

سخن نخست

تهیه نقشه‌ها به عنوان بخشی از اسناد شناخت بشر از محیط زیست و پتانسیل‌های آن در تاریخ علم سابقه‌ای طولانی دارد و اولین مستند موجود در دسترس آن سیمای جهان قدیم منسوب به بطلمیوس است که در سال‌های ۱۵۰ میلادی تهیه شده و بدیهی است که آخرین بر آن متصور نیست چه انبوهی از اطلس‌ها و نقشه‌ها با موضوعاتی متنوع با استناد به داده‌های فراوان موجود و تکنیک‌های پیشرفته تجزیه، تحلیل و ترسیم هر روز در حال زایش و باززایش‌اند.

اطلس‌ها طیف وسیعی از شاخص‌ها و وضعیت‌ها را دربر می‌گیرند ولی آنچه در این سخن کوتاه مورد نظر نگارنده است نقشه‌هایی است که دانستنی‌ها و پارامترهای لازم و پایه در زمینه هواشناسی کشاورزی کشور یعنی آب، خاک، هوا و گیاه را در اختیار می‌گذارند و همه را تحت عنوان "ترسیم پتانسیل اقلیم کشاورزی ایران" می‌توان خلاصه کرد و هدف این سخن نیز ارزیابی وضع موجود و واگویی سیر کوشش‌های آینده سازمان‌های ذیربط و پژوهشگران این عرصه است.

تشکیل پژوهشگاه‌های علم و فناوری اطلاعات و گسترش پایگاه‌های بایگانی مقالات و محصولات پژوهشی، هم‌زمان با گسترش فرهنگ رقومی‌سازی در سال‌های اخیر، امکان کندوکاو در موجودی نقشه‌های پایه اقلیم‌شناسی کشاورزی ایران را فراهم می‌سازد.

یک بررسی مقدماتی نشان می‌دهد که کوشش‌های مثبت و ارزنده‌ای به انجام رسیده است ولی هنوز راه‌های نرفته‌ای در پیش است و تدوین و طراحی یک نقشه راه دقیق و حمایت شده از طرف سازمان‌های ذیربط ضرورت دارد.

در بحث حاضر، اطلس اقلیمی ایران که به همت و نظارت روانشاد دکتر محمد حسن گنجی از انتشارات مشترک دانشگاه تهران و سازمان هواشناسی کشور در سال ۱۳۴۷ نشر یافته و در گروه انتشارات "اطلس‌ها- هواشناسی کشاورزی" دسته‌بندی شده است، جزو اولین‌ها به شمار می‌آید. این اطلس به رغم محدودیت‌های زمانی و مکانی داده‌ها و ایستگاه‌های هواشناسی در زمان تولید، هنوز هم قابلیت استنادی خود را حفظ کرده و از حیث تنوع پارامترها، شکل ظاهری و قالب ارائه‌اش اثری برجسته و تحسین برانگیز محسوب می‌گردد.

نقشه‌های تهیه شده در زمینه‌های مرتبط با هواشناسی کشاورزی ایران از نظر مقیاس، موضوع، قابلیت کاربرد و نحوه ارائه بسیار متنوع و با اهداف گوناگون تهیه شده‌اند. مقیاس نقشه‌ها از یک میلیونیم و تا قطع وزیری و موضوع آن‌ها از پارامترهای انتزاعی نظیر هم‌بارش و هم‌دما تا موضوعات تحلیلی نظیر نیاز آبی گیاهان، ریسک سرمازدگی محصولات، را در بر می‌گیرد. مستندات نقشه‌ها به خصوص در سال‌های اخیر از داده‌های پس‌پردازش شده و پردازش شده جهانی تا داده‌های ایستگاه‌های محلی، متفاوت است. در بین تولیدات نقشه‌های هواشناسی کشاورزی موارد بسیار کم‌شماری که بازخوانی اطلاعات آن‌ها رقومی (دیجیتالیزه) شده باشد نیز دیده می‌شود که نمونه آن در برخی مقالات گذشته نشریه حاضر قابل بازیابی است.

پراکندگی مطالعات و تولیدات پژوهش در زمینه مورد بحث این اندیشه را تقویت می‌کند که زمان آن رسیده است که همه امکانات در دسترس، برای تولید "اطلس پتانسیل‌های اقلیمی کشاورزی ایران" بسیج گردد تا هم تناقضات موجود بین نقشه‌ها به حداقل برسد و هم صحت نقشه‌ها از پشتوانه علمی مستحکم‌تری برخوردار شود. در حال حاضر امکانات تولید و تنظیم اطلاعات در زمینه مورد بحث بسیار زیادتر از پیش است و بدون ارائه رقم و عدد، به طور ملموس دیده می‌شود که: (۱) شبکه ایستگاه‌های سازمان هواشناسی کشور و وزارت نیرو متراکم‌تر و به استانداردهای علمی نزدیک‌تر، (۲) فرآیند داده‌پردازی به شکرانه کامپیوترهای موجود در پایگاه‌های پردازش داده‌ها امکان‌پذیرتر و ساده‌تر، (۳) فناوری ترسیم نقشه‌ها علمی‌تر و دقیق‌تر و از همه مهم‌تر دسترسی به نیروی انسانی متخصص در مساله مورد بحث امکان‌پذیرتر شده‌اند و در مجموع توانایی زیادی برای تهیه اطلس اقلیمی کشاورزی ایران به وجود آمده است.

آنچه باید به آن برسیم تهیه نقشه‌هایی است که به صورت سخت‌افزاری سیمای کلی و به صورت نرم‌افزاری (دیجیتالی) سیمای خرد مقیاس را با دقت مکانی و زمانی قابل قبول ارائه دهد. دسترسی سریع برای پژوهشگران و سیاست‌گزاران هواشناسی کشاورزی را امکان‌پذیر سازد و از پشتوانه علمی مستحکم و تأیید شده‌ای به عنوان "سند ملی اقلیم کشاورزی ایران" برخوردار باشد.

کوتاه سخن، اندیشه تهیه اطلس اقلیمی کشاورزی ایران فضایی بکر و پر از موضوعات کار نشده و ضروری در اختیار پژوهشگران می‌گذارد که در آن سرفصل‌های متعددی همانند پارامترهای انتزاعی اقلیمی، شاخص‌های ترکیبی هواشناسی کشاورزی، نقشه‌های ریسک پدیده‌های زیان‌بخش جوی با هدف بیمه محصولات، تقویم عملیات زراعی محصولات مختلف و بسیاری دیگر می‌تواند با نگاه کاربردی مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد. تهیه این اطلس‌ها نیازمند یک اراده اجرایی است که در آن سازمان هواشناسی کشور، وزارت نیرو و بخش تحقیقات وزارت جهاد کشاورزی در قالب یک برنامه هماهنگ شده مشترکاً به آن بپردازند.

علی خلیلی

سر دبیر

برآورد تبخیر تعرق واقعی با استفاده از تصاویر سنجنده OLI و الگوریتم سبال (مطالعه موردی: دشت ناز - ساری)

محمود رائینی سرجاز^{۱*}، هدایت پیری^۲، محمد علی غلامی^۳، سحر خزاعی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۶/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۸/۰۹

چکیده

تعیین تبخیر تعرق که یکی از بخش‌های اصلی چرخه هیدرولوژی می‌باشد. در مواردی همچون برنامه‌ریزی آبیاری، بیلان آب، طراحی و مدیریت سامانه‌های آبیاری و پیش‌بینی عملکرد محصول ضروری است. سنجش از دور بر خلاف روش‌های رایج نقطه‌ای، تبخیر تعرق را در مقیاس‌های مختلف مکانی برآورد می‌کند. بنابراین هدف از این پژوهش برآورد تبخیر تعرق واقعی در منطقه دشت ناز ساری با استفاده از تصاویر سنجنده OLI و به‌کارگیری الگوریتم تراز انرژی سطح خشکی (سبال) است. برای ارزیابی یافته‌ها، تبخیر تعرق برآورد شده از الگوریتم سبال با روش مرجع پنمن-مانتیت-فائو مقایسه شد. همبستگی نیرومند و معنی‌داری میان این دو روش ($R^2 = 0.93$) دیده شد. خطای کم برآورد الگوریتم سبال در مقایسه با روش مرجع ($RMSE = 1/14$) و کمی تفاضل مطلق بین مدل سبال و روش پنمن-مانتیت-فائو ($MAE = 0.96$) بیان‌گر این است که میان داده‌های برآوردی از روش الگوریتم سبال و روش پنمن-مانتیت-فائو همخوانی خوبی وجود دارد. از این رو، این پژوهش نشان داد که تصاویر سنجنده OLI و الگوریتم سبال توانایی این را دارند تا مقدار تبخیر تعرق واقعی را در منطقه دشت ناز ساری به خوبی برآورد کند.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم سبال، پنمن-مانتیت-فائو، تبخیر تعرق، سنجش از دور - ایران

مقدمه

گیاهی است، که بسیار متغیر است (Allen et al., 1998). سنجش از دور قابلیت برآورد مقدار تبخیر تعرق را دارد و بر خلاف روش‌های رایج که نقطه‌ای عمل می‌کنند توزیع مکانی آن را مورد بررسی قرار دهد و همچنین از نظر اقتصادی مقرون به صرفه است. الگوریتم توازن انرژی سطح خشکی (سبال)^۵ یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین روش‌های برآورد تبخیر تعرق، با استفاده از داده‌های سنجش از دور است. سبال روشی است که بر پایه روابط تجربی و فیزیکی، تبخیر تعرق را با کم‌ترین داده‌های زمینی برآورد می‌کند (Bastiaanssen et al., 1998). مقایسه نتایج تبخیر تعرق حاصل از روش سبال با نتایج لایسیمتر در دو منطقه در آیداهو نشان داد که برآورد تبخیر تعرق از روش سبال برای محصولات کشاورزی در آب و هوای نیمه‌خشک به خوبی منطبق با داده‌های لایسیمتری است (Tasumi et al., 2003). مقدار تبخیر تعرق واقعی با استفاده از روش سبال و تصاویر مودیس^۶ در یک مزرعه آزمایشی برآورد شد. نتایج نشان داد که با استفاده از تصاویر مودیس و

تبخیر تعرق از جمله پارامترهای آب و هواشناسی مهم در چرخه هیدرولوژی است و پیوند دهنده سه جزء زیست‌کره، آب‌کره و نیوار است (Su et al., 2006). شرایط آب و هواشناسی سطح زمین و پوشش‌های آن، توده آب‌های سطحی و مقادیر دریافتی انرژی خورشیدی، دارای پیچیدگی و پویایی است که درک کامل آن در گرو مدل‌های منطقه‌ای و گاه مدل‌سازی بسیار پیچیده است (Bastiaanssen et al., 2002). شدت تبخیر تعرق تابع عواملی مانند دما، تابش خورشیدی، رطوبت، باد و پوشش

^۱استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

(*نویسنده مسئول: raeini@yahoo.com)

DOI:

^۲دانش‌آموخته کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی

آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

^۳دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی

ساری

^۴دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشگاه

علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

^۵ Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL)

^۶ MODIS

الگوریتم سبال می‌توان برآورد خوبی از تبخیر تعرق در مناطق همگن و هموار ارائه نمود (Mobasheri et al., 2005). Koloskov et al., (2007) از پارامتری به عنوان طول مونین ابوخف که از داده‌های ماهواره‌ای محاسبه می‌شود، برای محاسبه تبخیر تعرق روزانه استفاده کردند. نتایج آن‌ها بیان‌گر این است که روش سبال مقدار تبخیر تعرق را بیشتر از روش پنمن برآورد می‌کند. کارایی سنجنده مودیس و الگوریتم سبال برای برآورد تبخیر تعرق در منطقه ساوانا بررسی شد که نتایج نشان داد مودیس با ضریب تبیین ۷۱٪ و میزان خطای ۲ میلی‌متر در روز عملکرد خوبی برای برآورد منطقه‌ای تبخیر تعرق دارد (Opoku et al., 2008). همچنین با استفاده از الگوریتم سبال، تبخیر تعرق منطقه فلومن در دشت ابرو^۱ بررسی شد که در این مطالعه انحراف ۰/۳ میلی‌متر در روز در مقابل اندازه‌گیری‌های لایسیمیتری وجود داشته است (Ramos et al., 2009). پژوهشی در ملایر برای مقایسه مقادیر برآورد شده تبخیر تعرق واقعی از روش سبال و رابطه پنمن-مانتیت-فائو انجام شد که نتایج نشان داد اختلاف بسیار کمی بین مقادیر آن‌ها وجود دارد (Nouri et al., 2017). همچنین پژوهشی در جنوب غرب پارانا در برزیل که منطقه‌ای تشکیل شده از زمین‌های کشاورزی، گیاهان بومی و مناطق شهری است نشان داد که اختلاف ناچیزی در حدود ۱ میلی‌متر در روز بین مقادیر برآورد شده تبخیر تعرق روش سبال و فائو-پنمن-مانتیت وجود دارد (Silva et al., 2018). هدف از این پژوهش برآورد تبخیر تعرق واقعی در منطقه دشت ناز ساری با استفاده از تصاویر سنجنده OLI و به‌کارگیری الگوریتم توازن انرژی سطح خشکی (سبال) است. برای ارزیابی نتایج، تبخیر تعرق برآورد شده از الگوریتم سبال با روش مرجع پنمن-مانتیت-فائو مقایسه شد.

Figure 1- Properties of used images

جدول ۱- مشخصات تصویرهای مورد استفاده

Image number	Time catch (hr, local time)	Date catch	Date catch
1	10:33:54	16/04/92	07/07/2013
2	10:33:53	01/05/92	07/23/2013
3	10:33:56	17/05/92	08/08/2013
4	10:33:58	02/06/92	08/24/2013
5	10:33:56	18/06/92	09/09/2013
6	10:33:48	03/07/92	09/25/2013
7	10:33:48	19/07/92	10/11/2013
8	10:33:20	09/10/92	12/30/2013
9	10:33:40	25/10/92	01/15/2014
10	10:31:32	17/02/93	05/07/2014

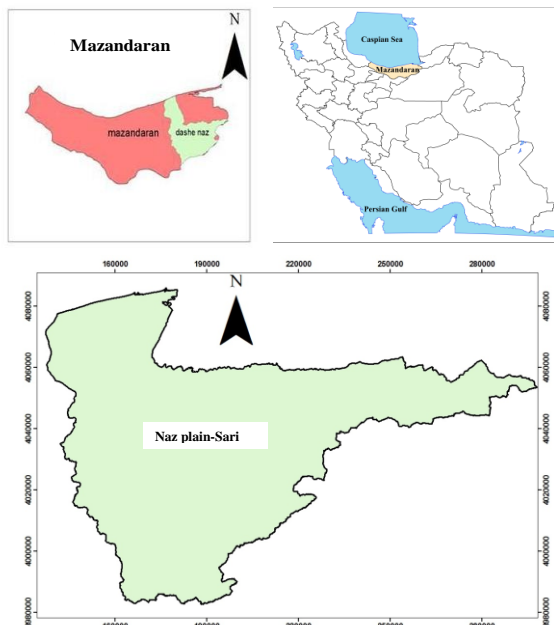


Figure 1- Location of Naz plain-Sari

شکل ۱- موقعیت منطقه دشت ناز ساری

مواد و روش‌ها
منطقه مطالعاتی و داده‌های مورد استفاده
منطقه مطالعاتی حوضه آبریز تجن واقع در منطقه دشت ناز ساری در بازه عرض جغرافیایی ۵۶' ۳۵° تا ۵۱' ۳۶° شمالی و بازه طول جغرافیایی ۰۹' ۵۴° تا ۵۶' ۵۲° شرقی می‌باشد (شکل ۱). داده‌های زمینی مورد استفاده در الگوریتم سبال، از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک دشت ناز گرفته شده است. در این پژوهش از تصاویر سنجنده

²Operational Land Imager

³LANDSAT

⁴Digital Number

¹ The Flumen District into the Ebro valley of N. E. Spain

روش‌ها

الگوریتم سبال

الگوریتم سبال، مقدار تبخیرتعرق واقعی را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، کم‌ترین داده‌های زمینی و بر اساس معادله بیلان انرژی طبق معادله ۱ محاسبه می‌کند Bastiaanssen (et al., 1998).

$$\lambda ET_{inst} = R_n - G - H \quad (1)$$

که λET_{inst} شار گرمای نهان تبخیر (Wm^{-2})، R_n ، G و H میزان تابش خالص خورشیدی، شار گرمای خاک و شار گرمای محسوس (Wm^{-2}) می‌باشند. مقدار تابش خالص از توان چهارم شار تابشی در سطح زمین به دست می‌آید (معادله ۲)، که عبارت است از طول موج کوتاه ورودی $R_{s\downarrow}$ (بازتابش امواج کوتاه خروجی $(R_{L\uparrow})$ ، تشعشعات طول موج بلند ورودی از نیوار $(R_{L\downarrow})$ Bastiaanssen et al., 1998).

$$R_n = (1 - \alpha)R_{s\downarrow} + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1 - \epsilon_0)R_{L\downarrow} \quad (2)$$

که α آلبدو سطح، ϵ_0 گسیلندگی سطح به دست آمده از طریق نمایه سطح برگ (LAI)^۱ می‌باشد. در الگوریتم سبال دو نوع گسیلندگی وجود دارد که به ترتیب برای محاسبه دمای سطح و تشعشعات موج بلند گسیل یافته از سطح استفاده می‌شود و برای شرایطی که LAI بزرگ‌تر از صفر باشد از معادله‌های ۳ و ۴ محاسبه می‌شوند (Allen et al., 2005).

$$\epsilon_{NB} = 0.97 + 0.0033LAI, LAI < 3 \quad (3)$$

$$\epsilon_0 = 0.95 + 0.01 LAI, LAI < 3 \quad (4)$$

برای $LAI \geq 3$ ، مقادیر ϵ_{NB} و ϵ_0 برابر ۰/۹۸ است. نمایه سطح برگ (LAI) با استفاده از معادله ۵ محاسبه می‌شود.

$$LAI = -\left(\frac{\ln(0.69 - SAVI)}{0.59}\right) \quad (5)$$

در مناطق خشک و نیمه‌خشک تنک بودن پوشش گیاهی باعث می‌شود اثرات بازتاب خاک زمینه، اثر بازتاب پوشش گیاهی را تحت تأثیر قرار دهد و بر آن چیره شود. SAVI^۲ تصحیح شده نمایه تفاوت نرمال شده گیاهی (NDVI)^۳ است که اثرات خاک زمینه و رطوبت خاک را در نمایه NDVI کاهش می‌دهد و از معادله ۶ محاسبه می‌شود (Weligepolage, 2005).

$$SAVI = \frac{(1 + L)(\rho_5 - \rho_4)}{(\rho_5 + \rho_4 + L)} \quad (6)$$

که در آن، ρ_4 و ρ_5 به ترتیب بازتاب طیفی باندهای مادون قرمز و مادون قرمز نزدیک و L فاکتور تصحیح اثر خاک است که به طور متوسط مقدار آن ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود (Weligepolage, 2005). نمایه گیاهی NDVI، مقدار پوشش گیاهی در سطح زمین را مشخص می‌کند که مقدار آن بین (۱،-۱) در نوسان است و از معادله ۷ محاسبه می‌شود (Bastiaanssen et al., 1998).

$$NDVI = \frac{(\rho_5 - \rho_4)}{(\rho_5 + \rho_4)} \quad (7)$$

آلبیدو به صورت نسبت تابش الکترومغناطیس خورشیدی انعکاس یافته از خاک و گیاه، بر تابش ورودی طبق معادله ۸ تعریف شده است (Jen-Hwua et al., 2001).

$$\alpha = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_{path-radiance}}{I_{sw}^2} \quad (8)$$

که در آن، α_{toa} آلبدوی بالای نیوار، $\alpha_{path-radiance}$ آلبدو ناشی از تابش مسیر و L_{sw}^2 شفافیت نیوار است. تابش ورودی امواج کوتاه $(R_{s\downarrow})$ ، که از معادله ۹ به دست می‌آید، شار تابش خورشیدی مستقیم رسیده به سطح زمین است.

$$R_{s\downarrow} = G_{sc} \cdot \cos\theta \cdot d_r \cdot I_{sw} \quad (9)$$

که در آن، G_{sc} ثابت خورشیدی ($1367 Wm^{-2}$) و θ زاویه ارتفاعی خورشید است. d_r معکوس مربع فاصله نسبی زمین تا خورشید و شفافیت اتمسفری است که از معادله ۱۰ به دست می‌آید (Allen et al., 1998).

$$d_r = 1 + 0.033 \cos\left(\frac{DOY \cdot 2\pi}{365}\right) \quad (10)$$

که در آن، DOY شماره روز میلادی است. دمای سطحی (T_s) با استفاده از معکوس رابطه پلانک و بر اساس معادله ۱۱ به دست می‌آید (Markham and Barker, 1986).

$$T_s = \left(\frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)}\right) \quad (11)$$

که در آن، L_λ میزان رادیانس در بالای نیوار، K_1 و K_2 ضرایب باندهای حرارتی ۱۰ و ۱۱ هستند. در سبال از دو پیکسل شاخص، تحت عنوان پیکسل سرد و گرم استفاده می‌شود، که پیکسل سرد از مزارع کاملاً پوشیده از گیاه و آبیاری شده و پیکسل گرم از مزارع بدون پوشش انتخاب می‌شود. تابش امواج بلند خروجی $(R_{L\uparrow})$ ، با استفاده از معادله استفان-بولتزمن طبق معادله ۱۲ محاسبه می‌شود.

$$R_{L\uparrow} = \epsilon_0 \cdot \delta \cdot T_s^4 \quad (12)$$

که در آن، ϵ_0 گسیلمندی سطحی، δ ثابت استفان-بولتزمن و T_s دمای سطحی حسب کلون است. تابش بلند

^۱ Leaf Area Index^۲ Soil Adjusted Vegetation Index^۳ Normalized Difference Vegetation Index

برای ارزیابی الگوریتم سبال مقایسه میانگین با روش مرجع با آماره t با استفاده از نرم افزار SPSS انجام شد.

$$ET_0 = \frac{0.408(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (19)$$

که ET_0 تبخیر تعرق گیاه مرجع (mm day^{-1})، R_n تابش خالص در سطح تبخیر تعرق ($\text{MJ d}^{-1} \text{m}^{-2}$)، G شار حرارتی خاک ($\text{MJ d}^{-1} \text{m}^{-2}$)، \bar{T} متوسط دمای هوا ($^{\circ}\text{C}$)، e_s و e_a فشار بخار اشباع و واقعی (kPa)، Δ شیب منحنی فشار بخار در برابر دما ($\text{kPa}^{\circ}\text{C}^{-1}$)، γ ثابت سایکرومتری ($\text{kPa}^{\circ}\text{C}^{-1}$)، U_2 سرعت باد در ارتفاع دو متری (ms^{-1}) و K_p ضریب تشش (بدون بعد) است.

نتایج و بحث

نمایه تفاوت نرمال شده گیاهی (NDVI)

در این پژوهش برای هر ۱۰ تصویر گرفته شده نمایه NDVI محاسبه شد (جدول ۲). بر این اساس میزان NDVI در اوایل تابستان (تیرماه) بیشترین مقدار خود را دارد و دلیل آن وجود هم‌زمان محصولات پاییزه، بهار و مراتع می‌باشد و با سپری شدن تابستان به دلیل برداشت محصولات پاییزه و از بین رفتن مراتع، میانگین NDVI کاهش یافته و حداقل آن مربوط به پایان دی‌ماه است که میزان پوشش گیاهی در سطح زمین به کمترین مقدار خود می‌رسد که با نتایج Karimi et al., (2013) هم‌خوانی دارد.

Table 2- NDVI values of study area

جدول ۲- مقادیر NDVI در منطقه مورد مطالعه

Date	SD	Mean	Max	Min
92/02/17	0.17	0.38	0.67	0.03
92/04/16	0.18	0.33	0.62	0.07
92/05/01	0.12	0.27	0.61	0.01
92/05/17	0.10	0.28	0.59	-0.05
92/06/02	0.08	0.30	0.62	0.07
92/06/18	0.11	0.24	0.57	-0.13
92/07/03	0.18	0.24	0.57	0.01
92/07/17	0.11	0.22	0.55	0.03
92/10/09	0.08	0.09	0.56	-0.19
92/10/25	0.26	0.28	0.50	-0.14

آلبیدو و دمای سطحی

داده‌های مربوط به متوسط آلبیدوی سطحی منطقه مطالعاتی در جدول ۳ ذکر شده است. محدوده آلبیدوی منطقه از (۰/۳ تا ۰/۱) و در دامنه قابل قبول برای مزارع کشاورزی و مراتع قرار دارد (Horiguchi, 1992). طبق جدول ۴ بیشترین دمای سطح ($^{\circ}\text{K}$) (۳۲۴/۳) مربوط به تیرماه است که هم‌زمان با انقلاب تابستانی می‌باشد. در این زمان از سال با توجه به این که ارتفاع زاویه تابش خورشیدی

امواج ورودی ($R_{L\downarrow}$)، شار تابش حرارتی از نیوار به سمت پایین است و از معادله ۱۳ محاسبه می‌شود.

$$R_{L\downarrow} = 0.85(-\ln I_{sw})^{0.09} \cdot \delta \cdot T_{cold}^4 \quad (13)$$

شار گرمای خاک (G)، مقدار گرمای ذخیره شده در داخل خاک و پوشش گیاهی در اثر هدایت مولکولی است (معادله ۱۴) (Waters et al., 2002).

$$\frac{G}{R_n} = \frac{T_s}{\alpha} (0.0038 + 0.007\alpha^2)(1 - 0.98NDVI^4) \quad (14)$$

شار گرمای محسوس (H)، مقدار هدر رفت گرما به هوا از طریق هدایت مولکولی و همرفت در اثر اختلاف دما بین سطح و هوای نزدیک به سطح زمین است (معادله ۱۵) (Bastiaanssen et al., 1998).

$$H = \left(\frac{\rho C_p dT}{r_{ah}} \right) \quad (15)$$

که C_p گرمای ویژه هوا ($1004 \text{ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$)، dT اختلاف دمای بین دوار ارتفاع (Z_2 و Z_1)، ρ چگالی هوا (kgm^{-3}) و r_{ah} مقاومت آئرو دینامیکی برای انتقال گرما (ms^{-1}) است. تبخیر تعرق زمان تصویر (ET_{inst}) و نسبت تبخیر تعرق مرجع (ET_rF) از معادلات ۱۶ و ۱۷ به دست می‌آیند (Allen et al., 2002).

$$ET_{inst} = (3600 \frac{\lambda ET}{\lambda}) \quad (16)$$

$$ET_rF = \left(\frac{ET_{inst}}{ET_r} \right) \quad (17)$$

که ET_{inst} تبخیر تعرق لحظه‌ای (mm hr^{-1}) و λ گرمای نهان بخار آب (JKg^{-1}) است. کسر تبخیر تعرق مرجع یا ET_rF به صورت نسبت (ET_{inst}) به تبخیر تعرق مرجع (ET_r) محاسبه شده از داده‌های هواشناسی تعریف می‌شود. در این معادله ET_rF مشابه ضریب گیاهی (K_c) می‌باشد. غالباً مقدار تبخیر تعرق روزانه (ET_{24}) کاربرد بیشتری نسبت به مقادیر (ET_{inst}) دارد و از معادله ۱۸ محاسبه می‌شود (Timmermans et al., 2003).

$$ET_{24} = ET_rF * ET_{r-24} \quad (18)$$

که ET_{r-24} مجموع ET_r طی ۲۴ ساعت برای روز تصویر است و از مجموع مقادیر ساعتی روز گذر ماهواره به دست می‌آید.

