در سیستم نوشتار است که این تفاوت سبب ایجاد گسست فرهنگی میان دو ملتی که گفتار هم را متوجه می‌شوند، شده است. ساخت سامانه‌ای برای تبدیل این دو نوشتار می‌تواند به نزدیکتر کردن این دو ملت کمک شایان ذکری کند. در گذشته تلاش‌هایی برای ساخت نویسه‌گردان رایانشی بین این دو گونه نوشتار صورت گرفته است. این سامانه‌ها با استفاده از روش‌های سنتی و قانون‌محور[1] این کار را انجام می‌دادند و برای همین خطاهای قابل توجهی در خروجی خود دارند. در این پژوهش تلاش شده است که با کمک روش‌های یادگیری ژرف این نویسه‌گردانی انجام شود. در دهه گذشته این روش‌ها تحول عظیمی در زبان‌شناسی رایانشی ایجاد کرده‌اند. در این پژوهش ابتدا پیکره موازی میان فارسی و تاجیکی جمع‌آوری شده است. سپس با کمک

1. rule-based

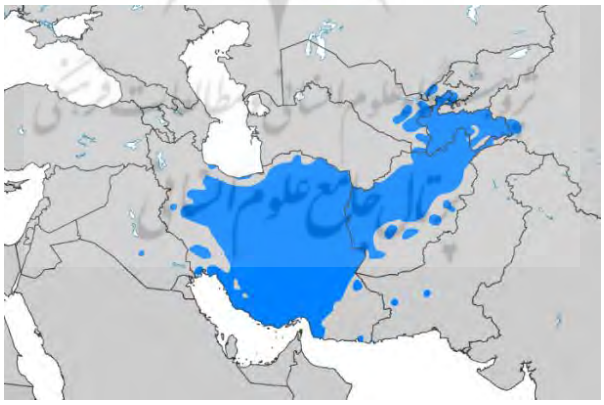
مدل‌های رشته به رشته یک سامانه نویسه‌گردانی با عملکرد بهتر نسبت به سامانه‌های گذشته ایجاد شده است.

کلیدواژه‌ها: یادگیری ژرف، مدل رشته به رشته، نویسه‌گردانی، فارسی تاجیکی.

۱ مقدمه

فارسی تاجیکی از گویش‌های زبان فارسی است که اکثر متکلمان آن در کشور تاجیکستان زندگی می‌کنند. بخش قابل توجهی از مردم ازبکستان به خصوص در شهرهای سمرقند و بخارا، از گفتار و نوشتار تاجیکی استفاده می‌کنند. برخی زبانشناسان تاجیکی را یک زبان جدا و برخی دیگر آن را گویشی از زبان فارسی در نظر می‌گیرند. با وجود این که در کلمات، نوشتار و دستور زبان این دو دارای تفاوت‌هایی نسبت به یکدیگر هستند، فهم متقابل[1] بین متکلمین فارسی ایرانی و فارسی تاجیکی وجود دارد. به همین سبب در این مقاله تاجیکی به عنوان یک گویش در نظر گرفته می‌شود.

تاجیکستان کشوری در شمال شرق افغانستان است که مرز مشترکی با ایران ندارد. مساحت این کشور ۱۴۳ هزار کیلومتر مربع است و نزدیک ۱۰ میلیون نفر جمعیت دارد. همانگونه که در نقشه شکل مشاهده می‌شود فارسی زبانان از جنوب غرب ایران تا منطقه تاجیکستان و اطراف آن حضور دارند. از منظر جغرافیایی تاجیکستان دورترین منطقه فارسی زبان نسبت به ایران است که همین موضوع سبب شده است تفاوت‌های بین این دو گونه زبان فارسی در گذر زمان به وجود بیاید.



شکل ۱- مناطقی با بیشینه متکلم فارسی (پلاتون[2]، ۲۰۱۲)

1. mutual intelligibility 2. A. Platon

در سطوح مختلف زبان، تفاوت‌هایی بین فارسی تاجیکی و فارسی ایرانی وجود دارد. برای مثال در فارسی تاجیکی کمتر از کلمات عربی و فرانسوی استفاده می‌شود، در عوض تعداد زیادی از کلمات روسی در زبان حضور دارند. تفاوت این دو فقط در سطح کلمات نیست و حتی در دستور زبان تفاوت‌های اندکی وجود دارد. امّا بزرگترین تفاوتی که باعث فاصله افتادن بین مردم تاجیکستان و ایران شده است، تفاوت در سیستم نوشتار است.

