ترجمه ماشینی مبتنی بر مدل ترنسفورمر برای گویش‌های لری بویراحمدی و یزدی به فارسی معیار و گسترش منابع زبانی رایانشی مرتبط

زهرا بهمنی[+1]، محدثه میربیگی[+2]، نگین هاشمی دیجوجین[+3]، مرضیه نوری[+4]، مهسا امانی[+5]، احسان‌الدین عسگری[*6]، مهدیه سلیمانی باغشاه[7]، حمید بیگی[8]، علی موقر[9]

[1]دانشجوی دکتری، دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی کامپیوتر، گروه هوش مصنوعی، zahra.bahmani2009@gmail.com

[2]دانشجوی دکتری، دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی کامپیوتر، گروه هوش مصنوعی، m.mirbeygi@sharif.edu

[3]دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی کامپیوتر، گروه هوش مصنوعی، eihashemi@ce.sharif.edu

[4]پژوهشگر، دانشگاه صنعتی شریف، آزمایشگاه پردازش هوشمند متن و زبان، گروه هوش مصنوعی، marzieh.nouri@parsi.ai

[5]دانشجوی کارشناسی، دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی کامپیوتر، گروه هوش مصنوعی، mahsaama@ce.sharif.edu

[*6]نویسنده مسئول: استادیار، دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی کامپیوتر، گروه هوش مصنوعی، ehsan.asgari@sharif.edu

[7]دانشیار، دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی کامپیوتر، گروه هوش مصنوعی، soleymani@sharif.edu

[8]دانشیار، دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی کامپیوتر، گروه هوش مصنوعی، beigy@sharif.edu

[9]استاد، دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی کامپیوتر، گروه نرم‌افزار، movaghar@sharif.edu

+ مشارکت یکسان

چکیده

با وجود تلاش‌های گسترده رایانشی بر روی گویش معیار فارسی، سایر لهجه‌ها و گویش‌ها و زبان‌های ایرانی کمتر مورد توجه محققین حوزه زبان‌شناسی رایانشی قرار گرفته‌اند. یکی از مهم‌ترین چالش‌های کار رایانشی بر روی این تمایزهای زبانی، نبود یک مجموعه داده دیجیتال و استاندارد است. در این پژوهش اولین مجموعه داده تک‌زبانه و نیز داده موازی بر روی گویش‌های لری و یزدی که گویش‌هایی با منابع محدود محسوب می‌شوند، در مقابل فارسی معیار ارائه شده است. در ادامه مدل‌های یادگیری ژرف ترجمه ماشینی کدگذار-کدگشا در دو نوع مدل شبکه عصبی بازگشتی و مدل ژرف ترنسفورمر برای این گویش‌ها به فارسی معیار توسعه یافته و ارزیابی گردیده است. در این پژوهش که اولین تلاش محاسباتی روی این دو گویش محسوب می‌شود، برای ترجمه لری به فارسی و فارسی به لری به امتیاز BLEU به ترتیب ۷/۳۹ و ۳/۲۹ رسیدیم. این امتیاز برای گویش یزدی به فارسی معیار و برعکس به ۰/۷۳ و ۰/۷۷ رسید. که نشان می‌دهند پژوهش‌های فراتری برای توسعه منابع زبانی برای این زبان نیاز است.

منابع و ابزارها: مجموعه دادگان استفاده شده در این لینک قابل دسترسی می‌باشند.
کلیدواژه‌ها: پردازش زبان طبیعی، گویش لری، گویش یزدی، ترجمه تمایزهای زبانی ایرانی، مدل یادگیری ژرف ترجمه ماشینی

۱. مقدمه

بی‌شک گسترش شتابان فضای مجازی و ارائه‌ی خدمات گوناگون در بستر آن یکی از چشم‌گیرترین اتفاقات دهه‌های اخیر محسوب می‌شود. در این میان پردازش زبان طبیعی و درک مفاهیمی که کاربران با نقش‌های گوناگون در این فضا رد و بدل می‌کنند، نقشی اساسی در هوشمندسازی این خدمات دارد.

ابزارهایی از جمله مترجم برخط گوگل[۱]، دستیارهای شخصی هوشمند مانند الکسا[۲] و سیری[۳]، و نیز برنامه‌هایی مانند گرامرلی[۴] توانسته‌اند خدمات مفیدی به سخنوران زبان‌های تحت پوشش خود ارائه دهند. این ابزارها بیشتر برای زبان‌های رسمی کشورها که منابع گسترده‌ی صوتی یا مکتوب دارند، ارائه می‌شوند؛ اما در عمده‌ی کشورها درصد قابل توجهی از بومیان هر منطقه از زبان یا گویش خاص خود در ارتباطات نوشتاری و گفتاری بهره می‌گیرند. به ویژه، با رواج نوشتار غیررسمی در فضای مجازی بخش قابل توجهی از نوشته‌های کاربران در قالب گویش بیان می‌شوند و از این رو، درک ماشینی از متون گویش‌های مختلف در مسائل مختلفی مانند تحلیل احساسات، تشخیص موضوع، تبلیغات شخصی‌سازی‌شده، استخراج عبارات کلیدی و قیود زمانی و مکانی، و سیستم‌های ترجمه‌ی ماشینی اهمیت پیدا می‌کند. این در حالی است که صنعت امروز کمتر به بحث گویش‌ها می‌پردازد. البته با توجه به ناکافی بودن دادگان برای آموزش مدل‌های هوشمند نمی‌توان انتظار فراتری داشت (Harrat, S, et.al, 2019). عدم توسعه‌ی فناوری، این زبان‌ها را با خطر انقراض مواجه کرده است. حفظ تنوع زبانی ایران‌زمین از رسالت‌های حوزه زبان‌شناسی رایانشی با توسعه‌ی فناوری برای زبان‌ها در کشور است.

