باسمه تعالی

طرح پیشنهادی تک صفحه‌ای رساله دکتری

نام و نام‌خانوادگی دانشجو (شماره دانشجویی): زهرا اسلامی (۹۷۳۴۴۸۸)
رشته (گرایش): علوم و مهندسی آب (آبیاری و زهکشی)
نام و نام‌خانوادگی استاد راهنما: دکتر امین شیروانی

عنوان فارسی:
پیش‌بینی‌های ماهانه و فصلی SPEI بر پایه رهیافت‌های ترکیبی دینامیکی-آماری در ایران
عنوان انگلیسی:
Monthly and Seasonal Forecasts of SPEI Based on Hybrid Statistical-Dynamical Approaches in Iran

بیان مسئله

بارش و تبخیر تعرق نقش اساسی در شکل دادن به اقلیم، تغییرپذیری و ارتباط میان زمین و هوا ایفا می‌کنند. اطلاع از وضعیت این دو پارامتر از چند ماه قبل در مقیاس منطقه‌ای یا محلی می‌تواند به هدایت عملیات کشاورزی و مدیریت منابع آب و کمک به تصمیم‌گیری‌های درست و به موقع مدیران در حوزه‌های مرتبط کمک کند. در این راستا پیش‌بینی نمایه استاندارد شده بارش–تبخیر تعرق (SPEI) می‌تواند مفید و مؤثر باشد. از این رو، در این تحقیق از مدل‌های دینامیکی برای پیش‌بینی‌های ماهانه و فصلی SPEI برای ۵۰ ایستگاه همدیدی در ایران استفاده خواهد شد. پس از ارزیابی اولیه دقت مدل‌ها، از روش‌های آماری برای تصحیح و پس پردازش استفاده خواهد شد.

هدف‌ها

- ارزیابی مهارت شش مدل دینامیکی به روز شده برای پیش‌بینی‌های ماهانه و فصلی نمایه استاندارد شده بارش–تبخیر تعرق (SPEI) برای ایستگاه‌های همدیدی در کشور ایران
- تصحیح و بهبود مهارت پیش‌بینی مدل‌های دینامیکی با استفاده از رهیافت‌های آماری شامل روش‌های رگرسیون خطی، میانگین‌گیری بیزی، جنگل تصادفی، رگرسیون بردار پشتیبان

ره‌یافت رسیدن به هدف

در ابتدا دقت مدل‌های دینامیکی برای پیش‌بینی نمایه استاندارد شده بارش–تبخیر تعرق با روش‌های آماری بررسی و بهترین مدل‌ها برای ایران مشخص خواهد شد. با کاربرد روش‌های آماری از جمله یادگیری ماشین، مدل‌های مختلف به منظور کاهش خطای پیش‌بینی با هم ترکیب خواهند شد. از زبان برنامه‌نویسی Python برای انجام پس پرداش استفاده خواهد شد.

دانشگاه شیراز
دانشکده کشاورزی
بخش مهندسی آب

طرح پیشنهادی رساله دکتری

پیش‌بینی‌های ماهانه و فصلی SPEI بر پایه رهیافت‌های ترکیبی دینامیکی-آماری در ایران

به کوشش
زهرا اسلامی

استاد راهنما
دکتر امین شیروانی

۱۴۰۱

دانشگاه شیراز
دانشکده کشاورزی
بخش مهندسی آب

طرح پیشنهادی رساله دکتری

عنوان پژوهش

پیش‌بینی‌های ماهانه و فصلی SPEI بر پایه رهیافت‌های ترکیبی دینامیکی-آماری در ایران

Monthly and Seasonal Forecasts of SPEI Based on Hybrid Statistical-Dynamical Approaches in Iran

مشخصات دانشجو

نام و نام‌خانوادگی: زهرا اسلامی
شماره دانشجویی: ۹۷۳۴۴۸۸
رشته: علوم و مهندسی آب
گرایش: آبیاری و زهکشی
سال ورود: ۱۳۹۷
نیم‌سال ورود: دوم

مشخصات استادان راهنما و مشاور

مسئولیت	نام و نام‌خانوادگی	زمینه مشارکت	مرتبه علمی	محل اشتغال
استاد راهنما	امین شیروانی		دانشیار	دانشگاه شیراز
استاد مشاور	داور خلیلی		استاد	دانشگاه شیراز
استاد مشاور	شاهرخ زندپارسا		استاد	دانشگاه شیراز

سال تحصیلی: ۱۴۰۲-۱۴۰۱ **تعداد واحد رساله:** ۱۸

مقدمه

با توجه به تغییرات اقلیمی و اثرات آن، بلایای طبیعی مانند سیل، خشکسالی و طوفان‌ها در حال افزایش هستند. پیش‌بینی‌های فصلی و ماهانه پارامترهای مرتبط با این حوادث به منظور کاهش خسارات ناشی از این بلایای طبیعی، گامی مؤثر در مدیریت و برنامه‌ریزی درست و به موقع است.

بارش نقش کلیدی در چرخه هیدرولوژی دارد. یافتن تغییرات زمانی بارش در بسیاری از مطالعات با محوریت کشاورزی، محیط‌زیست و مدیریت منابع آب؛ بسیار ضروری است (Shirvani, 2017). بسیاری از مشکلات انسان‌ها برای دسترسی به آب را می‌توان با استفاده از متغیرهای اقلیمی نظیر بارش، رواناب و رطوبت خاک توصیف نمود (Dracup *et al.*, 1980). برای مثال خشکسالی هواشناسی اغلب به عنوان کمبود بارش تعریف می‌شود و خشکسالی کشاورزی، کمبود رطوبت خاک را بیان می‌کند و همچنین خشکسالی هیدرولوژی به کاهش آب‌های سطحی و زیرسطحی به میزان پایین‌تر از متوسط اطلاق می‌شود (Wilhit, 2000).

نمایه‌های پایش خشکسالی تغییرات قابل توجهی را در توانایی خود در تشخیص شروع و پایان خشکسالی نشان می‌دهند (Keyantash & Dracup, 2002; Quiring, 2009). به طور کلی اندازه‌گیری‌های بارش در تشخیص آغاز خشکسالی سریع‌تر از دیگر پارامترها نظیر رطوبت خاک و رواناب عمل می‌کند (Hao & AghaKouchak, 2013)، زیرا این متغیرها پاسخی با تأخیر زمانی به کمبود بارش دارند (Mo, 2011). پیش‌بینی‌های فصلی در مقیاس منطقه‌ای یا محلی می‌تواند به هدایت عملیات کشاورزی و مدیریت منابع آب شهری کمک کند. پیش‌بینی‌های دقیق بارش برای چند ماه آینده می‌تواند به کشاورزان در انتخاب تنوع محصول، زمان کشت و دفعات آبیاری کمک کند. این امر مستلزم آن است که سیستم‌های پیش‌بینی فصلی بایستی دقیق، قابل اعتماد و قابل اجرا باشند. اگرچه عملکرد پیش‌بینی‌های بارش فصلی کنونی به دلیل شرایط اولیه نامعین و ناقص بودن مدل‌ها، رضایت بخش نیست (Ahmadalipour *et al.*, 2018).