مردم تاجیکستان قبل از سال ۱۳۰۷ هجری شمسی مانند سایر فارسی‌زبانان با الفبای فارسی ـ عربی نوشتار می‌کردند. امّا از سال ۱۳۰۷ تا سال ۱۳۱۹ تحت فشار حکومت شوروی الفبای مردم تاجیکستان دو مرتبه تغییر پیدا کرد. چند سالی در این منطقه استفاده از الفبای لاتین اجباری شد و سپس الفبای سیریلیک جایگزین الفبای لاتین شد (کلر[1]، ۲۰۰۱). تغییر خط در تاجیکستان سبب شد که تاجیکیان نسبت به همزبانان ایرانی و افغانستانی خود تا حدودی بیگانه شوند و ارتباطات مناسبی میان آنان صورت نگیرد. همچنین این تغییر سبب شده است که طیف زیادی از منابع فارسی برایشان غیر قابل استفاده باشد. کمبود منابعی که با فارسی تاجیکی نوشته شده‌اند، باعث شده است که مردم تاجیکستان به زبان روسی گرایش بیشتری داشته باشند. (خودوکولوا[2]، ۲۰۱۵) چرا که نوشتارهای ادبی و علمی زیادی به زبان روسی وجود دارد.

متأسفانه مردم کمی در تاجیکستان با الفبای فارسی آشنا هستند. با استفاده از نویسه‌گردانی[3] میان این دو زبان می‌توان فاصله میان این دو قوم را کم کرد. نویسه‌گردانی با کمک نیروی انسانی، فقط می‌تواند تعداد محدودی از آثار را به نوشتار دیگر برگرداند. همچنین منبع بزرگی مانند وب فارسی که روز به روز به حجم آن افزوده می‌شود، نمی‌توان به گونه‌ای غیر خودکار نویسه‌گردانی کرد. برای همین لازم است که این کار به شکل رایانشی و خودکار انجام گیرد.

نویسه‌گردان‌های رایانشی متنوعی در سال‌های اخیر عرضه شده‌اند. برای نمونه می‌توان به نویسه‌گردان میان انگلیسی و پنجابی (وانگ[4] و همکاران، ۲۰۱۲)، انگلیسی و چینی (شاو[5] و نیوره[6]، ۲۰۱۶) یا حتی انگلیسی و فارسی (محصولی و صفابخش، ۲۰۱۷) اشاره کرد. در گذشته تلاش‌هایی برای انجام نویسه‌گردانی رایانشی میان فارسی و تاجیکی صورت گرفته است. سایت پرشین تاجیک[7] و سامانه بهروزیان[8] دو وبگاه رایگان برای انجام این کار

1. S. Keller
2. N. Khudoikulova
3. transliteration
4. P. Wang
5. Y. Shao
6. Y. Nivre
7. www.persian-tajik.ir
8. pertoj.com/payvand/index.php

هستند. همچنین با استفاده از روش‌های آماری تلاشی برای انجام این نویسه‌گردانی صورت گرفته است. (دیویس[1]، ۲۰۱۲) این سامانه‌ها با استفاده از روش‌های سنتی زبانشناسی رایانشی، نویسه‌گردانی را انجام می‌دهند و در خروجی‌هایشان اشتباهات زیادی وجود دارد. طراحی سامانه‌ای با خطای کمتر و انعطاف‌پذیری بیشتر هدفی است که در این پژوهش روی آن کار شده است. در دهه گذشته، روش‌های مبتنی بر یادگیری ژرف[2] تحولات گسترده‌ای در زبانشناسی رایانشی ایجاد کردند و نشان دادند که عملکرد بهتری نسبت به روش‌های سنتی دارند. مدل‌های یادگیری ژرف در زبانشناسی رایانشی انواع متفاوتی دارند. دسته‌ای از مدل‌ها که با نام مدل‌های رشته‌به‌رشته[3] شناخته می‌شوند برای انجام کارهایی از قبیل ترجمه، خلاصه‌سازی و نویسه‌گردانی استفاده می‌شوند. یک مدل رشته به رشته نوعی مدل زبانی شرطی است که با دانستن یک رشته در زبان مبدا، محتمل‌ترین رشته زبان مقصد را تولید می‌کند. سرعت بالای پیشرفت مدل‌های یادگیری سبب شد که در دهه گذشته مدل‌های رشته‌به‌رشته متنوعی معرفی شوند. ابتدا مدل‌های مبتنی بر شبکه عصبی بازگشتی[4] رواج داشتند. (سوتسکور[5] و همکاران، ۲۰۱٤) این مدل‌ها هنگام تولید رشته مقصد دچار فراموشی اطلاعات رشته مبدا می‌شدند. در اینجا محققان با معرفی کردن فرایند توجه[6] تلاش کردند که این مشکل را حل کنند. (باهداناو[7] و همکاران، ۲۰۱۵) امّا پیشرفت مدل‌ها همینجا متوقف نشد. در سال ۲۰۱۷ محققین توانستند با معرفی مبدل‌ها[8] بهترین مدل رشته به رشته حال حاضر را بسازند (وسوانی[9] و همکاران، ۲۰۱۷). طبق اطلاعات در دسترس ما تاکنون تلاشی برای استفاده از مدل‌های رشته‌به‌رشته در نویسه‌گردانی میان تاجیکی و فارسی صورت نگرفته است. در این پژوهش سعی شده‌است که یک سامانه رایانشی دقیق برای نویسه‌گردانی میان این دو نوشتار طراحی شود. این سامانه با رویکرد پیکره‌محور[10] به کمک شبکه‌های عصبی ژرف[11] پیاده‌سازی شده است.