توسعه‌ی ترجمه ماشینی، یکی از حوزه‌های اصلی مورد نیاز زبان‌هایی با منابع محدود است که می‌تواند کاربردهای گسترده‌ای در زمینه‌های فرهنگی، اقتصادی، امدادرسانی و غیره داشته باشد. ایجاد دادگان موازی بین گویش‌ها و

---

[۱] Google

[۲] Alexa

[۳] Siri

[۴] Grammarly

زبان‌های استاندارد از ملزومات اصلی ایجاد یک سامانه ترجمه ماشینی است. در سال‌های اخیر پژوهش‌های گوناگونی در زمینه‌ی ایجاد این منابع و استفاده از آن‌ها در تشخیص و ترجمه‌ی گویش انجام شده است. برای نمونه، (Ruiz Costa-Jussà, M, 2018) بین دو نسخه‌ی اروپایی و برزیلی زبان پرتغالی ترجمه ماشینی انجام دادند. گامان و همکاران در (Găman, M., et.al, 2020)با استفاده از دادگان MOROCO که برگرفته از اخبار زبان رومانیایی است، وظایف تشخیص گویش و شناسایی موضوع بین گویش‌های مختلف را روی دو گویش رومانیایی بررسی کرده‌اند. همچنین یک مجموعه دادگان جدید شامل ۵۰۰۰ توییت بر روی این دو گویش ارائه داده‌اند. در (Harrat S., et.al, 2019) بحث ترجمه‌ی ماشینی روی گویش‌های عربی به تفصیل بررسی شده است. این مقاله پس از بررسی چالش‌های پردازش زبان‌های طبیعی روی گویش‌های عربی و معرفی دادگان موجود در مطالعات پیشین، به مقوله‌ی ترجمه‌ی ماشینی بین گویش‌های عربی و عربی استاندارد می‌پردازد؛ مثلا گویش‌های مصری[۵] (Mohamed, E., et.al, 2012 - Salloum, W., et.al, 2012)، شامی[۶](Salloum, W., et.al,2012- Meftouh, K.2015) ، تونسی[۷](Meftouh, K,et.al,2015)، و عراقی[۸] (Salloum, W,et.al,2012). طبق این مقاله، یکی از مزایای ترجمه‌ی ماشینی از گویش به زبان استاندارد، ایجاد یک پل برای ترجمه‌ی گویش به زبان‌های دیگر است (Sawaf, H. ,2010) که در گویش‌های فارسی نیز می‌تواند صادق باشد؛ مثلا

---

[۵] Egyptian

[۶] Levantine

[۷] Tunisian

[۸] Iraqi

ترجمه ابتدا از گویش به زبان استاندارد، و پس از آن به زبان انگلیسی صورت بگیرد. هم‌چنین (Baniata, L.,et.al, 2021) برای نخستین بار، یک روش مبتنی بر ترنسفورمر برای ترجمه گویش‌های بومی عربی (عربی شامی، مغربی[۹]، و عراقی) به عربی استاندارد ارائه کردند و طبق آزمایش‌های آنان، مدل پیشنهادی توانسته است ترجمه‌ی به نسبت با کیفیتی را ارائه دهد؛ و حتی با توجه به انجام ترجمه به کمک زیرکلمات، بر مشکل لغات ناشناخته نیز تا حدی غلبه کند. تلاش‌های دیگری نیز در زمینه‌ی زبان‌ها یا گویش‌هایی با منابع کم انجام شده‌اند و سعی شده است تا بین چنین زبان‌هایی با نزدیک‌ترین زبان دارای منابع گسترده ارتباط ایجاد کنند؛ برای نمونه (Haddow, B.,2013) بین آلمانی اتریشی[۱۰] و گویش وینی[۱۱]، (Nakov, P.,2012) بین زبان اندونزیایی[۱۲] و مالایی انگلیسی[۱۳]، و (Scannell, K. P.,2006) بین زبان ایرلندی[۱۴] و زبان بومی گالیک اسکاتلندی[۱۵] مطالعاتی انجام داده‌اند.

گویش‌ها و زبان‌های محلی، منابعی بسیار غنی برای تحقیقات در زمینه جامعه‌شناسی، مردم‌شناسی، شناخت تاریخ و ادبیات یک سرزمین هستند. هر یک از گویش‌های متنوع ایرانی همچون لری، کردی، بلوچی، گیلکی، بخشی از هویت مردمانش را نشان می‌دهد و بستری برای انتقال ارزش‌های فرهنگی از

---

[۹] Maghrebi

[۱۰] Austrian German

[۱۱] Viennese

[۱۲] Indonesian

[۱۳] English using Malay

[۱۴] Irish

[۱۵] Scottish Gaelic

یک نسل به نسل دیگر است (داوری ،جانی، ۱۳۹۷). علی‌رغم تلاش‌هایی که در زبان‌ها و فرهنگ‌های گوناگون بر روی گویش‌ها صورت گرفته، تاکنون دادگان منسجمی از گویش‌های مختلف فارسی و سایر زبان‌های ایرانی برای کاربردهای رایانشی ارائه نشده است.

کارهای انجام‌شده در مطالعه‌ی حاضر: در این مطالعه، گویش لری بویراحمدی و گویش یزدی مورد بررسی قرار گرفته‌اند و دادگان موازی به تفکیک برای هر کدام از دو گویش جمع‌آوری شده‌اند. هم‌چنین از دو مدل یادگیری ژرف برای ترجمه‌ی ماشینی استفاده شده تا اولین تلاش و پایه‌ای برای پژوهش‌های آتی روی این زبان‌ها باشد. در ادامه، پس از معرفی این دو گویش و بررسی چالش‌های موجود، به معرفی دادگان و مدل ترجمه‌ی استفاده شده برای ترجمه‌ی زبان لری و گویش یزدی به فارسی معیار و برعکس پرداخته و نتایج و کارهای آینده ارائه خواهند شد.

۲. معرفی گویش‌های لری بویراحمدی و یزدی

زبان‌های ایرانی از نظر زبان‌شناسی به سه دسته ایرانی باستانی، ایرانی میانه و ایرانی نو تقسیم‌بندی می‌شوند. زبان‌های ایرانی نو به دو دسته‌ی زبان‌های شرقی (پشتو، آسی، ارموری، پراچی و پامیری) و غربی تقسیم می‌شوند (محسنی، ۱۳۹۲). زبان های غربی شامل سه دسته‌ی زبان‌های شمال غربی (کردی، آذری، کرمانجی و لکی)، مرکزی و جنوب غربی (تاتی، قفقازی، لاری و لری) هستند. زبان‌های مرکزی به چهار دسته‌ی شمال غربی، جنوب غربی، شمال شرقی و جنوب شرقی تقسیم می‌شوند. زبان دری زرتشتی زیرمجموعه‌ی زبان‌های جنوب شرقیست که شامل گویش یزدی نیز می‌شود (محسنی،۱۳۹۲). با توجه به هدف مطالعه‌ی حاضر، در ادامه به معرفی زبان لری و گویش یزدی می‌پردازیم و برخی از چالش‌های آن‌ها را بررسی می‌کنیم.