امروزه کشورهای زیادی تأثیر منفی گرمایش جهانی و تغییر اقلیم را تجربه می‌کنند (Bachmair *et al.*, 2016). بنابراین با توجه به شرایط اقلیمی، به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک، مطالعه وضعیت خشکسالی می‌تواند نقش مهمی در ارائه پیش‌بینی‌ها برای رسیدن به ثبات سیستم‌ها ایفا کند (Sharafi *et al.*, 2016). یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های برنامه‌ریزی خشکسالی تأمین اطلاعات آب و هوایی به موقع و قابل اعتماد است از جمله پیش‌بینی‌های فصلی که به تصمیم‌گیرندگان مدیریتی در تمامی سطوح کمک می‌کند. این اطلاعات اگر به درستی استفاده شوند؛ در درک صحیح تأثیر خشکسالی بر مؤلفه‌های چرخه هیدرولوژی مؤثر است. در هر صورت، با افزایش دما و در نتیجه افزایش تبخیر تعرق و کاهش بارش و تغییرات شدید آب و هوایی، فشار بیشتری به منابع آب و صنعت کشاورزی وارد می‌شود (Byakatonda *et al.*, 2018)؛ در نتیجه تصمیم‌گیرندگان باید اطلاعات دقیقی درباره مقادیر تبخیر تعرق و خطرات احتمالی خشکسالی داشته باشند.

تبخیر تعرق نقش اساسی در شکل دادن به اقلیم، تغییرپذیری، روندها و ارتباط میان زمین و هوا ایفا می‌کند (Miralles *et al.*, 2019). مرحله اول انتخاب پارامترهای اقلیمی مؤثر بر ارزیابی دقیق تبخیر تعرق مرجع و اثر آن بر سنجش درست نمایه‌های خشکسالی است. تبخیر تعرق به طور عمده توسط تغییرات بارش و تابش خورشیدی در مقیاس‌های مکانی و زمانی مختلف، کنترل شده و شرایط سطح زمین مانند رطوبت خاک و پوشش گیاهی آن را محدود می‌کند (Martens *et al.*, 2018). در میان نمایه‌های مختلف خشکسالی، بیشترین مطالعه بر روی نمایه بارش استاندارد شده SPI[1] در سطح جهان انجام شده است. تأثیر دیگر متغیرهای هواشناسی نظیر دمای حداکثر، دمای حداقل و تبخیر تعرق مرجع در این نمایه مورد توجه قرار نمی‌گیرد و نمایه بارش تبخیر تعرق استاندارد شده (SPEI[2]) پیشنهاد شده است که علاوه بر بارش، تأثیر تبخیر تعرق نیز لحاظ می‌شود. بنابراین استفاده از نمایه‌های مختلف خشکسالی جهت شناسایی مناطق اقلیمی با رفتارهای خشکسالی مشابه ضروری است. پیش‌بینی آب و هوای فصلی به متخصصان برای تنظیم پیش‌بینی فصلی در کاربردهایی همچون پیش‌بینی جریان‌های آبراهه‌ها و رودخانه‌ها به منظور مدیریت منابع آبی، توسعه سیستم‌های هشدار خشکسالی در طرح‌های برق آبی، مدیریت ریسک کشاورزی و چرخه آب، غذا و انرژی کمک می‌کند (Sahu *et al.*, 2017). مدل‌های دینامیکی یک سیستم پیش‌بینی ماهانه و فصلی است که پیش‌بینی پارامترهای بارش و دما را در مقیاس جهانی ارائه می‌دهند (Xu *et al.*, 2019). هر مدل دینامیکی با اجراهای مختلف پیش‌بینی‌های متفاوتی از پارامترها ارائه می‌دهد. این پیش‌بینی‌ها با هم ترکیب و پیش‌بینی واحدی برای هر مدل و همچنین ترکیب مدل‌های مختلف تحت عنوان مدل همادی North American multi-model ensemble (NMME) ارائه می‌شود. مدل‌های NMME با میانگین‌گیری عضوهای بزرگ، پیش‌بینی‌های بهتری نسبت به یک مدل اقلیمی واحد نشان داده است. اعتبارسنجی اولیه مهارت پیش‌بینی NMME تا حدی اعتماد جهانی را به خود جلب کرد (Slater *et al.*, 2019). قابلیت پیش‌بینی سیگنال‌های اقلیمی در مدل NMME برای عرض‌های جغرافیایی استوایی، بالا و برای عرض‌های جغرافیایی فراتر، کاهش می‌یابد (Jha *et al.*, 2019). با وجود این، مدل‌های NMME کاربردهای بالقوه از دیدگاه پارامتر بارش، رطوبت خاک و پارامترهای آب و هواشناسی نشان داده است اما هنوز فرصت زیادی برای برای بهبود در پیش‌بینی رخدادهای شدید نظیر خشکسالی و سیل را دارد (Wood *et al.*, 2015).

NMME یک پروژه آزمایشی بر مبنای همکاری و هماهنگی چندین مرکز مدل‌سازی از کشورهای آمریکا و کانادا می‌باشد. چندین مدل به هم پیوسته جوی و اقیانوسی در پروژه NMME برای تولید پیش‌بینی‌های ماهانه تا حداکثر ۱۲ ماه پیش رو مشارکت دارند. این پروژه تلاش دارد؛ اطلاعات را برای استفاده همه کاربران در نیازهای منطقه‌ای خاص و نیازهای حمایتی برای تصمیم‌گیری‌ها در زمان‌های فعلی قابل دسترس سازد (Hoell & Barlow, 2018).

[1] The Standard Precipitation Index - SPI
[2] The Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index - SPEI

مدل‌های دینامیکی در مقیاس‌های کوچک محدودیت‌های پیش‌بینی زیادی دارند که بایستی با روش‌های آماری برای مقیاس‌های موردنظر جغرافیایی این خطا را کاهش داد.

در طرح حاضر پیش‌بینی ماهانه و فصلی نمایه استاندارد شده بارش-تبخیر تعرق در کشور که تاکنون با استفاده از مدل‌های دینامیکی انجام نشده است، مورد مطالعه قرار خواهد گرفت. همچنین خطای پیش‌بینی این مدل‌ها با استفاده از روش‌های مختلف یادگیری ماشین کاهش یافته و مقادیر پیش‌بینی با دقت بالاتری ارائه می‌شود.

جنبه‌های نوآوری طرح

- از مدل‌های دینامیکی تاکنون به عنوان مدل‌های فیزیکی برای پیش‌بینی نمایه استاندارد شده بارش-تبخیر تعرق در کشور استفاده نشده است.
- به کارگیری روش‌های مختلف یادگیری ماشین جهت بهبود مهارت مدل‌ها کمتر مورد توجه محققان داخلی بوده است.