۲ چالش‌های موجود

نوشتار فارسی و نوشتار تاجیکی چند تفاوت عمده دارند که باعث می‌شود نویسه‌گردانی کار به نسبت دشواری باشد. در این بخش، تعدادی از این چالش‌ها را بررسی می‌کنیم.

1. C. I. Davis
2. deep learning
3. sequence to sequence
4. recurrent neural network (RNN)
5. I. Sutskever
6. attention mechanism
7. B. Bahdanau
8. transformers
9. A. Vaswani
10. corpus-driven
11. deep neural networks

۲-۱ هم‌خوان‌های متفاوت در الفبای فارسی

در الفبای فارسی هم‌خوان‌های[1] تکراری زیادی وجود دارد. این موضوع در تبدیل تاجیکی به فارسی سبب می‌شود که املای درست یک کلمه برای رایانه مشخص نباشد. همچنین کلمات هم آوا[2] ممکن است در فارسی املای متفاوتی داشته باشند امّا در نوشتار تاجیکی به یک شکل نوشته شوند. برای مثل دو کلمه «حیات» و «حیاط» هر دو در تاجیکی به یک شکل نوشته می‌شوند. (مگردومیان[3] و پرواز[4]، ۲۰۰۸)

مثال ۱)

TTTT
/hæjɔ///
حیات

مثال ۲)

TTTT
/hæjɔ///
حیاط

۲-۲ عدم نوشتن واکه‌های کوتاه و تنوین در نوشتار فارسی

در نوشتار رایج زبان فارسی در نقطه مقابل نوشتار تاجیکی، واکه‌های کوتاه و تنوین نوشته نمی‌شوند. به همین دلیل، در تبدیل فارسی به تاجیکی، رایانه باید بتواند خوانش درست کلمه را حدس زده و آن را به شکل درست به تاجیکی برگرداند. این مشکل زمانی چالش‌برانگیزتر می‌شود که برای آن کلمه چند شکل مختلف خوانش وجود داشته باشد (برجیان ۱۳۷۸). به مثال‌های زیر توجه کنید:

مثال ۳)

мулк
/mulk/
مُلک

مثال ٤)

малак
/mælæk/
مَلَک

1. consonant
2. homophone
3. K. Megerdoomian
4. D. Parvaz

مثال ۵)

малик
/mælik/
مَلک

۲-۳ عدم نوشتن کسرۀ اضافه در نوشتار فارسی

کسرۀ اضافه یکی از عناصر مهم در زبان فارسی است که کاربرد آن پیوند دادن کلمات برای ایجاد ترکیب‌های مختلف است. کسرۀ اضافه مانند سایر واکه‌های کوتاه، در نوشتار فارسی نوشته نمی‌شود امّا در نوشتار تاجیکی نوشته می‌شود. برای همین اگر قرار باشد نویسه‌گردانی از فارسی به تاجیکی صورت گیرد مدل باید بتواند مکان‌هایی در جمله که دارای کسرۀ اضافه است را تشخیص دهد. در مثال زیر حرف آخر کلمه «کتاب» همان کسرۀ اضافه است.