۱،۲. معرفی زبان لری و چالش‌های آن

زبان لری یکی از زبان‌های ایرانی غربی است که بیش از چهار میلیون نفر متکلم دارد. بخش اعظم این افراد در استان‌های کهگیلویه و بویراحمد، همدان، لرستان، چهار محال و بختیاری، و خوزستان زندگی می‌کنند. درباره ریشه این زبان نظریات متعددی وجود دارد؛ برخی آن را یک گویش می‌دانند، در حالی که برخی دیگر اعتقاد دارند لری یک زبان مستقل است و خود دارای گویش‌های متنوعی است (مجیدی، حق بی،۱۳۹۷)[۱۶]. لری بویراحمدی به عنوان یکی از گویش‌های اصلی لری، در منطقه شرق و شمال استان کهگیلویه و بویراحمد که به نام بویراحمد شناخته می‌شود، رواج دارد. سایر گونه‌های گویش لری، یا به این گویش نزدیک هستند، و یا به دلیل مجاورت به گویش بختیاری نزدیک شده‌اند. گویش بویراحمدی بازمانده‌ی فارسی میانه است که خود از بازماندگان فارسی باستان به شمار می‌رود (طاهری،۱۳۹۱). از این گویش به گویش ممسنی نیز یاد می‌شود.

همانگونه که گفته شد، در زمینه‌ی پردازش رایانشی، بر روی گویش‌های محلی ایرانی، کارهای تحقیقاتی چندانی انجام نشده است. گویش لری بویراحمدی نیز مستثنی نبوده، و طبق بررسی‌های ما، کار تحقیقاتی قابل توجهی روی آن انجام نگرفته است. یکی از مهم‌ترین دلایل این مسئله می‌تواند نبود یک منبع دیجیتال از متون لهجه‌ی لری بویراحمدی و معانی آن باشد. حتی تعداد منابعی که شامل متون گویش به همراه ترجمه‌ی فارسی استاندارد باشند بسیار محدود هستند. در میان همین منابع محدود هم مهم‌ترین چالش جمع‌آوری داده، نبودن ساختار نوشتار استاندارد در گویش‌های محلی است. از آنجایی که معمولاً

---

[۱۶]- در (مدرسی،۱۳۶۸) گویش بدین شکل تعریف شده است: «هرگاه دو گونه‌ی زبانی بدون آموزش آگاهانه، در حد ایجاد ارتباط معمول برای گویندگان با یکدیگر، قابل فهم باشد، آن دو گونه، دو گویش متفاوت از یک واحد محسوب می‌شوند و در غیر این صورت باید آن‌ها را دو زبان جداگانه دانست».

متون برخط یکی از مهم‌ترین منابع در جمع‌آوری مجموعه‌ی استاندارد زبانی به شمار می‌روند، نبودن یک ساختار استاندارد در فرم نوشتاری گویش‌ها موجب می‌شود که کلمات با ساختارهای نوشتاری متفاوتی در متون ظاهر شوند، و این تفاوت‌ها فرآیند یادگیری ماشین را با چالش مواجه می‌کند. این مسئله حتی در متون کتاب‌های منتشرشده نیز مشاهده می‌شود و معمولاً ساختار نوشتاری کلمات از یک استاندارد واحد پیروی نمی‌کنند. برای مثال، فعل «کن» در زبان لری معادل با کلمه «کُ *ko*» است که در بیت «*سیلم کُ که ای باره وه منزل برسونم / و همو ره تو بیو چپ کو و آبادی یار*» به شکل «کو» هم آمده است. اختلاف لهجه در میان متکلمان گویش نیز باعث تشدید اختلاف در ساختار نوشتاری گویش می‌شود.

علاوه بر چالش‌هایی که در گردآوری داده وجود دارد، پژوهش روی متون گویش لری بویراحمدی با چالش‌هایی روبه‌رو است که در نظر گرفتن آن‌ها در پژوهش‌های آتی ضروری به نظر می‌رسد. برخی از این چالش‌ها عبارتند از:

- **مختصرگویی و کوتاه شدن طول کلمات**: در گویش‌های محلی، مانند شکل گفتاری عامیانه‌ی زبان‌ها، تمایل به مختصرگویی وجود دارد. در گویش بویراحمدی نیز این مسئله باعث شده که کلمات طول نسبتاً کوتاه‌تری داشته باشند؛ به طوری که تعداد زیادی فعل با طول یک حرف دیده می‌شود. برای نمونه، در بیت «*سنگینه اگر درد مو درمونَ مو ایبه/مث سایه وه دیندا و نهامی و تونَ ایخوم*» حرف «ـه» (به معنای «است») در مصرع اول و حرف «ـی» (به معنای «هستی») در مصرع دوم فعل هستند.

- **کلمات هم‌نگاره**[۱۷]: در گویش لری بویراحمدی مانند خیلی از گویش‌ها و زبان‌های دیگر، برخی از کلمات هم‌نگاره با نوشتار یکسان و معانی مختلف مشاهده می‌شوند. همچنین تمایل به مختصرگویی گاهی باعث تولید کلماتی با ساختار یکسان شده است که برخی اوقات، هم در گفتار و هم در نوشتار یکی هستند، و در سایر موارد فقط در نوشتار با هم معادل هستند. این مسئله در فرآیند یادگیری کلمات تأثیر منفی خواهد داشت. برای نمونه در بیت «*بالی مال اومم برم سیل کردوم وه من کپرَنه بَی سیل و طیفون، نه بی تش بلا*» گرچه هر دو «سیلseyl» گفتار و نوشتار یکسان دارند، اما معنی آن در مصرع اول «نگاه» و در مصرع دوم «سیل» است. مثالی از دو کلمه با نوشتار یکسان و گفتار متفاوت در بیت «*سی خاطر ایباغه که باد ورتکناشه/دلم ائ خو یه غزل وت بنویسم سی کهٔ*» وجود دارد. در مصرع اول «سیsi» به معنای «برای» و در مصرع دوم «سیsey» به معنای «نگاه» است.