هدف‌ها

- ارزیابی مهارت شش مدل دینامیکی به روز شده برای پیش‌بینی‌های ماهانه و فصلی نمایه استاندارد شده بارش–تبخیر تعرق (SPEI) برای ایستگاه‌های همدیدی در کشور ایران
- تصحیح و بهبود مهارت پیش‌بینی مدل‌های دینامیکی با استفاده از رهیافت‌های آماری شامل روش‌های رگرسیون خطی، میانگین‌گیری بیزی، جنگل تصادفی، رگرسیون بردار پشتیبان

پیشینه پژوهش

در یک پژوهش که با هدف پیش‌بینی تبخیر تعرق انجام گرفته است، از روش پنمن فائو برای تخمین تبخیر تعرق در ایستگاه باجگاه و مدل‌های اتورگرسیو-میانگین متحرک تلفیق شده به عنوان مدل‌های تصادفی خطی استفاده گردیده است. در این پژوهش، توان دوم ضریب همبستگی بین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده برای مقیاس زمانی هفتگی و ماهانه بالاتر از ۰/۹ به دست آمد. علاوه بر این، مدل ماهانه نشان داد که مقادیر تبخیر و تعرق در هر ماه به مقادیر ماه قبل وابسته می‌باشد و برای مدل‌سازی مقادیر ماهانه تبخیر و تعرق می‌توان از مقادیر ماه قبل استفاده کرد. همچنین از این مدل می‌توان برای جای‌گذاری داده‌های گم شده در دوره مورد مطالعه نیز استفاده کرد (شیروانی و هنر، ۱۳۹۰).

در این راستا، برای هفت ایستگاه همدیدی در استان کردستان، نمایه SPI و SPEI با تخمین تبخیر تعرق از معادله تورنت وایت محاسبه گردیده و در مقیاس‌های سه ماهه با استفاده از برنامه‌نویسی R مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج این مطالعه، روشن ساخت که ضمن وجود تفاوت در الگوی وقوع دوره‌های ترسالی و خشکسالی دو نمایه، نمایه SPEI دوره‌های طولانی‌تر خشکی را در اکثر ایستگاه‌ها مشخص کرده است. با توجه به تأثیر دما در محاسبه SPEI تفاوت

قابل توجه بین مقادیر نمایه استاندارد مبتنی بر بارش و نمایه تبخیر و تعرق مبتنی بر دما، زمینه کارایی و صحت نمایه پیش گفته را فراهم می‌کند. البته این نمایه به متغیرهای اقلیمی بیشتری در محاسبات نیاز دارد و به روش محاسبه تبخیر تعرق مرجع حساسیت دارد (مصطفی‌زاده و ذبیحی، ۱۳۹۵). از بین نمایه‌های رایج خشکسالی مانند SPI، SPEI و RDI[1] نمایه SPEI برای ارزیابی ویژگی‌های خشکسالی توصیه شده است (Zarei *et al.*, 2021).

دهبان و همکاران (۱۳۹۸) پژوهشی با هدف ارزیابی دقت مدل‌های NMME در پیش‌بینی بارش ماهانه حوضه آبریز سفیدرود انجام دادند. برای این منظور، داده‌های پیش‌بینی تاریخی مدل‌های NMME از تارنمای دانشگاه کلمبیا و داده‌های بارش ایستگاه‌های همدیدی موجود در منطقه از سازمان هواشناسی کشور برای دوره (۲۰۱۷-۱۹۸۲) دریافت کردند که نتایج نشان داد، مدل‌های NMME به تنهایی دارای دقت مناسبی نمی‌باشد، به گونه‌ای که حداکثر مقدار میانگین ضریب تبیین محاسبه شده ۰/۶ به دست آمد. ترکیب نتایج چند مدل پیش‌بینی نشان داد که دقت پیش‌بینی‌ها را می‌توان تا حد قابل قبولی افزایش داد، به طوری که میانگین مقادیر ضریب تبیین به ۰/۷ افزایش یافت. همچنین برای بررسی عدم قطعیت پیش‌بینی بارش، ۷۸ عضو از مدل‌های پیش‌بینی مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج، مدل‌ها در برخی از ماه‌های سال بیش‌برآورد (با احتمال نزدیک به ۸۰ درصد)، دارند. همچنین تحلیل عدم قطعیت مدل‌های پیش‌بینی نیز نشان داد که با ترکیب نتایج مدل‌های مختلف، می‌توان بازه عدم قطعیت را کاهش داد.

تجزیه و تحلیل و مقایسه دو رهیافت متداول (تجربی و ترکیبی آماری و دینامیکی) در پیش‌بینی آب و هوای فصلی در مناطق مستعد خشکسالی جنوب غربی آسیا از جمله ایران انجام شده است که هفت مدل دینامیکی پیشرفته از مدل (NMME) تحلیل و تک مدل‌هایی با بهترین شاخص برازش برای توسعه هفت مدل ترکیبی آماری و دینامیکی MME وزن‌دهی شده است. نتایج تجزیه و تحلیل نشان می‌دهد که رویکرد ترکیبی، عملکرد را در مقایسه با پیش‌بینی‌های مدل‌های عمومی جو GCM[2] و مدل تجربی بهبود می‌بخشد و وابسته به فصل است. همچنین، مهارت پیش‌بینی در پاییز بالاتر از زمستان بوده و حتی عملکرد تک مدل‌های MME نسبت به مدل‌های تجربی بهتر بوده است (Najafi *et al.*, 2021).

با بررسی روش‌های مختلف محاسبات تبخیر تعرق برای نمایه SPEI در بعضی نقاط جهان، نتایجی کسب شده است که نشان می‌دهد تفاوت معنی‌داری بین نمایه‌های SPEI وجود دارد. این اختلاف معنی‌دار در نواحی خشک و نیمه‌خشک بیشتر از مناطق مرطوب است (Beguería *et al.*, 2014). بررسی پنج روش تبخیر تعرق و توزیع آماری مقادیر حدی تعمیم‌یافته برای اروپا نشان داد که نمایه SPEI با روش‌های تبخیر تعرق که بر اساس انرژی تابشی یا دمایی استوار باشند، سازگاری بیشتری دارد (Stagge *et al.*, 2015). مقایسه نمایه‌های خشکسالی با استفاده از داده‌های مدل COSMO در دو حوزه آبخیز اسلواکی نشان داد که همبستگی کمی بین نمایه

[1] Reconnaissance Drought Index
[2] General Circulation Models

SPI و SPEI در جنوب اسلواکی در مقیاس زمانی سه ماهه وجود دارد و همچنین نقش مهم تبخیر تعرق بر خشکسالی در منطقه مورد بررسی در فصل تابستان مشخص گردید (Labudova *et al.*, 2014). تحلیل و بررسی شرایط خشکسالی حال حاضر و آینده در اردن نشانگر آن است که نمایه خشکسالی SPEI شش ماهه بالاترین ارتباط را با رطوبت خاک برآوردی دارد و بهترین نمایه برای تبیین تغییرات نمایه پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده (NDVI) ماهانه است (Törnros *et al.*, 2014). بررسی برازش توابع توزیع سه پارامتری به اختلاف بارش از تبخیر تعرق (روش پنمن مانتیث) برای نمایه SPEI مشخص کرد که توزیع مقادیر حدی تعمیم یافته به جز مقیاس یک ماهه، بهتر از سایر توزیع‌های آماری بوده است (Stagge *et al.*, 2015).

امکان استفاده از سیستم پیش‌بینی آب و هوا (CFSv2) برای پیش‌بینی فصلی تبخیر تعرق در ایالات آلاباما، جورجیا و فلوریدا بررسی گردیده است و تمام پیش‌بینی‌ها با استفاده از معادله پنمن مانتیث انجام شده است. تبخیر تعرق محاسبه شده در مقیاس کوچک که با استفاده از کوچک کردن مقیاس تک تک پارامترها صورت گرفته بود، نسبت به مقیاس اصلی مدل مهارت مشابهی را در پیش‌بینی نشان داد. ضرایب حساسیت نشان داد که دمای حداکثر و تابش خورشیدی، بیشترین تأثیر بر تبخیر تعرق را داشتند و همچنین دمای حداکثر در هنگام کاهش مقیاس بیشترین قابلیت پیش‌بینی را از خود نشان داد. این مدل در فصول سرد قابلیت پیش‌بینی بالاتری نسبت به فصول گرم داشت. مدل CFSv2 پیش‌بینی‌های بهتری برای تبخیر تعرق مرجع در فصول سرد هنگام رخداد فاز El Niño یا La Niña دارد (Tian *et al.*, 2014).