مثال ٦)

Китоби ман
/kitɔ:bi mæn/
کتابِ من

۲-۴ اتصال نشانه مفعولی به کلمه قبل خود در الفبای تاجیکی

در نوشتار تاجیکی نشانه مفعولی را به عنوان پسوند، به کلمه قبلی خود متصل می‌کنند. در نویسه‌گردانی از تاجیکی به فارسی مدل باید بتواند متوجه شود که «را»ی موجود در آخر کلمه نشانۀ مفعولی است یا متعلق به خود کلمه است. در مثال ۱ را متعلق به خود کلمه «صحرا» است ولی در مثال ۲ «را»ی مفعولی است که به کلمه «کتاب» متصل شده است.

مثال ۷)

Ман ба саҳро рафтам.
/mæn bæ sæhɔ:ɾæftæm/
من به صحرا رفتم.

مثال ۸)

Китобро хондам.
/kitɔbbɒ:ɾ χɔ:ndæm/
کتاب را خواندم.

۲-۵ اختلاف تلفظ بین دو کلمه یکسان بر اثر گذر زمان

استفاده از الفبای عربی برای نوشتار فارسی قدمت بسیار زیادی دارد. برای همین با این که

تلفظ کلمات در گذر زمان دچار تغییر شده‌اند نوشتار آن‌ها شکل قدیمی خود را حفظ کرده است. امّا نوشتار تاجیکی قدمتی کمتر از صد سال دارد و برای همین شکل نوشتاری کلمات بسیار به تلفظ فعلیشان در منطقه تاجیکستان شباهت دارد. حتی برخی کلمات که در مناطق مختلف تاجیکستان به شکل‌های متفاوتی تلفظ می‌شوند، دارای چند املای صحیح هستند. در نویسه‌گردانی موضوع اختلاف تلفظ بین فارسی و تاجیکی مشکل‌ساز است. برای مثال کلمه «تاریخ» در زبان تاجیکی دارای یک «ع» ساکن در تلفظ خود است که در نوشتار نیز نوشته می‌شود:

مثال ۹)

таърих
/tærɾiχ/
تاریخ

۳ روش‌شناسی

در این پژوهش از رویکرد پیکره‌محور استفاده شده است. در این رویکرد نیاز است که پیکره موازی[1] بین مبدا و مقصد در دسترس باشد. طبق بررسی‌های ما هیچ پیکرهٔ موازی آماده‌ای یافت نشد. برای همین در این پژوهش برای اولین بار با خزش[2] وبگاه‌های مختلف، یک پیکره موازی جمع‌آوری شده است.

۳-۱ دادگان

حجم نوشتار تاجیکی موجود در وب بسیار اندک است. البته تلاش‌هایی در گذشته برای جمع‌آورده پیکره تک‌زبانه تاجیکی صورت گرفته است امّا حجم آن‌ها کم است و هیچ کدام از این پیکره‌ها یک پیکره موازی بین فارسی و تاجیکی نیست.(دوودف[3] و غیره ۲۰۱۱) برای همین برای گام اول این پژوهش، یک پیکره موازی از کلمات و غزلیات جمع‌آوری شده است.

منبع اول فرهنگ لغت واژه‌جو[4] است. وبگاه واژه‌جو یک فرهنگ لغت تاجیکی است که معادل نوشتار فارسی تعداد زیادی از کلمات در آن وجود دارد. نزدیک ۷۰ هزار کلمه از این

1. parallel corpus
2. crawl
3. G. Dovudov
4. vazhaju.tj

وبگاه استخراج شده است. متأسفانه اندکی از این کلمات دارای غلط نوشتاری در نوشتار فارسی خود هستند. این موضوع سبب ایجاد نوفه[1] در داده جمع‌آوری شده می‌گردد و باید با افزایش حجم داده نسبت به این نوفه مقاوم شد.

برای افزایش حجم داده به عنوان منبع دوم از غزلیات سعدی و حافظ استفاده شده است. استفاده از غزلیات این مزیت را دارد که در سطح مصراع‌ها می‌توان پیکره موازی ایجاد کرد. با کمک وبگاه گنجور[2] نسخه فارسی غزلیات و به کمک وبگاه روشن فکر[3] نسخه تاجیکی آن به دست آمده است. چالشی که در جمع‌آوری این داده وجود داشت این بود که تعدادی از مصرع‌ها با هم اختلافات ریزی داشتند که عامل این موضوع اختلاف نسخ مختلف یک غزل است. در جدول زیر می‌توانید مشخصات آماری این داده را مشاهده کنید:

جدول ۱- مشخصات آماری پیکره موازی جمع‌آوری شده

نام مجموعه داده	تعداد سطرها
واژه‌جو	۷۳۰۵۶ کلمه یا عبارت
غزلیات حافظ	۷۴۹۶ مصرع
غزلیات سعدی	۱۱۶۸۸ مصرع

۲-۳ مدل استفاده شده

در این پژوهش از معماری یادگیری ژرف، شبکه عصبی بازگشتی همراه با توجه[4] (باهداناو و همکاران، ۲۰۱۵) استفاده شده است. در دهه اخیر این معماری در زبانشناسی رایانشی تحول زیادی ایجاد کرده است. فرایند توجه عملکرد معماری‌های شبکه عصبی بازگشتی را برای ترجمه و نویسه‌گردانی بهبود می‌دهد. به طور دقیق‌تر معماری مورد استفاده قرار گرفته این پژوهش «واحد بازگشتی دروازه»[5] (چو[6] و همکاران، ۲۰۱۴) همراه با توجه است.

شبکه عصبی بازگشتی استفاده شده در این پژوهش از نوع رشته به رشته[7] است که دارای دو بخش رمزگذار[8] و رمزگشا[9] است. بخش رمزگذار نوشتار ورودی را به یک بردار[10] تبدیل می‌کند و بخش رمزگشا تلاش می‌کند که از بردار خروجی مذکور، نوشتار

1. noise
2. ganjoor.net
3. ravshanfikr.tj
4. with attention
5. gated recurrent unit (GRU)
6. K. Cho
7. Seq2Seq
8. encoder
9. decoder
10. vector

مقصد را حرف به حرف تولید کند. بخش رمزگذار مدل ایـن پـژوهش دو طرفـه[1] و بخـش رمزگشای آن یک طرفه است. فرایند توجه در هر مرحله رمزگشـایی بـه بردارهـای مراحـل میانی رمزگذار مراجعه می‌کند که این موضوع سبب می‌شود که مدل بتواند با دقـت بیشـتری رمزگشایی کند. به این مراجعه کردن فرایند توجه گفته می‌شود.

واحد بازگشتی دروازه نوعی شبکه عصبی بازگشتی است که در هر مرحله متغیری بـرای تعیین مقدار فراموشی حالت قبلی و پذیرش حالت جدید دارد که از منظر ریاضی بـه شـکل زیر تعریف می‌شود.

$$z_t = \sigma_g(W_z x_t + U_z h_{t-1} + b_z)$$
$$r_t = \sigma_g(W_r x_t + U_r h_{t-1} + b_r)$$
$$\hat{h}_t = \phi_h(W_h x_t + U_h(r_t \odot h_{t-1}) + b_h)$$
$$h_t = z_t \odot \hat{h}_t + (1 - z_t) \odot h_{t-1}$$

فرمول ۱ ریاضیات پشت واحد بازگشتی دروازه

فرایند توجه این پژوهش بر اساس شباهت فاصله کسینوسی بـا اسـتفاده از بیشـینه نـرم[2] تعریف شده است. اگر بردار فعلی رمزگشا را s_t، تمـامی حالت‌هـای میـانی رمزگـذار را h_i و بردار خروجی توجه را c_t بنامیم به زبان ریاضی خواهیم داشت:

$$a_{ti} = softmax\langle s_t, h_i\rangle = \frac{exp(\langle s_t, h_i\rangle)}{\sum_{j=0}^{T} exp(\langle s_t, h_j\rangle)}$$
$$c_t = \mathbb{E}_{a_t}[h] = \sum_{j=0}^{T} \langle a_{tj}, h_j\rangle$$

فرمول ۲ ریاضیات نحوه محاسبات توجه

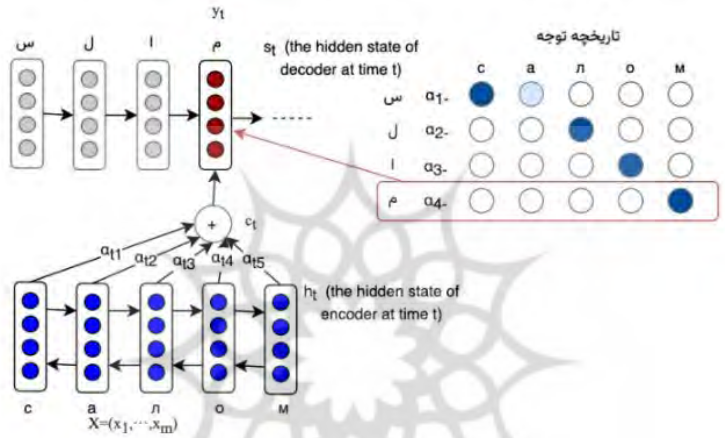
در رابطه بالا به کمک بیشینه نرم به یک توزیع جرمی احتمالی[3] بر روی بردارهای میـانی رمزگذار می‌رسیم. به شکل شهودی این توزیع مقدار توجه به هر بخش ورودی را مشـخص