۲،۲. معرفی گویش یزدی و چالش‌های آن

ریشه‌ی گویش یزدی زبان دری زرتشتی است که تفاوت‌های آوایی و بعضاً معنایی با هم دارند. ریشه‌ی بعضی واژگان را در زبان‌های کهن مانند هندی باستان، سانسکریت، اوستایی، و زبان‌های دوره‌ی میانه می‌توان جست‌وجو کرد. برای مثال، واژه «پسرpʊsær» به معنای فرزند ذکور در زبان‌های سانسکریت، پارسی باستان، پهلوی و هند باستان به ترتیب به صورت pu:sra ،pu:tra ، pu:sær و pu:sra تلفظ می‌شد. واژه‌ی «خشxæʃ» به معنای خوب، لذیذ، خوشمزه نیز در پهلوی و دوره‌ی باستان و میانه به ترتیب به شکل *xwæʃ*، *xvæʃ* و *xæʃ* تلفظ می‌شد و تلفظ فارسی معیار کنونی *xʊʃ* است، اما تلفظ در

[۱۷] Homograph

گویش یزدی با دوره‌ی میانه یکسان است. واژه «پیرpi:yær» به معنای پدر نیز در پهلوی pi:dær بوده است (رمضان‌خانی،۹۱).

در واژگان گویش یزدی فرآیندهای آوایی مانند ابدال، حذف، اضافه و قلب صورت می‌گیرد. به عنوان مثالی از فرآیند ابدال، واژه‌ی «آستر» به صورت ɑssær تلفظ می شود. نمونه‌ای از فرآیند حذف هم کلمه «گفت» است که در گویش یزدی به صورت gʊf بیان می‌شود. فرآیند قلب نیز در کلمه «کتف» از فارسی معیار صورت می‌گیرد و در گویش یزدی keft گفته می‌شود (صادق زاده، رمضان‌خانی، ۱۳۹۸). مواردی از این قبیل بین فارسی استاندارد و گویش یزدی اختلاف ایجاد می‌کنند و انتظار می‌رود یک مدل ترجمه‌ی ماشینی موفق بتواند چنین تبدیل‌هایی را درک کند.

در گویش یزدی نیز مانند گویش بویراحمدی محدودیت منابع از جمله مهم‌ترین چالش‌ها است. تعداد منابع دیجیتالی که در نوشتار آن‌ها از گویش یزدی استفاده شده بسیار محدود هستند. هم‌چنین، مسئله استفاده از زبان محاوره‌ای در نوشتار گویش یزدی، کار پردازش این گویش را با مشکلاتی روبه‌رو می‌کند.

۳. روش تحقیق

هدف مطالعه‌ی حاضر، معرفی دادگان موازی برای انجام ترجمه‌ی ماشینی برای گویش لری و گویش یزدی به فارسی معیار و برعکس است. در ابتدا به معرفی دادگان موجود می‌پردازیم و در دو بخش بعدی مدل‌های ترجمه روی دادگان پیشنهادی را شرح می‌دهیم. سپس نحوه‌ی آموزش و شیوه‌ی ارزیابی را بیان می‌کنیم.

۱،۳. دادگان پژوهش

به طور کلی تعداد منابعی که بتوان از آن‌ها جهت تهیه‌ی مجموعه داده‌ی استاندارد برای گویش بویراحمدی استفاده کرد بسیار محدود هستند. یکی از غنی‌ترین منابع موجود (مقیمی و همکاران، ۱۴۰۰) است. این کتاب که مجموعاً ۸۲۶ صفحه دارد، که شامل هزاران کلمه، عبارت، ضرب‌المثل، و جمله با گویش لری بویراحمدی به همراه تلفظ و ترجمه‌ی آن‌ها به فارسی معیار است. جهت ایجاد دادگان پیشنهادی، از جملات موجود در متن، مواردی که ترجمه‌ی آن‌ها بازگردان مستقیم معنی کلمات به زبان فارسی بوده‌اند، گلچین شده و در نهایت ۳۰۰۰ جمله با گویش بویراحمدی همراه با معادل فارسی آن‌ها به صورت دستی استخراج شده است. از مهم‌ترین ویژگی‌های این مجموعه داده یک‌دستی آن است؛ زیرا همه‌ی جملات از یک منبع تهیه شده‌اند و از یک ساختار نوشتاری استاندارد و لهجه‌ی واحدی پیروی می‌کنند. علاوه بر این داده‌ها، مجموعه داده‌ی دیگری از یک لغت‌نامه‌ی لری به فارسی (مقیمی و همکاران، ۱۴۰۰) نیز استخراج شده است. در مجموع ۸۲۰۵ زوج داده برای این گویش بدست آمده و شامل ۱۰۹۳۰ واحد زبانی لری است که از بین آن‌ها ۴۰۱۴ واحد یکتا هستند.

برای گویش یزدی، در کل ۸۲۴ زوج داده تهیه شده است. ۵۶۱ زوج از دیالوگ‌های کتاب یزدی «ننه زهرا و پسرش» (عسکری، ۱۴۰۰) استخراج شده و مابقی از میان اصطلاحات کوتاه از بلاگ خش‌ترین شهر کویر[۱۸] برگرفته شده است. در این دادگان نیز ۷۲۴۶ واحد زبانی یزدی وجود دارد که ۳۶۱۱ واحد از بین آن‌ها یکتا هستند.

[۱۸] http://mrb123.blogfa.com/category/9

۲,۳. مدل‌های کدگذار-کدگشای ترجمه بر روی دادگان پیشنهادی

در این مقاله، ترجمه‌ی ماشینی از گویش‌های یزدی و لری بویراحمدی به فارسی استاندارد، به عنوان یکی از کاربردهای دادگان ارائه‌شده انتخاب شده است. برای این منظور ابتدا جملات زبان مبدأ و زبان مقصد به رشته‌ای از توکن‌ها تبدیل می‌شوند، سپس از دو مدل رشته‌به‌رشته با ساختار کدگذار-کدگشا[۱۹] برای ترجمه استفاده می‌شود. مدل اول معماری بازگشتی[۲۰] با سازوکار توجه[۲۱] بین کدگذار و کدگشا است و مدل دوم، ساختاری مبتنی بر ترنسفورمر دارد. در ادامه به شرح مختصر نحوه‌ی استخراج واحدهای زبانی ترجمه و ساختار مدل پرداخته می‌شود.