مهارت پیش‌بینی فصلی بارش در ایران با استفاده از مدل NMME و دو مدل دیگر جوی اقیانوسی بررسی گردید و در یک دوره ۱۵ ساله (۲۰۰۹-۱۹۹۵) و اعتبارسنجی پیش‌بینی‌های نهایت سه ماهه صورت گرفت. نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که پیش‌بینی‌ها هنگام کاهش مقیاس از همه مدل‌های NMME بالاترین مهارت پیش‌بینی را تولید می‌کند (Shirvani & Landman, 2016). مهارت پیش‌بینی بالقوه و واقعی دمای هوا در طول فصل تابستان در جنوب آسیا با شش سیستم پیش‌بینی مجموعه‌ای از پروژه گروه چند عضوی مدل آمریکای شمالی (NMME) در دوره مشترک (۲۰۱۶-۱۹۸۲) و دو زمان متفاوت شروع پیش‌بینی (آوریل و می) بررسی شد. همه مدل‌ها به طور کلی الگوی اقلیمی مشاهده شده و تنوع را نشان می‌دهند. با این حال، خطاهای قابل توجهی در شبیه‌سازی میانگین دمای هوا وجود دارد که به طور عمده بر روی مناطق پیچیده توپوگرافی بوده است. یک همبستگی مثبت و معنی‌دار آماری (۰/۳۹) بین نمایه دمای هوا و ناهنجاری‌های دمای سطح دریا (SST) در ال‌نینو جنوبی وجود دارد که نشان می‌دهد ENSO[1] دمای هوای تابستان را تعدیل می‌کند. در جنوب آسیا، نتایج پیش‌بینی، مهارت واقعی و بالقوه بالایی را در هر دو زمان شروع پیش‌بینی نشان می‌دهد که این مهارت با افزایش فاصله از نقطه شروع کاهش می‌یابد. همچنین مدل‌های پیش‌بینی فعلی دارای قابلیت پیش‌بینی بالقوه بسیار بالایی برای دمای هوای مناطق جنوب آسیا هستند (Ehsan *et al.*, 2020).

[1] El Niño-Southern Oscillation

مدل‌های NMME برای مدل‌سازی و پیش‌بینی بارش در مناطقی از هند که بارش‌های موسمی تابستانی رخ می‌دهد در دوره آماری (۲۰۰۹-۱۹۸۲) با پنج روش یادگیری ماشین برای بهبود مهارت مدل NMME در حالت ساده به طور مجزا با مقادیر مشاهداتی مقایسه شدند و مقدار RMSE تا ۱۵ میلی‌متر در روز نیز وجود داشت. اما پس از استفاده از یادگیری ماشین، خطا تا ۲ میلی‌متر بر روز کاهش یافت. از بین روش‌های یادگیری ماشین روش جنگل تصادفی (RF) و روش Grad سطح بالاتری را نسبت به سایر روش‌ها نشان دادند (Shrivatava *et al.*, 2021).

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

در این پژوهش منطقه مورد مطالعه پهنه کشور ایران خواهد بود. مساحت ایران بالغ بر ۱۶۴۸۰۰۰ کیلومترمربع است. میانگین ارتفاع این کشور حدود ۱۲۰۰ متر بالاتر از سطح دریا است. کشور ایران شانزدهمین کشور بزرگ جهان است. ایران در نیمکره شمالی و در قسمت غربی فلات ایران واقع شده و جزء کشورهای خاورمیانه است. نصف‌النهار ´۵ °۴۴ شرقی از غربی‌ترین نقطه ایران و نصف‌النهار ´۱۸ °۶۳ شرقی از شرقی‌ترین نقطه ایران عبور می‌کند. همچنین مدار ´۳ °۲۵ شمالی از جنوبی‌ترین نقطه ایران و مدار ´۴۷ °۳۹ شمالی از شمالی‌ترین نقطه این کشور می‌گذرد.

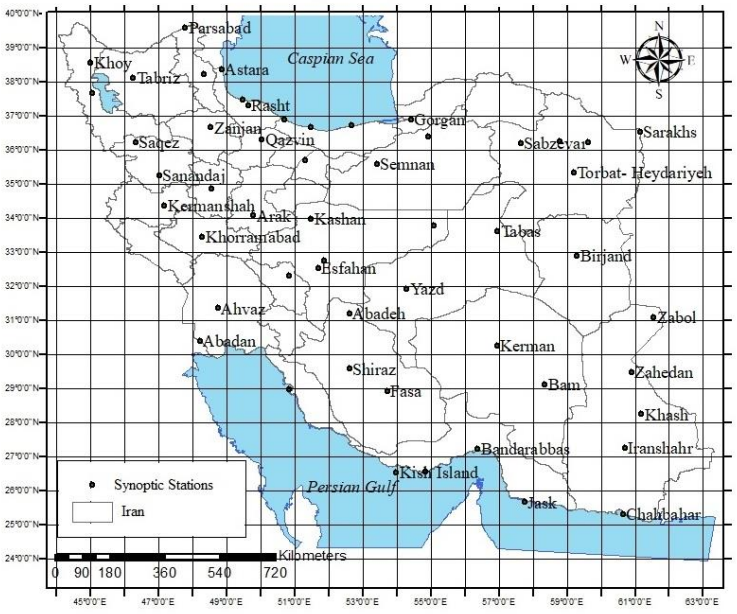
داده‌های مورد استفاده

داده‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل داده‌های مشاهداتی و مدل به شرح زیر می‌باشند. داده‌های ماهانه پارامترهای بارش، میانگین دمای حداقل، میانگین دمای متوسط و میانگین دمای حداکثر برای ۵۰ ایستگاه همدیدی در کشور ایران برای دوره زمانی (۲۰۲۱-۱۹۹۱) به عنوان داده‌های مشاهداتی مورد استفاده قرار خواهند گرفت. این داده‌ها از پایگاه سازمان هواشناسی کشور https://data.irimo.ir/ استخراج می‌شوند. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های همدیدی مورد مطالعه در شکل ۱ آورده شده است.

داده‌های ماهانه پارامترهای بارش، میانگین دمای حداقل، میانگین دمای متوسط و میانگین دمای حداکثر برای گره‌های مورد مطالعه با دقت یک درجه در یک درجه در محدوده کشور ایران برای دوره زمانی (۲۰۲۱-۱۹۹۱) برای شش مدل دینامیکی به روز شده از پایگاه http://iridl.ldeo.columbia.edu/ استخراج خواهد شد. مدل‌های موردنظر عبارتند از: NCEP-CFSv2، GFDL-SPEAR، GEM-NEMO، COLA-RSMAS، GEOSS2S و CanCM4i که مشخصات کامل آن‌ها در جدول ۱ آورده شده است. تأخیرهای زمانی پیش‌بینی در مدل‌ها، ۱/۵، ۲/۵ و ۳/۵ ماهانه است. موقعیت جغرافیایی گره‌های مورد مطالعه در شکل ۱ آورده شده است.