روش مرجع پنمن-مانتیث-فائو

فائو روش پنمن-مانتیث-فائو را به عنوان یک روش استاندارد در تخمین تبخیر تعرق مرجع انتخاب کرده است (Khorami et al., 2013). بنابراین جهت صحت‌سنجی و برآورد دقت الگوریتم سبال به علت نبود لایسیمتر در منطقه مطالعاتی، تبخیر تعرق واقعی محاسبه شده از این الگوریتم، با مقادیر تبخیر تعرق برآورد شده از روش پنمن-مانتیث-فائو (معادله ۱۹) مقایسه شد (Allen et al., 1998). همچنین

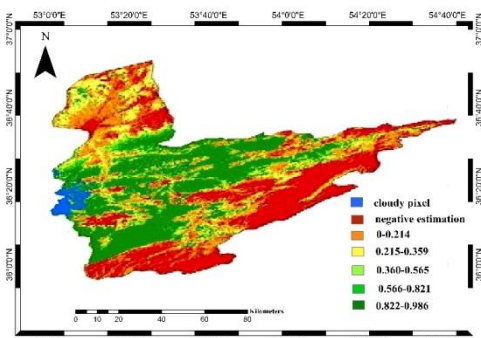


Figure 2- Hourly evapotranspiration values of Sari Naz plain on 2013/7/7

شکل ۲- تبخیر تعرق ساعتی دشت ناز ساری مورخ ۹۳/۴/۱۶

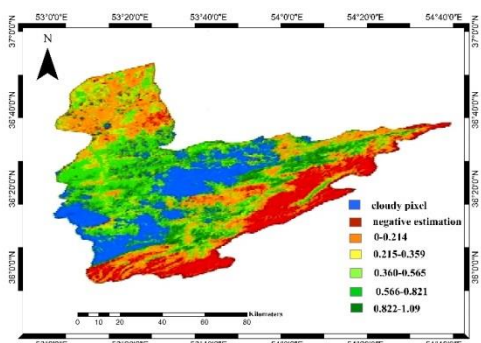


Figure3- Hourly evapotranspiration values of Sari Naz plain on 2013/23/7

شکل ۳- تبخیر تعرق ساعتی دشت ناز ساری مورخ ۹۲/۵/۱

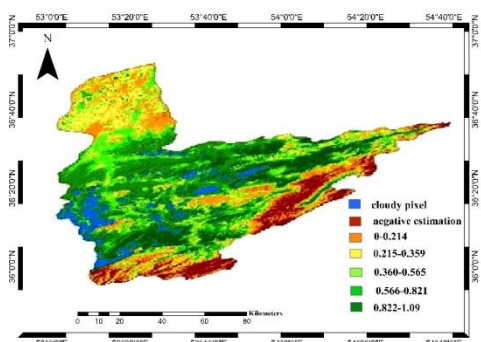


Figure4- Hourly evapotranspiration values of Sari Naz plain on 2013/8/8

شکل ۴- تبخیر تعرق ساعتی دشت ناز ساری مورخ ۹۲/۵/۱۷

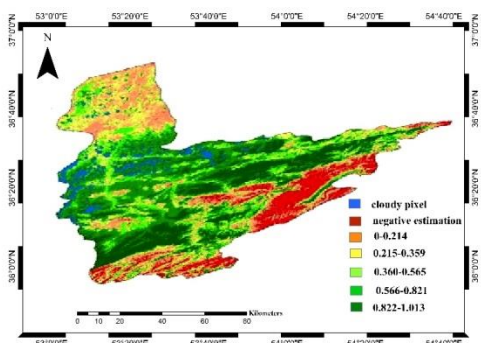


Figure 5- Hourly evapotranspiration values of Sari Naz plain on 2013/24/8

شکل ۵- تبخیر تعرق ساعتی دشت ناز ساری مورخ ۹۲/۰۶/۰۲

به بالاترین مقدار خود می‌رسد، انرژی دریافتی در واحد سطح نیز افزایش یافته و به بیشترین مقدار خود می‌رسد و به تبع آن دمای سطح نیز افزایش می‌یابد. با توجه به این که بیشینه دما نیز در این ماه اتفاق می‌افتد، بالا بودن دمای سطح زمین می‌تواند ناشی از هماهنگی با رژیم دمایی منطقه مورد مطالعه باشد.

Table 3- Albedo values of study area

جدول ۳- مقادیر آلبیدوی منطقه مورد مطالعه

Date	SD	Mean	Max	Min
93/02/17	0.39	0.38	0.93	0.11
93/04/16	0.28	0.33	0.69	0.19
92/05/01	0.15	0.27	0.76	0.08
92/06/02	0.10	0.28	0.80	0.14
92/06/18	0.18	0.24	0.75	0.04
92/07/03	0.14	0.24	0.75	0.23
92/07/19	0.17	0.22	0.71	0.14
92/10/09	0.11	0.09	0.62	0.15
92/10/25	0.08	0.08	0.58	0.13

Table4- Surface temperature values (°K) of study area

جدول ۴- مقادیر دمای سطح زمین (°K) منطقه مورد مطالعه

Date	SD	Mean	Max	Min
93/02/17	9.24	306.49	314.65	298.34
93/04/16	8.15	316.14	324.29	307.99
92/05/01	7.51	313.65	321.80	305.50
92/06/02	4.43	309.67	317.82	301.52
92/06/18	8.53	310.85	319.00	302.70
92/07/03	5.61	311.06	319.21	302.91
92/07/19	7.37	307.35	315.50	299.20
92/10/09	6.29	300.10	308.25	291.95
92/10/25	4.18	289.95	298.10	281.80

برآورد تبخیر تعرق

پس از محاسبه پارامترهای اصلی معادله تراز انرژی شامل شار تابش خالص خورشیدی، شار گرمای انبساط شده در خاک و شار گرمای محسوس، شار گرمای نهان تبخیر تعرق لحظه‌ای برآورد شد. سپس با استفاده از معادله‌های ۱۷ و ۱۸ تبخیر تعرق واقعی در مقیاس ساعتی و روزانه محاسبه گردید. از عوامل موثر بر مقدار تبخیر تعرق می‌توان به زمان یا فصل سال، حجم توده گیاهی، دما و ساعت آفتابی اشاره کرد، به طوری که بیشینه میزان تبخیر تعرق هم‌زمان با فصل گرم سال و رسیدن گیاه به بیشینه سبزیگی رخ می‌دهد. این روند افزایش تبخیر تعرق به موازات افزایش دما، ساعات آفتابی و نیز سبزیگی و پوشش گیاهی، به خوبی در نقشه‌های تبخیر تعرق برآورد شده به وسیله الگوریتم سبال قابل مشاهده است (شکل‌های ۲ تا ۱۱).

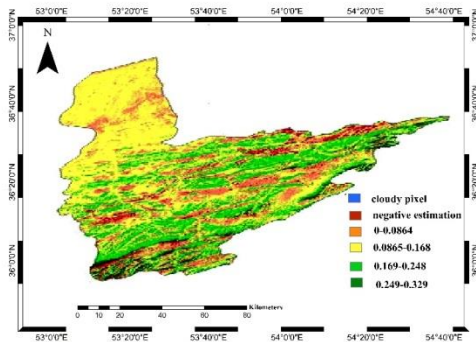


Figure 10- Hourly evapotranspiration values of Sari Naz plain on 2014/15/1

شکل ۱۰- تبخیر تعرق ساعتی دشت ناز ساری مورخ ۹۲/۱۰/۲۵

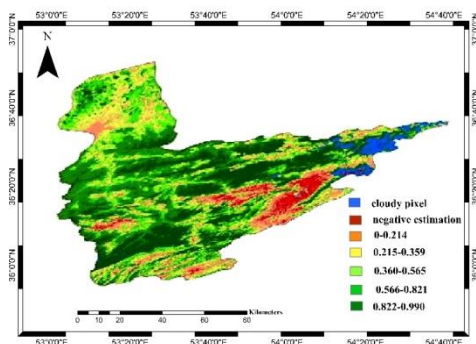


Figure 11- Hourly evapotranspiration values of Sari Naz plain on 2014/7/5

شکل ۱۱- تبخیر تعرق ساعتی دشت ناز ساری مورخ ۹۳/۰۲/۱۷

بیشینه تفاوت تبخیر تعرق واقعی روزانه بین مقادیر برآورد شده با روش پنمن-مانتیت-فائو و مدل سبال ۲/۱ میلی‌متر در روز بوده که مربوط به تاریخ ۹۲/۰۵/۱۷ می‌باشد. به طور کلی با توجه به مقادیر برآورد شده روزانه تبخیر تعرق واقعی و نقشه‌های آن، بیشترین اختلاف تبخیر تعرق بین دو روش مربوط به روزهایی است که میزان پوشش ابر در آسمان بالا بوده است. همچنین میزان اختلاف در فصل گرم بیش از فصل سرد است که علت این امر ناشی از تابش طولانی‌تر (ساعت آفتابی بیشتر) انرژی‌های ورودی قوی‌تر (به دلیل نزدیک شدن زاویه تابش به حالت عمود) و نیز شرایط پوشش گیاهی انبوه و متنوع می‌باشد. بر خلاف آن در فصل سرد سال به علت پایین بودن سبزیگی و پوشش گیاهی، اختلاف بین مناطق دارای پوشش و فاقد پوشش گیاهی کمتر بوده و تبع آن نیز میزان اختلاف تبخیر تعرق در این فصل کمتر می‌باشد. مقایسه آماری بین تبخیر تعرق برآورد شده با الگوریتم سبال و روش پنمن-مانتیت-فائو نیز انجام گرفت. همبستگی قوی بین این دو روش ($R^2=0.93$)، خطای کم برآورد الگوریتم سبال در مقایسه با روش مرجع ($RMSE=1/14$) و کم بودن تفاضل مطلق بین مدل سبال

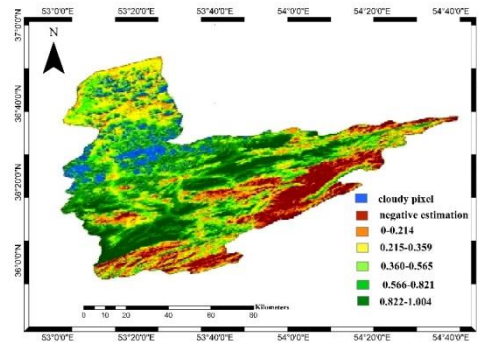


Figure 6- Hourly evapotranspiration values of Sari Naz plain on 2013/9/9

شکل ۶- تبخیر تعرق ساعتی دشت ناز ساری مورخ ۹۲/۶/۱۸

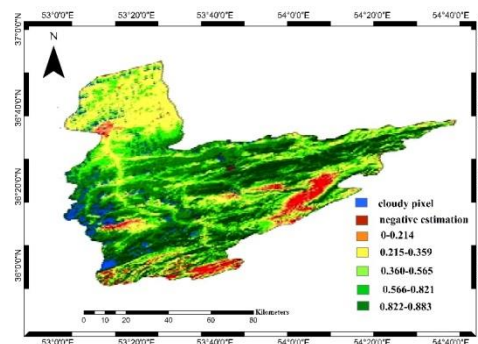


Figure 7- Hourly evapotranspiration values of Sari Naz plain on 2013/25/9

شکل ۷- تبخیر تعرق ساعتی دشت ناز ساری مورخ ۹۲/۷/۳

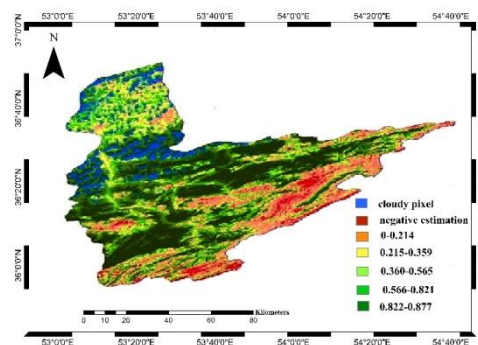


Figure 8- Hourly evapotranspiration values of Sari Naz plain on 2013/11/10

شکل ۸- تبخیر تعرق ساعتی دشت ناز ساری مورخ ۹۲/۷/۱۹

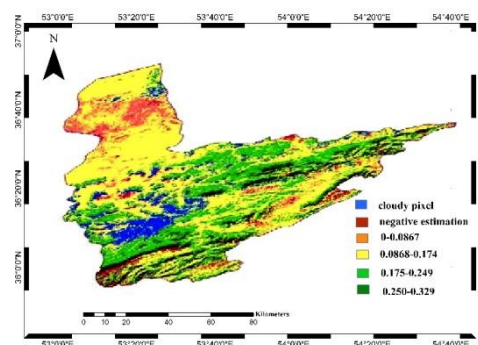


Figure 9- Hourly evapotranspiration values of Sari Naz plain on 2013/30/12

شکل ۹- تبخیر تعرق ساعتی دشت ناز ساری مورخ ۹۲/۱۰/۹

دارد. همچنین برای ارزیابی الگوریتم سبال آزمون مقایسه میانگین (t-test) انجام گرفت (جدول ۵). نتایج نشان داد در سطح اطمینان ۹۵ درصد فرض صفر مبنی بر عدم وجود تفاوت معنی‌دار بین دو مدل، قابل قبول است. بنابراین تفاوت معنی‌داری از نظر آماری بین برآوردهای تبخیرتغرق از دو روش سبال و روش مرجع وجود ندارد.

و روش پنمن-مانتیث-فانو (MAE=۰/۹۶) بیان‌گر این است که بین مقادیر برآورد شده به وسیله الگوریتم سبال و روش پنمن-مانتیث-فانو تطابق مناسبی وجود دارد. این نتیجه با یافته‌های Sanaei Nejad et al., (2011) در حوضه آبریز مشهد، Mobasheri et al., (2005) در مزرعه ارتش استان گلستان و Ramos et al., (2009) همخوانی

Table 5- Actual evapotranspiration (mm day⁻¹) estimated by SEBAL model and FAO-Penman Monteith equation
جدول ۵- مقادیر تبخیرتغرق واقعی (mm day⁻¹) برآورد شده از الگوریتم سبال و معادله پنمن مانتیث-فانو

Date	SEBAL	FAO-Penman-Monteith	Squared difference	Absolute difference	MAE	RMSE	R ²	t-student	P_value
93/02/17	8.678	8.333	0.119	0.344					
93/04/16	7.051	5.875	1.383	1.176					
92/05/01	4.448	3.355	1.195	1.093					
92/06/02	6.214	4.112	4.378	2.092					
92/06/18	6.432	5.516	0.839	0.916					
92/07/03	5.268	6.000	0.535	0.732					
92/07/19	5.749	6.500	0.565	0.751					
92/10/09	9.035	8.591	0.198	0.444					
92/10/25	1.353	2.470	1.247	1.117					
93/02/17	1.437	2.360	0.852	0.923					
Mean	5.56	5.31			0.96	1.14	0.83	0.23	0.82

شد. همبستگی قوی بین این دو روش، خطای کم برآورد الگوریتم سبال در مقایسه با روش مرجع بیان‌گر این است که بین مقادیر برآورد شده به وسیله الگوریتم سبال و روش پنمن-مانتیث-فانو تطابق مناسبی وجود دارد. بنابراین این پژوهش نشان داد که تصاویر سنجنده OLI و الگوریتم سبال توانایی این را دارد تا مقدار تبخیرتغرق واقعی را در منطقه دشت ناز ساری به خوبی برآورد کند.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش تبخیرتغرق واقعی با استفاده از تصاویر سنجنده OLI و الگوریتم سبال برای منطقه دشت ناز ساری برآورد گردید. برای ارزیابی نتایج، تبخیرتغرق برآورد شده از الگوریتم سبال با روش مرجع پنمن-مانتیث-فانو مقایسه شد. برای ارزیابی نتایج، تبخیرتغرق برآورد شده از الگوریتم سبال با روش مرجع پنمن-مانتیث-فانو مقایسه

منابع

- Allen R. G., Rase, L. S., smith M. 1998. Crop Evaporation Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper. No. 56. FAO. Rome, Italy. 301 p.
- Allen, R. G., Bastiaanssen W. G. M., Wright, J. L., Morse, A., Tasumi M. Trezza, R. 2002. Evapotranspiration from Satellite Images for Water Management and Hydrologic Balances, Proceedings of the 2002 ICID conference, Montreal, Canada: 1-12.
- Allen, R. G., Tasumi, M., Trezza, R., Bastiaanssen, W., Morse, T., Kramber, W., Wright, J. 2005. METRIC: High Resolution Satellite Quantification of Evapotranspiration. Part Two- Energy Balance, University of Idaho, Kimberly, Idaho.
- Bastiaanssen, W. G. M., Menenti, M., Feddes, R. A., Holtslang, A. A. 1998. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): 1. Formulation. Journal of Hydrology, (212-213): 198-212.
- Bastiaanssen, W. G. M., Noordman, E. J. M., Pelgurm, h., Davids, G., Thoreson, B. P., Allen, R. G. 2002. SEBAL Model with Remotely Sensed Data to Improve Water-Resources Management under Actual Field Condition. Journal of Irrigation and Drainage Engineering., 85-93.
- Bastiaanssen, W. G. M., Menenti, M., Feddes, R. A., Holtslang, A. A. 1998. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): 1. Formulation. Journal of Hydrology, (212-213): 198-212.
- Bastiaanssen, W. G. M., Noordman, E. J. M., Pelgurm, h., Davids, G., Thoreson, B. P., Allen, R. G. 2002. SEBAL Model with Remotely Sensed Data to Improve Water-Resources Management under Actual Field Condition. Journal of Irrigation and Drainage Engineering., 85-93.
- Horiguchi, I. 1992. Agricultural Meteorology.

- Buneidou, Tokyo, Japan.
http://landsat7.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php.
- Jen-Hwua, C., Chun-E, K., Chih-Hung, T., Sun-Fu, S. 2001. Use of spectral information for wetland evapotranspiration assessment. *Agricultural Water management*, 55: 239-248.
- Karimi, H., Farhadi Bansouleh, B., Hesadi, H. 2013. Estimation of Regional Evapotranspiration Using LANDSAT TM Images and SEBAL Algorithm. *Iranian Journal of irrigation and drainage*, 4(6): 353-364. (In Farsi)
- Khorami, M., Shiasi, M., Ansari, H., Moradi, H. 2013. Evaluation of the Conformity of the Results of Different Estimates of Evapotranspiration by the FAO-Penman-Monteith Method. The 2nd International Conference on Plant, Water, Soil and Air Modeling, Kerman. (In Farsi)
- Koloskov, G., Mukhamejanov, K. H., Tanton, T. W. 2007. Monin-Obukhov length as a cornerstone of the SEBAL calculations of evapotranspiration. *Journal of Hydrology*, 335: 170-179.
- Markham, B. L., Barker, J. L. 1986. Landsat MSS and TM Post Calibration Dynamic Ranges, Exoatmospheric Reflectance and At-Satellite Temperatures. *EOSAT LANDSAT Technical Notes*, 1: 3-8.
- Mobasheri, M., Khavarian, H., Ziayian, P., Kamali, Gh. 2005. Actual Evapotranspiration Estimation Using MODIS Images and SEBAL Algorithm. *Geomatical congress*, Tehran. (In Farsi)
- Nouri, H., Faramarzi, M., Sobhani, B., Sadeghi, S. H. 2017. Estimation of Evapotranspiration based Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) using landsat 8 and Modis images. *Journal of Applied Ecology and Environmental Research*, 15(4): 1971-1982.
- Opoku-Duah, S., Donoghue, D. N. M., Burt, T. P. 2008. Intercomparison of evapotranspiration over the Savannah Volta Basin in West Africa using remote sensing data. *Journal of Sensors*, 8(4): 2736-2761.
- Ramos, J. G., Cratchley, C. R., Kay, J. A., Casterad, M. A., Martinez-cob, A. Dominguez, R. 2009. Evaluation of satellite evapotranspiration estimates using ground-meteorological data available for the Flumen District into the Ebro valley of N. E. Spain. *Agricultural Water Management*, 96: 638-652.
- Sanaei Nejad, S. H., Noori, S., Hesheminia, S. M. 2011. Estimation of Evapotranspiration using Satellite image data in Mashhad area. *Journal of Water and Soil*, 3(25): 540-547. (In Farsi)
- Silva, B. B., Mercante, E., Boas, M., Wrublaok, S., Oldoni, L. 2018. Satellite-based ET estimation using Landsat 8 images and SEBAL Model. *Journal of Revista Ciencia Agronomic*, 49(2): 221-227.
- Su, H., Wood, E. F., Wojcik, R., McCabe, M. 2006. Sensitivity Analysis of Regional Scale Evapotranspiration Predictions to the Forcing Data, American Geophysical Union, Fall Meeting 2007, abstract H31A-02.
- Tasumi M., Trezza R., Allen R. G., Wright J. L. 2003. U.S. Validation tests on the SEBAL model for evapotranspiration via satellite. *ICID Workshop on Remote Sensing of ET for large Regions*, 1-14.
- Timmermans, W. J., Gieske, A. S., Wolski, P., Arneth, A., Parodi, G. N. 2003. Determination of water and heat fluxes with MODIS imagery Maun, Botswana.
- Waters, R., Allen, R., Tasumi, M., Trezza, R., Bastianssen, W. 2002. SEBAL, Surface Energy Balance Algorithms for Land. Idaho Implementation. *Advanced Training and User's manual*, version 1.0.
- Weligepolage, K. 2005. Estimation of Spatial and Temporal distribution of Evapotranspiration by satellite remote sensing: A case study in hupselsebeek, the Netherlands. M. Sc. Thesis, ITC University.

کاربرد رهیافت احتمال پذیرش در تعیین تراکم بهینه ایستگاه‌های باران‌سنجی استان خراسان

جنوبی

محسن پوررضا بیلندی^{۱*}، مجتبی شفیع^۲، فاطمه شهابی فرد^۳، هدی موسی زاده^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۸/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۴/۲۵

چکیده

تخمین مقدار بارندگی به عنوان یک مؤلفه کلیدی در مطالعات کشاورزی و بیان آب نیازمند یک شبکه باران‌سنجی با تراکم بهینه می‌باشد. روش‌های مختلفی مبتنی بر زمین آمار برای بهینه‌سازی شبکه ایستگاه‌های باران‌سنجی تاکنون ارائه شده‌اند که اکثراً دارای نقاط ضعف می‌باشند. هدف از این تحقیق کاربست یک روش نوین توسعه یافته بر پایه مفهوم احتمال پذیرش در زمین آمار، جهت طراحی بهینه شبکه باران‌سنجی استان خراسان جنوبی با کمترین خطا می‌باشد. پس از آزمون همگنی شبکه فعلی متشکل از ۶۳ ایستگاه منطقه به روش گشتاورهای خطی، با کمک واریوگرام مناسب ایستگاه‌های منتخب، احتمال پذیرش در سطح منطقه محاسبه گردید. بر اساس الگوی مکانی تغییرات بارندگی سالانه در منطقه و الگوریتم روش آماری به کار رفته، احتمال پذیرش در نقاط مختلف استان محاسبه و سپس دقت پذیرش در سطوح احتمال مختلف مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج تحقیق نشان داد، ۲۰ ایستگاه از شبکه موجود تأثیر زیادی در تخمین بارندگی استان نداشته و جا به جایی آن‌ها در حصول به شبکه بهینه، پیشنهاد می‌شود. همچنین ۴۳ ایستگاه باقی‌مانده نیز مانند شبکه اولیه (با ۶۳ ایستگاه) می‌توانند ۳۶ درصد از مساحت استان را با سطح احتمال پذیرش ۸۰ درصد، پوشش دهند. در انتها مشخص شد با افزودن ۲۷ باران‌سنج به مکان‌های مشخص شده در شبکه بهینه کارایی پوشش شبکه به حدود دو برابر حالت فعلی یعنی ۶۵ درصد سطح منطقه می‌رسد.

واژه‌های کلیدی: واریوگرام اقلیمی، واریانس کریجینگ، دقت پذیرش، تراکم، باران‌سنج

مقدمه

جانبی رطوبت هوا در یک مقیاس بزرگ نقش اصلی را در توزیع بارش در یک منطقه دارد به طوری که میزان بارش در یک طوفان عظیم چندین برابر میانگین آب موجود در یک ستون از آتمسفر است. میزان بارندگی نقش مهمی در تولیدات کشاورزی، آبدهی قنوات و دبی رودخانه‌های منطقه دارد. کشور ایران جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک در دنیا به شمار می‌آید. متوسط بارش سالانه آن حدود ۲۳۰ میلی‌متر است (Shafiei et al., 2014). در بین مناطق مختلف کشور استان خراسان جنوبی با متوسط بارش ۱۳۰ تا ۱۴۰ میلی‌متر جز مناطق خشک است (بین ۵۰ در مناطق حاشیه کویر تا حدود ۲۰۰ میلی‌متر در ارتفاعات استان). با توجه به محدودیت‌های فنی و اقتصادی نصب، اندازه‌گیری و نگهداری ایستگاه‌های بارندگی همواره ترکیب مناسب و بهینه از ایستگاه‌های باران‌سنجی مورد توجه بوده است. حتی با به وجود آمدن تکنولوژی‌های سنسجش از دور و رادار وجود شبکه باران‌سنجی مناسب ضروری است زیرا این تکنولوژی‌ها

بارندگی مهم‌ترین عاملی است که به طور مستقیم در چرخه هیدرولوژی دخالت دارد. کاهش باران موجب خشکسالی و افزایش شدت و مقدار آن موجب سیلاب می‌شود. الگوی بارش در فضا و توزیع زمانی و مکانی آن در زمین اساس اطلاعات هیدرولوژی است به طوری که رطوبت خاک، تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی و جریان آب در آبراهه‌ها متأثر از این بردار ورودی می‌باشد. حرکت

^۱ استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند

(*نویسنده مسئول: mohsen.pourreza@birjand.ac.ir)

DOI:

^۲ استادیار پژوهش، گروه هیدروانفورماتیک، مرکز پژوهشی آب و محیط زیست شرق (EWERI)، مشهد، ایران

^۳ دفتر مطالعات، شرکت آب منطقه‌ای خراسان جنوبی، بیرجند

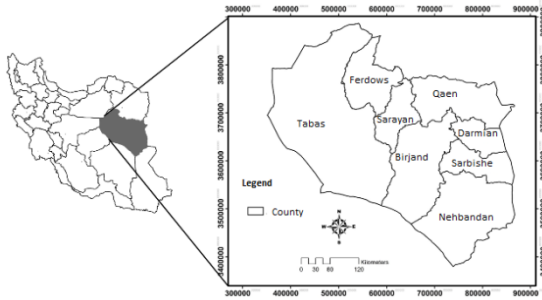
^۴ دانشجوی دکتری رسوب‌شناسی و سنگ‌شناسی رسوبی، واحد بین‌الملل دانشگاه فردوسی مشهد و مدیر محیط زیست و کیفیت منابع آب شرکت آب منطقه‌ای خراسان جنوبی

شامل حداقل کردن تابع هدفی است که هم در برگیرنده دقت تخمین بارندگی ناحیه‌ای (یعنی از طریق تخمین واریانس کریجینگ) و هم هزینه اقتصادی جمع‌آوری داده‌ها باشد. به طوری که روش شناخته شده کاهش واریانس زمین آماری در ترکیب با شبیه‌سازی تبرید^۱ به عنوان الگوریتم حداقل‌سازی اقتصادی را به کار برده‌اند، و تابع هدف آن‌ها برابر مجموع تابع هدف افزایش دقت و تابع هدف اقتصادی می‌باشد. مبنای تصمیم‌گیری ایشان بر اساس دقت مناسب برآورد بارندگی ناحیه‌ای با حداقل هزینه اقتصادی است. چند روش کاهش واریانس کریجینگ و یا سایر روش‌های موجود بهینه‌یابی باران‌سنج‌ها از چند حیث مورد انتقاد جدی قرار گرفته است که برخی از مهم‌ترین معایب مورد بحث این روش‌ها به این شرح می‌باشد: زمان بر بودن آن، عدم امکان در نظر گرفتن سایر عوامل مؤثر بر طراحی شبکه بهینه از جمله عوامل محیطی و اقتصادی، مشکل بودن مدل‌سازی واریوگرام که برای هر واقعه بارندگی ممکن است متفاوت به دست آید و در نهایت اینکه هدف اکثر روش‌ها و کاربردهای آن‌ها در بهینه‌سازی شبکه باران‌سنج‌ها فراهم آوردن تخمین دقیق بارندگی در سطح می‌باشد. در چنین کاربردهایی ارزیابی عملکرد یک شبکه بر کاهش واریانس تخمین بارندگی در سطح متمرکز شده است، اما این واریانس از بارندگی‌های نقطه‌ای منطقه مورد مطالعه محاسبه نمی‌شود (Kassim and Kottegoda, 1991; Cheng et al., 2008; Shafiei et al., 2014). اخیراً (Cheng et al., 2008) روشی را بر مبنای مفاهیم زمین آماری و ویژگی‌های تابع توزیع نرمال ارائه کرده‌اند که توانسته ضعف‌های ذکر شده را تا حد قابل توجهی پوشش دهد. این روش توسط Cheng et al., (2008) در حوضه‌ای به مساحت ۲۲۰۰ کیلومتر مربع در کشور تاپوان با تعداد ۲۷ ایستگاه مورد استفاده قرار گرفته است. در واقع آن‌ها با تعریف مفهومی به نام احتمال پذیرش^۲ بر مبنای مدل زمین آماری کریجینگ معمولی، روشی نوین را معرفی کرده‌اند و از آن در ارزیابی و تقویت شبکه باران‌سنجی استفاده کرده‌اند و نتیجه گرفتند که می‌توان با استفاده از مفهوم ارائه شده معیاری را جهت سنجش عملکرد شبکه ایستگاه‌های باران‌سنجی در نظر گرفت. در تحقیقی دیگر (Shafiei et al., 2014) این روش