واحدهای زبانی ترجمه

یکی از عوامل موثر در ترجمه‌ی ماشینی بهینه برای ترجمه با منابع محدود، شکستن لغات به واژهای معنی‌دار است که از طریق کم کردن پارامترها به مدلی بهینه کمک می‌کند. یک روش بدون نظارت برای استخراج این زیرکلمات، استفاده از الگوریتم Byte Pair Encoding یا BPE است که کلمات را به زیرکلمات پربسامد می‌شکند. در این پژوهش نیز از همین روش برای تبدیل جملات به واحدهای زبانی استفاده شده است. استفاده از BPE باعث می‌شود تعمیم‌پذیری به لغات خارج از دامنه‌ی آموزش نیز بهبود پیدا کند. به همین منظور برای هر دو گویش، جملات مبدأ و مقصد را به شکل جداگانه با استفاده از BPE به توکن تبدیل کرده‌ایم. از طرفی اندازه‌ی دامنه‌ی

---

[۱۹] Encoder-decoder

[۲۰] Recurrent

[۲۱] Attention

لغات را که به عنوان یک پارامتر در مدل BPE مطرح است، عدد کوچک‌تری در نظر گرفته‌ایم؛ چرا که آزمایش‌ها نشان داده‌اند برای زبان‌هایی با منابع اندک، این کار می‌تواند تأثیر مثبتی در بهبود کیفیت ترجمه ایجاد کند. گفتنی است در این کار از پیش‌پردازش‌هایی مانند حذف حروف اضافه یا حرکات استفاده نشده است؛ زیرا با توجه به لحن گفتاری جملات گویش، تشخیص حروف اضافه از کلمات در مواردی دشوار است و بخش‌های رایج در پیش‌پردازش متون باید برای هر گویشی به طور اختصاصی بازنویسی شوند.

شرح مدل بازگشتی

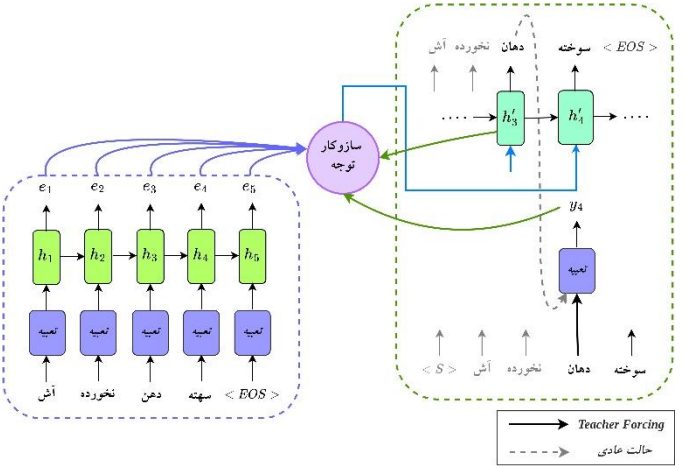
کدگذار این مدل متشکل از یک لایه‌ی حافظه کوتاه‌مدت طولانی[۲۲](LSTM) بعد از یک لایه‌ی تعبیه‌سازی[۲۳] واحدهای زبانی است. کدگشا نیز معماری مشابهی دارد، اما بین دو بخش مدل، با استفاده از سازوکار توجه بین خروجی‌های کدگذار، ورودی، و حالت نهان کدگشا ارتباط برقرار می‌شود. شمایی از مدل در شکل ۱ آمده است.

همان طور که در شکل نشان داده شده است، توکن‌های جمله‌ی لری «آش نخورده دهن سهته» و جمله‌ی فارسی متناظر آن، «آش نخورده دهان سوخته»، پس از تعبیه، به واحدهای بازگشتی داده می‌شوند. منظور از h_i یا h'_i حالت نهان واحد بازگشتی و منظور از e_i خروجی کدگذار در زمان i است. هم‌چنین توکن‌های <S> و <EOS> به ترتیب شروع و پایان رشته را نشان می‌دهند. در حین ترجمه، کدگشا تا زمانی که توکن <EOS> در خروجی تولید نشده باشد به کار خود ادامه می‌دهد. هم‌چنین اگر در زمان آموزش از روش کمک

[۲۲] Long Short Term Memory

[۲۳] Embedding

معلم[۲۴] استفاده شود، ورودی کدگشا در هر قدم به طور مستقیم از رشته‌ی هدف برداشته می‌شود، اما در حالت عادی و نیز در زمان ارزیابی، ورودی کدگشا همان خروجی گام قبلی است.



شکل ۱. شمای مدل بازگشتی

شرح مدل مبتنی بر ترنسفورمر

بخش کدگذار، از دو لایه‌ی کدگذار که روی هم پشته[۲۵] شده‌اند، تشکیل شده است. در مورد بخش کدگشا نیز همین شرایط برقرار است. در هر قسمت، خروجی لایه‌ی قبلی، به عنوان ورودی وارد لایه‌ی بعد می‌شود.

[۲۴] Teacher Forcing

[۲۵] Stack

هر کدگذار از دو زیرلایه‌ی خودتوجهی[۲۶] و شبکه‌ی عصبی روبه‌جلو تشکیل شده است. هم‌چنین از یک اتصال باقی‌ماندهٔ[۲۷] در اطراف هر یک از زیرلایه‌ها استفاده می‌شود و یک لایه نرمال‌سازی پس از آن قرار می‌گیرد. هر کدگشا، علاوه بر زیرلایه‌های ذکرشده برای کدگذار، یک زیرلایه‌ی دیگر نیز به نام توجه کدگذار-کدگشا[۲۸] دارد. این لایه سازوکار توجه چندسر[۲۹] را روی خروجی کدگذار اعمال می‌کند. مشابه کدگذار، در بخش کدگشا نیز یک اتصال باقی‌مانده در اطراف هر زیرلایه وجود دارد و به دنبال آن، یک لایه نرمال‌سازی انجام می‌شود.