جدول ۱- مشخصات شش مدل NMME مورد مطالعه

نام	مدل	علامت اختصاری	عضوهای مجموعه	دوره آماری	دقت پردازش اتمسفری	دقت پردازش اقیانوسی	فاصله پیش‌بینی (ماهانه)
NCEP Climate Forecast System, version 2	NCEP-CFSv2	CFSv2	28	Hindcast=1982-2010 Forecast=2011-Present	GFS T126L64	MOM4L40 0.25° Eq.	0.5-9.5
Goddard Earth Observing System (GEOS) Sub-seasonal to Seasonal prediction (S2S) system	NASA-GEOSS2S	NASA	Hindcast=4, Forecast=10	Hindcast=1981-2017 Forecast=2017-Present	GEOS5 AGCM L720.5°	MOM5L40 Eq.0.5°	0.5-8.5
COLA-RSMAS-CCSM4	Cola-CCSM4	COLA	10	1982-present	CAM4 L260.9×1.25°	POPL60 0.25° Eq.	0.5-11.5
Geophysical Fluid Dynamics Laboratory - (Seamless System for Prediction and Earth System Research	GFDL-SPEAR	GFDL-SPEAR	Hindcast=15, Forecast=30	Hindcast=1991-2020 Forecast=2020-present	AM4.0 L330.5°	MOM6L75 Eq.0.3°	0.5-11.5
Canadian Meteorological Centre-CanCM4i	CanCM4i	CanCM4i	10	Hindcast=1981-2018 Forecast=2016-present	CanAM4 T63L31	CanOM4 L40 . 94° Eq.	0.5-11.5
ECCC-GEM-NEMO	GEM-NEMO	GEM-NEMO	10	Hindcast=1981-2019 Forecast=2019-present	GEM 256 × 128	NEMO 1 × 1 Eq1/3	0.5-11.5



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های همدیدی و گره‌های مورد مطالعه

مراحل پردازش داده‌ها

پس از استخراج داده‌های مشاهداتی و داده‌های مدل و مرتب‌سازی داده‌ها، اقدام به تکمیل آن‌ها در صورت وجود داده‌های گم شده کرده و سپس به منظور مقایسه داده‌های مدل‌ها و مشاهدات اقدام به جور کردن موقعیت جغرافیایی گره‌ها و ایستگاه‌ها خواهد شد. برای جور کردن موقعیت مکانی ایستگاه‌های همدیدی و شبکه داده‌های مدل‌ها، بایستی میان‌یابی بین تک تک پارامترها و گره‌های مدل‌ها شامل مجموع بارش ماهانه، متوسط دمای حداکثر و متوسط دمای حداقل و متوسط دمای میانگین در ماه‌های مورد مطالعه انجام گیرد تا موقعیت جغرافیایی متناظر ایستگاه‌های همدیدی از بین نقشه‌های میان‌یابی جدا گردد. بدین منظور از نرم‌افزار R استفاده خواهد شد و کد برنامه‌نویسی متناسب جهت میان‌یابی داده‌ها با روش IDW[1] نوشته خواهد شد.

ارزیابی اولیه

برای ارزیابی و تعیین مهارت هریک از مدل‌های پیش‌بینی دینامیکی برای پارامترهای مجموع بارش ماهانه، متوسط دمای حداکثر و متوسط دمای حداقل و متوسط دمای میانگین از روش‌های آماری مانند خطای ریشه میانگین مربعات[2]، اختلاف میانگین[3]، ضریب همبستگی[4]، نمودار تیلور[5] استفاده خواهد شد.

نمایه خشکسالی

در ادامه پژوهش با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های همدیدی و داده‌های میان‌یابی شده مدل، اقدام به محاسبه نمایه خشکسالی بارش–تبخیر تعرق استاندارد شده خواهد شد.

نمایه SPEI

در این نمایه علاوه بر بارش، تبخیر تعرق نیز لحاظ می‌شود. این نمایه نخستین بار در سال ۲۰۱۰ بر پایه اختلاف بارش و تبخیر تعرق برای دوره ماهانه ارائه شد که با توجه به داده‌های موجود در مدل‌های دینامیکی روش تخمین تبخیر تعرق انتخاب شده، روش هارگریوز–سامانی[6] است که به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$ETo=0.0023\times(Tmean+17.8)\times(Tmax-Tmin)\ 0.5\ \times Ra$$

که در آن، ET_o برابر تبخیر تعرق مرجع بر حسب میلی‌متر بر ماه؛ Tmax برابر میانگین حداکثر دمای ماهانه بر حسب درجه سانتی‌گراد، Tmin برابر میانگین حداقل دمای ماهانه بر حسب درجه سانتی‌گراد، Tmean متوسط دمای میانگین ماهانه بر حسب درجه سانتی‌گراد و Ra میزان

[1] Inverse Distance Weighted
[2] Root Mean Square Error - RMSE
[3] Mean Difference -MD
[4] Correlation coefficient
[5] Taylor Diagram
[6] Hargreaves-Samani

تشعشع خورشیدی ورودی در بالای اتمسفر بر حسب میلی‌متر بر ماه است. این روش برای داده‌های مشاهداتی نیز جهت تخمین تبخیر تعرق مرجع به کار گرفته می‌شود. پس از محاسبه تبخیر تعرق مرجع، مقدارآن از بارش ماهانه به صورت زیر کسر می‌شود.

$$Di=Pi - PETi$$

این مقدار به نمایه استاندارد شده تبدیل می‌شود که به این منظور با توجه به مقادیر منفی احتمالی، می‌توان از توزیع سه پارامتری لوگ لجستیک استفاده نمود. پس از استاندارد شدن پارامتر D می‌توان نمایه SPEI را در مقیاس‌های ماهانه و فصلی تعیین نمود.

ارزیابی اولیه نمایه‌های خشکسالی

برای ارزیابی و تعیین مهارت هریک از مدل‌های پیش‌بینی دینامیکی از پارامترهای آماری خطای ریشه میانگین مربعات[1]، اختلاف میانگین[2]، ضریب همبستگی[3]، نمودار تیلور[4] برای نمایه‌های خشکسالی به صورت فصلی و ماهانه استفاده خواهد شد.

بهبود مهارت پیش‌بینی مدل‌ها

یکی از ساده‌ترین روش‌ها برای افزایش مهارت پیش‌بینی مدل‌ها، محاسبه میانگین حسابی مدل‌های موردنظر و مقایسه نتایج با مقادیر مشاهداتی است که طبق پژوهش‌های پیشین مهارت پیش‌بینی در این حالت بیش از تک مدل‌ها خواهد بود. همچنین روش رگرسیون خطی چندگانه (Multiple Linear Regression) برای ترکیب مدل‌ها بکار برده می‌شود که در ادامه شرح داده می‌شود.