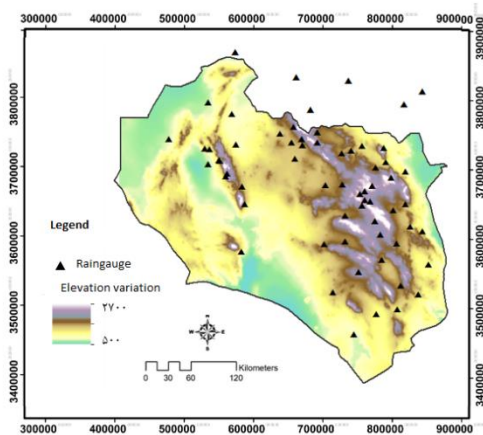
نیازمند واسنجی و ارزیابی با باران‌سنج‌های زمینی می‌باشند (Beren and Krajewski, 2013) و البته هنوز در بسیاری از مناطق قابل اجرا نمی‌باشند. تاکنون روش‌های مختلفی برای ارزیابی و بهینه‌سازی شبکه‌های باران‌سنج استفاده و معرفی شده‌اند. ساده‌ترین آن‌ها توسط سازمان جهانی هواشناسی است که در مناطق مسطح به ازای هر ۵۰۰ کیلومتر مربع یک ایستگاه و در حوضه‌های کوهستانی کوچک با بارش‌های نامنظم در هر ۲۵ کیلومتر مربع یک ایستگاه پیشنهاد کرده است (World Meteorological Organization; WMO, 1994). در این مورد Hershfield (۱۹۶۵) برای اولین بار، با استفاده از همبستگی داده‌ها در شبکه داده‌های بارش ۲۴ ساعته با دوره بازگشت ۲ سال و همچنین بارش ۱ ساعته با همین دوره بازگشت، به منظور طراحی شبکه باران‌سنجی استفاده نمود. افراد دیگری نیز در زمینه بررسی همبستگی مکانی شبکه داده‌های بارش تحقیقاتی انجام داده‌اند (Rodriguez and Mejia, 1974; Bras and Rodriguez, 1976; Bras and Colon, 1978). روش‌های مختلف بهینه‌سازی فراکوشی و روش‌های مبتنی بر زمین‌آمار از جمله ابزارهایی می‌باشند که در مبحث طراحی بهینه شبکه‌های باران‌سنجی به وفور مورد توجه بوده است. در این بین محبوبیت و قابلیت روش‌های مبتنی بر زمین آماری و تخمین‌گر کریجینگ بیشتر بوده است و این به سبب قابلیت ناریب بودن آن در تعمیم داده‌های نقطه‌ای و ارائه ساختار تغییرات مکانی می‌باشد. روش‌های کاهش واریانس کریجینگ به عنوان ابتدایی‌ترین آن‌ها شامل جستجوی تعداد مناسب ایستگاه و موقعیت آن‌ها با حداقل کردن واریانس تخمین کریجینگ می‌باشد. تاکنون نیز گزارشات و مقالات محققان متعددی در این مورد انجام شده است (Hughes and Lettenmaier, 1981; Bastin et al., 1984; Bogardi and Bardossy, 1985). در این میان همچنین برخی تحقیقات با اضافه کردن بهینه‌سازی اقتصادی نیز سعی در ارائه یک شبکه بهینه داشته‌اند. به طوری که نصب باران‌سنج جدید در شبکه نیازمند هزینه‌هایی می‌باشد که توازن بین دقت مورد نیاز و تعداد ایستگاه‌های پیشنهادی برقرار کند، در این مورد (Pardo-Iguzqiza, 1998) از یک روش برای بهینه‌یابی طراحی شبکه باران‌سنج‌ها جهت افزایش دقت تخمین بارندگی ناحیه‌ای استفاده کرده‌اند که مسئله

¹ Simulating Annealing

² Acceptance Probability



شکل ۱- موقعیت استان خراسان جنوبی در ایران
Figure 1- Location of South Khorasan Province in Iran



شکل ۲- پراکنش مکانی و ارتفاعی ایستگاه‌های باران‌سنجی استان خراسان جنوبی
Figure 2- Location and elevation of rain gauges in South Khorasan Province

آزمون همگنی به روش گشتاورهای خطی

برای بررسی همگنی منطقه از نظر هیدرومتئورولوژی و تولید بارش، ابتدا فرض می‌شود که منطقه همگن می‌باشد و سپس این فرض توسط این روش آزمون می‌شود. اگر تغییرپذیری ایستگاه‌ها یا فضای پراکنش ایستگاه‌ها در یک مجموعه انتخابی بزرگ باشد، احتمال تعلق این ایستگاه‌ها به این مجموعه واحد را می‌توان به وسیله آزمون همگنی گشتاورهای خطی بررسی کرد. برای محاسبه پراکنش نسبت‌های گشتاورهای خطی ناحیه‌ای اقدام به شبیه‌سازی داده‌های ناحیه‌ای معادل می‌شود. برای این منظور می‌بایست تابع توزیع مناسبی را در نظر گرفته و با استفاده از آمار واقعی ناحیه‌ای، پارامترهای تابع انتخابی در هر ناحیه تعیین گردد. برای پرهیز از انتخاب یک تابع توزیع دو یا سه پارامتری خاص، تابع چهار پارامتری کاپا جهت اجرای شبیه‌سازی در نظر گرفته می‌شود (Hosking and Wallis, 1997). پس از محاسبه پارامترهای تابع توزیع کاپا برای ناحیه مورد نظر، اقدام به شبیه‌سازی داده‌های منطقه‌ای

را توسعه داده و روابط ساده‌ای برای محاسبات آن ارائه کرده‌اند و نتایج کاربرد آن را در حوضه گرگان‌رود مورد ارزیابی قرار داده‌اند. تحقیق حاضر در نظر دارد به بررسی و ارزیابی شبکه ایستگاه‌های هواشناسی در استان خراسان جنوبی بپردازد. این تحقیق به دنبال یافتن اهداف ذیل در مطالعات منابع آب می‌باشد. (۱) به کمیت در آوردن عملکرد (راندمان) شبکه سنجش بارندگی موجود در استان، (۲) بررسی موقعیت و تراکم ایستگاه‌های موجود از لحاظ تأثیر در دقت برآوردهای مکانی (بارندگی ناحیه‌ای)، (۳) ارائه شبکه مناسب سنجش بارندگی در استان با حذف یا افزودن ایستگاه جدید. مقاله حاضر بر مبنای کاربرد روش احتمال پذیرش و استفاده از روش‌های گشتاور خطی جهت بررسی همگنی ایستگاه‌های منطقه می‌باشد که تاکنون این رویکرد مورد استفاده نبوده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان خراسان جنوبی در شرق ایران و با مساحت حدود ۱۵۰۷۹۷ کیلومترمربع در یک اقلیم خشک با تعداد ۱۱ شهرستان، ۲۲ بخش و ۵۱ دهستان واقع شده است. تراکم و تمرکز مناطق روستایی استان خراسان جنوبی بیشتر در مناطق کوهستانی و مرکز استان واقع شده است. از نظر هیدرولوژیکی و تقسیمات تمام این استان در ۲ زیرحوضه درجه یک به نام‌های فلات مرکزی و مرزی شرقی کشور و بر اساس زیرحوضه‌های درجه ۲ در ۴ زیرحوضه کویر مرکزی، نمکزار خواف، کویرلوت و هامون هیرمند همچنین بر اساس تقسیم‌بندی درجه سه استان خراسان جنوبی شامل ۳۸ محدوده می‌باشد. در شکل ۱ موقعیت استان در کشور به همراه شهرستان‌های آن نشان داده شده است. در شکل ۲ نیز تغییرات ارتفاعی استان نشان داده شده است. ارتفاعات بلند استان در شرق آن قرار دارد و بخش‌های جنوبی و غربی کم‌ترین ارتفاع را دارا می‌باشد. آمار ایستگاه‌های باران‌سنجی مورد نیاز این تحقیق از ایستگاه‌های وزارت نیرو (باران‌سنجی و تبخیرسنجی) و ایستگاه‌های سازمان هواشناسی کشور (سینوپتیک و کلیماتولوژی) مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین ایستگاه‌های باران‌سنجی که در استان‌های مجاور نیز می‌باشند مد نظر قرار گرفته‌اند. در مجموع تعداد ۶۳ ایستگاه شناسایی شده است (شکل ۲).

که در آن پارامترها به ترتیب $N, n_i, L_{cv}^{(i)}$ و $L_{cv}^{(R)}$ تعداد ایستگاه‌های حوضه، طول دوره آماری ایستگاه Δt ، ضریب تغییرات خطی هر یک از ایستگاه‌های یک حوضه، میانگین ضریب تغییرات خطی ایستگاه‌های یک حوضه (مجموع ضریب تغییرات خطی هر ایستگاه در یک حوضه و تقسیم آن بر تعداد ایستگاه حاصل می‌شود). تابع تجمعی توزیع کاپا به صورت معادله ۵ می‌باشد.

$$F(x) = \left\{ 1 - h \left[1 - \frac{k(x - \xi)}{\alpha} \right] \right\}^{\frac{1}{k}} \quad (5)$$

که در آن α, ξ, k و h پارامترهای توزیع کاپا، x مقدار واقعه و $F(x)$ تابع توزیع تجمعی می‌باشد و مقدار تابع از معادله ۶ قابل محاسبه است.

$$x(F) = \xi + \frac{\alpha}{k} \left[1 - \left(\frac{1 - F^h}{h} \right)^k \right] \quad (6)$$

برای محاسبه پارامترهای توزیع کاپا، از معادلات ارائه شده توسط (Hosking, 1994) استفاده می‌شود. در نهایت با محاسبه پارامترهای توزیع کاپای حوضه و با به دست آوردن مقادیر میانگین و انحراف معیار مقادیر شبیه‌سازی شده داده‌های منطقه‌ای معادل، آماره آزمون همگنی از معادله ۱۳ قابل محاسبه است. اگر $|H_i|$ (که از معادله ۱ به دست می‌آید) به اندازه کافی بزرگ باشد، ناحیه ناهمگن خواهد بود. در این مورد (Hosking and Wallis, 1997) پیشنهاد کردند که یک ناحیه، وقتی می‌تواند ناحیه همگن قابل قبول باشد اگر $|H_i| < 1$ ، و می‌تواند ناحیه نسبتاً همگن باشد اگر $1 < |H_i| < 2$ و به عنوان ناحیه مشخصاً ناهمگن خواهد بود اگر $|H_i| > 2$ باشد. در عمل عنوان می‌شود که معیار H_1 به منظور بررسی این آزمون مناسب‌تر است. همچنین (Hosking and Wallis, 1997) آماره D را جهت شناسایی مکان‌های ناجور^۱ نسبت به کل گروه را معرفی کردند به طوری که اگر مقدار D بزرگ‌تر از ۳ باشد ایستگاه ناجور بوده و از گروه حذف می‌شود.

$$D_i = \frac{1}{3} (u_i - \bar{u})^T S^{-1} (u_i - \bar{u}) \quad (7)$$

$$S = (NS - 1)^{-1} \sum_{i=1}^{NS} (u_i - \bar{u})(u_i - \bar{u})^T \quad (8)$$

$$\bar{u} = \frac{1}{NS} \sum_{i=1}^{NS} u_i \quad (9)$$

که $u_i = [\tau_1^i, \tau_3^i, \tau_4^i]^T$ ماتریس ترانهاده گشتاورهای خطی در ایستگاه i ، N تعداد ایستگاه و S ماتریس کوواریانس

معادل به روش مونت کارلو می‌شود. به این منظور در هر ایستگاه به تعداد طول دوره آماری آن ایستگاه، اعدادی تصادفی (معمولاً به تعداد ۵۰۰ عدد) به عنوان مقادیر احتمال وقوع در بازه (۱،۰) در نظر گرفته شده و با استفاده از تابع چندک توزیع کاپا و پارامترهای برآورد شده آن در ناحیه مربوطه اقدام به برآورد آمار حداکثر بارندگی روزانه معادل می‌گردد. سپس ضرایب گشتاورهای خطی (ضریب تغییرات، ضریب چولگی و کشیدگی) مربوط به آمار برآورد شده محاسبه خواهد شد. پس از محاسبه این ضرایب با استفاده از آمار شبیه‌سازی شده در تمامی ایستگاه‌های واقع در ناحیه مفروض، مقادیر V_i ($i=1, 2, 3$) با استفاده از معادله‌های ۱ تا ۹ محاسبه می‌شوند. فرایند شبیه‌سازی آمار در هر ایستگاه و محاسبه ضرایب گشتاورهای خطی و آماره‌های V_i ، ۵۰۰ بار تکرار شده و در نتیجه ۵۰۰ مقدار V_i حاصل خواهد شد. میانگین μ_v و انحراف معیار σ_v مربوط به مقادیر شبیه‌سازی شده V_i ها تعیین می‌شود. پارامتر دیگر آزمون همگنی، V_{obs} با استفاده از معادله‌های ۲ تا ۴ برای مقادیر واقعی حداکثر بارش ثبت شده ایستگاه‌های حوضه محاسبه می‌شوند. با به دست آوردن این سه پارامتر آماره آزمون همگنی (H_i) قابل محاسبه است. سه آماره همگنی این آزمون یعنی H_1 برای بررسی ضریب تغییرات خطی L_{cv} ، آماره H_2 برای ترکیبی از ضریب تغییرات خطی و ضریب چولگی خطی L_{SK} و آماره H_3 برای ترکیبی از ضریب چولگی خطی و ضریب کشیدگی خطی L_{ku} به کار برده می‌شود که شکل عمومی هر یک به صورت معادله ۱ می‌باشد.

$$H_i = \frac{(V_{obs} - \mu_v)}{\delta_v} \quad (1)$$

به طوری که μ_v و σ_v به ترتیب میانگین و انحراف معیار مقادیر شبیه‌سازی شده (حاصل از توزیع کاپا) و پارامتر V_{obs} را با استفاده از داده‌های هر حوضه محاسبه نموده که برای هر یک از آماره‌های H_i (به ترتیب H_1, H_2, H_3)، به صورت معادله‌های ۲ تا ۴ تعریف می‌شوند (Hosking, 1994).

$$V_1 = \frac{\sum_{i=1}^N (n_i (L_{cv}^{(i)} - L_{cv}^{(R)})^2)}{\sum_{i=1}^N n_i} \quad (2)$$

$$V_2 = \frac{\sum_{i=1}^N (n_i (L_{cv}^{(i)} - L_{cv}^{(R)})^2)}{\sum_{i=1}^N n_i} \quad (3)$$

$$V_3 = \frac{\sum_{i=1}^N (n_i (t_3^{(i)} - t_3^{(R)})^2 + (t_4^{(i)} - t_4^{(R)})^2)^{1/2}}{\sum_{i=1}^N n_i} \quad (4)$$

¹ Discordancy

نظر $(-\sigma_z, \sigma_z)$ قرار گیرد را می‌توان به سادگی با استفاده از احتمال تجمعی توزیع نرمال استاندارد تعیین کرد.

$$P[|\tilde{z}(x_0)| < \sigma_z] = P\left[\frac{|\tilde{z}(x_0)|}{\sigma_k(x_0)} < \frac{\sigma_z}{\sigma_k(x_0)}\right] \quad (13)$$

$$= P\left[|\tilde{z}(x_0)| < \frac{\sigma_z}{\sigma_k(x_0)}\right] = p_A(x_0)$$

که در آن $\tilde{Z}^*(x_0)$ خطای تخمین استاندارد بوده و از توزیع نرمال استاندارد پیروی می‌کند یا به عبارتی $\tilde{Z}^*(x_0) \sim N(0,1)$ ، σ_z انحراف معیار داده‌های بارندگی مقیاس شده می‌باشد که معادل سقف واریوگرام بدون بعد در نظر گرفته می‌شود و $\sigma_k(x_0)$ جذر واریانس تخمین کریجینگ می‌باشد و $p_A(x_0)$ احتمال پذیرش^۲ در نقطه x_0 نامیده می‌شود که نشان‌گر احتمال آن است که خطای تخمین در x_0 کمتر از σ_z است. بنابراین می‌توان گفت که دقت برآورد در یک نقطه فاقد آمار قابل قبول است تنها اگر احتمال پذیرش مربوط به آن بزرگتر یا مساوی α باشد. در نتیجه برآورد در آن نقطه از دقت پذیرش^۳ برخوردار است. به بیان دیگر نقاطی که واریانس‌های کریجینگ بزرگتر دارند احتمال‌های پذیرش در آن‌ها کم‌تر می‌باشد (Cheng et al., 2008; Shafiei et al., 2014). از آنجا که در محاسبه $p_A(x_0)$ (معادله ۱۳) نیاز به مراجعه به جدول توزیع نرمال استاندارد می‌باشد، لذا در این پژوهش از فرم تقریب زده شده آن توسط Shafiei et al. (2014) استفاده شده است.

$$P_A(x_0) = 1 - \left[1 - \exp\left(-\tau^2 \frac{\pi}{1 + 0.14\tau^2}\right) \right]^{\frac{1}{2}}, \tau = \frac{\sigma_z}{\sqrt{2}\sigma_k(x_0)} \quad (14)$$

همچنین در این مطالعه قبل از ورود به محاسبات بررسی واریوگرام بارندگی منطقه و احتمال پذیرش از مفهوم واریوگرام بدون بعد (اقليمی) جهت بررسی ساختار مکانی بارندگی استفاده شده است (Bastin et al., 1984). طبق پیشنهاد Cheng et al. (2008) ابتدا داده‌های بارندگی با معادله ۱۵ استاندارد (بدون بعد) شده و سپس از آن‌ها جهت تحلیل واریوگرام یا ساختار مکانی استفاده می‌شود.

$$\frac{R_i(j) - R_{m,j}}{S(j)} \quad i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, N \quad (15)$$

که $R_i(j)$ و $R_{m,j}$ به ترتیب نشان دهنده بارندگی سالانه سال j ام و متوسط بارندگی سالانه ایستگاه j ام است، $S(j)$ انحراف معیار بارندگی سالانه در سال j ام است و $R_i^*(j)$ داده‌های

نمونه است. جهت انجام محاسبات برنامه کلیه مراحل ذکر شده در محیط نرم افزار متلب^۱ نوشته شده است.

معرفی الگوریتم احتمال پذیرش

مفهوم احتمال پذیرش و تعریف دقت پذیرش

دقت تخمین بارندگی نقطه‌ای در هر منطقه‌ای متفاوت است و به تعداد و موقعیت قرارگیری باران‌سنج‌ها بستگی دارد. از نظر کاربردی، یک شبکه باران‌سنجی خوب بایستی منجر به دقت قابل قبول برای اکثر نقاط در منطقه شود. برآورد در نقطه x_0 قابل قبول خواهد بود اگر مقدار برآورد شده در دامنه‌ای از مقدار واقعی قرار گیرد.

$$|\tilde{z}(x_0)| = |\hat{z}(x_0) - z(x_0)| < r \quad (10)$$

که $r > 0$ است. هر چند که در نقطه مشخص x_0 ، دقت برآورد ساعت به ساعت و واقعه به واقعه تغییر می‌کند؛ از این رو ارزیابی باید بر مبنای یک مفهوم در برگیرنده تمامی وقایع صورت پذیرد. همچنین تعیین دامنه (r) باید با در نظر گرفتن واریانس بارندگی $Z(x)$ (یعنی σ_z^2) صورت پذیرد. بنابراین معیار تجدید نظر شده و دقیق‌تر با معادله ۱۱ می‌توان بیان کرد (Cheng et al., 2008).

$$P[|\hat{z}(x_0) - z(x_0)| < k\sigma_z] \geq \alpha \quad (11)$$

که در این معادله دامنه قابل قبول برای خطای برآورد برحسب انحراف معیار متغیر تصادفی $Z(x)$ است. ضریب k و حداقل احتمال α بر اساس عواملی مانند بودجه در دسترس برای تأسیس و نگهداری ایستگاه و دقت برآورد مورد نظر انتخاب می‌شوند. در صورتی که محدودیتی وجود نداشته باشد، $k=1$ و α برابر 0.8 در نظر گرفته می‌شود (Cheng et al., 2008). Webster and Oliver (2001) خطای تخمین (واریانس کریجینگ) روش کریجینگ معمولی واریانس را از معادله ۱۲ محاسبه کردند.

$$\sigma_k^2(x_0) = \mu + \sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma_{i0} \quad (12)$$

که λ_i وزن‌های در نظر گرفته شده برای تخمین‌ها، μ ضریب لاگرانژ و γ_{i0} مقدار واریوگرام بین نقاط معلوم $Z(x_i)$ و مجهول $Z(x_0)$ است. چون تخمین‌گر کریجینگ معمولی ناریب است، میانگین خطای برآورد در x_0 صفر و واریانس آن $\sigma_k^2(x_0)$ است. اگر فرض شود که توزیع خطای برآورد نرمال باشد، احتمال این که خطای برآورد $\tilde{Z}(x_0)$ در داخل دامنه مورد

² Acceptance Probability

³ Acceptable Accuracy

¹ Matlab

نتایج و بحث

تحلیل همگنی داده‌های ایستگاه‌های بارندگی

با توجه به داده‌های جمع‌آوری شده از ۶۳ ایستگاه تا سال آبی ۹۳-۱۳۹۲، تنها ۱۷ ایستگاه آمار بالای ۲۵ سال دارند. لذا جهت مشخص کردن ایستگاه‌های انتخابی برای تحلیل‌ها آماری همگنی و زمین آماری برای مراحل بعد ایستگاه‌های دارای آمار بیشتر از ۱۵ سال در نظر گرفته شدند؛ به این سبب که سال‌های آماری کمتر از این دوره اعتماد به نتایج به دست آمده در تحلیل‌های بعدی بسیار کاهش خواهد یافت (Sun and Petreson, 2006). در نهایت یک دوره مشترک ۱۷ ساله (شروع از سال آبی ۷۷-۱۳۷۶ تا ۹۳-۱۳۹۲) در نظر گرفته شد. بر این اساس شبکه‌ای متشکل از ۳۴ ایستگاه انتخاب شد. همانطور که قبلاً ذکر شد در این مطالعه از آزمون گشتاورهای خطی برای بررسی همگنی ایستگاه‌های منطقه استفاده شده است. نتایج آزمون نشان داد قدر مطلق آماره H_1 برای منطقه برابر ۱/۵ می‌باشد، بنابراین منطقه مورد نظر (شبکه ایستگاه‌ها) نسبتاً همگن می‌باشد (زیرا مقدار آماره بین ۱ و ۲ به دست آمده است) و یا به عبارتی رفتار بارندگی سالانه در ایستگاه‌های مورد مطالعه نسبتاً مشابه است. بنابراین، لزومی به تقسیم منطقه به واحدهای همگن نمی‌باشد و می‌توان تحلیل‌های زمین آماری و سایر تحلیل‌های مکانی (مانند پهنه‌بندی) را برای یک واحد همگن یعنی کل استان (به همراه ایستگاه‌های مجاور در خراسان رضوی) انجام داد. همچنین محاسبه آماره ناجوری (D) نشان داد که یکی از ایستگاه‌های منطقه (ایستگاه نیاز طبس) ایستگاه ناجور^۱ (ناهمگون) نسبت به سایر ایستگاه‌های منطقه می‌باشند و لذا این ایستگاه در تحلیل‌های بعدی کنار گذاشته شد. بنابراین تعداد ایستگاه‌های منتخب شبکه به ۳۳ عدد کاهش می‌یابد.

نتایج تحلیل ساختار مکانی (واریوگرام) تغییرات بارندگی سالانه

در این پژوهش داده‌های بلند مدت بارندگی سالانه در حوضه مورد استفاده قرار گرفته است. قبل از انجام تحلیل زمین آماری و برازش واریوگرام برای ایستگاه‌های منطقه، بر اساس مفهوم واریوگرام بدون بعد یا به عبارتی واریوگرام

مقیاس شده می‌باشد که در ساخت واریوگرام اقلیمی بدون بعد از آن استفاده می‌شود. برای تحلیل واریوگرام از نرم‌افزار Variowin2.2 استفاده شده است (Pannatier, 1996).

الگوریتم ارزیابی و تقویت شبکه باران‌سنجی

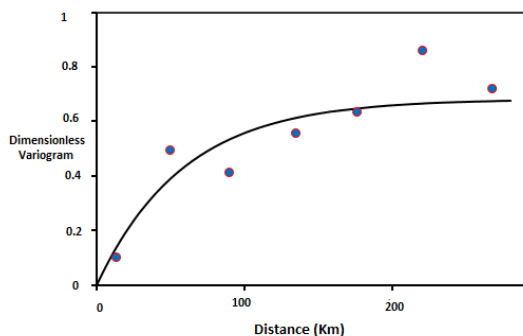
با توجه به مطالب مذکور در بخش قبل، ارزیابی کارایی یک شبکه باران‌سنجی را می‌توان بر اساس درصدی از مساحت منطقه با دقت پذیرش (A_p) انجام داد. بنابراین احتمال پذیرش را می‌توان در هر نقطه درون منطقه مطالعاتی محاسبه کرد. یک شبکه موجود ایستگاه‌های باران‌سنجی را می‌توان حسب درصد مساحتی با دقت پذیرش از طریق جابه‌جایی ایستگاه‌ها یا افزودن ایستگاه‌های جدید تقویت کرد. با استفاده از الگوریتم ارائه شده توسط Cheng et al., (2008) می‌توان جهت ارزیابی کارایی توأم مجموعه‌ای از ایستگاه‌های باران‌سنجی استفاده کرد، که به شرح ذیل می‌باشد (Cheng et al., 2008; Shafiei et al., 2014).

۱- محاسبه A_p برای شبکه با حذف یک ایستگاه از شبکه موجود در یک سطح دقت مورد نظر (α).
 ۲- برگرداندن ایستگاه حذف شده در مرحله قبل به شبکه، انتخاب ایستگاهی دیگر و محاسبه مجدد A_p . این مرحله تا آنجایی ادامه می‌یابد که همه ایستگاه‌ها مورد استفاده قرار گیرند. بنابراین مجموعه‌ای از مقادیر A_p به ازای حذف هر ایستگاه از شبکه به دست می‌آید.
 ۳- در این مرحله ایستگاهی که بیشترین مقدار A_p را در مرحله ۲ داشته از محاسبات کنار گذاشته می‌شود. سپس از تعداد ایستگاه‌های باقی‌مانده یکی کم می‌شود و مراحل ۱ و ۲ تکرار می‌شوند.

مرحله ۳ تا زمانی اجرا می‌شود که تنها یک ایستگاه باقی بماند. پس از اتمام الگوریتم ترتیبی فوق، تمامی ایستگاه‌ها بر اساس نوبت (رتبه) حذف شدنشان در گام سوم اولویت‌بندی می‌شوند. علاوه بر این در هر بار که در گام سوم یک ایستگاه حذف می‌شود نقشه مقادیر احتمال پذیرش و مقادیر A_p متناظر با آن با استفاده از ایستگاه‌های باقی‌مانده به دست می‌آید. با استفاده از مقادیر A_p مربوط به حذف تک ایستگاه‌های باران‌سنجی یا معادل آن مجموعه‌ای از ایستگاه‌های باقی‌مانده، نموداری بر اساس A_p و شماره ایستگاه حذف شده متناظر با آن برای نشان دادن ترتیب اولویت باران‌سنج‌ها و کارایی مجموعه باران‌سنج‌ها می‌توان ترسیم کرد.

¹ Discordancy

می‌شود در نزدیکی مرزهای استان و مناطقی که ایستگاه وجود ندارد احتمال پذیرش کمتر از سایر نقاط می‌باشد.