همانطور که اشاره شد، ورودی هر یک از کدگذارها، خروجی کدگذار قبلی است. به این ترتیب نیاز است در ابتدا کلمات ورودی با استفاده از یک الگوریتم تعبیه‌سازی[۳۰] به بردارهایی نظیر شوند. پس از این مرحله نیاز است موقعیت کلمات در جمله نیز به نحوی در بردارهای نهایی گنجانده شود؛ چرا که در داده‌های زبانی، ترتیب اهمیت بالایی دارد. بعنوان مثال، دو عبارت «کار برای زندگی» و «زندگی برای کار» با آنکه متشکل از تعدادی کلمه‌ی کاملا مشترک هستند، به دلیل تفاوت در موقعیت کلمات، معانی کاملا متفاوتی منتقل می‌کنند. برای لحاظ کردن این مورد در معماری مبتنی بر ترنسفورمر از تعبیه‌ی مکانی[۳۱] استفاده می‌شود. به این معنا که جایگاه هر کلمه در مرحله‌ی

---

[۲۶] Self-attention

[۲۷] Residual Connection

[۲۸] Encoder-Decoder attention

[۲۹] Multi-head attention

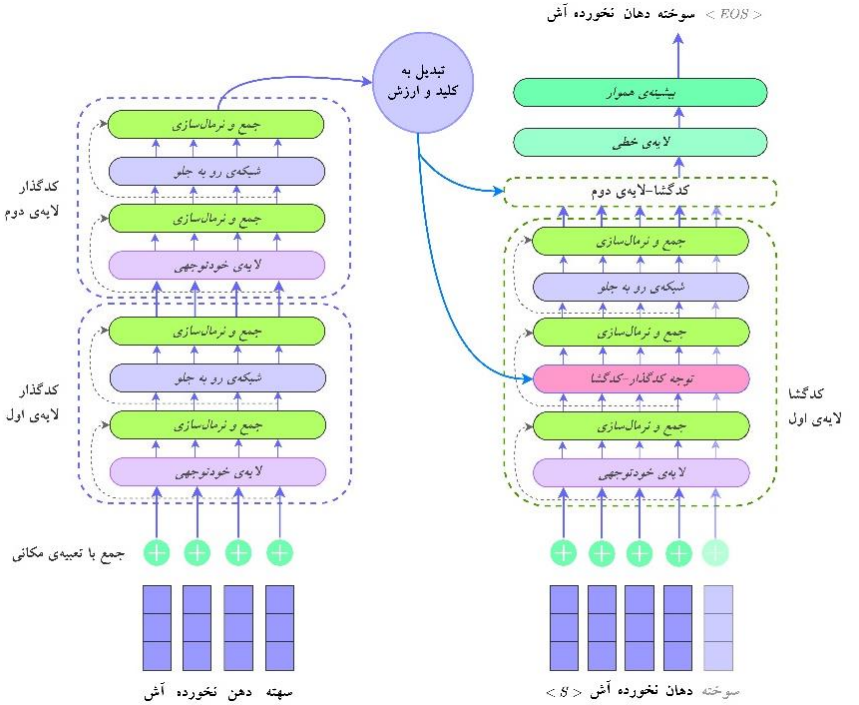
[۳۰] Embedding

[۳۱] Positional Encoding

تعبیه‌سازی به همراه خود کلمه در بردار نهایی آن واژه تعبیه می‌شود، و هر بردار علاوه بر محتوای کلمه، اطلاعاتی از جایگاه کلمه در جمله را نیز در خود دارد. بدین ترتیب بردار دیگری که به کمک تابعی سینوسی برای هر کلمه محاسبه می‌شود، به بردار مربوط به کلمه اضافه می‌شود.

پس از اعمال موارد گفته شده، خروجی وارد کدگذار اول می‌شود. خروجی آخرین کدگشا در هر مرحله یک بردار خواهد بود، اما آنچه ما انتظار داریم، یک کلمه در زبان مقصد است. لذا برای استخراج کلمات از بردارهای تولید شده، ابتدا به یک لایه شبکه عصبی خطی نیاز داریم که بردار فعلی را به برداری با اندازه‌ی بزرگتر نظیر کند. برای مثال، اگر تعداد لغاتی که از پیش آموخته شده است، ۲۰۰۰ باشد، اندازه‌ی برداری که پس از اعمال لایه‌ی خطی خواهیم داشت، برابر ۲۰۰۰ خواهد بود. در این صورت هر درایه از بردار را می‌توان متناظر با یک کلمه از کل لغات در نظر گرفت. نهایتا با اعمال تابع بیشینه‌ی هموار[۳۲] روی این بردار، بالاترین احتمال، به عنوان کلمه‌ی خروجی در نظر گرفته می‌شود. شمایی از معماری یادشده در شکل ۲ آمده است (Vaswani A., et.al, ۲۰۱۷).

[۳۲] Softmax



شکل ۲. شمای مدل مبتنی بر ترنسفورمر

۳،۳. نحوه ارزیابی

از مهم‌ترین معیارهای سنجش ترجمه ماشینی معیار BLEU می‌باشد که در این کار نیز مورد استفاده قرار گرفته است. معیار BLEU سعی می‌کند شباهت رشته‌ی ترجمه‌ی تولیدشده و رشته‌ی مرجع را با انطباق n-gramها بسنجد. رابطه‌ی محاسبه این معیار به صورت زیر است:

$$BLEU\ SCORE\ =\ BP \times exp(\frac{1}{N}\sum_{n=1}^{4} P_n) \qquad (۱)$$

$$P_n = \frac{\text{تعداد رشته تولید شده } n-gram}{\text{تعداد رشته مرجع } n-gram} \quad (۲)$$

$$BP = exp(min\left(1 - \frac{\text{طول مرجع}}{\text{طول ترجمه تولید شده}}\right) \text{و } 0)) \quad (۳)$$

جریمه‌ی کوتاهی[۳۳] که در رابطه بالا با BP نشان داده شده است، از اختصاص نابجای مقادیر بالای BLEU به جملات کوتاه جلوگیری می‌کند. عبارت Pn نیز دقت براساس n-gram مربوطه است که n در بازه یک تا چهار قرار دارد.

۴،۳. تنظیمات آزمایش و نحوه‌ی آموزش

برای آموزش هر دو نوع معماری، ۸۰٪ دادگان هر گویش برای آموزش مدل، ۱۰٪ برای راستی‌آزمایی و تنظیم هایپرپارامترها، و ۱۰٪ برای تست به کار رفته است. داده‌های تست و ارزیابی از نمونه‌های بلندتر انتخاب شده و از کلمات و عبارات کوتاه، تنها در روند آموزش بهره گرفته شده است.

در هر دو مدل، نرخ یادگیری به صورت تطبیقی[۳۴] تنظیم شده و در طول آموزش بسته به روند آن، تغییر می‌کند. از آنتروپی متقاطع[۳۵] به عنوان تابع هزینه‌ی هر دو مدل استفاده شده و برای هر دو گویش لری و یزدی، مدل‌ها ۵۰۰ دور آموزش دیده‌اند.

۴. نتایج آزمایش‌ها

---

[۳۳] Brevity Penalty

[۳۴] Adaptive

[۳۵] Cross Entropy

در این بخش به بررسی نتایج حاصل از آزمایش‌های صورت‌گرفته و تحلیل خروجی‌های آن‌ها می‌پردازیم.