رگرسیون خطی چندگانه

یکی از روش‌های مرسوم در تحلیل چند متغیره، رگرسیون خطی چندگانه است. بر اساس تحلیل رگرسیونی، یک رابطه خطی بین متغیر پاسخ (Response Variable) با یک یا چند متغیر توصیفی (Explanatory Variable) برقرار می‌شود. در رگرسیون خطی چندگانه، پارامترهای یک مدل خطی به کمک یک تابع هدف و مقدارهای متغیرها، برآورد می‌شوند. در رگرسیون خطی ساده، رابطه بین متغیر مستقل و وابسته به صورت معادله یک خط بیان می‌شود. در این پژوهش از این روش برای ترکیب مدل‌های دینامیکی استفاده می‌شود.

به منظور ارتقا سطح پیش‌بینی اقدام به تصحیح هریک از مدل‌ها به طور جداگانه و همچنین ترکیب چند مدل با حالت‌ها و روش‌های مختلف به جهت کاهش خطای مدل نسبت به مقادیر

[1] Root Mean Square Error - RMSE
[2] Mean Difference -MD
[3] Correlation coefficient
[4] Taylor Diagram

مشاهداتی در ابعاد زمانی و مکانی با استفاده از یادگیری ماشین[1] خواهد شد که این امر با استفاده از زبان برنامه‌نویسی پایتون[2] انجام می‌شود.

تکنیک‌ها و روش‌های مختلفی برای یادگیری ماشین در سطوح مختلف وجود دارد. روش‌هایی که در این پایان‌نامه به کار گرفته می‌شود در قسمت بعدی توضیح داده شده است.

رگرسیون بردار پشتیبان

رگرسیون بردار پشتیبان یا Support Vector Regression (SVR) از جمله ابزار مناسب برای تخمین متغیرهای غیرخطی نظیر تبخیر تعرق می‌باشد. SVR یکی از روش‌های یادگیری تحت نظارت است که برای رگرسیون قابل استفاده است. این روش توسط (Vapnik,1998) بر پایه تئوری یادگیری آماری بنا نهاده شده است. SVR روشی برای طبقه‌بندی دوتائی با ویژگی‌های دلخواه است و از این رو به منظور حل مسائل پیش‌بینی به کار می‌رود (Pai & Hong, 2007).

در یک مدل رگرسیونی SVR لازم است، وابستگی تابعی متغیر وابسته y به مجموعه‌ای از متغیرهای مستقل x تخمین زده شود. فرض بر این است که مانند دیگر مسائل رگرسیونی، رابطه بین متغیرهای وابسته و مستقل توسط یک تابع معین f به علاوه یک مقدار اضافی نویز مشخص می‌شود.

$$y=f(x)+Noise$$

بنابراین موضوع اصلی، پیدا کردن فرم تابع f است که بتواند به صورت صحیح، موارد جدیدی را که SVR تاکنون تجربه نکرده است، پیش‌بینی کند. این تابع به وسیله آموزش مدل SVR بر روی یک مجموع داده به عنوان مجموعه آموزش که شامل فرآیندی به منظور بهینه‌سازی دائمی تابع خطا است، قابل دسترسی می‌باشد. ماشین‌های بردار پشتیبان برای حل مسائل غیرخطی، ابعاد مسئله را از طریق توابع کرنل تغییر می‌دهند. انتخاب کرنل برای SVR به حجم داده‌های آموزشی و ابعاد بردار ویژگی بستگی دارد (احمدی و همکاران، ۱۳۹۴).

جنگل تصادفی (Random Forest)

جنگل تصادفی (RF) یک روش طبقه‌بندی و رگرسیون یادگیری گروهی است که برای رسیدگی به مشکلاتی که شامل گروه‌بندی داده‌ها در کلاس‌ها می‌شود، مناسب است. این الگوریتم توسط بریمن و کاتلر توسعه پیدا کرده است (Breiman, 2001). در روش جنگل تصادفی، پیش‌بینی با استفاده از درخت‌های تصمیم به دست می‌آید. در طول مرحله آموزش، تعدادی درخت تصمیم ساخته می‌شوند که سپس برای پیش‌بینی کلاس استفاده می‌شوند. این با در نظر گرفتن طبقات رأی داده شده از همه درختان به دست می‌آید و کلاسی که بالاترین رأی را دارد به عنوان خروجی در نظر گرفته می‌شود. رگرسیون جنگل تصادفی یک روش یادگیری ماشینی قدرتمند مبتنی بر درخت برای بهبود دقت رگرسیون است. روش بوت استرپ برای ترسیم چند متغیر

[1] Machine Learning
[2] Python

تصادفی انتخاب شده (در اینجا مدل‌ها به عنوان متغیر در نظر گرفته می‌شوند) و نمونه‌های انتخابی تصادفی با جایگزینی از مجموعه آموزشی در مجموعه‌ای از درختان استفاده می‌شود (Shrivastava *et al.*, 2021).

میانگین‌گیری مدل بیزی (Bayesian Model Averaging)

مدل BMA به عنوان یک مدل مجموعه مؤثر در تصحیح پراکندگی مجموعه‌های پیش‌بینی کاربرد عمومی دارد. میانگین‌گیری مدل بیزی (BMA) کاربرد استنباط بیزی برای مسائل انتخاب مدل، تخمین ترکیبی و پیش‌بینی است که معیارهای انتخاب مدل ساده و پیش‌بینی‌های کم خطر را تولید می‌کند (Fragoso *et al.*, 2018). جذابیت BMA در این است می‌توان به سرعت مدل‌ها یا مجموعه‌های خاص‌تری از متغیرهای توضیحی را که دارای احتمالات بالا هستند، تعیین کرد. با Cross Validation مجموعه بزرگی از مدل‌ها، می توان آن متغیرهایی را تعیین کرد که مربوط به فرآیند تولید داده برای مجموعه معینی از داده‌های پیشین مورد استفاده در تجزیه و تحلیل هستند (Amini & Parmeter, 2011).

در نهایت با به کارگیری هریک از روش‌های ذکر شده و برنامه‌نویسی با زبان Python به بهترین ترکیب مدل‌های پیش‌بینی دینامیکی به صورت زمانی و مکانی رسیده و با استفاده از پارامترهای آماری که در ارزیابی اولیه اشاره شد، دقت و مهارت آن‌ها بررسی خواهد شد.

منابع

شیروانی، ا.، و هنر، ت. (۱۳۹۰). کاربرد مدل‌های سری‌های زمانی برای پیش‌بینی تبخیر-تعرق در ایستگاه باجگاه. *مجله پژوهش آب ایران*، ۵(۸)، ۱۳۵-۱۴۲.

احمدی، ف.، رادمنش، ف.، میرعباسی نجف‌آبادی، ر.، آیشم، س. (۱۳۹۴). پیش‌بینی تبخیر و تعرق ماهانه گیاه مرجع در شمال‌غرب کشور با استفاده از برنامه‌ریزی ژنتیک و ماشین بردار پشتیبان. *نشریه آبیاری و زهکشی ایران*، ۹ (۱)، ۵۴-۶۵.

دهبان، ح.، ابراهیمی، ک.، عراقی‌نژاد، ش.، و بذرافشان، ج. (۱۳۹۸). ارزیابی دقت مدل‌های NMME در پیش‌بینی بارش ماهانه (مطالعه موردی: حوضه سفیدرود). *هواشناسی کشاورزی*، ۷ (۱)، ۳-۱۲.