شکل ۳- واریوگرام تجربی (نقاط) و برازش داده شده (منحنی) بارندگی سالانه در استان خراسان جنوبی

Figure 3- Experimental and fitted climatological variograms of annual rainfall in Soth Khorasan Province

با توجه به توزیع مکانی $p_A(x_0)$ در استان برای ضریب ثابت $\alpha=0/8$ ، $\alpha=0/8$ درصد از کل مساحت استان از دقت پذیرش برخوردار هستند ($A_p=36/2\%$). همچنین دیده می‌شود که به ازای $\alpha=0/7$ حدود ۶۳ درصد از سطح استان از دقت پذیرش برخوردار می‌باشد. Cheng et al., (2008) در مطالعه خود در یک منطقه مرطوب (با متوسط بارندگی سالانه ۴۰۰ میلی‌متر) به این نتیجه رسیده‌اند که در صورتی که آستانه قابل قبول (α) را برای A_p برابر ۸۰٪ درصد به عنوان معیار ارزیابی شبکه ایستگاه‌های باران‌سنجی در نظر بگیریم آنگاه در سطح $\alpha=0/8$ شبکه باران‌سنجی مورد تایید می‌باشد و قابل ارزیابی و بهینه‌یابی می‌باشد. از طرفی Shafiei et al. (2014) نیز در حوضه نیمه‌مرطوب گرگان‌رود (با متوسط بارندگی ۳۰۰ میلی‌متر) به نتایج مشابه رسیده‌اند و آستانه قابل قبول ضریب α را برابر ۰/۸ در نظر گرفته و سپس ارزیابی و بهینه‌یابی را در شبکه باران‌سنجی منطقه انجام داده‌اند. بنابراین در این مطالعه نیز سطح احتمال ۰/۸ در نظر گرفته شده است و عملکرد (کارایی) شبکه باران‌سنجی استان برابر ۳۶ درصد به دست آمده است که کارایی نسبتاً ضعیفی می‌باشد.

ارزیابی و بهینه‌یابی شبکه باران‌سنجی استان

همانطور که در بخش مواد و روش‌ها ارائه شد، ارزیابی کارایی شبکه بر مبنای درصدی از مساحت منطقه با دقت پذیرش (A_p) بر اساس الگوریتم ارائه شده قابل انجام است. با انجام این الگوریتم نقش (مشارکت) هر ایستگاه باران‌سنجی در دقت شبکه محاسبه و ارزیابی می‌شود.

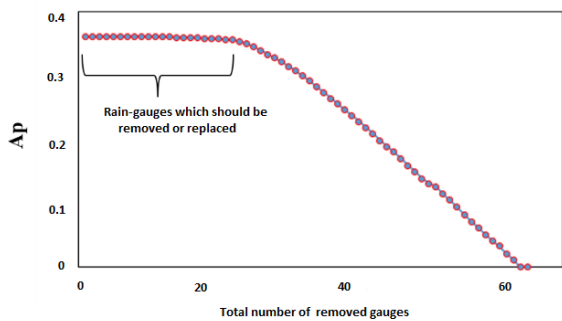
اقلیمی، داده‌های بارندگی سالانه ۳۳ ایستگاه منطقه توسط معادله ۱۵ مورد پردازش قرار گرفتند. جهت تحلیل ساختار مکانی بارندگی سالانه در ایستگاه‌های باران‌سنجی خراسان جنوبی ابتدا واریوگرام تجربی آن به کمک نرم‌افزار Variowin2.2 ساخته شد و سپس بهترین برازش واریوگرام نظری بر روی آن انجام شد (شکل ۳). برای برازش واریوگرام تجربی از انواع متداول واریوگرام نظری مانند خطی، توانی، نمایی و گوسی استفاده شد و در نهایت مدل واریوگرام نمایی بهترین برازش را نشان داد. در شکل ۳ واریوگرام بدون بعد نمایی برای بارندگی سالانه در استان خراسان جنوبی ارائه شده که دامنه تأثیر آن برابر ۱۷۶/۴ کیلومتر، سقف آن ۰/۶۸ برحسب واحد بدون بعد، اثر قطعه‌ای آن صفر به دست آمده است. واریوگرام برازش داده شده در معادله ۱۶ قابل نمایش است.

$$\gamma(h) = 0.68 \left(1 - \exp\left(-\frac{h}{58.7}\right) \right) \quad (16)$$

محاسبه احتمال پذیرش و کارایی شبکه موجود باران‌سنجی استان

بر اساس ساختار مکانی تغییرات بارندگی سالانه در منطقه و روابط ارائه شده در محاسبه احتمال پذیرش (بخش ۲-۳) احتمال پذیرش (P_A) در نقاط مختلف استان محاسبه و سپس دقت پذیرش (A_p) در سطوح احتمال مختلف تحلیل و بررسی شده‌اند. در این مطالعه از بارندگی سالانه برای ترسیم نقشه‌های هم‌مقدار احتمال پذیرش و ارزیابی شبکه ایستگاه‌های باران‌سنجی (به عبارتی محاسبه دقت پذیرش) منطقه استفاده شده است. بر اساس معادله محاسبه احتمال پذیرش (معادله ۱۴) و الگوریتم ارائه شده ارزیابی شبکه باران‌سنجی انجام شده است. با در نظر گرفتن یک شبکه سلولی یک کیلومتر در یک کیلومتر و با استفاده روابط و ابزار توسعه داده شده، احتمال پذیرش در شبکه وجود باران‌سنجی منطقه شامل تمامی ایستگاه‌های باران‌سنجی فعال منطقه (به عبارتی تعداد ۶۳ ایستگاه موجود) محاسبه شده است و نتیجه مقادیر هم‌مقدار آن در شکل ۴ آمده است. نتایج نشان داد که بازه تغییرات احتمال پذیرش بین ۰/۵ تا ۱ به دست آمده است. در محل هر ایستگاه باران‌سنجی مقدار احتمال پذیرش برابر یک می‌باشد چون تخمین‌گر کریجینگ معمولی دقیق است و خطای تخمین در محل‌هایی که داده اندازه‌گیری شده دارند صفر می‌باشد و همانطور که در شکل ۴ دیده

۲۰ ایستگاه نقش بسیار کمی در افزایش دقت برآورد مکانی بارندگی در منطقه دارند.

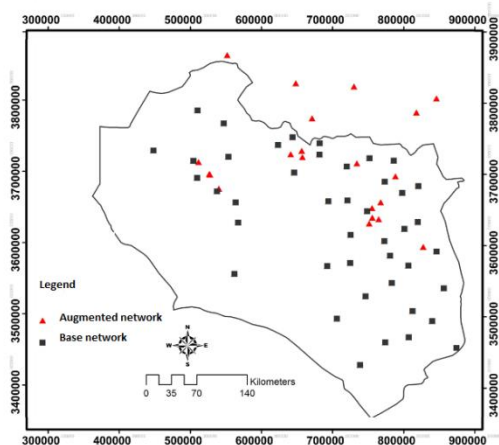


شکل ۵- اولویت بندی ایستگاه ها و مقدار A_p متناظر آن ها برای

$$\alpha=0.8$$

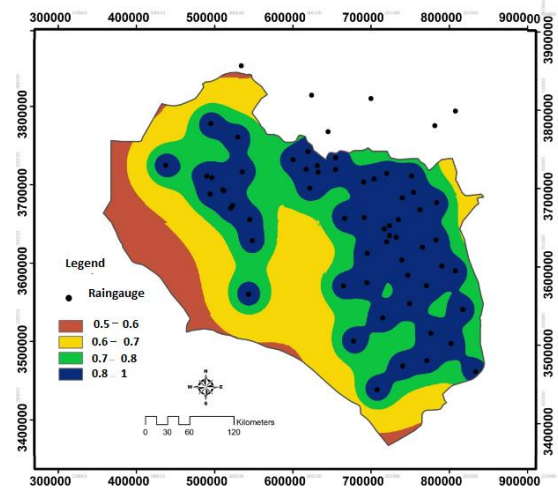
Figure 5- Rain-gauges prioritization and the corresponding A_p values for $\alpha=0.8$

به طوری که این ایستگاه ها بهتر است در روند بهینه یابی و تقویت شبکه باران سنجی جا به جا شوند یا در صورت تحمیل هزینه های اضافی حذف گردند. سایر ۴۳ ایستگاه باقی مانده در واقع تشکیل شبکه ایستگاه های پایه را می دهند به طوری که همه آن ها نقش موثری در افزایش دقت شبکه باران سنجی در برآورد بارندگی سالانه دارند. نکته قابل توجه این است که کارایی شبکه باران سنجی با ۴۳ ایستگاه پایه برابر کارایی شبکه اصلی (موجود) با ۶۳ ایستگاه است. همچنین همانطور که در شکل ۶ مشخص است ایستگاه های باران سنجی مجاور استان تأثیر کمی در افزایش دقت شبکه دارند و استفاده از آن ها جهت برآورد بارندگی سالانه و یا میانگین بارندگی در استان تأثیری در افزایش دقت برآوردها نخواهد داشت.



شکل ۶- پراکنش مکانی ایستگاه های شبکه باران سنجی دارای حداقل تأثیر در دقت شبکه

Figure 6- Spatial distribution of rain gauge stations with minimum effect in network accuracy



شکل ۴- توزیع مکانی مقادیر احتمال پذیرش در استان خراسان جنوبی

Figure 4- Spatial variation of acceptance probability values in South Khorasan Province

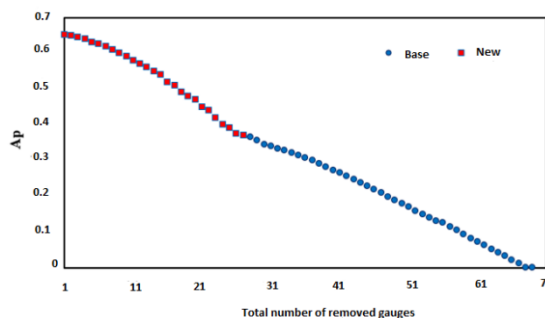
همچنین، تقویت شبکه موجود باران سنجی موجود با جابه جایی ایستگاه های که تأثیر کمی در افزایش دقت برآورد بارندگی دارند یا احداث ایستگاه جدید در موقعیت بهینه امکان پذیر می باشد که توسط الگوریتم ارائه شده قابل انجام است. بر اساس مطالعات پیشین (Cheng et al., 2008; Shafiei et al., 2014) احتمال پذیرش در سطح $\alpha=0.8$ جهت ارزیابی و بهینه یابی (تقویت) شبکه باران سنجی موجود انتخاب شده است. بنابراین با الگوریتم ارائه شده ابتدا ارزیابی نقش ایستگاه های موجود در دقت شبکه باران سنجی سالانه انجام شده است و سپس در نقاطی که سطح احتمال پذیرش آن ها از ۰/۸ کمتر می باشد می توان نقاط ایستگاهی جدید را معرفی کرد به طوری که دقت پذیرش شبکه موجود از ۳۶/۲ درصد به حداکثر ممکن (به عبارتی ۱۰۰ درصد) برسد.

ارزیابی مشارکت ایستگاه های باران سنجی موجود در افزایش دقت شبکه

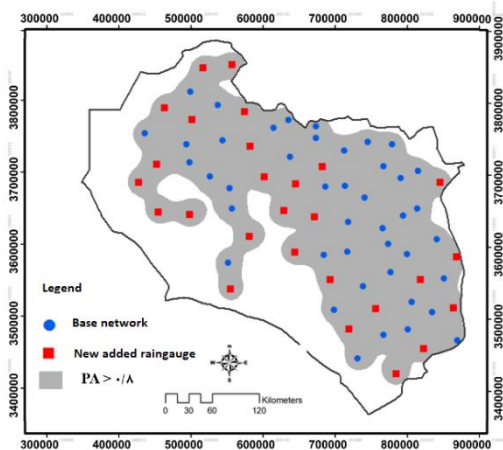
با انجام الگوریتم، تمامی ایستگاه ها بر اساس نوبت (رتبه) حذف شدنشان اولویت بندی شدند و با استفاده از مقادیر A_p مربوط به حذف تک ایستگاه های باران سنجی یا معادل آن مجموعه ای از ایستگاه های باقی مانده، نموداری بر اساس A_p و شماره ایستگاه حذف شده متناظر با آن برای نشان دادن ترتیب اولویت باران سنجی ها و کارایی مجموعه باران سنجی ها در شکل ۵ ترسیم شده است. همانطور که در شکل ۶ نشان داده شده است تعداد حدود

تقویت شبکه باران سنجی موجود در منطقه

جهت افزایش دقت در شبکه باران سنجی پایه یا به عبارتی افزایش کارایی شبکه به دقت پذیرش (A_p) ۱۰۰ درصد، در نقاطی که $P(A) < \alpha$ با توجه به الگوریتم ارائه شده می توان به ترتیب نقاطی را که بیشترین A_p را در ترکیب با شبکه باران سنجی پایه می دهند به دست آورد. برای این کار ابتدا یک سری نقاط پیشنهادی (شبکه پیشنهادی جدید) در نقاطی که مقادیر احتمال پذیرش کمتر از حد آستانه آن می باشد در نظر گرفته می شود و سپس الگوریتم بهینه یابی اجرا می شود. در انتخاب نقاط برای باران سنجی های جدید وجود مرکز جمعیتی و دسترسی به راه های فرعی و اصلی مد نظر قرار گرفته شده است. لازم به ذکر است که بخشی از مساحت استان خراسان جنوبی در مجاورت کویر است به طوری که هیچ آبادی یا مرکز جمعیتی در آنجا وجود ندارد. در واقع امکان تاسیس و بهره برداری ایستگاه در این مکان ها وجود ندارد. این مناطق در سمت جنوب و غرب استان و در محدوده شهرستان نهبندان و طبس بیشتر واقع شده اند. بنابراین از پیشنهاد ایستگاه جدید در این مناطق صرف نظر شده و کارایی (عملکرد) شبکه در دقت پذیرش کمتر از ۱۰۰ درصد خواهد بود. نتایج نشان داد که با اضافه شدن تعداد ۲۷ ایستگاه جدید به شبکه فعلی مطابق اشکال ۷ و ۸، بهبود کارایی شبکه با در نظر گرفتن این نقاط به ۶۵ درصد افزایش می یابد. همچنین به سبب محدودیت دسترسی در بخش های جنوبی و غربی منطقه امکان ایجاد ایستگاه جدید در این بخش ها وجود ندارد و بنابراین حداکثر کارایی شبکه ۶۵ درصد می باشد که نسبت به شبکه پایه ۳۰ درصد بیشتر شده است.



شکل ۷- اولویت بندی ایستگاه ها و مقدار A_p متناظر آنها در سطح $\alpha=0.8$ در شبکه بهینه
Figure 7- Rain-gauge prioritization and the corresponding A_p values for alpha=0.8 in augmented network



شکل ۸- توزیع مکانی احتمال پذیرش در شبکه باران سنجی بهینه به همراه موقعیت ایستگاه های جدید پیشنهادی
Figure 8- Spatial distribution of acceptance probabilities in augmented network and their new locations

نتیجه گیری

تخمین دقیق تغییرات مکانی بارندگی در حوضه های آبریز همواره چالشی در مباحث مدل سازی بارش-رواناب و همچنین بررسی تغییرات بیلان منابع آبی بوده است. بنابراین ارزیابی عملکرد شبکه ایستگاه های باران سنجی در حوضه ها از اهمیت زیادی برخوردار می باشد. اما اغلب عدم وجود یک معیار مناسب برای این امر احساس شده است. روش احتمال پذیرش می تواند به عنوان یک روش ساده و کاربردی این مسئله را در مطالعات منابع آب حل نماید. این روش مبتنی بر مدل زمین آماری کریجینگ برای ارزیابی و بهینه یابی شبکه ایستگاه های باران سنجی می باشد و مفهوم آن بر اساس درصدی از مساحت منطقه با دقت پذیرش (A_p) می باشد. از مزیت های بسیار مهم این روش می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ۱) در نظر گرفتن بارندگی نقطه ای (به جای در نظر گرفتن میانگین) در بررسی دقت تخمین توزیع مکانی بارش.
- ۲) انعطاف پذیری بالا، به طوری که پارامترهای معادله احتمال پذیرش نسبت به مقیاس زمانی بارش (ساعتی یا سالانه) و میزان خطا در وسایل اندازه گیری بارندگی قابل تعیین می باشند.
- ۳) کمی سازی میزان مشارکت هر ایستگاه باران سنج در دقت تخمین توزیع مکانی بارندگی.

منابع

- Bastin, G., Lorent, B., Duque, C., Gevers, M. 1984. Optimal estimation of the average areal rainfall and optimal selection of raingauge locations. *Water Resources Research*, 20(4): 463-470.
- Berne, A., Krajewski, W. F. 2013. Radar for hydrology: Unfulfilled promise or unrecognized potential?. *Advances in Water Resources*, 51, 357-366.
- Bogardi, I., Bardossy, A. 1985. Multicriterion network design using geostatistics. *Water Resources Research*, 21(2): 199-208.
- Bras, R. L., Colón, R. 1978. Time averaged areal mean of precipitation: Estimation and network design. *Water Resources Research*, 14(5): 878-888.
- Bras, R. L., Rodríguez Iturbe, I. 1976. Network design for the estimation of areal mean of rainfall events. *Water Resources Research*, 12(6): 1185-1195.
- Cheng, K. S., Wei, C., Cheng, Y. B., Yeh, H. C., Liou, J. J. 2008. Rain-gauge network evaluation and augmentation using geostatistics. *Hydrological Processes: An International Journal*, 22(14): 2555-2564.
- Hershfield, D. M. 1965. On the spacing of raingages. In *Proceedings of the WMO/IASH Symposium on Design of Hydrometeorologic Networks*. International Association Science. Hydrology Publications, 67: 72-79.
- Hosking, J. R. M. 1994. The Four-Parameter Kappa distribution. *IBM Journal of Research and Development*, 38(3): 251-258.
- Hosking, J. R. M., Wallis, J. R. 1997. *Regional frequency analysis: An approach based on L-Moments*. Cambridge University Press, New York, USA.
- Hughes, J. P., Lettenmaier, D. P. 1981. Data requirements for kriging: estimation and network design. *Water Resources Research*, 17(6): 1641-165.
- Kassim, A. H. M., Kottegoda, N. T. 1991. Rainfall network design through comparative kriging methods. *Hydrological Sciences Journal*, 36(3): 223-240.
- Pannatier, Y. 1996. *VARIOWIN software for spatial data analysis in 2D*. Springer, New York. Lausanne Edition Springer, Institut of Mineralogy, University of Lausanne.
- Pardo-Igúzquiza, E. 1998. Optimal selection of number and location of rainfall gauges for areal rainfall estimation using geostatistics and simulated annealing. *Journal of Hydrology*, 210(1-4): 206-220.
- Rodríguez Iturbe, I., Mejía, J. M. 1974. The design of rainfall networks in time and space. *Water Resources Research*, 10(4): 713-728.
- Shafiei, M., Ghahraman, B., Saghafian, B., Pande, S., Gharari, S., Davary, K. 2014. Assessment of rain-gauge networks using a probabilistic GIS based approach. *Hydrology Research*, 45(4-5): 551-562.
- Sun, B., Petreson, T. C. 2006. Estimating precipitation normal for USCRN stations. *Journal of Geophysical research*, 111(D9): 1984-2012.
- Webster, R., Oliver, M. A. 2001. *Geostatistics for environmental scientists*. John Wiley and Sons, Ltd., Chichester, UK, 271p.
- WMO. 1994. *Guide to hydrological practices*, 5th Ed., WMO No. 168, 735 p.



ارزیابی برونداد دمای فصلی مدل‌های پیش‌بینی همادی آمریکای شمالی در حوضه‌های آبریز درجه دو ایران

حسین نجفی^۱، علیرضا مساح‌بوانی^{۲*}، پرویز ایران‌نژاد^۳، اندرو ویلیام رابرتسون^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۴/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۳/۲۰

چکیده

هدف از این پژوهش، ارزیابی برونداد دمای سامانه‌های پیش‌بینی فصلی اقلیمی در پهناور ایران است. این تحلیل‌ها بر اساس مدل‌های گردش کلی جفت‌شده جو-اقیانوس انجام شده است که در همادی مدل‌های آمریکای شمالی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. مهارت هر یک از مدل‌های آمریکای شمالی با آغازگری‌های مختلف و در سه زمان انتظار صفر، یک و دو (ماه) برای سه فصل هدف (اکتبر-دسامبر)، (دسامبر-فوریه) و (فوریه-آوریل) بررسی شده است. بدین منظور از محصول دمای پایگاه CRU (دو متری سطح زمین) در دوره (۱۹۸۲-۲۰۱۰) به عنوان داده مرجع مشاهداتی استفاده شد. معیارهای صحت‌سنجی قطعی شامل همبستگی پیرسون، میانگین خطا و ریشه مربعات خطا است که برای ارزیابی پیش‌بینی‌های فصلی محاسبه شده‌اند. نمره ROC نیز به عنوان یک شاخص طبقه‌بندی برای کلیه مدل‌ها در شرایط زیر نرمال و بیش از نرمال محاسبه شده است. نتایج نشان می‌دهد ضریب همبستگی بین سامانه‌های پیش‌بینی فصلی و پایگاه CRU در فصل FMA بیشتر از دو فصل DJF و OND است. مهارت مدل CFSv2 در جنوب کشور در OND قابل ملاحظه (همبستگی بالای ۰/۹ و ROC بیش از ۰/۷) می‌باشد. الگوی آریبی بر اساس موقعیت جغرافیایی در فصول هدف تقریباً مشابه است. کمترین تغییرات آریبی از لحاظ مقدار، مربوط به مدل GFDL-FLOR-B01 می‌باشد. با افزایش زمان انتظار، مهارت سامانه‌های پیش‌بینی فصلی در تعدادی از حوضه‌های آبریز کشور کاهش می‌یابد. با توجه به آریبی قابل‌ملاحظه تعدادی از مدل‌های همادی آمریکای شمالی، می‌توان از روش‌های پس‌پردازش مناسب برای حذف آریبی برونداد این مدل‌ها استفاده نمود. همچنین می‌توان با توسعه سامانه‌های همادی چندمدلی در سطح حوضه‌های آبریز در فصول مهم از منظر بخش کشاورزی و منابع آب بهره گرفت.

واژه‌های کلیدی: پیش‌بینی فصلی دما، مدل‌های همادی آمریکای شمالی، حوضه‌های آبریز درجه ۲، مدل‌های گردش کلی جفت‌شده-جو-اقیانوس، ایران

مقدمه

از سطح مخازن و پیکره‌های آبی و کانال‌های انتقال آب، ذوب برف، فرآیند تبدیل بارش به رواناب و حجم آب تجدیدپذیر نقش مهمی ایفا می‌کند. در بخش کشاورزی، پیش‌آگاهی از بی‌هنجاری‌های متغیرهای اقلیمی در کشت آبی و دیم، تهیه اطلس محصولات استراتژیک در استان‌های مختلف کشور و پیش‌بینی عملکرد و بیمه کشاورزی دارای اهمیت است. در بخش انرژی، بی‌هنجاری‌های مثبت دما می‌تواند بار شبکه در توزیع برق و عملکرد نیروگاه‌های برق-آبی را تحت تأثیر قرار دهد. لذا با در نظر گرفتن اهمیت تغییرات دمایی در حوضه‌های مختلف، بخش بزرگی از تحقیقات به بررسی این کمیت پرداخته‌اند. به عنوان مثال، تأثیر دورپیوندها و سازوکارهای دینامیکی در

دما به عنوان یکی از درون‌دادهای مهم مدل‌سازی فرآیندهای آب‌وهوایی است. این کمیت هواشناختی مهم به طور مستقیم و غیر مستقیم در برنامه‌ریزی‌های بخش آب، کشاورزی و انرژی تأثیر می‌گذارد. دما یکی از عوامل کنترل‌کننده فرآیندهای هیدرولوژیکی است که در تبخیر

^۱دانش‌آموخته دکتری مهندسی منابع آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران

^۲دانشیار، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران

(*نویسنده مسئول: armassah@ut.ac.ir)

DOI:

^۳دانشیار، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران

^۴مدیر ارشد مطالعات اقلیمی، مؤسسه پژوهشی بین‌المللی برای اقلیم و جامعه، مؤسسه زمین، دانشگاه کلمبیا واقع در نیویورک، ایالات متحده آمریکا

NMME به صورت توسعه همادی چندمدلی می‌توان مهارت پیش‌بینی را با بهره‌گیری از نقاط قوت هر مدل در کشور ایران نیز افزایش داد (به عنوان مثال Najafi et al., 2018b). به عنوان مثال، برون‌داد بارش و دمای NMME در حوضه آبریز کرخه در مقیاس ماهانه و آغازگری‌های مختلف ارزیابی و نشان داده شد که با توسعه همادی چندمدلی می‌توان به بیشترین همبستگی در مقایسه با مدل‌های انفرادی دست پیدا کرد (Najafi et al., 2017). در مطالعات کشاورزی، هیدرواقلمی و مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب در حوضه‌های آبریز ایران می‌توان از برون‌داد سامانه‌های پیش‌بینی بلندمدت اقلیمی در دوره‌های ماهانه و فصلی به صورت بهنگام بهره گرفت. این پژوهش، بستر اولیه چنین مطالعاتی را فراهم می‌سازد که لازمه آن آشکار شدن مهارت سامانه‌های پیش‌بینی فصلی است.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

محدوده موقعیت جغرافیایی مورد بررسی در این پژوهش شامل ۴۳ تا ۶۴ درجه شرقی و ۲۴ تا ۴۰ درجه شمالی است. این محدوده دربرگیرنده کل کشور ایران به همراه مساحتی از کشورهای همسایه است (شکل ۱).

داده‌های دمای شبکه‌بندی شده CRU

در این پژوهش، مجموعه داده دمای شبکه‌بندی شده مرکز CRU واقع در دانشگاه ایست‌انگلیا در انگلستان (نسخه ۳.۲۲) به‌عنوان مبنای سنجش مهارت مدل‌های پیش‌بینی فصلی استفاده شده است. این مجموعه داده به صورت سری زمانی با تفکیک مکانی بالا (۵/۰ درجه) تولید شده و از سال ۱۹۰۱ دارای داده می‌باشد. فرآیند توسعه داده‌های شبکه‌بندی CRU دارای یک روش‌شناسی پیچیده است (Harris et al., 2014). این مجموعه داده در ایران با ۸۸ ایستگاه هم‌دید برای مؤلفه‌های دما (کمینه، بیشینه و میانگین) مورد ارزیابی قرار گرفته است (Miri et al., 2017). نتایج ارزیابی به کمک پنج آماره ضریب تبیین، ریشه میانگین مربع خطا، ریشه میانگین مربع خطای استاندارد شده، شاخص توافق، شیب خط و اریبی در تحقیق یاد شده نشان می‌دهد که:

بی‌هنجاری‌های دمایی و از منظر دینامیک بزرگ‌مقیاس در یک دوره بلندمدت در مناطق مختلف کشور ایران مورد بررسی قرار گرفته است (Zareabayneh and Bayat, 2011; Varkeshi, 2011; Ghasemi and Khalili, 2008; Irannejad et al., 2016; Halabian and Mohamadi, 2012; Khosravi and Mesgari., 2016; Molavi-Arabshahi et al., 2016; Sobhani et al., 2014). در مطالعات کشاورزی، تأثیر متغیرهای اقلیمی (بارش و دما) برای تعیین مناطق مستعد کشت در استان‌های مختلف کشور مورد بررسی قرار گرفته است (Fallah Ghalhari et al., 2015; Kamali et al., 2010). قابل ذکر است که در خصوص پیش‌بینی و مدل‌سازی ماهانه و فصلی دمای ایران بیشتر از روش‌های آماری و هوش مصنوعی استفاده شده است که نتایج قابل قبولی را نیز به همراه داشته است (به عنوان مثال، Amini Rakan et al., 2015; Ghasemi, 2017; Marofi et al., 2015). اما به مطالعات در زمینه ارزیابی دما با استفاده از مدل‌های گردش کلی کمتر توجه شده است. مزیت استفاده از برون‌داد مدل‌های گردش کلی، امکان استفاده به‌صورت به‌هنگام در صورت وجود مهارت این مدل‌ها در زمان‌های انتظار مختلف است. در این پژوهش، کارایی تعدادی از مدل‌های عددی که در فاز یک از پروژه مدل‌های همادی آمریکای شمالی^۱ مورد استفاده قرار می‌گیرد، در پیش‌بینی فصلی دما در کشور ایران مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. ارزیابی برون‌داد تعدادی از مدل‌های گردش کلی جو-اقیانوس NMME در نواحی مختلف جهان انجام شده است. برون‌داد دمای NMME در نیمکره شمالی (Becker and Van del Dool, 2016)، ایالات متحده آمریکا (Chen et al., 2017; Slater et al., 2014; Tian et al., 2017)، شرق آفریقا (Shukla et al., 2016) و حوضه رود زرد در چین (Yuan, 2016) مورد بررسی قرار گرفته است. برون‌داد بارش مدل‌های همادی آمریکای شمالی در چندی از مطالعات در کشور ایران نیز مورد ارزیابی قرار گرفته است. در یک مطالعه انجام شده برای حوضه‌های آبریز درجه دو کشور ایران، پیش‌بینی فصلی برون‌داد بارش NMME برای هر مدل مورد ارزیابی قرار گرفت و مشخص شد که مهارت مدل‌ها در فصول مختلف یکسان نیست (Najafi et al., 2018a). همچنین تعدادی از مطالعات نشان داده که با ترکیب برون‌داد

¹ North America Multi-model Ensemble (NMME)

ماه هر فصل هدف، بارگیری شده است. برون داد مدل CFSv2. دارای اجراهای پنج روزه (Pentad) است. هر اجرا دارای چهار آغازگری در ساعت‌های ۰۰، ۰۶، ۱۲ و ۱۸ به وقت ساعت هماهنگ جهانی (UTC) می‌باشد. برای سایر مدل‌ها، تنها یک اجرا در روز اول از ماه ابتدای فصل هدف استفاده شده است. به عنوان مثال برای فصل هدف دسامبر- فوریه، از آغازگری ساعت صفر UTC روزهای یک دسامبر استفاده شده است. برای ارزیابی برون داد مدل‌های اشاره شده در جدول ۱ از کلیه اعضای همادی هر مدل میانگین گرفته شده است. با توجه به کارایی مناسب دمای متوسط CRU در کشور ایران، از این مجموعه داده برای ارزیابی برون داد دمای مدل‌های NMME استفاده شده است. در کلیه تحلیل‌ها، برون داد مدل‌های NMME و داده‌های شبکه‌بندی CRU به صورت باز شبکه (تفکیک مکانی یک درجه) مورد استفاده قرار گرفته‌اند. دو مجموعه داده CRU و NMME، از درگاه برخط کتابخانه داده موسسه بین‌المللی اقلیم و جامعه دریافت شده‌اند (قابل دسترسی از

<http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES>).