1. bidirectional 2. soft max 3. probability mass function (PMF)

می‌کند. پس از آن امید ریاضی بردارهای میانی ورودی بر اساس توزیع مذکور محاسبه می‌شود که حاصل آن بردار خروجی توجه است.

بردار خروجی توجه همراه با سایر بردارها به رمزگشا داده می‌شود. دادن بردار خروجی توجه به رمزگشا تاثیر شایانی روی کیفیت خروجی مدل می‌گذارد.

در شکل این مراحل نشان داده شده است. هر ردیف تاریخچه توجه، نشان‌دهنده توزیع جرمی احتمال محاسبه شده است. خانه‌های پررنگ‌تر دارای احتمال بیشتری هستند.



شکل ۲- نمایی از فرایند توجه برای شبکه عصبی بازگشتی با کدگذار تک لایه دو طرفه و کدگشای تک لایه یک طرفه برای وروی «салом» و خروجی «سلام» همراه با نمایشی از ماتریس توجه هر حرف خروجی نسبت به حرف‌های ورودی

۴ ارزیابی

در این پژوهش از ۸۰ درصد داده‌ها برای آموزش، ۱۰ درصد برای اعتبارسنجی و ۱۰ درصد برای آزمایش استفاده شده است.

برای ارزیابی مدل از کمینه فاصله ویرایشی[1] استفاده شده است. در واقع مدلی بهتر است که خروجی‌های آن کمینه فاصله ویرایشی کمتری نسبت به مدل دیگر داشته باشد. در ازای تک تک داده‌ها نمی‌توان کمینه فاصله ویرایشی را مقایسه کرد به همین خاطر سه معیار متفاوت روی کمینه فاصله ویرایشی تعریف شده است.

1. minimum edit distance (MED)

معیار اول میانگین کمینه فاصله ویرایشی‌ها است. با این معیار می‌توان بدون مقایسه تک‌تک کلمات، به طور متوسط عملکرد مدل را مورد ارزیابی قرارداد. معیار دوم درصد داده‌هایی است که دقیقا درست پیش‌بینی شده‌اند. به نوعی این معیار آن کسر از داده‌هایی را حساب می‌کند که کمینه فاصله ویرایشی برابر با صفر دارند. معیار سوم درصد داده‌هایی است که کمینه فاصله ویرایش کوچک‌تر یا مساوی یک دارند. طبیعتاً معیار سوم همیشه بزرگ‌تر یا مساوی معیار دوم است. وجود معیار سوم به ما کمک می‌کند که بدانیم اگر در خروجی مدل کمی اغماض کنیم چه کسری از اوقات خروجی درست را برگردانده است.

۵ نتایج

فراسنجه[1]های مدل یادگرفته شده در جدول آمده‌اند.

جدول ۲- مشخصات مدل

معماری	تعداد لایه‌ها	اندازه جاسازی[2]	اندازه مخفی[3]
GRU	۲	۱۲۸	۱۰۲٤

۵-۱ نتیجه ارزیابی مدل

برای سنجیدن عملکرد مدل در مقایسه با دیگر سامانه‌های موجود، سه معیار گفته شده روی داده‌های آزمایش واژه‌جو و غزلیات سعدی محاسبه شده است.

جدول ۳- عملکرد از تاجیکی به فارسی بر روی داده آزمایش واژه‌جو

	میانگین MED	درصد MED=0	درصد MED=1
مدل این پژوهش	**0.13**	**89%**	**97%**
بهروزیان	0.23	82%	96%
پرشین تاجیک	0.46	72%	89%

1. hyperparameter
2. embedding size
3. hidden size

جدول ٤- عملکرد از تاجیکی به فارسی بر روی داده آزمایش غزلیات سعدی

	میانگین MED	درصد MED=0	درصد MED=1
مدل این پژوهش	**0.67**	**68%**	**84%**
بهروزیان	0.88	51%	76%
پرشین تاجیک	1.84	30%	55%