مصطفی‌زاده، ر.، و ذبیحی، م. تحلیل و مقایسه شاخص‌های SPI و SPEI در ارزیابی خشکسالی هواشناسی با استفاده از نرم‌افزار R (بررسی موردی: استان کردستان). *فیزیک زمین و فضا*، ۴۲ (۳)،۶۳۳-۶۴۳.

Ahmadalipour, A., Moradkhani, H., & Rana, A. (2018). Accounting for downscaling and model uncertainty in fine-resolution seasonal climate projections over the Columbia River Basin. *Climate Dynamics*, *50*(1), 717-733.

Amini, S. M., & Parmeter, C. F. (2011). Bayesian model averaging in R. *Journal of Economic and Social Measurement*, *36*(4), 253-287.

Bachmair, S., Stahl, K., Collins, K., Hannaford, J., Acreman, M., Svoboda, M., Knutson, C., Smith, K. H., Wall, N., Fuchs, B., Crossman, N. D., & Overton, I. C. (2016). Drought indicators revisited: the need for a wider consideration of environment and society. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, *3*(4), 516-536.

Beguería, S., Vicente-Serrano, S. M., Reig, F., & Latorre, B. (2014). Standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) revisited: parameter fitting, evapotranspiration models, tools, datasets and drought monitoring. *International Journal of Climatology*, *34*(10), 3001-3023.

Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, *45*(1), 5-32.

Byakatonda, J., Parida, B. P., Moalafhi, D. B., & Kenabatho, P. K. (2018). Analysis of long term drought severity characteristics and trends across semiarid Botswana using two drought indices. *Atmospheric Research*, *213*, 492-508.

Dracup, J. A., Lee, K. S., & Paulson Jr, E. G. (1980). On the definition of droughts. *Water Resources Research*, *16*(2), 297-302.

Ehsan, M. A. (2020). Potential predictability and skill assessment of boreal summer surface air temperature of South Asia in the North American multimodel ensemble. *Atmospheric Research, 241*. doi: 10.1016/j.atmosres.2020.104974

Fragoso, T. M., Bertoli, W., & Louzada, F. (2018). Bayesian model averaging: A systematic review and conceptual classification. *International Statistical Review*, *86*(1), 1-28.

Hao, Z., & AghaKouchak, A. (2013). Multivariate standardized drought index: a parametric multi-index model. *Advances in Water Resources*, *57*, 12-18.

Hoell, A., Cannon, F., & Barlow, M. (2018). Middle East and Southwest Asia daily precipitation characteristics associated with the madden–Julian oscillation during boreal winter. *Journal of Climate*, *31*(21), 8843-8860.

Jha, B., Kumar, A., & Hu, Z. Z. (2019). An update on the estimate of predictability of seasonal mean atmospheric variability using North American Multi-Model Ensemble. *Climate Dynamics*, *53*(12), 7397-7409.

Keyantash, J., & Dracup, J. A. (2002). The quantification of drought: an evaluation of drought indices. *Bulletin of the American Meteorological Society*, *83*(8), 1167-1180.

Labudova, L., Schefczyk, L., & Heinemann, G. (2014). The comparison of the SPI and the SPEI using COSMO model data in two selected Slovakian river basins. In *General Assembly Conference Abstracts* (p. 4357). European Geosciences Union.

Landman, W. A., & Goddard, L. (2002). Statistical recalibration of GCM forecasts over southern Africa using model output statistics. *Journal of Climate*, *15*(15), 2038-2055.

Martens, B., Waegeman, W., Dorigo, W. A., Verhoest, N. E., & Miralles, D. G. (2018). Terrestrial evaporation response to modes of climate variability. *NPJ Climate and Atmospheric Science*, *1*(1), 1-7.

Miralles, D. G., Gentine, P., Seneviratne, S. I., & Teuling, A. J. (2019). Land–atmospheric feedbacks during droughts and heatwaves: state of the science and current challenges. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1436*(1), 19-35.

Mo, K. C. (2011). Drought onset and recovery over the United States. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, *116*(20). doi: 10.1029/2011JD016168

Najafi, H., Robertson, A. W., Massah Bavani, A. R., Irannejad, P., Wanders, N., & Wood, E. F. (2021). Improved multi-model ensemble forecasts of Iran's precipitation and temperature using a hybrid dynamical-statistical approach

during fall and winter seasons. *International Journal of Climatology*, *41*(12), 5698-5725.

Pai, P. F., & Hong, W. C. (2007). A recurrent support vector regression model in rainfall forecasting. *Hydrological Processes: An International Journal*, *21*(6), 819-827.

Quiring, S. M. (2009). Developing objective operational definitions for monitoring drought. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, *48*(6), 1217-1229.

Sahu, N., Robertson, A. W., Boer, R., Behera, S., DeWitt, D. G., Takara, K., Kumar, M., & Singh, R. B. (2017). Probabilistic seasonal streamflow forecasts of the Citarum River, Indonesia, based on general circulation models. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, *31*(7), 1747-1758.

Sharafi, S., Ramroudi, M., Nasiri, M., Galavi, M., & Kamali, G. A. (2016). Role of early warning systems for sustainable agriculture in Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, *9*(19), 1-17.

Shirvani, A., & Landman, W. A. (2016). Seasonal precipitation forecast skill over Iran. *International Journal of Climatology*, *36*(4), 1887-1900.

Shrivastava, S., Avtar, R., & Bal, P. K. (2021). Improving the North American Multi-Model Ensemble (NMME) precipitation forecasts at seasonal scale over the Himalayan region using machine learning. *International Journal of Big Data Mining for Global Warming*, *3*(02). doi: 10.1142/S263053482150008X

Slater, L. J., Villarini, G., & Bradley, A. A. (2019). Evaluation of the skill of North-American Multi-Model Ensemble (NMME) Global Climate Models in predicting average and extreme precipitation and temperature over the continental USA. *Climate Dynamics*, *53*(12), 7381-7396.

Stagge, J. H., Tallaksen, L. M., Gudmundsson, L., Van Loon, A. F., & Stahl, K. (2015). Candidate distributions for climatological drought indices (SPI and SPEI). *International Journal of Climatology*, *35*(13), 4027-4040.

Tian, D., Martinez, C. J., & Graham, W. D. (2014). Seasonal prediction of regional reference evapotranspiration based on Climate Forecast System version 2. *Journal of Hydrometeorology*, *15*(3), 1166-1188.

Törnros, T., & Menzel, L. (2014). Addressing drought conditions under current and future climates in the Jordan River region. *Hydrology and Earth System Sciences*, *18*(1), 305-318.

Vapnik, V. (1998). The support vector method of function estimation. In J.A.K. Suykens & J. Vandewalle(Eds.), *Nonlinear Modeling*. Springer, Boston, MA. doi:10.1007/978-1-4615-5703-6_3

Wilhite, D. A. (2000). Drought preparedness and response in the context of Sub-Saharan Africa. *Journal of Contingencies and Crisis Management, 8*(2), 81-92.

Wood, E. F., Yuan, X., Roundy, J. K., & Sheffield, J. (2015). Seasonal forecasting of global hydrologic extremes using the north American multi-model ensemble system. In *General Assembly Conference Abstracts* (p. 7511). European Geosciences Union.

Xu, L., Chen, N., Zhang, X., Chen, Z., Hu, C., & Wang, C. (2019). Improving the North American multi-model ensemble (NMME) precipitation forecasts at local areas using wavelet and machine learning. *Climate dynamics*, *53*(1), 601-615.