- مجموعه داده CRU دارای کارایی قابل قبول و دقت خوب (ضریب تبیین بالای ۰/۹ در مقایسه با ایستگاه‌های مشاهداتی در اکثر مناطق کشور) است.
- آریبی این مجموعه داده در مقایسه با مقادیر ثبت شده در اکثر ایستگاه‌های کشور بین ۲ و ۲- درجه سانتی‌گراد است.
- ریشه میانگین مربع خطا CRU نیز در بیشتر مناطق کشور از ۲ درجه سانتی‌گراد فراتر نمی‌رود.
- این مجموعه در مناطق ساحلی شمال کشور فرابرد دارد و ریشه میانگین مربع خطا در تعدادی از ایستگاه‌ها از جمله تهران و کمر بند ساحلی شمال کشور بین ۴ تا ۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

مدل‌های همادی آمریکای شمالی (NMME)

مدل‌های همادی آمریکای شمالی، مدل‌های گردش کلی جفت‌شده جو- اقیانوس هستند. این مدل‌ها پیش‌بینی‌های فصلی صادر کرده و برون داد آن‌ها در دوره بازپیش‌بینی و بهنگام قابل دسترسی است (Kirtman et al., 2014). مشخصات سامانه‌های پیش‌بینی فصلی NMME در جدول ۱ نشان داده شده است. نحوه اجرای مدل‌های NMME در دوره بازپیش‌بینی در مدل‌های مختلف متفاوت است. در کلیه تحلیل‌ها، پیش‌بینی مربوط به روز آغازین از اولین

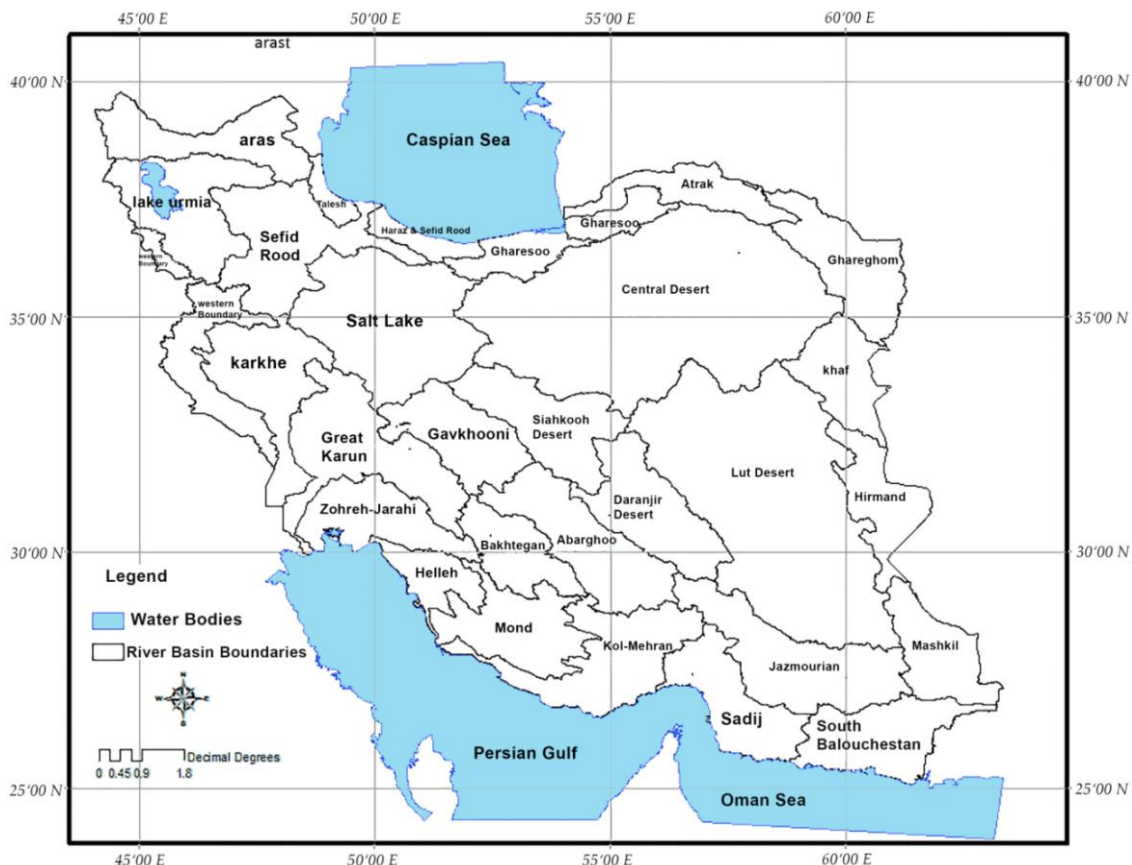


Figure 1- Area under study in this research, Iran's river basins boundaries are identified

شکل ۱- محدوده مورد مطالعه در این پژوهش به همراه مرز حوضه‌های آبریز درجه ۲ در کشور ایران

Table 1- Seasonal Climate Forecast System from NMME project (phase-I) and their characteristics

جدول ۱- سامانه‌های پیش‌بینی اقلیمی استفاده شده در این پژوهش از فاز ۱ مدل‌های همادی آمریکای شمالی به همراه خصوصیات آن‌ها

Name	Center	Lead time	Ensemble members	Resolution of Atmospheric Model (degree)	Reference
CFSv2	NCEP	0.5-9.5	24	0.9	(Saha et al., 2014)
CMC1	Environment	0.5-11.5	10	2.5	(Merryfield et al., 2013)
CMC2	Canada	0.5-11.5	10		
GFDL-CM2.1		0.5-11.5	10		
GFDL-FLOR-A06	GFDL	0.5-11.5	11	0.5	(Zhang et al., 2007)
GFDL-FLOR-B01		0.5-11.5	11	0.5	
NCAR-CCSM4	NCAR	0.5-11.5	10	1.25×0.9	(Gent et al., 2010)
NASA-GMAO-062012	NASA	0.5-9.5	11	1.25×1	(Vernieres et al. 2012)
NCAR-CESM1	NCAR	0.5-11.5	10	1.25×0.9	(Neale et al., 2013)

به صورت برخط از تارنمای مربوطه^۱. سه فصل هدف شامل ۱- اکتبر تا دسامبر معادل ۹ مهر تا ۱۰ دی، ۲- دسامبر تا فوریه معادل ۱۲ آذر تا ۱۰ اسفند و ۳- فوریه تا آوریل معادل ۱۲ بهمن تا ۱۰ اردیبهشت در این پژوهش ارزیابی می‌شوند.

نتایج و بحث

مهارت مدل‌های NMME در پیش‌بینی دمای فصول

برون‌داد مجموعه‌ای از مدل‌های همادی آمریکای شمالی برای ۳ فصل اکتبر- دسامبر، دسامبر- فوریه و فوریه- آوریل در این بخش مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. همبستگی برون‌داد هر مدل با داده‌های CRU در فصول مختلف نشان از مهارت مناسب اکثر مدل‌های NMME در بیشتر مناطق کشور دارد (شکل ۲). ضریب همبستگی متوسط برای هر فصل در جدول ۲ برای مدل‌های NMME (در زمان انتظار صفرماه) ارائه شده است. جدول ۲ نشان می‌دهد که مهارت یک مدل مشخص در فصول مختلف یکسان نمی‌باشد. همچنین، مدل‌های مختلف دارای عملکرد متفاوت هستند که ناشی از عوامل مختلف از جمله ساختار و شیوه پارامترسازهای فیزیکی مدل‌ها به همراه سایر چشمه‌های عدم قطعیت در مدل‌سازی عددی سامانه زمین می‌باشد. این موضوع به خوبی لزوم استفاده از روش‌های مناسب در وزندهی به برون‌داد مدل‌های مختلف را در توسعه سامانه‌های همادی چندمدلی نشان می‌دهد که در مطالعات مختلف نیز بدان اشاره شده است (به عنوان مثال Najafi et al., 2017; 2018b). مدل

صحت‌سنجی پیش‌بینی‌های دمای مدل‌های NMME در فصول و زمان‌های انتظار مختلف

در این پژوهش از شاخص‌های مختلفی برای صحت‌سنجی برون‌داد دمای مدل‌های همادی آمریکای شمالی استفاده شده است. سه معیار شامل ضریب همبستگی بین مقادیر پیش‌بینی و مشاهدات (معادله ۱)، ریشه میانگین مربعات خطا (معادله ۲) و میانگین خطای مطلق (معادله ۳) در ارزیابی قطعی مدل‌های NMME استفاده شده است. شاخص متوسط خطا و ریشه میانگین مربعات خطا برای بررسی دقت پیش‌بینی به کار برده می‌شوند.

$$R = \frac{\sum_{k=1}^K (y_k - \bar{y})(o_k - \bar{o})}{[\sum_{k=1}^K (y_k - \bar{y})^2 \sum_{k=1}^K (o_k - \bar{o})^2]^{1/2}} \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (o_{k,i} - y_{k,i})^2}{n}} \quad (2)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n |y_k - o_k| \quad (3)$$

که در آن، y_k و o_k زوج k ام از n زوج پیش‌بینی و مشاهدات می‌باشند و مقادیر باردار میانگین در دوره زمانی بلندمدت هستند. به منظور محاسبه مهارت مدل‌های پیش‌بینی فصلی به صورت احتمالاتی، منحنی‌های ROC و مساحت زیر آن نیز علاوه بر شاخص‌های صحت‌سنجی قطعی (معادلات ۱ تا ۳) محاسبه شده است. این شاخص بر اساس جدول پیش‌بینی تعیین شده و نشان می‌دهد قدرت تشخیص مدل در پیش‌بینی وضعیت‌های مختلف (زیرنرمال/ بیش از نرمال) به چه میزان می‌باشد. ارائه ROC به طور مشخص در دستورالعمل سازمان جهانی هواشناسی و به عنوان یک شاخص استاندارد صحت‌سنجی پیش‌بینی‌های بلندمدت پیشنهاد شده است (قابل دسترس

¹ <http://www.wmo.int/pages/prog/www/DPS/Verification-LRF/verification-scores.html>

در فصل OND بیش از ۰/۸ است. در مقایسه با فصل OND عملکرد مدل‌های انفرادی در پیش‌بینی دمای دو فصل DJF و OND در اکثر حوضه‌های آبریز بالاتر است. برای فصل زمستان می‌توان گفت مهارت مدل‌ها در نیمه جنوبی کشور بیشتر از بخش شمالی است. باید توجه داشت در صورتی که هدف، پیش‌بینی بی‌هنجاری‌های دمایی برای یک حوضه آبریز مشخص یا منطقه جغرافیایی خاصی باشد می‌توان از مهارت هر یک از مدل‌ها و قابلیت‌های آن‌ها به صورت ترکیبی برای حصول به یک پیش‌بینی که برتر از پیش‌بینی هر یک از مدل‌ها به صورت انفرادی باشد، اقدام نمود. لذا لزوم توسعه همادی‌های چندمدلی با ترکیب برون‌داد چندین مدل در سطح حوضه‌های آبریز کشور برای استفاده از برون‌داد کلیه مدل‌ها و استفاده حداکثری از قابلیت هر مدل با پارامترسازی‌های فیزیکی متنوع آشکار است. مطالعات در این زمینه برای ترکیب برون‌داد چندین مدل و توسعه همادی‌های چندمدلی برای متغیر بارش بر اساس NMME در سطح کشور ایران و حوضه آبریز کرخه نتایج قابل قبولی را نشان داده است (Najafi et al., 2017; Najafi et al., 2018b). ارزیابی دما در زمان انتظار صفر (ماه) برای برون‌داد تعدادی از سامانه‌های پیش‌بینی فصلی NMME در گستره‌ای دربرگیرنده کشور ایران در شکل ۳ نشان داده شده است. برای OND (آغازگری اولین روز اکتبر)، DJF (آغازگری اولین روز دسامبر) و FMA (اولین روز فوریه) در دوره بازپیش‌بینی مورد استفاده قرار گرفته است. در فصل OND بعضی از مدل‌ها دارای ارزیابی گرم هستند. GFDL-aer04، CCSM4 و CFSv2 به ترتیب دارای مقادیر ارزیابی بیش از ۷، ۶ و ۴ درجه سلسیوس می‌باشند. همانطور که ذکر شد، تحلیل‌های سالانه مقادیر CRU و مقایسه آن‌ها با ایستگاه‌های همدیدی در سواحل شمالی کشور (به‌عنوان مثال در بابلسر و رامسر) نشان از فراب‌آورد دمای داده‌های شبکه‌ای CRU در دوره ۱۹۸۵-۲۰۱۴ داشته است (Miri et al., 2017) که در تحلیل برون‌داد مدل‌های NMME باید در نظر گرفته شود. بیشترین مقدار ارزیابی در این فصل مربوط به مدل CMC1-CanCM3 است که در تعداد اندکی از سلول‌های ساحل شرقی دریای خزر، ارزیابی سرد بیش از ۸ درجه سلسیوس را نشان می‌دهد. کم‌ترین بازه تغییرات ارزیابی در فصل OND و FMA برابر با $\pm 4^{\circ}\text{C}$ مربوط به مدل

CCSM4 در پیش‌بینی فصل DJF و OND در اکثر مناطق کشور دارای عملکرد بالا است، اما در فصل OND، همبستگی به خصوص در حوضه‌های آبریز قرار گرفته در مناطق کویری واقع در میانه کشور (حوضه‌های آبریز گاوخونی، مهارلو، ابرقو، کویر درانجیر، مند و بخش‌های شرقی حوضه آبریز کارون بزرگ) نزدیک به صفر است.

Table 2- Pearson correlation between NMME temperature outputs and CRU in three target seasons (1982-2010)

جدول ۲- مقادیر ضریب همبستگی برون‌داد مستقیم مدل‌های NMME با داده‌های CRU در محدوده مورد مطالعه در دوره ۱۹۸۲-۲۰۱۰ در سه فصل هدف

Forecast System	OND	DJF	FMA
CFSv2	0.49	0.54	0.62
CCSM4	0.19	0.29	0.55
GFDL-aer04	0.41	0.50	0.36
FLOR-B01	0.51	0.25	0.40
FLOR-A06	0.47	0.28	0.47
CMC2	0.25	0.55	0.65
CMC1	0.31	0.46	0.55
NASA-GMAO	0.33	0.42	0.50
CESM1	0.30	0.44	0.31

FLOR A06 و FLOR B01 نیز در اکثر حوضه‌ها همبستگی بالایی در پیش‌بینی فصل OND و FMA دارند، اما در پیش‌بینی بی‌هنجاری‌های دمایی در DJF در حوضه‌های کارون بزرگ، جراحی، گاوخونی و کویر سیاه‌کوه مهارت قابل ملاحظه‌ای برای این دو مدل وجود ندارد. مدل‌های CMC1 و CMC2 نیز در اکثر حوضه‌های آبریز عملکرد قابل قبولی در فصول DJF و FMA دارند اما در فصل OND همبستگی پایین با مشاهدات دارند (زیر ۰/۳). در اکثر نقاط کشور و نزدیک به صفر در بخش مرکزی و شمال شرقی کشور). مدل CESM1 نیز در شمال ایران در فصل FMA از مهارت قابل قبولی برخوردار نیست. با در نظر گرفتن یک فصل مشخص، همبستگی برون‌داد مستقیم بعضی از مدل‌ها در تعدادی از حوضه‌های آبریز درجه ۲ کشور با داده‌های CRU بیش از ۰/۶ است. به عنوان مثال، در بخش شمالی حوضه آبریز کرخه، مهارت مدل‌های CFSv2، NASA-GMAO، FLOR-A06 و GFDL-aer04 بیش از سایر مدل‌هاست. بیشترین مقادیر همبستگی برای مدل CMC2 در حوضه‌های آبریز مند و ابرقو در DJF و حوضه سفیدرود و بخش زیادی از حوضه دریاچه نمک در شمال غربی و جنوب (بخشی از حوضه کل) برای فصل OND می‌باشد. مهارت مدل CFSv2 نیز در جنوب کشور

تا ۵/۴۵ سانتی‌گراد متغیر است. مساحت زیرمنحنی ROC برای کلیه مدل‌های NMME در شکل ۴ ذکر شده است.

Table 3- Pearson correlation and bias (°C) between NMME temperature outputs and CRU for three target seasons in Karkheh river basin (1982-2010)

جدول ۳- مقادیر ضریب همبستگی و اریبی (درجه سلسیوس) برون‌داد هر یک از مدل‌های NMME با داده‌های CRU در

حوضه آبریز کرخه در دوره ۱۹۸۲-۲۰۱۰

Forecast System	OND		DJF		FMA	
	MAE (°C)	R	MAE (°C)	R	MAE (°C)	R
CFSv2	1.23	0.55	1.06	0.49	0.54	0.6
CCSM4	-0.74	0.15	0.53	0.32	-0.52	0.59
FLOR-B01	-0.64	0.38	-0.65	0.16	-2.24	0.44
FLOR-A06	-0.64	0.46	-0.54	0.22	-2.25	0.52
CMC2-	-0.8	0.13	-0.32	0.46	-0.67	0.74
CMC1-	-2.42	0.24	-1.15	0.48	-1.81	0.54
GMAO	0.26	0.50	-1	0.5	-0.55	0.51
CESM1	-0.31	0.21	2.14	0.36	2.06	0.22

در فصل OND، نمره ROC تعداد زیادی از مدل‌ها در اکثر مناطق کشور به‌جز مناطق ساحلی در جنوب و بخش غربی کشور (کمتر از ۰/۸ است. در این فصل، مدل CMC2 مهارت کافی در پیش‌بینی دمای زیرنرمال حوضه‌های آبریز کارون بزرگ، دریاچه نمک و کویر مرکزی ندارد. در اکثر مناطق کشور در DJF، نمره ROC مدل CFSv2 و CMC2 در دو حالت زیرنرمال و بیش از نرمال، بین ۰/۷ تا ۱ است. در همین فصل و برای مدل FLOR-B01، ROC در بخش‌های زیادی از کشور به‌خصوص در محدوده مرکزی کشور در محدوده مناسب (بیش از ۰/۵) قرار نمی‌گیرد. دمای بیش از نرمال در بیش از ۸۰ درصد مواقع در حوضه‌های آبریز دریاچه ارومیه در شمال غرب کشور و حوضه‌های آبریز مند و کل‌مهران در جنوب غرب کشور توسط GFDL-aer04 در DJF به درستی پیش‌بینی شده است. CCSM4 در OND و DJF در سایر مناطق کشور و به‌طور مشخص در شمال و شمال شرق کشور دارای مهارت مناسب نمی‌باشد. CFSv2 مهارت قابل ملاحظه در پیش‌بینی دمای بیش از نرمال در نیمه شرقی و نوار ساحلی خلیج فارس در فصل FMA دارد ($ROC \geq 0.8$). این مدل به همراه مدل CMC2 دارای بیشترین مهارت در پیش‌بینی دمای زیرنرمال و بیش از نرمال در فصل FMA هستند. مهارت مدل CCSM4 نیز در فصل FMA بسیار بیشتر از دو فصل OND و DJF است. دقیقاً یک الگو شبیه همان باد با ارتفاع پایین‌تر انتظار داشت زیرا عوامل دیگری مانند نسیم دریا، فشار هوا و غیره نیز بر سرعت باد مؤثر است.

CFSv2 است. این مدل در بیش از ۸۵ درصد از محدوده کشور ایران دارای اریبی گرم (کم‌تر از ۲ درجه سلسیوس) است. در فصل OND و در اکثر مناطق (بیش از ۹۰ درصد از محدوده مطالعاتی) اریبی این مدل بین ۱ تا -۱ درجه سلسیوس است. اریبی مدل NASA-GMAO نیز در دو فصل OND و FMA دارای الگوی مکانی تقریباً یکسان به‌خصوص در بخش جنوب شرقی کشور است و مقادیر اریبی برای این بخش بین ۲/۵ تا ۴/۵ درجه سلسیوس (گرم) است. اریبی FLOR-B01 در فصل OND در بخش زیادی از نیمه شمالی کشور هم‌چنین درحوضه آبریز کارون کوچک، کویر مرکزی و بخش‌های شمالی حوضه کویر لوت و مهارلو بین ۲ تا ۴ درجه سلسیوس است. در کل، اریبی دمای محاسبه شده برای مدل‌های NMME نشان می‌دهد که الگوی مکانی اریبی برون‌داد مدل‌های انفرادی در فصول مختلف تقریباً یکسان است (شکل ۳). در فصل OND، تعدادی از مدل‌ها (GFDL-aero4، CCSM4 و CMC1، CMC2) دارای اریبی سرد در حوضه‌های آبریز کویر مرکزی و لوت می‌باشند. به‌جز مدل‌های NASA-GMAO و FLOR-B01، سایر مدل‌ها دارای اریبی قابل ملاحظه (۵ درجه سلسیوس به صورت سرد یا گرم) در بخش شمالی کشور ایران در این فصل هستند. کمترین تغییرات اریبی چه از لحاظ پراکنش مکانی و مقدار، مربوط به مدل GFDL-FLOR B01 است. بعنوان نمونه محاسبات مقادیر همبستگی و اریبی برای میانگین دمای حوضه آبریز کرخه برای فصول مختلف در جدول ۳ ارائه شده است. جدول ۳ نشان از تفاوت زیاد مهارت مدل‌های همدادی آمریکای شمالی در پیش‌بینی دمای حوضه کرخه دارد که باید در استفاده از برون‌داد این مدل‌ها در فصول مختلف مورد توجه قرار گیرد. ریشه میانگین مربعات خطا در شمال غرب کشور برای مدل CFSv2 بین ۱/۰۸ و ۳/۹۷ است. هم‌چنین در نواحی ساحلی شمال کشور در کلیه فصل‌های مورد بررسی، مقدار آن حداکثر برابر ۴/۱۷ درجه سانتی‌گراد است. RMSE مدل CMC2 در OND در مقایسه با بقیه فصل‌ها بیشتر و قابل ملاحظه می‌باشد (بین ۱/۲۲ و ۷/۴۳). در جلگه خوزستان و فصل DJF، RMSE این مدل بین ۳/۳۷ و ۷/۷۱ سانتی‌گراد می‌باشد هم‌چنین در جنوب شرق کشور بین ۱/۵۳ و ۴/۸۴ سانتی‌گراد می‌باشد. در FMA، مقدار RMSE در مناطق کویری در بخش مرکزی کشور از ۰/۹۳

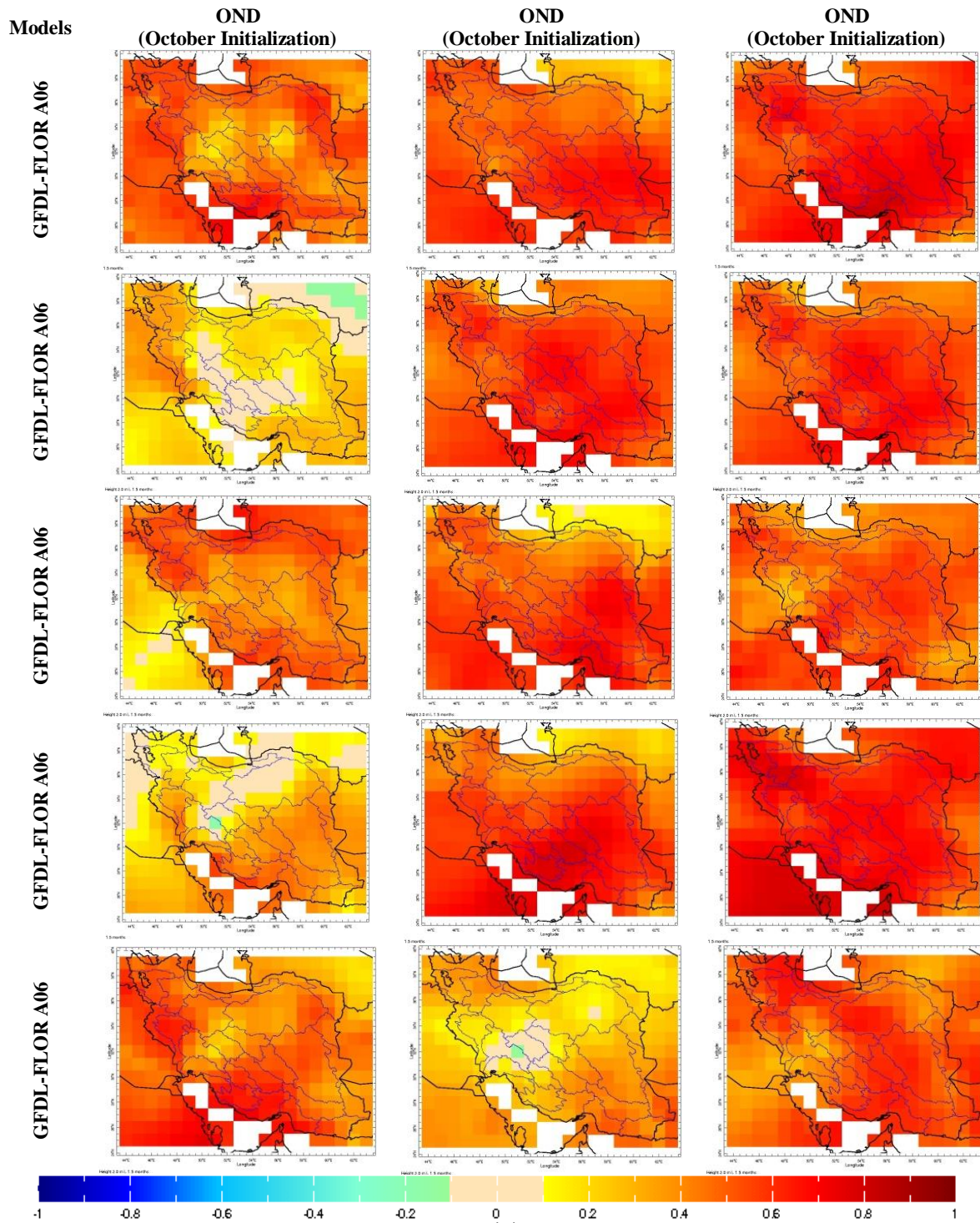


Figure 2- Temperature correlation between a number of NMME seasonal forecasting systems and CRU for OND, DJF and FMA target seasons at 0-month lead time over Iran (1982-2010)

شکل ۲- همبستگی دمای تعدادی از مدل‌های همادی آمریکای شمالی در مقابل مجموعه داده CRU برای سه فصل هدف OND (آغازگری اولین روز اکتبر)، DJF (آغازگری اولین روز دسامبر) و FMA (آغازگری اولین روز فوریه) در گستره ایران محاسبه شده در دوره بازپیش‌بینی (۱۹۸۲-۲۰۱۰)