۱,۴. مقایسه‌ی امتیاز BLEU

نتیجه‌ی امتیاز BLEU در هر آزمایش برای دادگان ارزیابی و تست در جدول ۱ آورده شده است .در مجموع با وجود تعداد نسبتاً کم دادگان حاضر، تأثیر بسزای استفاده از مدل مبتنی بر ترنسفورمر بر نتایج هر دو گویش، به خصوص لری، مشهود است.

جدول ۱. نتایج دادگان ارزیابی و آزمون

مدل	*گویش*	*جهت ترجمه*	*ارزیابی*	*آزمون*
مدل کدگذار-کدگشا بازگشتی	لری	به فارسی	۰/۱۹	۰/۱۴
		از فارسی	۰/۱۰	۰/۱۴
	یزدی	به فارسی	۰/۱۵	۰/۰۹
		از فارسی	۰/۱۰	۰/۱۲
مدل کدگذار-کدگشا بر پایه‌ی ترنسفورمر	لری	به فارسی	۷/۴۸	۷/۳۹
		از فارسی	۴/۳۰	۳/۲۹
	یزدی	به فارسی	۰/۶۴	۰/۷۳
		از فارسی	۰/۴۹	۰/۷۷

۲,۴. تحلیل و بررسی خروجی‌های مدل ترنسفورمر

در بخش قبل دیدیم که مدل ترنسفورمر عملکرد بهتری بر روی هر دو گویش داشته است. لذا در این قسمت، به تحلیل چند خروجی این مدل برای هر دو گویش می‌پردازیم.

برخی از نمونه‌های خروجی ترجمه‌ی ماشینی روی داده لری در جدول ۲ آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، خروجی مدل کاملاً نزدیک به متن مرجع، و در مواردی دقیقاً همان است.

جدول ۲. برخی از نمونه‌های خروجی مدل مبتنی بر ترنسفورمر مربوط به مجموعه داده‌ی لری

متن لری	*متن فارسی*	*ترجمه ماشینی لری به فارسی*	*ترجمه ماشینی فارسی به لری*
و حرف اومَه	به حرف آمد	با حرف آمد	یک ناگهی اومه
آدم کم دهسی یه	آدم کم دستی است	آدم کم دستی است	آدم کم دهسی یه
یالا ای کاره بکُ	یا الله این کار را بکن	یا الله این کار را بکن	یالا ای-کاره بکُ

در جدول ۳ نمونه‌هایی از ترجمه‌ی ماشینی مدل مبتنی بر ترنسفورمر گویش یزدی آورده شده است که شامل ترجمه از یزدی به فارسی و برعکس می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود، به دلیل کمبود منابع زبانی، این مدل قادر به ترجمه‌ی صحیح جملات نیست؛ با این حال پیداست که مدل توانسته الگوهایی را برای ترجمه یاد بگیرد. برای نمونه، در مثال اول بخش‌هایی از ترجمه به مرجع نزدیک هستند و یا در مثال دوم، با اینکه ترجمه به درستی انجام نشده است، اما در حالت یزدی به فارسی، مدل توانسته است منفی بودن جمله را

درک کند. این مورد در مثال سوم نیز دیده می‌شود که مدل توانسته مثبت بودن فعل را در هر دو حالت ترجمه تشخیص دهد.

جدول ۳. برخی از نمونه‌های خروجی مدل مبتنی بر ترنسفورمر مربوط به مجموعه داده یزدی

متن یزدی	*متن فارسی*	*ترجمه ماشینی یزدی به فارسی*	*ترجمه ماشینی فارسی به یزدی*
معلومه دیه کسی یادشه گُشنا نیس.	معلوم است دیگر کسی به فکر گرسنگان نیست.	معلوم است خوب دیگر کسی نیست.	معلومه! کسی گیرونه.
گف: دلتون درد نمگرف.	گفت دلتان درد نمی گرفت.	گفت خیلی خوب نیست.	گف: دلتون دردو میتونم.
حرفونن درس بود	حرف مان هم درست بود	حناساب هم داشت	جُمُلیجیمه بود

۵. نتیجه گیری و کارهای آینده

در این پژوهش برای نخستین بار دو مجموعه داده‌ی موازی برای گسترش پژوهش روی گویش‌های لری و یزدی معرفی شدند و مدل‌های رشته‌به‌رشته‌ی نسبتاً کارآمدی روی آن‌ها آموزش دیدند. با توجه به محدودیت منابع دیجیتال مناسب، چالش‌های زیادی بر سر تهیه داده‌های قابل استفاده وجود داشته است. بی‌شک برای استمرار پژوهش‌های آتی، نیاز به تهیه‌ی داده‌های بیشتر و گسترش مجموعه داده‌ی فعلی پابرجا خواهد بود. دادگان بالقوه‌ی فراوانی در بستر وب و فضای مجازی اجتماعی وجود دارد که می‌تواند منبع ارزشمندی برای گسترش پژوهش و حتی آموزش مدل‌های دنیای واقعی روی گویش‌ها به شمار رود. البته استفاده از این نوع داده تنها به شرط پیش‌پردازش مناسب

ممکن است .فراتر از تنوع‌های زبانی، الگوی نوشتاری در فضای غیررسمی گاهی به سلیقه‌های شخصی و غیراستانداردی می‌رسد که چالش بزرگی برای همگون‌سازی آن‌ها در یک کار رایانشی ایجاد خواهد کرد. معرفی رابط‌های کاربری برای جمع‌آوری دادگان کنترل‌شده از افراد مسلط به گویش می‌تواند یک جایگزین کوچک، اما مناسب باشد. هم‌چنین پیش‌پردازش مختص به گویش گامی مهم در هر کدام از وظایف محتمل برای این دادگان است که نیازمند بررسی بیشتر و حتی توسعه‌ی کتابخانه‌هایی جهت تسهیل سیر پردازش در مطالعات مرتبط است. از دیگر جهات پژوهشی می‌توان به بررسی هم‌بستگی بین گویش‌های مختلف و کمک دادگان گویش‌های مجزا به یکدیگر برای آموزش مدل‌های مشترک اشاره کرد. بی‌شک کار بر روی گویش‌های فارسی در ابتدای مسیر خود است و هم‌چنان جای کار بر روی معماری مدل‌ها و روش آموزش وجود دارد .دادگان جمع‌آوری شده در این پژوهش می‌تواند نقطه‌ی شروعی برای کارهای آتی در رابطه با گویش‌های مذکور باشد.