جدول ٥- عملکرد از فارسی به تاجیکی بر روی داده آزمایش واژه‌جو

	میانگین MED	درصد MED=0	درصد MED=1
مدل این پژوهش	**0.27**	**81%**	**94%**
بهروزیان	0.82	47%	80%
پرشین تاجیک	1.62	25%	51%

جدول ٦- عملکرد از از فارسی به تاجیکی بر روی داده آزمایش غزلیات سعدی

	میانگین MED	درصد MED=0	درصد MED=1
مدل این پژوهش	**1.8**	**33%**	**58%**
بهروزیان	3.97	2%	11%
پرشین تاجیک	4.54	0%	7%

۵-۲ محدودیت‌ها و خطاها

هر چند روش مورد استفاده این پژوهش عملکرد بهتری نسبت به روش‌های سنتی دارد اما متاسفانه بی‌نقص نیست که مهم‌ترین عامل آن حجم کم پیکره‌های استفاده شده است. در این بخش دو خطا را به عنوان نمونه نگاه می‌کنیم.

۵-۲-۱ خطای املایی هم‌خوان‌ها برای تبدیل فارسی به تاجیکی

مدل‌های مبتنی بر یادگیری این پژوهش برای این که املای درست یک کلمه را یاد بگیرد

لازم است که آن را در مثال‌های متنوع در داده آموزش مشاهده کرده باشد. در مثال بخش ۲-۱ در مورد کلمه «حیاط» صبحت شد اما متاسفانه در داده جمع‌آوری شده توسط ما هیچ مثالی برای کاربرد کلمه «حیاط» در جمله آورده نشده است برای همین مدل همیشه این کلمه را به املای «حیات» می‌نویسد.

ورودی)

хаёти аааа
/hæjɔːti χɔːnæ/

خروجی سامانه)

حیات خانه

خروجی درست)

حیاط خانه

۲-۲-۵ عدم تشخیص واکه‌های کوتاه مناسب برای خواندن کلمه

کلمات زیادی از فارسی که در سدهٔ اخیر به زبان اضافه شدند در تاجیکی حضور ندارند. به سبب همین موضوع در دادگان جمع‌آوری شده نیز نیستند. در اینجا مدل باید تلفظ کلمه را حدس بزند که کار ساده‌ای نیست و با خطاهای زیادی همراه است. مانند کلمه «تمبر» در مثال زیر:

ورودی)

تمبر

خروجی سامانه)

тамаббур
/tæmæbbuɾ/

خروجی درست)

тамбр
/tæmbɾ/

۳-۵ اعتبار سنجی نتایج

در این پژوهش برای بررسی پایداری یادگیری، از اعتبارسنجی متقابل ۱۰ لایه[1] استفاده شده

1. 10-fold cross-validation

است. ترکیب داده‌های واژه‌جو و غزلیات به کمک ویژگی‌های tf-idf بـه ۱۰ خوشـه تقسـیم شده‌اند و بر روی این خوشه‌ها اعتبار سنجی متقابل صورت گرفتـه اسـت. نتیجـه نهـایی در جدول قابل مشاهده است.

جدول ۷- نتایج اعتبارسنجی متقابل ۱۰ لایه بر روی کل پیکره

	میانگین MED	درصد MED=0	درصد MED=1
تاجیکی به فارسی	0.47 ± 0.17	75% ± 5	90% ± 3
فارسی به تاجیکی	1.00 ± 0.28	58% ± 7	77% ± 5

۴-۵ سامانه تحت وب

مدل طراحی شـده در یـک سـامانه تحـت وب از طریـق آدرس fajik.parsi.ai در دسـترس است. برای گرفتن خروجی بهتر پیشنهاد می‌شود که ورودی سامانه را به شـکل چنـد رشـته کوتاه در چند خط بدهید. در شکل تصویری از سـامانه طراحـی شـده بـا مثال‌هـایی بـرای تبدیل تاجیکی به فارسی قابل مشاهده است.