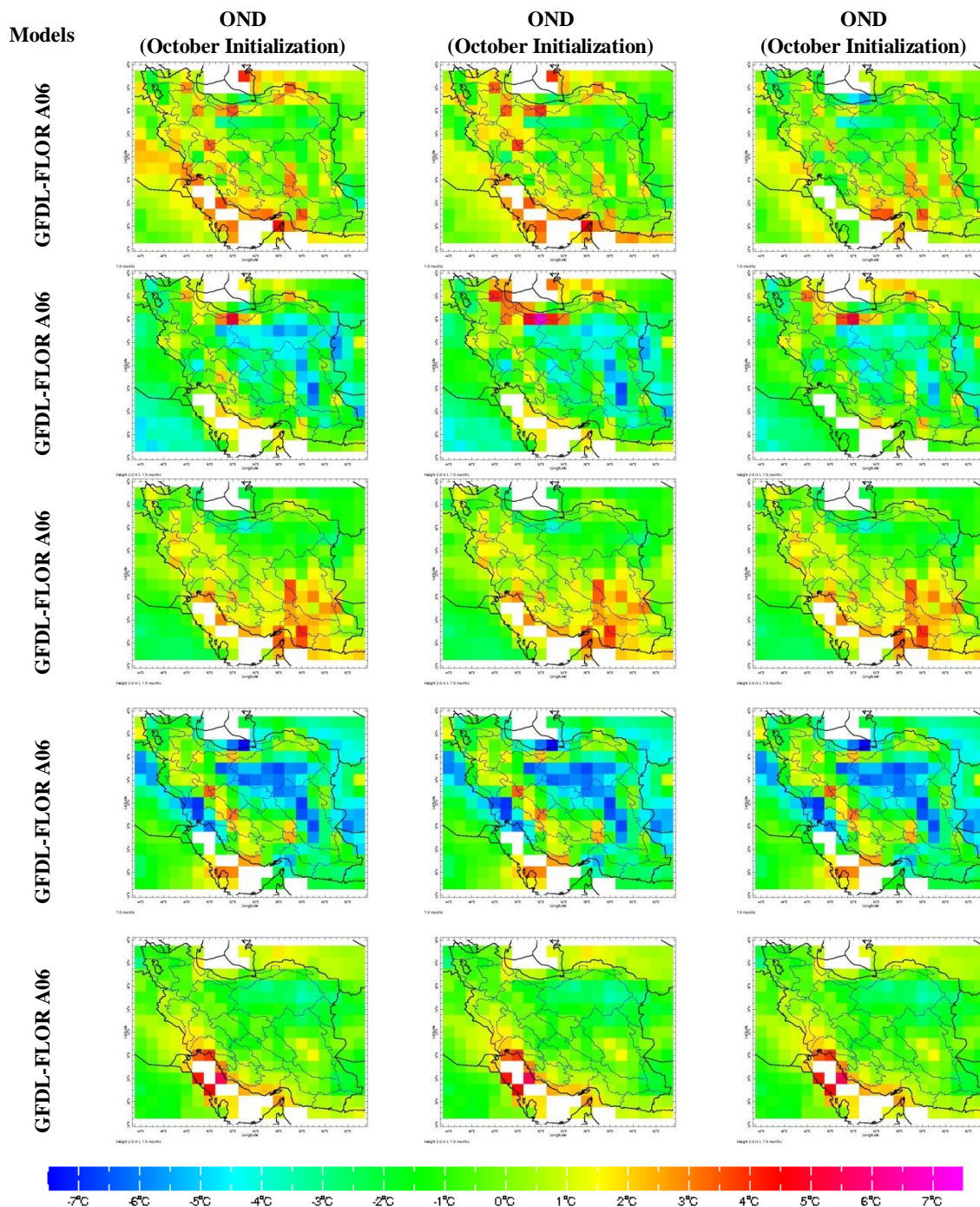


Figure 3- Mean bias (degree Celsius) for a number of NMME seasonal forecasting systems calculated based on CRU for OND, DJF and FMA target seasons at 0-month lead time over Iran (1982-2010)

شکل ۳- متوسط اریبی دما برای تعدادی از مدل‌های همادی آمریکای شمالی برای سه فصل هدف OND (آغازگری اولین روز اکتبر)، DJF (آغازگری اولین روز دسامبر) و FMA (آغازگری اولین روز فوریه) در گستره ایران بر حسب درجه سلسیوس در دوره ۱۹۸۲-۲۰۱۰ (اریبی در مقایسه با داده‌های CRU محاسبه شده است)

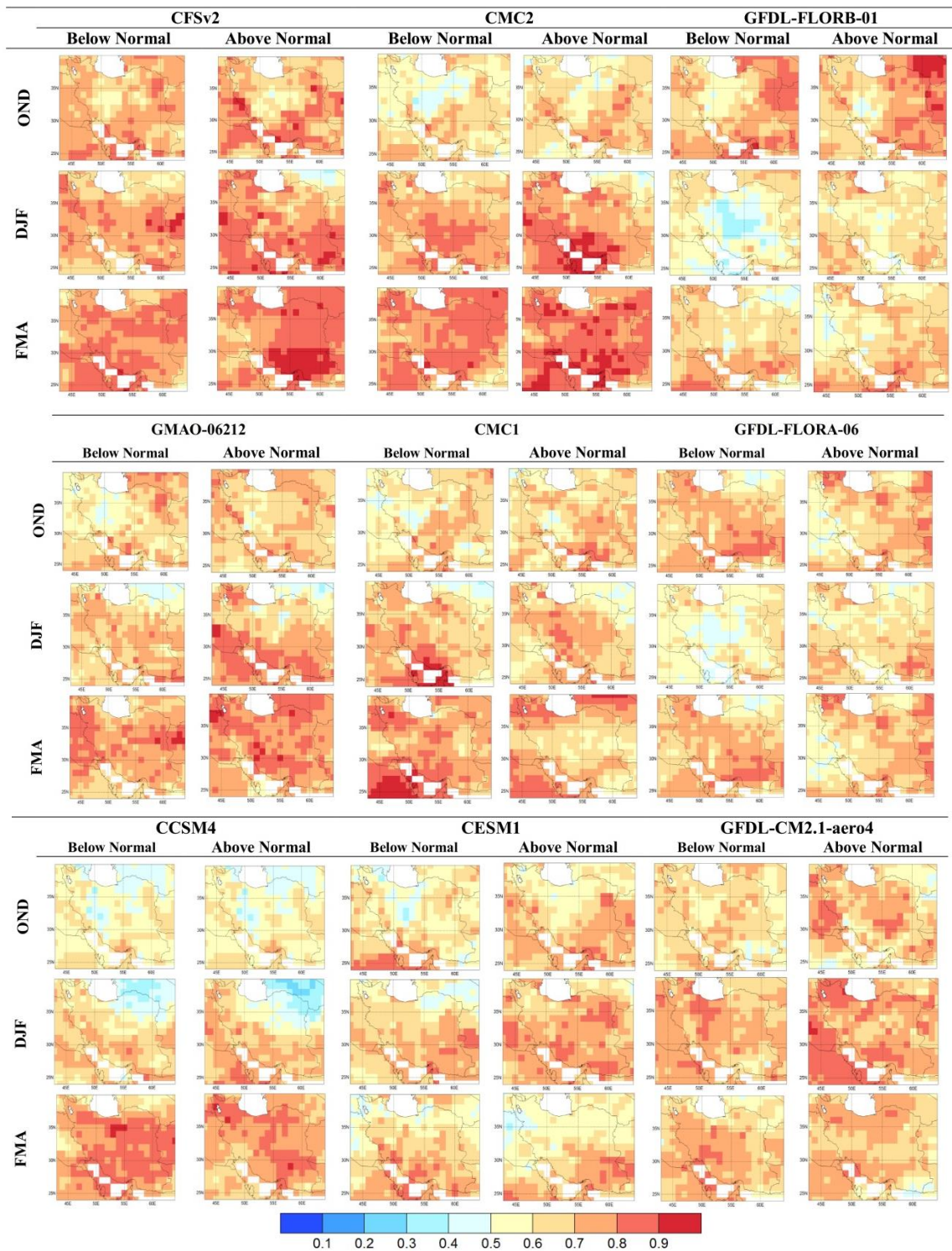


Figure 4- ROC area (below normal and above normal) for a number of NMME individual forecasting systems at 0-month lead time for OND, DJF and FMA target seasons over Iran (1982-2010)

شکل ۴- مساحت زیرمنحنی ROC (زیرنرمال و بیش از نرمال) برای برونداد دمای مدل‌های همادی آمریکای شمالی برای سه فصل OND، DJF و FMA در زمان انتظار صفر ماه در گستره ایران در دوره ۱۹۸۲-۲۰۱۰

می‌دهد. این تحلیل برای مدل CFSv2 (به عنوان مثال) ارائه شده است. هر ردیف از شکل ۵، برای ارزیابی یک فصل هدف در زمان‌های انتظار مختلف صفر تا دو ماه (به ترتیب ستون چپ به راست) است. لذا با مقایسه تغییرات

مهارت مدل‌های NMME در پیش‌بینی دمای در زمان‌های انتظار مختلف (صفر تا ۲ ماه) شکل ۵ مهارت مدل‌های همادی آمریکای شمالی را در زمان‌های انتظار مختلف برای سه فصل هدف نشان

پیش‌بینی دما در فصول مختلف یکسان نیست. هم‌چنین، در اکثر مناطق کشور، مهارت مدل در زمان انتظار صفر (ماه) بیشتر از زمان‌های انتظار یک و دو ماه است. الگوی تغییرات مکانی پیش‌بینی دمای فصل OND در ماه‌های انتظار، مهارت مدل در بخش میانی کشور (بخش‌هایی از حوضه‌های آبریز کارون بزرگ، گاوخونی و کویر لوت) کاهش می‌یابد.

مکانی در هر ردیف از شکل ۴، می‌توان مهارت مدل را برای هر حوضه آبریز در پیش‌بینی دما در زمان‌های انتظار مختلف مشاهده نمود. مقایسه هر ستون نیز نشان دهنده تغییر مهارت مدل CFSv2 در یک زمان انتظار ثابت، با تغییر فصل در حوضه‌های آبریز مختلف است. در این تحلیل میانگین برون‌داد ۲۴ عضو همادی سامانه پیش‌بینی فصلی CFSv2 برای ماه نوامبر در نظر گرفته شده است. نتایج شکل ۵ نشان می‌دهد که مهارت مدل CFSv2

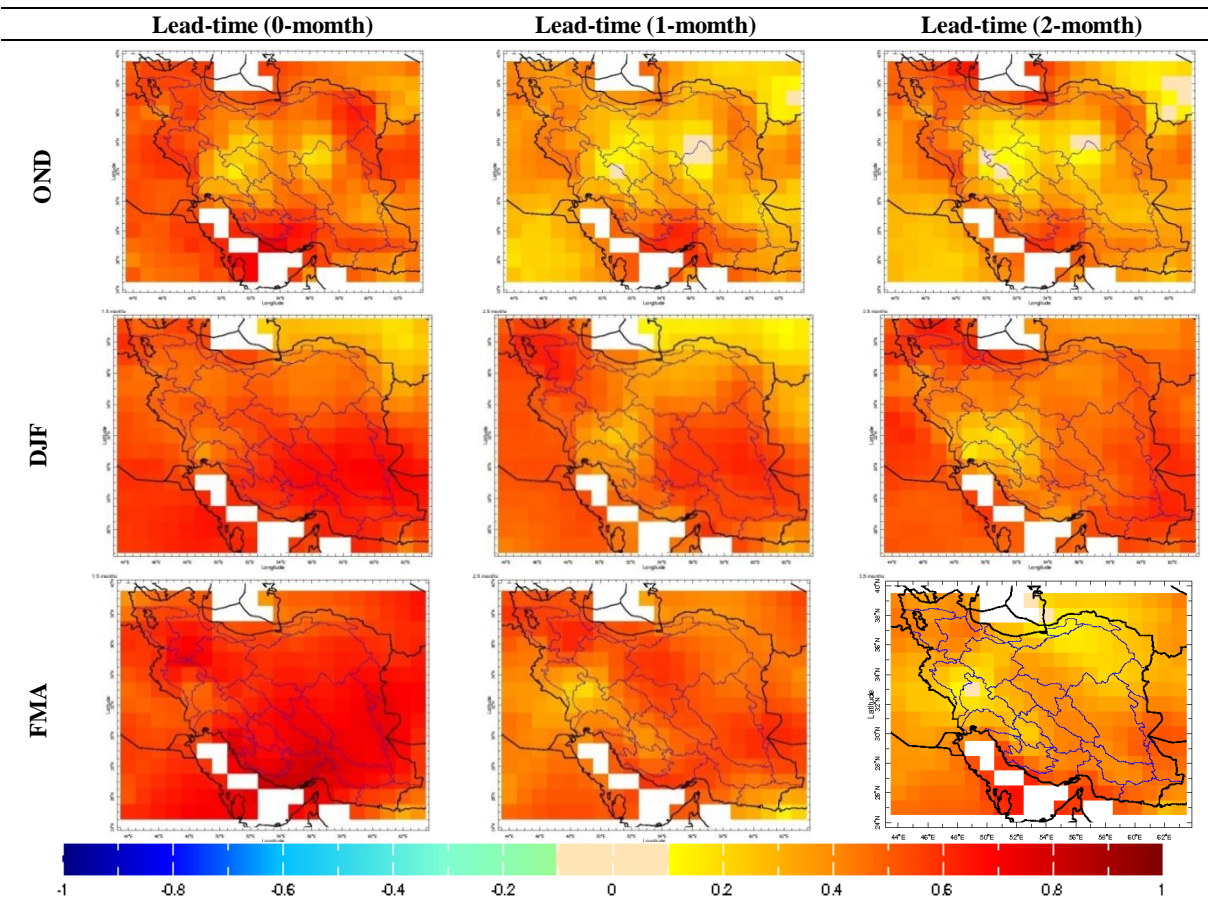


Figure 5- correlations between CFSv2 temperature forecasts and CRU at 0-month (left), 1-lead times (middle) and 2-month lead time (right) for OND, DJF and FMA target seasons (1982-2010)

شکل ۵- همبستگی برون‌داد دمای سامانه همادی CFSv2 با داده‌های CRU در زمان‌های انتظار مختلف صفر ماه (ستون چپ)، یک ماه (ستون وسط) و دو ماه (ستون راست) برای سه فصل OND، DJF و FMA (دوره ۱۹۸۲-۲۰۱۰)

در بین سه فصل ارزیابی شده، بیشترین مهارت مدل در پیش‌بینی بی‌هنجاری‌های دمایی مربوط به فصل FMA است. در این فصل، ضریب همبستگی در بعضی از حوضه‌های آبریز (حوضه آبریز کل واقع در جنوب غرب کشور بالای ۰/۹ است. این ضریب برای دیگر حوضه‌های آبریز درجه ۲ کشور برای پیش‌بینی دمای فصل FMA (از ابتدای ماه فوریه) نیز بالای ۰/۶ محاسبه شده است که نشان از قابلیت پیش‌بینی مناسب متغیر دما در یک تحلیل بلندمدت برای این فصل دارد.

بیشترین ضریب همبستگی بین برون‌داد مستقیم مدل با داده‌های CRU در فصل FMA به ترتیب در حوضه آبریز کل، سرخس و بخش کوچکی از حوضه کویر مرکزی است. در فصل DJF نیز، در حوضه‌های آبریز هامون (مشکیل و هیرمند)، کویر لوت، دارنجیر و جازموریان در شرق کشور همبستگی در مقایسه با سایر حوضه‌ها بیشتر است. هم‌چنین، تغییرات کاهشی ضریب همبستگی از زمان انتظار صفر به یک و یک به دو در حوضه‌های آبریز کارون بزرگ، جراحی و گاوخونی قابل مشاهده است. اما

نتیجه گیری

دارای همبستگی بالای ۰/۶ و اریبی در حدود $\pm 2^\circ\text{C}$ در پیش‌بینی فصلی دما در مقایسه با داده‌های CRU هستند. این پژوهش به تحلیل خطای برون‌داد مستقیم مدل‌های NMME پرداخته است. پیشنهاد می‌شود در حوضه‌های آبریزی که اریبی و ریشه میانگین مربع خطا در محدوده مناسب قرار نمی‌گیرد، روش‌شناسی‌های مختلف برای پس‌پردازش و تصحیح خطای سامان‌مند مدل‌ها مورد ارزیابی قرار گیرد. هم‌چنین توسعه سامانه‌های همادی چندمدلی می‌تواند منجر به بهبود پیش‌بینی مدل‌های انفرادی شود که می‌تواند در مطالعات آبی مورد بررسی قرار گیرد.

سیاسگزاری

بخشی از این پژوهش با حمایت مالی معاونت محترم بین‌الملل دانشگاه تهران در قالب فرصت مطالعاتی کوتاه‌مدت دانشجویان مقطع دکتری (اعطا شده به نویسنده اول) در دانشگاه کلمبیا واقع در نیویورک انجام شده است که در این خصوص از دانشگاه تهران تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

- Amini Rakan, A., Haghightajou P., Khalili, K., Behmanesh, J. 2015. Evaluation the performance of genetic programming in modeling mean monthly temperature in different climates of Iran. *Journal of Agricultural Meteorology*, 3(1): 13- 24. (In Farsi)
- Becker, E., Van Den Dool, H. 2016. Probabilistic seasonal forecasts in the North American Multimodel Ensemble: A baseline skill assessment. *Journal of Climate*, 29(8): 3015-3026.
- Gent, P. R., Yeager, S. G., Neale, R. B., Levis, S., Bailey, D. A. 2010. Improvements in a half degree atmosphere/land version of the CCSM. *Climate Dynamics*, 34: 819-833.
- Chen, L., Van den Dool, H., Becker, E., Zhang, Q. 2017. ENSO precipitation and temperature forecasts in the North American Multimodel Ensemble: Composite analysis and validation. *Journal of Climate*, 30: 1103-1125.
- Fallah Ghalhari, Gh., Asadi, M., Dadashi Roudbari, A. 2015. Determination of suitable regions for wheat cultivation in Fars Province. *Journal of Agricultural Meteorology*, 3(2): 68-73. (In Farsi)
- Ghasemi A R. 2017. Modeling feasibility and prediction of minimum and maximum temperature in Iran by bettitt and Holt-Winters methods. *Researches in Geographical Sciences*, 16 (43) :7-24. (In Farsi)
- Ghasemi, A. R., Khalili, D. 2008. The effect of the North Sea-Caspian pattern (NCP) on winter temperatures in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 92: 59-74.
- Harris, I., Jones, P., Osborn, T. J., Lister, D. H. 2014. Updated high-resolution grids of monthly climatic observations- the CRU TS3.10 Dataset. *Journal of Climatology*, 36: 623-642.
- Halabian, A., Mohamadi, B. 2012. The relation of monthly temperature of some sample stations in Iran with different ENSO indices. *Geographic Space*, 12(38): 1-19. (In Farsi)
- Irannejad, P., Ahmadi-Givi, F., Nikouei, N. 2016. A study of winter temperature anomalies in Iran by using the NCEP/NCAR reanalysis dataset. *Iranian Journal of Geophysics*, 10(4):12-27. (In Farsi)
- Kamali, Gh., Mollaei, P., Behyar, M. B. 2010. Development of Zanjan Province Dry Land Wheat Atlas by using Climatic Data and GIS. *Journal of Water and Soil*, 24 (5): 894-907
- Khosravi, M., Mesgari E. 2016. Spatial Analysis of Relationship between Teleconnection Patterns and Monthly Temperature of Northwest of Iran. *Town and Country Planning*, 6(21): 203-214. (In Farsi)
- Kirtman, B. P., Min, D., Infanti J. M. 2014. The North American Multimodel Ensemble phase-1 seasonal-to-interannual prediction; phase-2 toward developing intraseasonal prediction.

پیش‌بینی بی‌هنجاری‌های دمایی در ماه‌های آبی می‌تواند اطلاعات مهمی در خصوص برنامه‌ریزی و تخصیص آب در بخش کشاورزی و به صورت به هنگام در اختیار تصمیم‌گیران قرار دهد. با توجه به این که در کشور ایران، سامانه‌های پیش‌بینی فصلی (مدل‌های جهانی یا مدل‌های اقلیمی منطقه‌ای) اجرا نمی‌شود، امکان استفاده از برون‌داد مدل‌های سایر مراکز معتبر جهانی که پیش‌بینی‌های به‌هنگام تولید می‌کنند وجود دارد. اما لازمه آن، تحلیل کارایی این مدل‌ها در یک دوره بلندمدت مناسب برای تحلیل‌های اقلیمی است تا مشخص گردد مهارت این مدل‌ها در دوره گذشته در فصول و حوضه‌های آبریز مختلف چگونه بوده است. در صورت محرز شدن مهارت کافی این مدل‌ها در یک دوره بلندمدت می‌توان از برون‌داد آن‌ها برای مقاصد عملیاتی بهره گرفت. نتایج مطالعه حاضر نیز نشان می‌دهد که در بیش‌تر حوضه‌های آبریز درجه ۲ کشور، مدل‌های همادی آمریکای شمالی

- Bulletin of the American Meteorological Society, 585-601.
- Marofi, S., Saghaei, S., Ershadfath, F., Khatar B. 2015. Evaluating Time Series Models to Estimate Monthly Temperature of Iran's Old Synoptic Stations During 1977-2005. *Water and Soil Science*, 24(4): 215-226. (In Farsi)
- Miri, M., Azizi, G., Mohamadi, H., Pourhashemi M. 2017. Evaluation statistically of temperature and precipitation datasets with observed data in Iran. *Iranian Journal of Mangement Science*, 10 (35) :39-50. (In Farsi)
- Molavi-Arabshahi, M., Arpe, K., Leroy, S. A. G. 2016. Precipitation and temperature of the southwest Caspian Sea region during the last 55 years: their trends and teleconnections with large-scale atmospheric phenomena. *International Journal of Climatology*, 36: 2156-2172.
- Merryfield, W. J., Lee, W-S., Boer, G. J., Kharin, V. V., Scinocca, J. F., Flato, G. M., Ajayamohan, R. S., Fyfe, J. C. 2013. The Canadian seasonal to interannual prediction system. Part I: Models and Initialization. *Monthly Weather Review*, 141: 2910-2945.
- Najafi, H., Massah Bavani A. R., Wanders N., Wood E. F., Irannejad P., Robertson, A. 2017. Developing Multi-model Ensemble for Precipitation and Temperature Seasonal Forecasts: Implications for Karkheh River Basin in Iran. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 19, EGU2017-18597-3, 2017 EGU General Assembly 2017, Vienne, Austria.
- Najafi., H., Massah Bavani, A. R., Irannejad, P., Robertson, A. W. 2018a. Application of North American Multi-Model Ensemble for Iran's seasonal Precipitation. *Iran Water Resources Research*, 13(4): 28-38. (In Farsi)
- Najafi., H., Massah Bavani, A. R., Irannejad, P., Robertson, A. W. 2018b. Developing Real-time Multi-model Ensemble and Downscaling of Seasonal Precipitation Forecast Systems: Application of Canonical Correlation Analysis. *Journal of the Earth and Space Physics*, 44(1): 245-264. (In Farsi)
- Neale, R. B., Richter, J., Park, S., Lauritzen, P. H., Vavrus, S. J., Rasch, P. J., Zhang, M. 2013. The mean climate of the Community Atmosphere Model (CAM4) in forced SST and fully coupled experiments. *Journal of Climate*, 26: 5150-5168.
- Saha, S., Moorthi, S., Wu, X., Wang, J., Nadiga, S., Tripp, P., Behringer, D., Hou, Y. T., Chuang, H.Y., Iredell, M., Ek, M. 2014. The NCEP climate forecast system version 2. *Journal of Climate*, 27(6): 2185-2208.
- Slater, L., Villarini, G., Bradley, A. 2017. 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*, In Press.
- Shukla, S., Roberts, J., Hoell, A., Funk, C. C., Robertson, F., Kirtman, B. 2016. Assessing North American multimodel ensemble (NMME) seasonal forecast skill to assist in the early warning of anomalous hydrometeorological events over East Africa. *Clim Dynamics*, 1-17.
- Sobhani, B. 2014. Influence of NAO to minimum, average and maximum temperature in th southwest Iran. *researches in Geographical Sciences*, 14(33): 75-90.
- Tian, D., Martinez, C. J., Graham, W. D., Hwang, S. 2014. Statistical downscaling multimodel forecasts for seasonal precipitation and surface temperature over the southeastern United States. *Journal of Climatology*, 27(22): 8384-8411.
- Vernieres, G., Rienecker, M., Kovach, R., Keppenne, C. H. L. 2012. The GEOS-iODAS: Description and evaluation. Technical report series on global modeling and data assimilation, TM-2012-104606, 30:1-61.
- Yuan, X. 2016. An experimental seasonal hydrological forecasting system over the Yellow River basin-Part 2: The added value from climate forecast models. *Hydrology and Earth System Science*, 20(6): 2453-2466.
- Zareabayneh, H., Bayat Varkeshi, M. 2011. Effect of ENSO Phenomenon on Monthly Seasonal Temperature Variations of Country Half South. *Physical Geography Research*, 44(2): 67-84. (In Farsi)
- Zhang, S., Harrison, J., Rosati, M. J. Wittenberg, A. T. 2007. System design and evaluation of coupled ensemble data assimilation for global oceanic climate studies. *Monthly Weather Review*, 135: 3541-3564.