تقدیر و تشکر

بدین‌وسیله از جناب آقای افضل مقیمی و همکارانشان در تالیف لغت‌نامه لُری بویراحمدی که حاصل کار ارزشمند خود را در اختیار این پژوهش قرار دادند، صمیمانه تشکر می‌کنیم. همچنین از آقایان سید یاسین موسوی، امیرعلی ابراهیم‌زاده، و محمدجواد هزاره جهت همکاری در استخراج خودکار دادگان از لغت‌نامه تقدیر و تشکر به عمل می‌آوریم.

منابع

داوری و جانی، پریسا و ابراهیم (۱۳۹۷)، «بررسی و توصیف زبان‌شناختی انواع ضمیر در گویش لری کامفیروز»، فصلنامهٔ ادبیات و زبان های محلی ایران زمین، دوره ۸، شماره ۳، ص ۴۷-۶۲
رمضان‌خانی، صدیقه (۱۳۹۱)، «بررسی برخی واژگان یزدی و مقایسه آن‌ها با زبان‌های باستانی»، ششمین همایش پژوهشهای ادبی، تهران
صادق زاده و رمضان‌خانی، محمود و صدیقه (۱۳۹۸)، «بررسی تطبیقی-موضوعی ساختار واژگان در گویش یزدی»، فصلنامه علمی پژوهشی زبان و ادب فارسی، شماره ۴۰.
طاهری، اسفندیار (۱۳۹۱)، «ریشه شناسی چند واژه از لری بویراحمدی»، ادب پژوهی، دوره ۶، شماره ۲۰، ص ۷۵-۸۸
عسکری کامران، محمد تقی(۱۴۰۰)، ننه زهرا و پسرش، یزد یادداشت نو.
مجیدی و حق بی، لیلا و فریده (۱۳۹۷)، «نمود فعل در زبان لری و گونه‌های آن، فصلنامه مطالعات زبان ها و گویش های غرب ایران»، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه راضی کرمانشاه، سال ششم،شماره ۲۲، ص ۹۳-۱۱۰
مدرسی، یحیی (۱۳۶۸)، «درآمدی بر جامعه شناسی زبان، تهران»، مؤسسهٔ مطالعات و تحقیقات فرهنگی.
محسنی، محمدرضا (۱۳۹۲)، «پان ترکیسم ایران و آذربایجان»، چاپ دوم، نشر سمرقند، ص ۱۳۱-۱۳۰
مقیمی و نظری و خالق‌زاده و مقیمی، افضل و جلیل و محمدهادی و جبار (۱۴۰۰)، «فرهنگ واژه‌های لری بویرحمدی»، تهران : زیتون سبز.
Anastasopoulos, A, et al. "Endangered languages meet Modern NLP." *Proceedings of the 28th International Conference on Computational Linguistics*: Tutorial Abstracts. 2020.

Asgari, E and Schütze, H. 2017. Past, Present, Future: "A Computational Investigation of the Typology of Tense in 1000 Languages". *In Proceedings of the 2017 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing*, pages 113–124, Copenhagen, Denmark. Association for Computational Linguistics.
Baniata, L. H., Ampomah, I., & Park, S. (2021). "A Transformer-Based Neural Machine Translation Model for Arabic Dialects That Utilizes Subword Units". *Sensors*, *21*(19), 6509.
Găman, M., & Ionescu, R. T. (2020). "The unreasonable effectiveness of machine learning in Moldavian versus Romanian dialect identification". *International Journal of Intelligent Systems*.
Harrat, S., Meftouh, K., & Smaili, K. (2019). "Machine translation for Arabic dialects (survey)". *Information Processing & Management*, 56(2), 262-273.
King, B. P. "Practical Natural Language Processing for Low-Resource Languages" (Doctoral dissertation). *University of Michigan*. (2015).
Haddow, B., Hernández, A., Neubarth, F., & Trost, H. (2013, September). "Corpus development for machine translation between standard and dialectal varieties". In Proceedings *of the Workshop on Adaptation of Language Resources and Tools for Closely Related Languages and Language Variants* (pp. 7-14).
Meftouh, K., Harrat, S., Jamoussi, S., Abbas, M., & Smaili, K. (2015, October). "Machine translation experiments on PADIC: A parallel Arabic dialect corpus". In *Proceedings of the 29th Pacific Asia conference on language, information and computation* (pp. 26-34).
Mohamed, E., Mohit, B., & Oflazer, K. (2012, July). "Transforming standard Arabic to colloquial Arabic".

In Proceedings of the *50th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*,Volume 2: Short Papers, 176-180.
Mutton, A., Dras, M., Wan, S., & Dale, R. (2007, June). GLEU: Automatic evaluation of sentence-level fluency. In *Proceedings of the 45th Annual Meeting of the Association of Computational Linguistics*(pp.344-351).
Nakov, P., & Ng, H. T. (2012). "Improving statistical machine translation for a resource-poor language using related resource-rich languages". *Journal of Artificial Intelligence Research*, *44*, 179-222.
Ruiz Costa-Jussà, M., Zampieri, M., & Pal, S. (2018). "A neural approach to language variety translation". In *COLING 2018: The 27th International Conference on Computational Linguistics: Proceedings of the Conference: August 20-26, 2018 Santa Fe, New Mexico, USA*. Association for Computational Linguistics.
Salloum, W., & Habash, N. (2012, December). Elissa: "A dialectal to standard Arabic machine translation system". In *Proceedings of COLING 2012: Demonstration Papers* (pp. 385-392).
Sawaf, H. (2010). "Arabic dialect handling in hybrid machine translation". In *Proceedings of the 9th Conference of the Association for Machine Translation in the Americas: Research Papers*.
Scannell, K. P. (2006). "Machine translation for closely related language pairs". In *Proceedings of the Workshop Strategies for developing machine translation for minority languages* (pp. 103-109).
Sutskever, I., Vinyals, O., & Le, Q. V. (2014). "Sequence to sequence learning with neural networks". *Advances in neural information processing systems*, *27*.

Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N. & Polosukhin, I. (2017). "Attention is all you need". *Advances in neural information processing systems, 30*.
Wołk, K., & Koržinek, D. (2016). Comparison and adaptation of automatic evaluation metrics for quality assessment of re-speaking. *arXiv preprint arXiv:1601.02789*.