شکل ۳- سامانه نهایی آماده شده برای نویسه‌گردانی

۶ نتیجه‌گیری

در این پژوهش، به مساله مهم تبدیل نویسه فارسی میان گونـه تـاجیکی و فارسـی رایـج در ایران پرداختیم که مساله پراهمیت در پیوند دو ملت همسایه با پیشینه و زبان مشـترک اسـت. ما برای اولین بار از روشهای یادگیری ژرف برای حل دقیق‌تر و مبتنی بر سـیاق ایـن مسـاله بهره بردیم. نشان داده شد که «واحد بازگشتی دروازه» عملکرد مناسـبی بـرای نویسـه‌گردانی نسبت به روش‌های سنتی دارد. روش مـا بـر روی هـر دوی داده‌هـای واژه‌جـو و غزلیـات سعدی که در این پژوهش بررسی شد، دقت بالاتری نیست به روشهای بهروزیـان و پرشـین تاجیک دارد. این بهبود در غزلیات سعدی، به فاصلهٔ ویرایشـی‌ای در حـدود نصـف فاصـله ویرایشی سایر مدلها می‌رسد.

انتظار می‌رود، گسترش دادگان به عملکرد بهتر این مدل نیز کمـک کنـد. یکـی دیگـر از راهکارهای بهبود عملکرد استفاده از معماری‌های یـادگیری ژرف ترنسفورمرهاسـت کـه در سالهای اخیر تحولات زیادی در زبانشناسی رایانشی و به طـور کلـی یـادگیری ژرف ایجـاد کرده‌اند که در این پژوهش از آن‌ها استفاده نشده است. علت استفاده نشدن این معمـاری در این پژوهش، کم بودن حجم داده برای آموزش این معماری بوده است. برای کسب عملکرد بهتر به وسیله مبدل‌ها با حجم داده کم، نیاز است که از ترفندهای متنوعی اسـتفاده شـود کـه گسترش توامان آنها با داده‌های یادگیری گام بعدی این پژوهش خواهد بود.

منابع

برجیان، حبیب (۱۳۷۸). «ساختمان خط تاجیکی». *نامه فرهنگستان*. ۱۰۳-۱۱۶.

Bahdanau, D., & K. Cho, & Y. Bengio (2015). "Neural machine translation by jointly learning to align and translate". *The Hilton San Diego*: 3rd International Conference on Learning Representations.

Cho, K., et al. (2014). "On the Properties of Neural Machine Translation: Encoder–Decoder Approaches". *Proceedings of SSST-8, Eighth Workshop on Syntax, Semantics and Structure in Statistical Translation* .Doha, Qatar.

Davis, C. I. (2012). "Tajik-Farsi Persian Transliteration Using Statistical Machine Translation". *Proceedings of the Eighth International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC'12)*. Istanbul, Turkey.

Dovudov, G. et al. (2011). "Building a 50M Corpus of Tajik Language". *Recent Advances in Slavonic Natural Language Processing (RASLAN.)* 89-95.

Keller, S. (2001). *To Moscow, Not Mecca: The Soviet Campaign Against Islam in Central Asia*. 1917-1941 .

Khudoikulova, N. (2015). "Linguistic situation in Tajikistan: language use in public space". *Russian Journal of Communication*. 7(2): 164-178.

Mahsuli, M. M., & R. Safabakhsh (2017). "English to Persian transliteration using attention-based approach in deep learning". *Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE)*. Tehran, Iran .

Megerdoomian, K., & D. Parvaz (2008). "Low-Density Language Bootstrapping: the Case of Tajiki Persian". *Proceedings of the Sixth International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC'08)*. Marrakech, Morocco.

Platon, A. (2012). *Persian Language Location Map*. 28 11. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Persian_Language_Location_Map.svg.

Shao, Y., & J. Nivre (2016). "Applying Neural Networks to English-Chinese Named Entity Transliteration". *Proceedings of the Sixth Named Entity Workshop* .

Sutskever, I, & O. Vinyals, & Q. V. Le (2014). "Sequence to Sequence Learning with Neural Networks". *Advances in neural information processing systems 27*. Montreal, Canada.

Vaswani, A. et al. (2017). "Attention is all you need". *Advances in neural information processing systems 30*. Long Beach, California.

Wang, P., & P. Nakov, & H. Tou Ng (2012). "Source Language Adaptation for Resource-Poor Machine Translation". *Joint Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing and Computational Natural Language Learning*. 286–296.

استناد به این مقاله: صدرایی، محمدعلی؛ عسگری، احسان‌الدین و ربیعی، حمیدرضا (۱۴۰۱). فاجیک: مدل شبکه عصبی ژرف کدگذار-کدگشای و منابع زبانی مرتبط برای نویسه‌گردانی میان تاجیکی و فارسی. *زبان و زبان‌شناسی* ۱۸ (۳۵)، ۸۷-۱۰۳. doi: 10.30465/lsi.2023.850013:26