تحلیل تطبیقی رفتار شاخص‌های خشکسالی هواشناسی SPI و SPEI در ایستگاه‌های منتخب استان گلستان

لاله رضایی قلعه^۱، خلیل قربانی^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۱/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۸/۲۰

چکیده

عموماً شاخص‌های پایش خشکسالی مبتنی بر متغیر بارش است و در نظر نگرفتن تأثیر سایر متغیرها- نظیر دما- خطاهایی سامان مند به همراه دارد. بر این اساس، در کنار نمایه‌های متداولی نظیر SPI، روش‌های ترکیبی از جمله نمایه استاندارد شده بارش- تبخیر-تعرق (SPEI) ارائه شده است. هدف از مطالعه حاضر، مقایسه تطبیقی دو نمایه SPEI و SPI جهت پایش خشکسالی در استان گلستان می‌باشد. مقایسات بر اساس میزان همبستگی و همچنین فراوانی طبقات خشکسالی در پنجره‌های زمانی ۱۲ ماهه و در فصول مختلف تحلیل شدند. نتایج نشان داد که هر چه اقلیم منطقه مرطوب‌تر باشد، به دلیل کاهش نقش تبخیر-تعرق، همبستگی بین دو نمایه بیشتر می‌باشد. در خشکسالی‌هایی با پنجره زمانی کوچک‌تر نیز قوت این همبستگی، بیشتر است. همچنین، شاخص SPEI نسبت به SPI قادر است تعداد وقایع ترسالی و خشکسالی بیشتری را نشان دهد. همبستگی معنی‌داری بین دو شاخص با استفاده از آزمون پارامتری پیرسون در سطح اطمینان ۹۵ درصد در ایستگاه رامیان در سری زمانی ۳ و ۶ ماهه مشاهده شد. تحلیل فراوانی طبقات خشکسالی در مقیاس فصلی هر دو شاخص بیشترین تغییرات را فصل تابستان نشان داد. بیشترین تعداد وقایع خشکسالی شدید و خیلی شدید توسط هر دو شاخص در ایستگاه غفارحاجی و در فصل تابستان مشاهده شد. همچنین، مقایسه نمودارهای سری‌های زمانی شاخص‌های خشکسالی SPI و SPEI نشان داد که شاخص SPEI دوره طولانی‌تری از خشکسالی و ترسالی و شاخص SPI وقایع حدی بزرگ‌تری را نسبت به SPEI نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی، سری زمانی، آزمون پارامتری پیرسون، استان گلستان

مقدمه

است. شاخص‌های خشکسالی از جمله روش‌های تجزیه و تحلیل و پایش خشکسالی می‌باشند که از جمله شاخص‌های خشکسالی هواشناسی می‌توان به شاخص خشکسالی موثر (EDI)^۳ (Byun and Wilhite, 1999)، شاخص اکتشاف خشکسالی (RDI)^۴ (Tsakiris et al., 2007)، شاخص بارش استاندارد شده (SPI)^۵ (McKee et al, 1993; McKee et al, 1995; Edwards and McKee, 1997) اشاره نمود. محققان زیادی در زمینه خشکسالی به مطالعه پرداختند از جمله (Zehtabian et al., 2013) به تجزیه و تحلیل مقایسه‌ای در جنوب خراسان برای یافتن اختلافات و تشابهات بین شاخص‌های SPI و RDI پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که بیشترین خشکسالی از لحاظ شدت با شاخص خشکسالی SPI به ترتیب در سال‌های ۲۰۰۸، ۲۰۰۰، ۲۰۰۶ و ۲۰۰۱ رخ داد و شاخص RDI به صورت متناوب خشکسالی با شدت‌های بالا را در

خشکسالی از پدیده‌های طبیعی ادواری هواشناسی وابسته به اقلیم است که در هر منطقه‌ای رخ می‌دهد اما به واسطه تأثیرات مهم اقتصادی، اجتماعی و محیطی خود نسبت به دیگر بلایای طبیعی، افراد بیشتری را تحت تأثیر قرار می‌دهد. خشکسالی پدیده‌ای است که در اثر کمبود بارش طی یک دوره طولانی پدیدار می‌شود و یکی از پیچیده‌ترین پدیده‌های اقلیمی به حساب می‌آید که دلیل این پیچیدگی دشوار بودن تعیین شدت خشکسالی و زمان آغاز و پایان آن می‌باشد. از این رو، تلاش‌های بسیاری برای توسعه روش‌هایی برای تحلیل و پایش خشکسالی انجام شده

^۱ دانش‌آموخته مهندسی منابع آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع

طبیعی گرگان، ایران

^۲ دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی

گرگان، ایران

(*نویسنده مسئول: ghorbani.khalil@yahoo.com)

^۳ Effective Drought Index

^۴ Reconnaissance Drought Index

^۵ Standardized Precipitation Index

از شاخص خشکسالی بارش و تبخیرتغرق استاندارد شده (SPEI)، برای مطالعه رفتار شدت خشکسالی در جمهوری چک در دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۶۱ استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که رفتار خشکسالی در طی ۵ دهه به دلیل افزایش فراوانی وقوع و تقویت خشکسالی طی دوره‌های خشک طولانی سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۰۰ است که از افزایش مقدار تبخیرتغرق پتانسیل در طول تابستان ناشی می‌شود. با توجه به پیچیدگی پدیده خشکسالی پیشنهاد و ارائه یک شاخص خشکسالی برای منطقه کاری دشوار می‌باشد، لذا جهت پی بردن به حساسیت و دقت هر یک از شاخص‌های خشکسالی لازم است تا مطالعه تطبیقی میان شاخص‌ها انجام شود. (Yu et al., 2014)

شاخص SPEI (شاخص بارش و تبخیرتغرق استاندارد شده) را در ۶۰۹ نقطه از چین طی دوره‌های آماری ۲۰۱۰-۱۹۸۱ محاسبه نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که خشکسالی‌های شدید و خیلی شدید از اواخر سال ۱۹۹۰ در سراسر چین بیشتر شده (با افزایش ۳/۷۲ درصد در نواحی خشک در هر دهه) و در شمال و شمال شرق و غرب و شمال غرب چین تداوم چند ساله خشکسالی شدید متداول بوده است. روندهای خشک قابل ملاحظه‌ای در شمال و جنوب غرب منطقه شمال شرق چین مناطق مرکزی و شرقی، شمال غربی چین و نواحی مرکز و جنوب غربی منطقه جنوب غرب چین، نواحی جنوب غربی و شمال شرقی منطقه غرب شمال غرب که عمدتاً به دلیل کاهش بارش توام با افزایش دما می‌باشد. به علاوه شمال و غرب شمال غربی و جنوب غربی چین طولانی‌ترین دوره خشکسالی را در سال‌های ۲۰۰۰-۱۹۹۰ داشتند. همچنین خشکسالی‌ها در شمال غرب، شرق شمال غرب، شمال و مناطق شمال شرقی چین بیشتر در طول سه دهه اخیر می‌باشد. (Ahmadi et al., 2013)

به پیش خشکسالی در مقیاس‌های زمانی مختلف با استفاده از شاخص بارندگی-تبخیرتغرق استاندارد شده (SPEI) و تعیین ارتباط این شاخص با شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI) و رطوبت خاک در ایستگاه کبوتر آباد اصفهان پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که بین دو شاخص خشکسالی مذکور همبستگی معنی‌داری وجود دارد و شاخص خشکسالی SPEI پاسخ سریعتری را از خود نسبت به خشکسالی منعکس می‌کند. (Banimahd and Khalili 2012)

هواشناسی SPI و SPEI را در ۱۲ ایستگاه سینوپتیک

این منطقه تشخیص داد. در مطالعه‌ای Tsakiris et al., (2007) شاخص‌های SPI، RDI و DI^۱ را در مدیریتانه مقایسه نمودند و بیان داشتند با توجه به همبستگی شاخص RDI با شاخص SPI، شاخص RDI از شباهت رفتاری بالایی با SPI برخوردار است. (Morid et al., 2006)

عملکرد هفت شاخص را به منظور پایش خشکسالی در تهران مورد مقایسه قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد شاخص‌های SPI و CZI و Z-SCORE در تشخیص خشکسالی به صورت مشابه عمل می‌کنند و نسبت به تشخیص زمان آغاز خشکسالی عکس‌العمل کندهی از خود نشان می‌دهند. شاخص DI واکنش شدیدی نسبت به وقوع بارش‌های یک سال مشخص از خود نشان می‌دهد ولی دارای تغییرات زمانی و مکانی متناقضی می‌باشد. شاخص‌های SPI و EDI قادر به تشخیص زمان آغاز خشکسالی می‌باشد و تغییرات زمانی و مکانی‌شان به صورت سازگار می‌باشد و می‌تواند برای پایش عملی خشکسالی در استان توصیه شود. با این حال شاخص EDI پاسخ‌گوی بهتری برای پایش خشکسالی است و رفتار بهتری دارد. اما با توجه به نقش تبخیرتغرق در کاهش منابع آب، ممکن است بارش به تنهایی نماینده خوبی در نشان دادن وضعیت خشکسالی نباشد بر همین اساس شاخص بارش-تبخیرتغرق استاندارد شده (SPEI)^۲ (Vincente-serrano et al., 2010) ارائه شد. از جمله تحقیقات انجام شده در این زمینه Vincente-serrano et al., (2010) می‌باشد که با استفاده از داده‌های یازده منطقه واقع در نقاط مختلف اقلیمی جهان، مزیت اصلی شاخص SPEI را نسبت به بقیه شاخص‌های پایش خشکسالی در این دانستند که این شاخص می‌تواند تغییر مقادیر تبخیرتغرق و دما را در ارتباط با گرمایش جهانی تشخیص دهد. (Zareabyaneh et al., 2015)

پیشنهاد کردند با توجه به توانایی SPEI در تشخیص تغییر مقادیر تبخیرتغرق و دما در رابطه با گرمایش جهانی، در مطالعات بررسی اثر تغییر اقلیم از شاخص‌هایی که فقط مبتنی بر بارندگی هستند به تنهایی استفاده نشود و از شاخص‌هایی که علاوه بر مقدار بارش اثرات دمایی را به طور مستقیم یا از طریق مقادیر تبخیر و تعرق در نظر می‌گیرند مانند شاخص SPEI استفاده شود. (Potop and Mozny, 2011)

^۱ Deciles Index^۲ Standardized Precipitation Evapotranspiration Index

محاسبه و مقایسه شاخص‌های خشکسالی مورد استفاده قرار گرفتند. داده‌های موجود دوره تاریخی ۱۳۹۲-۱۳۶۳ را پوشش می‌دهند. اسامی و موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌ها در جدول ۱ آورده شده است.

محاسبه شاخص‌های خشکسالی

شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI)

شاخص SPI بر اساس اختلاف بین مقادیر بارش و میانگین آن در یک بازه زمانی مشخص و تقسیم این مقدار بر انحراف معیار بارش توسط (McKee et al, 1993; McKee et al, 1995; Edwards and McKee, 1997) پیشنهاد شد. اساس شاخص بارش استاندارد بر محاسبات احتمالات وقوع بارندگی برای هر مقیاس زمانی استوار است. این شاخص فقط از داده‌های بارندگی ماهانه استفاده می‌کند و برای تشخیص کمبود میزان بارش در مقیاس‌های زمانی چندگانه (۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه) طراحی شده است. محاسبه SPI شامل برازش تابع چگالی احتمال گاما بر توزیع فراوانی بارندگی کل برای یک ایستگاه معین می‌باشد. سپس، پارامترهای توزیع گاما برای هر مقیاس زمانی محاسبه و تابع احتمال تجمعی آن برای هر ماه رسم می‌شود. سپس از تغییر شکل هم‌احتمالی تابع تجمعی گاما به متغیر تصادفی نرمال استاندارد Z برای محاسبه SPI استفاده می‌شود.

شاخص بارش - تبخیر تعرق استاندارد شده SPEI

شاخص خشکسالی SPEI توسط Vincente-serrano et al. (2010) ارائه و بر اساس تبخیر تعرق پتانسیل (PET)^۲ و بارندگی به پایش خشکسالی می‌انجامد. برای محاسبه شاخص SPEI نیاز به محاسبه تبخیر تعرق می‌باشد. با توجه به این که بسیاری از روش‌های دقیق محاسبه تبخیر تعرق نیازمند داده‌های تابش هستند و در استان گلستان در بسیاری از ایستگاه‌های هواشناسی این داده‌ها اندازه‌گیری نمی‌شوند، بنابراین باید از روش‌های ساده‌تری مانند روش هارگریوز-سامانی که مبتنی بر دما است (Hargreaves and Samani, 1985) استفاده کرد.

ایران با دوره آماری مشترک ۶۱ سال (۱۹۹۵-۲۰۱۱) مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد نزدیکی مناسب‌تری میان شاخص‌ها در مناطق آب و هوایی بسیار مرطوب در مقایسه با مناطق خشک و نیمه خشک وجود دارد. بیشترین تعداد کل وقایع خشکسالی (خشکسالی شدید/ خیلی شدید) توسط شاخص SPEI پایش شد. مقادیر بحرانی شدت‌های خشکسالی (۲/۰-) در مناطق خشک و نیمه خشک توسط شاخص SPEI تعیین گردید که بیان‌گر مشارکت موثر تبخیر تعرق در پایش خشکسالی‌ها بود. همبستگی معنی‌دار میان شاخص‌ها با به کارگیری آزمون‌های پارامتری و ناپارامتری در سطح اطمینان ۰/۹۵ تایید گردید. همانطور که از بررسی مطالعات مشخص شد لحاظ نمودن نقش تبخیر تعرق با توجه به روند افزایشی دمای هوا در شاخص‌های خشکسالی منجر به پایش بهتر از خشکسالی‌ها می‌شود. به همین جهت بیشتر پژوهشگران شاخص خشکسالی SPEI را روش مناسب‌تری نسبت به شاخص‌های تک متغیره برای پایش خشکسالی‌ها معرفی نمودند. همچنین بررسی‌ها نشان داد که تاکنون مطالعاتی در زمینه استفاده از شاخص خشکسالی SPEI جهت پایش خشکسالی در استان گلستان انجام نشده است. هدف از این پژوهش، مطالعه تطبیقی شاخص‌های خشکسالی SPI و SPEI در پنجره‌های زمانی متفاوت، تحلیل فراوانی طبقات خشکسالی به صورت فصلی و بررسی همبستگی میان آن‌ها با استفاده از آزمون همبستگی پیرسون^۱ در هشت ایستگاه منتخب استان گلستان با اقلیم‌های مختلف با دوره آماری مشترک ۳۰ سال (۱۳۹۲-۱۳۶۳) است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و داده‌ها

استان گلستان با وسعت ۲۰۴۶۰/۷ کیلومتر مربع، بین عرض‌های ۲۵' و ۳۶' تا ۸' و ۳۸' شمالی و طول‌های ۵۰' و ۵۳' تا ۱۸' و ۵۶' شرقی قرار دارد. آب و هوای استان با توجه به ارتفاعات، امتداد رشته‌کوه‌های البرز، بیابان ترکمنستان، عرض جغرافیایی و فاصله از دریا و پوشش متنوع جنگلی شامل خشک و نیمه‌خشک و کوهستانی می‌باشد (Hasanalizadeh et al, 2014). در این پژوهش، از آمار ۸ ایستگاه سینوپتیک و تبخیرسنجی در استان گلستان که دارای دوره آماری مشترک ۳۰ سال بودند برای

^۲ Potential Evapotranspiration

^۱ Pearson correlation test

Table 1- Geographic specifications of studied stations (Hasanalizadeh et al., 2014)
جدول ۱- مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های مطالعاتی (Hasanalizadeh et al., 2014)

Station	Altitude (°N)	Longitude (°E)	Elevation (m)	Mean Annual Precipitation (mm)	Mean Annual Temperature (°C)	Climate
Aq qala	37.01	54.28	-12	419.81	19.09	Semi Dry
Araz kooseh	37.13	55.08	34	468.57	18.33	Semi Dry
Behlakeh dashli	37.04	54.47	24	396.85	17.31	Semi Dry
Cheshmeh khan	37.18	56.07	1250	234.1	11.76	Semi Dry
Fazel abad	36.54	54.45	210	708.75	17.35	Semi Wet
Ghafar haji	37.00	54.08	-22	462.73	17.26	Semi Dry
Ramian	37.01	55.08	200	929.31	16.86	Wet
Robat qareh bil	37.21	56.18	1450	195.74	12.21	Dry

$$F(x) = \left[\left(1 + \frac{\alpha}{x - \gamma} \right)^\beta \right]^{-1} \quad (7)$$

سپس مقادیر $F(x)$ با استفاده از روش تقریبی کلاسیک آمبراموتر-استگان (Abramowitz and Stegun, 1965) به مقادیر نرمال استاندارد z تبدیل و شاخص SPEI محاسبه می‌شود.

آزمون همبستگی بین شاخص‌ها

جهت بررسی همبستگی بین شاخص‌های SPI و SPEI از آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد. ضریب همبستگی پیرسون یا ضریب همبستگی حاصل ضرب گشتاور پیرسون میزان همبستگی خطی بین دو متغیر تصادفی را می‌سنجد. مقدار این ضریب بین -۱ تا ۱ تغییر می‌کند، که ۱ معرف همبستگی مثبت کامل، صفر معرف نبود همبستگی و -۱ معرف همبستگی منفی کامل می‌باشد. ضریب همبستگی پیرسون برای یک نمونه آماری با n زوج داده (x_i, y_i) طبق معادلات ۸ و ۹ تعریف می‌شود.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (8)$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (9)$$

پس از اینکه مقادیر همبستگی ساده خطی بین شاخص‌ها محاسبه شدند با تشکیل جدول‌های فراوانی طبقات خشکسالی، مقادیر فراوانی تحلیل شدند.

تحلیل فراوانی طبقات خشکسالی

به منظور مطالعه تطبیقی دو شاخص SPI و SPEI پس از طبقه‌بندی این شاخص‌ها بر اساس جدول ۲ و ۳، وضعیت رخداد هر یک از طبقات خشکسالی بررسی شد.

نتایج و بحث

تجزیه و تحلیل مقایسه‌ای شاخص‌های خشکسالی

در این پژوهش سری‌های زمانی خشکسالی هواشناسی به کمک شاخص تک متغیره بارش استاندارد شده SPI و

Table 2- Different classes of meteorological drought based on SPI and SPEI indices

جدول ۲- طبقات مختلف خشکسالی هواشناسی بر اساس هر دو شاخص خشکسالی SPI و SPEI

State	SPI & SPEI	Class
1	More than 1.5	Very wet
2	1 to 1.49	Moderate wet
3	-0.99 to 0.99	Near Normal
4	-1 to -1.49	Moderate dry
5	-1.5 and less	Severely dry

پس از محاسبه مقادیر تبخیر تعرق ماهانه، اختلاف آن را از بارش ماهانه به دست آورده و سپس این مقادیر در دوره مورد نظر با هم جمع می‌شوند.

$$D = P_i - PET_i \quad (1)$$

$$D_n h = \sum_{i=0}^{h-1} P_{n-1} - PET_{n-1} \quad (2)$$

اختلاف بین مقادیر بارندگی و تبخیر تعرق پتانسیل، h دوره زمانی مورد بررسی و n ماه مورد محاسبه می‌باشند. تابع چگالی احتمال لوگ لجستیک سه پارامتره به مقادیر Dh برازش داده می‌شود که قادر به در نظر گرفتن مقادیر منفی می‌باشد.

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{x - \gamma}{\alpha} \right)^{\beta-1} \left[\left(1 + \frac{x - \gamma}{\alpha} \right)^\beta \right]^{-2} \quad (3)$$

که در آن α ، β و γ به ترتیب پارامترهای مقیاس شکل و تمایل مرکزی برای مقادیر D ($\gamma < Dh < \infty$) می‌باشند (Banimahd and Khalili, 2012). پارامترهای توزیع لوگ لجستیک می‌تواند از راه‌های مختلفی به دست آید که در بین آن‌ها، روش گشتاورهای L به عنوان روشی سریع و ساده معرفی شده است (Ahmad et al., 1988). در محاسبه گشتاورهای L ، پارامترهای توزیع پیرسون نوع سوم طبق معادلات ۴ الی ۷ تخمین زده می‌شوند.

$$\beta = (2w_1 - w_0) / (6w_1 - w_0 - 6w_2) \quad (4)$$

$$\alpha = \frac{(w_0 - 2w_1)\beta}{\Gamma(1 + 1/\beta)\Gamma(1 - 1/\beta)} \quad (5)$$

$$\gamma = w_0 - \alpha\Gamma(1 + 1/\beta)\Gamma(1 - 1/\beta) \quad (6)$$

بیشتری را نشان می‌دهد و اختلاف بین دو شاخص در نشان دادن تعداد کل وقایع خشکسالی در شرایط خشک و نیمه‌خشک بیشتر بود، که حاکی از نقش تبخیرتفرق در پایش خشکسالی‌ها در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد ولی در ایستگاه چشمه‌خان که دارای اقلیم نیمه‌مرطوب می‌باشد در پنجره زمانی کوتاه‌مدت شاخص SPEI وقایع خشکسالی بیشتر و در پنجره زمانی بلندمدت شاخص SPI وقایع خشکسالی بیشتر را نشان می‌دهد. همچنین بیشترین تعداد کل وقایع خشکسالی توسط شاخص SPEI و در ایستگاه آق‌قلا مشاهده شد.

شاخص دو متغیره بارش-تبخیرتفرق استاندارد شده SPEI در پنجره‌های زمانی (۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه) و در هشت ایستگاه استان محاسبه شدند. سپس کلاس‌های مختلف خشکسالی پایش شده توسط هر دو شاخص در پنجره‌های زمانی مذکور در ایستگاه‌های آق‌قلا، ارازکوسه، بهلکه‌داشلی، چشمه‌خان و غفارحاجی (نیمه‌خشک)، رامیان (مرطوب)، فاضل‌آباد (نیمه‌مرطوب) و رباط قره‌بیل (خشک) طبق جداول ۴، ۵، ۶ و ۷ محاسبه شدند. مقایسه بین دو شاخص در ایستگاه‌های مطالعاتی نشان داد که شاخص SPEI نسبت به شاخص SPI در تمام ایستگاه‌ها تعداد وقایع خشکسالی

Table 3- Characteristic of different observed drought classes using SPI and SPEI indices in 3 months time step in studied stations

جدول ۳- مشخصه کلاس‌های مختلف خشکسالی پایش شده با شاخص‌های خشکسالی SPI و SPEI ۳ ماهه در ایستگاه‌های مطالعاتی

Station		Very wet	Moderate wet	Near Normal	Moderate dry	Severely dry	Total wet events	Total dry events
Aq qala	SPI	25	34	239	50	21	59	71
	SPEI	23	27	255	32	24	60	56
Araz kooseh	SPI	25	42	242	43	19	67	62
	SPEI	26	29	262	31	23	55	54
Behlakeh dashli	SPI	22	34	251	36	28	56	64
	SPEI	21	45	247	32	26	66	58
Cheshmeh khan	SPI	27	38	246	33	27	65	60
	SPEI	23	32	262	31	23	55	54
Fazel abad	SPI	23	43	236	47	22	66	69
	SPEI	21	39	257	32	22	60	54
Ghafar haji	SPI	26	42	238	42	23	68	65
	SPEI	23	40	245	41	22	63	63
Ramyan	SPI	27	20	258	42	24	47	66
	SPEI	27	19	271	29	25	46	54
Robat qareh bil	SPI	26	33	254	36	22	59	58
	SPEI	24	32	264	28	23	56	51

Table 4- Characteristic of different observed drought classes using SPI and SPEI indices in 6 months time step in studied stations.

جدول ۴- مشخصه کلاس‌های مختلف خشکسالی پایش شده با شاخص‌های خشکسالی SPI و SPEI ۶ ماهه در ایستگاه‌های مطالعاتی

Station		Very wet	Moderate wet	Near Normal	Moderate dry	Severely dry	Total wet events	Total dry events
Aq qala	SPI	24	37	235	47	23	61	70
	SPEI	28	25	260	36	22	53	58
Araz kooseh	SPI	23	37	254	35	22	60	57
	SPEI	25	22	275	26	23	47	49
Behlakeh dashli	SPI	24	42	244	42	19	66	61
	SPEI	22	39	253	29	28	61	57
Cheshmeh khan	SPI	23	38	251	32	27	61	59
	SPEI	20	39	258	24	30	59	54
Fazel abad	SPI	24	43	244	35	25	67	60
	SPEI	18	42	261	29	21	60	50
Ghafar haji	SPI	23	29	255	41	23	52	64
	SPEI	24	27	262	36	22	51	58
Ramyan	SPI	26	26	262	29	28	52	57
	SPEI	26	20	278	25	22	46	47
Robat qareh bil	SPI	28	38	248	34	23	66	57
	SPEI	22	38	255	30	26	60	56

و SPEI در ایستگاه رامیان و در پنجره زمانی کوتاه مدت (۳ ماهه) می‌باشد و کمترین همبستگی بین دو شاخص در ایستگاه آق‌قلا و در پنجره زمانی بلند مدت (۲۴ ماهه) می‌باشد.

نتایج آزمون همبستگی بین دو شاخص SPEI و SPI آزمون همبستگی پیرسون بین دو شاخص SPEI و SPI در پنجره‌های زمانی مختلف انجام شد. نتایج طبق جدول ۸ نشان داد که بیشترین همبستگی بین دو شاخص SPI

Table 5- Characteristic of different observed drought classes using SPI and SPEI indices in 12 months time step in studied stations

جدول ۵- مشخصه کلاس‌های مختلف خشکسالی پایش شده با شاخص‌های خشکسالی SPI و SPEI ۱۲ ماهه در ایستگاه‌های مطالعاتی

Station		Very wet	Moderate wet	Near Normal	Moderate dry	Severely dry	Total wet events	Total dry events
Aq qala	SPI	24	41	218	57	20	65	77
	SPEI	26	34	255	39	17	60	56
Araz kooseh	SPI	25	34	253	41	18	59	59
	SPEI	31	21	274	29	16	52	45
Behlakeh dashli	SPI	20	46	234	61	10	66	71
	SPEI	19	43	261	22	26	62	48
Cheshmeh khan	SPI	25	35	248	42	21	60	63
	SPEI	11	50	240	47	23	61	70
Fazel abad	SPI	22	30	269	24	26	52	50
	SPEI	20	25	257	34	17	45	51
Ghafar haji	SPI	16	37	256	32	30	53	62
	SPEI	20	32	262	27	30	52	57
Ramyan	SPI	24	30	269	30	17	64	48
	SPEI	23	8	298	28	14	31	46
Robat qareh bil	SPI	26	59	231	37	18	85	55
	SPEI	32	30	251	33	25	62	62

Table 6- Characteristic of different observed drought classes using SPI and SPEI indices in 24 months time step in studied stations

جدول ۶- مشخصه کلاس‌های مختلف خشکسالی پایش شده با شاخص‌های خشکسالی SPI و SPEI ۲۴ ماهه در ایستگاه‌های مطالعاتی

Station		Very wet	Moderate wet	Near Normal	Moderate dry	Severely dry	Total wet events	Total dry events
Aq qala	SPI	26	38	223	38	23	64	61
	SPEI	27	26	269	26	23	53	49
Araz kooseh	SPI	27	13	269	44	18	40	62
	SPEI	17	32	260	47	15	49	62
Behlakeh dashli	SPI	24	42	233	53	19	66	72
	SPEI	26	29	258	30	28	55	58
Cheshmeh khan	SPI	29	34	259	25	24	63	49
	SPEI	9	53	247	27	35	62	62
Fazel abad	SPI	23	27	264	27	30	50	57
	SPEI	21	13	285	28	24	34	52
Ghafar haji	SPI	16	41	247	44	23	57	67
	SPEI	20	32	262	27	30	52	57
Ramyan	SPI	26	16	281	25	23	42	48
	SPEI	28	7	293	24	19	35	43
Robat qareh bil	SPI	32	53	233	31	22	85	53
	SPEI	17	41	261	27	25	58	52

Table 7- Correlation coefficient between SPI and SPEI indices in different time steps

جدول ۷- ضریب همبستگی بین دو شاخص SPI و SPEI در سری‌های زمانی مختلف

Station	3 months time step	6 months time step	12 months time step	24 months time step
Aq qala	0.68	0.58	0.47	0.38
Araz kooseh	0.86	0.86	0.85	0.86
Behlakeh dashli	0.83	0.8	0.76	0.71
Cheshmeh khan	0.86	0.88	0.86	0.85
Fazel abad	0.94	0.94	0.94	0.94
Ghafar haji	0.94	0.94	0.93	0.68
Ramian	0.95	0.95	0.93	0.89
Robat qareh bil	0.57	0.53	0.52	0.51

مشاهده شد. در فصل زمستان در اکثر ایستگاه‌ها خشکسالی شدید و خیلی شدید توسط شاخص SPI و خشکسالی متوسط توسط شاخص SPEI دارای طبقات بیشتری می‌باشد. همچنین بیشترین تغییرات بین کلاس‌های خشکسالی در فصل تابستان مشاهده شده است.

تحلیل فراوانی طبقات خشکسالی به صورت فصلی با توجه به شکل‌های ۱ و ۲ در فصل بهار ترسالی ملایم و در فصل تابستان خشکسالی متوسط و ترسالی ملایم توسط هر دو شاخص به عنوان کلاس با طبقات بیشتر مشاهده شد. در فصل پاییز ترسالی ملایم توسط شاخص SPI و خشکسالی متوسط توسط شاخص SPEI

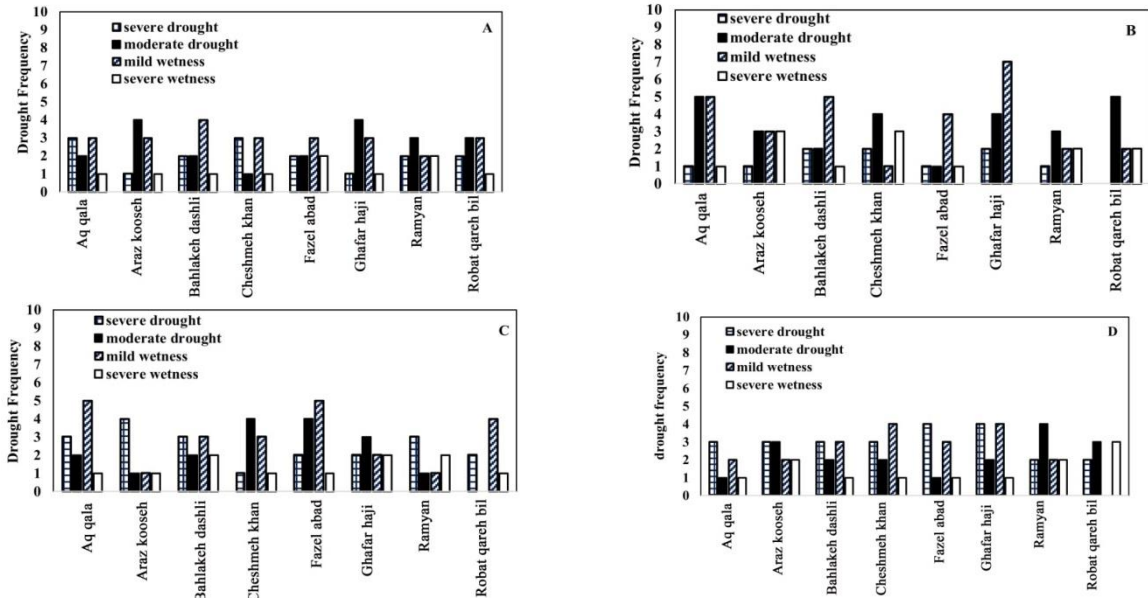


Figure 1- Different observed classes using SPI index in 8 stations of Golestan province, respectively in A) spring, B) summer, C) autumn and D) winter seasons

شکل ۱- کلاس‌های مختلف پایش شده توسط شاخص SPI برای هشت ایستگاه استان گلستان در فصل (A بهار، B تابستان، C پاییز و D زمستان)

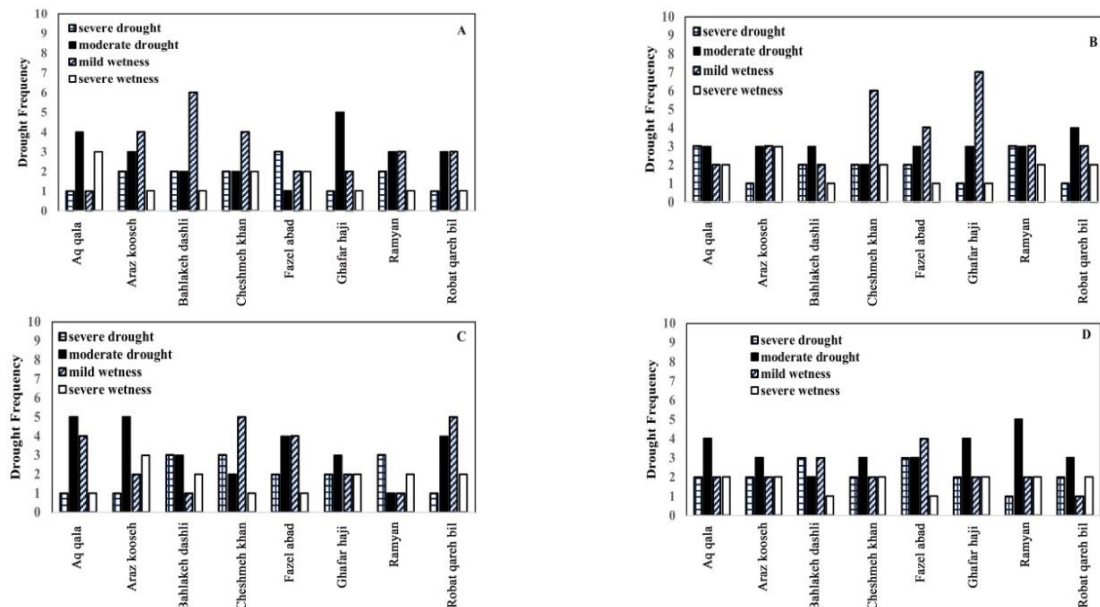


Figure 2- Different observed classes using SPEI index in 8 stations of Golestan province, respectively in A) spring, B) summer, C) autumn and D) winter seasons

شکل ۲- کلاس‌های مختلف پایش شده توسط شاخص SPEI برای هشت ایستگاه استان گلستان در فصل (A بهار، B تابستان، C پاییز و D زمستان)

به تغییرات جزئی بارش حساسیت کمتری را نشان می‌دهد. از طرفی دیگر وقایع حدی ترسالی و خشکسالی در شاخص SPI بزرگتر از شاخص SPEI بود به طوری که دامنه تغییرات شاخص SPI بیشتر از شاخص SPEI مشاهده شد. همچنین در سال‌های اخیر در دو ایستگاه ارازکوسه و رباط قره‌بیل طول دوره خشکسالی و ترسالی بیشتر از گذشته شده است.