Zarei, A. R., Shabani, A., & Moghimi, M. M. (2021). Accuracy assessment of the SPEI, RDI and SPI drought indices in regions of Iran with different climate conditions. *Pure and Applied Geophysics*, *178*(4), 1387-1403.

تاریخ و امضای دانشجو و استادان راهنما و مشاور

دانشجو: زهرا اسلامی

استاد راهنما: دکتر امین شیروانی

استاد مشاور: دکتر داور خلیلی

استاد مشاور: دکتر شاهرخ زندپارسا

وزارت علوم تحقیقات و فناوری
پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران
ایرانداک

به نام خدا

گزارش همانندجویی

بر پایه قانون پیشگیری و مقابله با تقلب در تهیه آثار علمی (مصوب ۳۱ مرداد ۱۳۹۶ مجلس شورای اسلامی)
و آیین نامهٔ اجرایی آن (شمارهٔ ۶۶۶۱۲/ت۵۵۶۸۶هـ مصوب ۲۳ مرداد ۱۳۹۸ هیئت وزیران)
و آیین نامه شماره ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۶ آذر ۱۳۹۵ وزارت علوم، تحقیقات، و فناوری

با سلام و احترام

نوشتار بارگذاری شده در سامانه همانندجو (دارای **۶۳۵۳** واژه) در تاریخ **۱۴۰۱/۷/۱۱** با نام:

پیش بینی های ماهانه و فصلی spei بر پایه رهیافت های ترکیبی دینامیکی-آماری در ایران

به درخواست خانم / آقای **زهرا اسلامی**

با شمارهٔ ملی / گذرنامه **۲۲۸۱۳۴۷۷۳۷**

دارای **۱۵** (**پانزده**) **درصد** همانندی با منابع دیگر در پایگاه های ایرانداک است.

برای دیدن همانندی های متن بارگذاری شده با منابع دیگر(اگر داشته باشد) می توانید به نشانی https://tik.irandoc.ac.ir/Assignment/Hamanandjoo بروید و شناسهٔ 6e2d12ba-2b96-472f-acd6-31a6ed73f25c را وارد کنید. فایل تمام متن نوشتار بارگذاری شده و همانندی های آن با منابع دیگر (اگر داشته باشد) نیز در کارپوشه شما در سامانه همانندجو در دسترس است. آن را تایید کنید.

برای دریافت اطلاعات بیشتر با رایانامهٔ info@tik.irandoc.ac.ir، تلفن شمارهٔ ۶۶۹۵۴۸۱۱ (۰۲۱) در روزهای کاری از ساعت ۸ تا ۱۶، و تلفن شمارهٔ ۰۹۹۰۲۷۹۴۴۶۰ در روزهای کاری از ساعت ۱۶ تا ۱۸ و در روزهای پنج شنبه از ساعت ۸ تا ۱۸ تماس بگیرید. ایرانداک خدمت به کاربران را افتخار می داند و از اینکه سامانهٔ همانندجو را به کار می برید، از شما سپاسگزار است.

فرهاد سپیانی

راهبر سامانهٔ همانندجو

irandoc.ac.ir
info@irandoc.ac.ir
تهران . خیابان انقلاب اسلامی . چهارراه فلسطین . شمارهٔ ۱۰۹۰ صندوق پستی ۱۳۷۱-۱۳۱۸۵
تلفن: ۶۶۹۵۱۴۳۰ - ۶۶۴۹۴۹۸۰ دورنگار: ۶۶۴۶۲۲۵۴ تلفن گویا: ۶۶۴۹۴۹۵۴

بررسی شیوه تدوین پروپوزال دکتری

عنوان	دانشجو	کارشناس	توضیحات
صفحه اول بدون شماره صفحه باشد.	✓	✓	چک شد
عنوان فارسی راست چین باشد.	✓	✓	"
عنوان لاتین چپ چین باشد.	✓	✓	"
کلمات در عنوان لاتین، به جز حروف اضافه با حرف بزرگ شروع شده باشد.	✓	✓	"
مرتبه علمی اساتید صحیح باشد.	✓	✓	"
مشخصات دانشجو صحیح باشد.	✓	✓	"
زمینه مشارکت تنها برای اعضای خارج از دانشگاه نوشته شده باشد.	✓	✓	"
در قسمت محل اشتغال، برای تمام اعضا دانشگاه شیراز، فقط نام "دانشگاه شیراز" نوشته شده باشد.	✓	✓	"
سال تحصیلی صحیح باشد.	✓	✓	"
تعداد واحد رساله صحیح باشد.	✓	✓	"
et. al. در متن به صورت ایتالیک نوشته شده باشد.	✓	✓	"
صفحه دوم با شماره ۲ شروع شده باشد.	✓	✓	"
اول هر پاراگراف، به جز پاراگراف اول بعد از عنوان‌ها و زیرعنوان‌ها، باید ۰/۵ سانتیمتر تو رفتگی داشته باشد.	✓	✓	"
بین پاراگراف‌ها نباید فاصله باشد.	✓	✓	"
در کل متن، اندازه فونت لاتین باید ۲ اندازه کوچکتر از اندازه فونت فارسی باشد.	✓	✓	"
جلوی عنوان‌ها مانند مقدمه، هدف‌ها و .... دو نقطه (:) نباید باشد.	✓	✓	"
در قسمت هدف‌ها، هر هدف با "–" شروع شده باشد و از نوشتن عدد یا هر نشانه دیگری در شروع هدف خودداری شده باشد.	✓	✓	"
پانویس در هر صفحه از عدد یک شروع شده باشد.	✓	✓	"
در صورت داشتن عنوان فرعی در پیشینه پژوهش و مواد و روش ها، بین متن و عنوان بعدی یک فاصله وجود دارد.	✓	✓	تذکرات لازم داده شد
منبع نویسی مطابق با فرمت APA باشد.	✓	✓	تذکرات لازم جهت تصحیح داده شد
امضا دانشجو و اعضا کمیته در آخر پروپوزال آورده شده باشد.	✓	✓	"
اعداد صحیح یک تا نه در متن به صورت حرف نوشته شده باشد و اعداد ۰، ۱۰، اعداد بالاتر از ۱۰ و اعداد غیر صحیح (اعشاری) به صورت عدد نوشته شده باشد.	✓	✓	"
پروپوزال به ترتیب ۱- برگ اطلاعاتی رساله دکتری ۲-متن پروپوزال، ۳-گواهی شرکت در کارگاه آشنائی با اصول پژوهش (دانشجویان ورودی ۹۸ به بعد) ۴- گواهی شرکت در کارگاه HSE(دانشجویان ورودی ۴۰۰ به بعد) ۵- نامه همانندجو ۶- مجوز عضویت خارج از دانشگاه در صورت وجود ۷- فرم عضویت خارج از دانشگاه در صورت وجود ۸– فرم بررسی شیوه تدوین پروپوزال، تنظیم شده باشد.	✓	✓	چک گردید

* به دانشجو در ابتدا نحوه دسترسی به شیوه نگارش پروپوزال کاملا توضیح داده شد و ایرادات پروپوزال بصورت کتبی و مشخص توضیح داده شد (نسخه کتبی موجود است)
پس از برطرف شدن ایرادات گفته شده پروپوزال فرست داده شد است

دکتری

۱۴۰۱/۷/۳۰