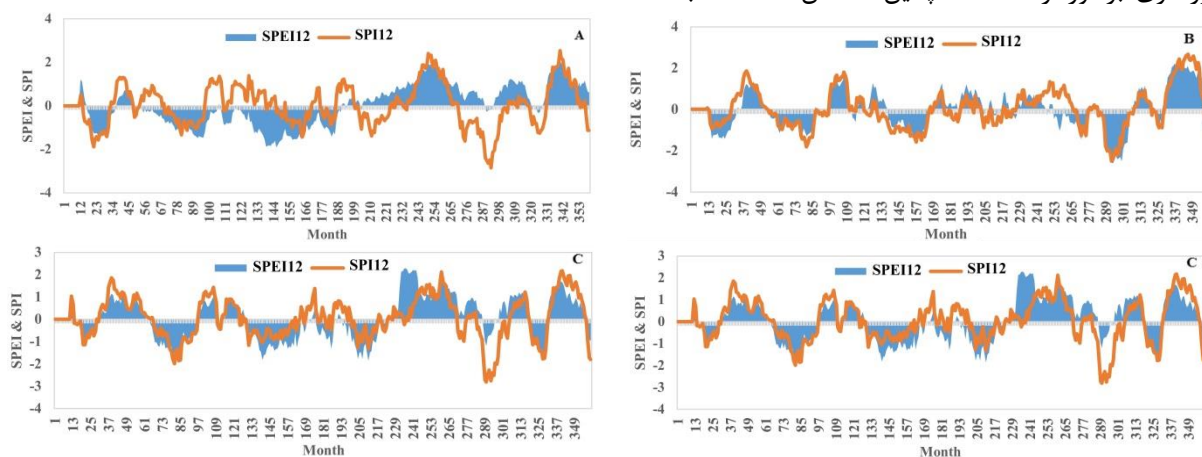


Figure 3- Different observed classes using SPI and SPEI indices in stations of Golestan province, respectively in A) Aq Qala, B) Araz Koosheh, C) Behlkeh Dashli and D) Cheshmeh Khan in 12 month time step
 شکل ۳- خشکسالی پایش شده توسط دو شاخص SPI و SPEI در ایستگاه‌های (A) آق‌قلا، (B) ارازکوسه، (C) بهلکه‌داشلی و (D)

چشمه‌خان در پنجره زمانی ۱۲ ماهه

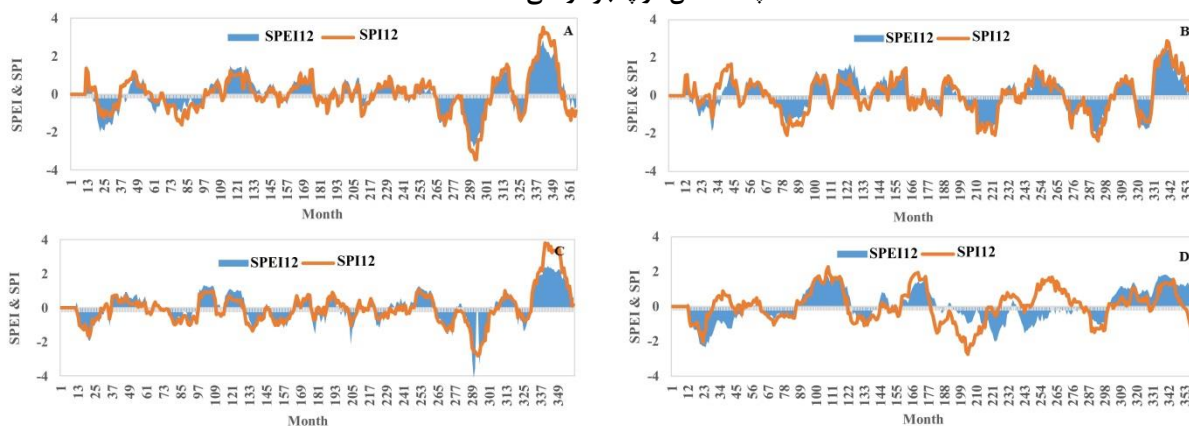


Figure 4- Different observed classes using SPI and SPEI indices in stations of Golestan province, respectively in A) Aq Qala, B) Araz Koosheh, C) Behlkeh Dashli and D) Cheshmeh Khan in 12 month time step
 شکل ۴- خشکسالی پایش شده توسط دو شاخص SPI و SPEI در ایستگاه‌های (A) فاضل‌آباد، (B) غفارحاجی، (C) رامیان، (D)

رباط‌قره‌بیل در پنجره زمانی ۱۲ ماهه

SPEI در تمام شرایط اقلیمی تعداد وقایع خشکسالی بیشتری را نشان می‌دهد تنها در ایستگاه چشمه‌خان در پنجره زمانی کوتاه مدت SPEI و در پنجره زمانی بلند مدت شاخص SPI تعداد وقایع بیشتر خشکسالی را نشان می‌دهد. بیشترین ضریب همبستگی (۰/۹۵) بین دو شاخص در شرایط اقلیمی مرطوب و کمترین ضریب همبستگی (۰/۳۸) بین دو شاخص در شرایط اقلیمی نیمه

مقایسه نمودارهای سری‌های زمانی شاخص‌های

خشکسالی SPI و SPEI

نتایج حاصل از ترسیم سری‌های زمانی شاخص‌های خشکسالی در پنجره زمانی ۱۲ ماهه در شکل‌های ۳ و ۴ نشان می‌دهند که در تمام ایستگاه‌ها شاخص SPEI نسبت به شاخص SPI از طول دوره ترسالی و خشکسالی بزرگتری برخوردار است. همچنین شاخص SPEI نسبت

نتیجه‌گیری

در این پژوهش تجزیه و تحلیل مقایسه‌ای شاخص‌های خشکسالی هواشناسی SPI و SPEI، بررسی همبستگی میان دو شاخص و همچنین تحلیل فراوانی طبقات خشکسالی در پنجره زمانی ۱۲ ماهه و بصورت فصلی در ۸ ایستگاه استان گلستان با دوره آماری مشترک ۳۰ سال (۱۳۶۳-۱۳۹۲) انجام گرفت. نتایج نشان داد که شاخص

منابع

- Abramowitz, M., Stegun, I. A. 1965. Handbook of Mathematical Functions. Dover Publication, New York.
- Ahmad, M., Sinclair, C. Werritty, A. 1988. Log-logistic flood frequency analysis. Journal of Hydrology, 98(3-4): 205-224.
- Ahmadi, M., Nosrati, K., Selki, H. 2013. Drought and its relationship with soil moisture (case study: Isfahan Kabotar Abad). Geography, 11(38): 77-91. (In Farsi)
- Banimahd, S. A., khalili, D. 2012. Comparative analysis of SPI and SPEI meteorological drought indices using parametric and non-parametric correlation tests in selected sites of iran. First National Conference on Sustainable Development Strategies, Natural Disasters Institute Education institute of Mehr Arvand Ministry of the Interior. (In Farsi)
- Byun, H. R., Wilhite, D. A. 1999. Daily quantification of drought severity and duration. Journal of Climate, 5: 1181-1201.
- Edwards, D. C., McKee, T. B. 1997. Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. Climatology report., No. 97-2.
- Hargreaves, G. H., Samani, Z. A. 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. Applied Engineering in Agriculture, 1(2): 96-99.
- Hasanalizadeh, N., Mosaedi, A., Zahiri, A., Babanezhad, M. 2014. Determine of Homogeneous Regions Distribution of Annual Rainfall in Golestan Province Using Clustering and L-moments. Journal of Water and Soil, 28(5): 1061-1071. (In Farsi)
- Livia, L., Lukas, S., Gunther, H. 2014, The comparison of the SPI and the SPEI using COSMO model data in two selected Slovakian river basins, EGU General Assembly, Vienna, Austria.
- McKee, T. B. N., Doesken, J., Kleist, J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. The 8th Conference on Applied Climatology. Anaheim, CA, American Meteorological Society: 179-184.
- McKee, T. B., Doesken, N. J., Kleist, J. 1995. Drought monitoring with Multiple Time scales. In Proceeding of the Ninth Conference on Applied Climatology, Dallas, TX, American Meteorological Society, 233-236.
- Morid, S., Smakhtin, V., Moghaddasi, M. 2006. Comparison of seven meteorological indices for drought monitoring in Iran. International Journal of Climatology, 26(7): 971-985.
- Mostafazadeh, R., zabihi, M., 2016. Comparison of SPI and SPEI indices to meteorological drought assessment using R programming (Case study: Kurdistan Province). Journal of the Earth and Space Physics, 42(3): 633-643. (In Farsi)
- خشک مشاهده شد. از همبستگی دو شاخص با بزرگتر شدن پنجره زمانی کاسته می‌شود و هرچه اقلیم مرطوبتر شود همبستگی دو شاخص افزایش می‌یابد. شاخص خشکسالی SPI در پنجره‌ی زمانی کوچکتر در دوره‌ی تر از دامنه تغییرات بیشتری در منطقه برخوردار است. در فصل تابستان هر دو شاخص از تغییرات بیشتری بین کلاس‌های خشکسالی برخوردار می‌باشند. با مقایسه سری‌های زمانی شاخص‌های خشکسالی SPI و SPEI در طی ۳۰ سال می‌توان دریافت هر چه طول پنجره زمانی شاخص بزرگتر می‌شود اختلافات رفتاری دو شاخص هم از لحاظ طول دوره هم از لحاظ شدت شاخص بیشتر می‌شود. نتایج فوق همسو با نتایج Ahmadi et al., (2013) و (2012) Banimhad and Kalili می‌باشد. همچنین نتایج (2014) Livia et al., ضمن مقایسه شاخص‌های خشکسالی SPI و SPEI را در دو حوضه آبخیز اسلواکی نشان داد که همبستگی کمی بین شاخص‌های SPI و SPEI در جنوب اسلواکی در مقیاس زمانی سه ماهه وجود دارد و نباید نقش مهم تبخیرتعلق در خشکسالی‌های فصل تابستان نادیده گرفته شود. در همین راستا نتایج تحقیق (2014) Nosrati ضمن بررسی و مقایسه خشکسالی هواشناسی با استفاده از شاخص خشکسالی SPEI و SPI در ۱۰ ایستگاه سینوپتیک کشور با اقلیم‌های گوناگون در دوره آماری ۱۹۷۵-۲۰۰۷ نشان داد که دو شاخص SPEI و SPI دارای همبستگی می‌باشند اما شاخص SPEI پاسخ سریع‌تری نسبت به خشکسالی‌ها دارد. (2016) Mostafazadeh and Zabihi در تجزیه و تحلیل مقایسه‌ای شاخص‌های خشکسالی SPI و SPEI در هفت ایستگاه سینوپتیک استان کردستان بیان داشتند که شاخص SPEI دوره‌های طولانی‌تر خشکی را در اکثر ایستگاه‌ها مشخص می‌کند و همچنین به‌نظر می‌رسد همبستگی ضعیف (۱۹/۰) میان شاخص‌های SPI و SPEI در ایستگاه سقز ناشی از افزایش تبخیرتعلق در فصول بهار و تابستان محاسبه شده توسط شاخص SPEI می‌باشد. همانطور که ملاحظه شد تبخیرتعلق نقش مهمی را در تغییر شدت خشکسالی‌ها ایفا می‌کند لذا لحاظ این عامل در تجزیه و تحلیل خشکسالی‌ها ضروری می‌باشد.

- Nosrati, K. 2014. Comparison of seven meteorological indices for drought monitoring in Iran. *Journal of Environmental Sciences*, 12(4):63-74. (In Farsi)
- Potop, V., Možný, M. 2011. The application a new drought index–Standardized precipitation evapotranspiration index in the Czech Republic. *Mikroklima a mezoklima krajinných struktur a antropogenních prostředí* 2.
- Tsakiris, G., Pangalou, D., Vangelis, H. 2007. Regional drought assessment based on the Reconnaissance Drought Index (RDI). *Water Resources Management*, 21(5): 821-833.
- Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., López-Moreno, J. I. 2010. A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climatology*, 23(7): 1696-1718.
- Yu, M., Li, Q., Hayes, M., Svoboda, M., Heim Jr, R. 2014. Are droughts becoming more frequent or severe in China based on the standardized precipitation evapotranspiration index: 1951-2010. *International Journal of Climatology*, 34(3): 545-558.
- Zarehabyaneh, H., Ghobaei Soogh, M., Mosaedi, A. 2015. Drought Monitoring Based on Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) Under the Effect of Climate Change. *Journal of water and soil (Agricultural sciences and technology)*, 29(2): 374-392. (In Farsi)
- Zehtabian, G., Karimi, K., Mirdashtvan, M., Khosravi, H. 2013. Comparability Analyses of the SPI and RDI Meteorological Drought Indices in South Khorasan Province in Iran. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 1(9): 981-992.



ارزیابی عملکرد رهیافت‌های برنامه‌ریزی ژنتیک و ماشین بردار پشتیبان در بازسازی داده‌های گمشده بارش

مصطفی کدخداحسینی^۱، رسول میرعباسی نجف آبادی^۲، حامد نوذری^۳، علی اصغر رستمی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۷/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۴/۳۰

چکیده

فقدان یا گسست در سری زمانی داده‌های بارش در بسیاری از ایستگاه‌های هواشناسی، یکی از محدودیت‌های اصلی در مطالعات اقلیم‌شناسی و منابع آب است. در پژوهش حاضر از دو رهیافت هوشمند برنامه‌ریزی ژنتیک و ماشین بردار پشتیبان به منظور بازسازی داده‌های بارش ماهانه چهار ایستگاه باران‌سنجی واقع در استان همدان، در دوره آماری ۱۳۷۰ تا ۱۳۸۹ استفاده شد. خلاء آماری ابتدا به کمک اطلاعات یک ایستگاه، سپس دو ایستگاه و در نهایت داده‌های سه ایستگاه، بازسازی گردید. نتایج نشان داد که با افزایش حافظه و تعداد ایستگاه‌های دخیل در مرحله آموزش، عملکرد مدل‌ها بهبود می‌یابد. همچنین رهیافت ماشین بردار پشتیبان در بازسازی داده‌های بارش ماهانه ایستگاه سرابی و مریانج به ترتیب با ریشه میانگین مربعات خطای ۱۲/۹ و ۱۱/۴ میلی‌متر و ضریب همبستگی ۰/۹۳ و ۰/۹۵ نسبت به روش برنامه‌ریزی ژنتیک با ریشه میانگین مربعات خطای ۱۳ و ۱۲/۲ میلی‌متر و ضریب همبستگی ۰/۹۳ و ۰/۹۵ از عملکرد بهتری برخوردار بوده است.

واژه‌های کلیدی: بارش ماهانه، خلاء آماری، روش‌های هوشمند، همدان

مقدمه

تنوع مکانی و زمانی مناسب بارش در حوضه‌ها از جمله موارد مهم در مدل‌سازی‌های هیدرولوژیکی، مطالعات خشکسالی، تجزیه و تحلیل و طراحی سیستم‌های منابع آب است. در دسترس بودن سری کامل داده‌های بارش در مقیاس‌های زمانی و مکانی برای مدل‌های شبیه‌سازی هیدرولوژیکی که بارش به عنوان پارامتر ورودی آن‌ها در نظر گرفته می‌شود، ضروری است (Vieux, 2001). با این حال ایستگاه‌های هواشناسی اغلب به دلیل عدم نظارت بر قرائت داده‌ها یا مشکلات فنی دارای خلاءهای آماری می‌باشند (Tardivo and Berti, 2012). بازسازی داده‌های

گمشده همواره مورد توجه هیدرولوژیست‌ها و کارشناسان هواشناسی و محیط زیست بوده است (Geerts, 2004; Kashani and Dinpashoh, 2012; Li et al., 2013). برای بازسازی داده‌های گمشده در ایستگاه‌های هواشناسی روش‌های متعددی مورد استفاده قرار گرفته است. از جمله این روش‌ها استفاده از مدل‌ها و توابع آماری (Coulibaly and Evora, 2007; Ramos Calzado et al., 2008)، میانگین بلندمدت سری داده‌های بارش به جای داده‌های گمشده (Linacre, 1992)، داده‌های بارش چند روز قبل و چند روز بعد از روزی که داده از دست رفته است، در رگرسیون‌های خطی به جهت پر کردن شکاف‌های یک روزه داده‌ها (Acock and Pachepsky, 2000)، داده‌های بارش ایستگاه‌های همسایه که بر پایه فاصله هندسی بین ایستگاه‌ها و بازسازی از داده‌های نزدیک‌ترین ایستگاه همسایه (Xia et al., 1999; Vicente-Serrano et al., 2010)، معکوس وزنی فاصله (Khorsandi et al., 2011; Teegavarapua and Chandramouli, 2005)، روش‌های درون‌یابی آماری مانند کریجینگ (Jeffrey et al., 2001) و درون‌یابی نیم‌فاصله مکانی و فضایی می‌باشد. به تدریج با پیشرفت و

^۱ دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

^۲ استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

(*نویسنده مسئول: mirabbasi_r@yahoo.com)

DOI:

^۳ استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان

^۴ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

امواج در خلیج مکزیک از مدل برنامه‌ریزی ژنتیک استفاده شد (Ustoorikar and Deo, 2008). نتایج نشان داد این مدل از دقت بسیار مطلوبی در پیش‌بینی داده‌های مربوط به سری‌های زمانی برخوردار است. به منظور بازیافت داده‌های گمشده امواج در طول ساحل غربی هندوستان از مدل برنامه‌ریزی ژنتیک استفاده شد (Kalra and Deo, 2007). پژوهش (Solgy (2017) با استفاده از دو مدل هوشمند برنامه‌ریزی بیان ژن و ماشین بردار پشتیبان برای پیش‌بینی بارش ماهانه شهرستان نهاوند با استفاده از داده‌های بارش، دما و رطوبت نسبی ماهانه ایستگاه وراینه در یک دوره ۳۲ ساله (۱۳۹۳-۱۳۶۲) انجام شد. نتایج نشان داد که عملکرد هر دو مدل خوب و مشابه بوده (ضریب همبستگی حدود ۰/۹۲) ولی با توجه به بررسی معیارهای ارزیابی مختلف، مدل برنامه‌ریزی بیان ژن عملکرد کمی بهتری داشته است. به طور کلی می‌توان گفت که مدل برنامه‌ریزی بیان ژن برای مدل‌سازی و پیش‌بینی بارش ماهانه ایستگاه وراینه در شهرستان نهاوند مناسب‌تر بوده است. نتایج این پژوهش نشان از عملکرد موفق این مدل در بازسازی داده‌های گمشده در مقابل سایر روش‌های آماری دارد. مطالعه (Isazadeh et al., 2016) برای پیش‌بینی جریان ماهانه حوضه خرخره‌چای با استفاده از تابع کرنل چندجمله‌ای درجه چهارم (به عنوان نماینده مدل SVM) با نتایج مدل (ARMA (۲,۶) به عنوان نماینده مدل‌های سری زمانی) مقایسه گردید و نشان داد که مدل SVM از کارایی بهتری نسبت به مدل‌های سری زمانی در پیش‌بینی جریان ماهانه برخوردار است. (Che-Ghani et al., 2014) از مدل برنامه‌ریزی بیان ژن برای بازسازی داده‌های بارش ماهانه ایستگاه‌های باران‌سنجی استفاده کردند. نتایج نشان داد که این مدل عملکرد بالایی در بازسازی داده‌های بارش با ضریب تبیین ۰/۸۸۶ دارد. هدف از انجام این پژوهش تکمیل نمودن نواقص و اطلاعات آماری داده‌های بارش ایستگاه‌هایی می‌باشد که اساس مطالعات و پژوهش‌های دیگر است. به این منظور عملکرد ماشین بردار پشتیبان (SVM) و برنامه‌ریزی ژنتیک (GP) در بازسازی داده‌های بارش ایستگاه‌های باران‌سنجی استان همدان مقایسه شد.

توسعه مدل‌های هوشمند و ارائه دقت و عملکرد بالای این مدل‌ها در پیش‌بینی پارامترها و کاربرد در علوم مختلف، استفاده از این مدل‌ها در دهه‌های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است (Dastorani et al., 2010; Khorsandi et al., 2013; Linacre, 1992; Golabi et al., 2011). از جمله روش‌های هوش مصنوعی که برای بازسازی داده‌ها می‌توان استفاده کرد، روش‌های ماشین بردار پشتیبان (SVM)^۱ و برنامه‌ریزی ژنتیک (GP)^۲ در حالت GEP می‌باشد. ماشین بردار پشتیبان یکی از روش‌های یادگیری تحت نظارت^۳ است که برای دسته‌بندی و رگرسیون قابل استفاده است. این روش توسط Vapnik (1998) بر پایه تئوری یادگیری آماری^۴ بنا نهاده شده است. ماشین بردار پشتیبان روشی برای طبقه‌بندی دوتایی در فضای ویژگی‌های دلخواه است و از این روشی مناسب برای مسائل پیش‌بینی به شمار می‌رود و در اصل یک دسته‌بندی کننده دو کلاسه است که کلاس‌ها را توسط یک مرز خطی از هم جدا می‌کند. در این روش نزدیک‌ترین نمونه‌ها به مرز تصمیم‌گیری را بردارهای پشتیبان می‌نامند. این بردارها معادله مرز تصمیم‌گیری را مشخص می‌کنند. الگوریتم‌های شبیه‌سازی هوشمند کلاسیک مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی، معمولاً قدر مطلق خطا یا مجموع مربعات خطای داده‌های آموزشی را حداقل می‌کنند، ولی مدل‌های SVM، اصل حداقل‌سازی خطای ساختاری را به کار می‌گیرند (Ahmadi et al., 2015). اخیراً این مدل در گستره وسیعی از مسائل هیدرولوژیکی و به ویژه پیش‌بینی بارش (Lin et al., 2010; Lin et al., 2013; Maity et al., 2010; Hong and Wu et al., 2010; Pai, 2010) استفاده شده است. تئوری برنامه‌ریزی ژنتیک برای اولین بار توسط (Koza (1992) ارائه شد. در دهه‌های اخیر این مدل به عنوان یک روش قوی برای حل طیف گسترده‌ای از مشکلات مدل‌سازی بارش-رواناب (Dorado et al., 2003; Nourani et al., 2001; Whigham and Crapper, 2011)، تعیین هیدروگراف واحد (Rabunal et al., 2007)، روندیابی سیلاب (Sivapragasam et al., 2008) و پیش‌بینی تراز دریاچه‌ها (Ghorbani et al., 2010) مورد استفاده قرار گرفته است. شکل توسعه یافته برنامه‌ریزی ژنتیک، برنامه‌ریزی بیان ژن است. برای تخمین داده‌های ناقص مربوط به ارتفاع

¹ Support Vector Machines

² Genetic Programming

³ Supervised learning

⁴ Statistical Learning Theory

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان همدان با مساحت ۲۰۱۷۲ کیلومتر مربع، ۲/۱ درصد از کل مساحت کشور را در بر گرفته است. این استان بین عرض‌های ۳۵° و ۳۳° شمالی و طول‌های ۳۴° و ۴۷° تا ۳۴° و ۴۹° شرقی واقع شده و دارای اقلیمی سرد می‌باشد. در این مطالعه از داده‌های بارش ماهانه ایستگاه‌های آقاجانبلاغی، سرابی، آق کهریز و مریانج طی سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۳۸۹ استفاده شد که خصوصیات آماری آن‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین مشخصات و موقعیت جغرافیایی این ایستگاه‌ها در جدول ۲ نشان داده شده است. دلیل انتخاب این ایستگاه‌ها نزدیک بودن مسافت هندسی و بالابودن ضریب همبستگی داده‌های بارش ماهانه بین آن‌ها می‌باشد (جدول ۳).

Table 1- Statistical characteristics of available data at studied stations

جدول ۱- خصوصیات آماری داده‌های موجود در ایستگاه‌های

مورد مطالعه

Station	Aghajan bolaghi	Agh kahriz	Maryanej	Sarabi
Max	150	187	174	190
Min	0	0	0	0
Mean	19.5	18.25	31.5	26.75
Variance	1209.79	1160.99	1655.71	1743.51
SD	34.78	34.07	40.69	41.76
CV	178.37	186.7	129.18	156.09

Table 2 – Geographical location of studied stations and annual average precipitation

جدول ۲- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه و

میانگین بارش سالانه

Station	Annual rainfall (mm)	Latitude (N)	Longitude (E)
Sarabi	436	34° 58'	48° 10'
Aghajan bolaghi	332	34° 50'	48° 03'
Agh kahriz	317	34° 59'	48° 48'
Maryanj	451	34° 49'	48° 48'

Table 3- Correlation coefficient between precipitation data of studied stations

جدول ۳- ضریب همبستگی میان داده‌های بارش ایستگاه‌های

مورد مطالعه

Station	Sarabi	Maryanj	Agh kahriz	Aghajan bolaghi
Aghajan bolaghi	0.88	0.88	0.88	1
Agh kahriz	0.90	0.90	1	0.88
Maryanj	0.93	1	0.90	0.88
Sarabi	1	0.93	0.90	0.88

برنامه‌ریزی ژنتیک

برنامه‌ریزی ژنتیک جزو روش‌های الگوریتم گردشی محسوب می‌شود که مبتنی بر نظریه داروین است.

الگوریتم‌های یاد شده اقدام به تعریف یک تابع هدف در قالب معیارهای کمی نموده و سپس تابع یاد شده را برای مقایسه جواب‌های مختلف حل مسئله در یک فرآیند گام به گام تصحیح ساختار داده‌ها به کار می‌گیرند و در نهایت جواب مناسب را ارائه می‌نمایند. فرآیند اجرایی گام به گام برنامه‌ریزی ژنتیک به صورت مراحل زیر است.

۱- تولید یک جمعیت اولیه از فرمول‌ها که این فرمول‌ها از ترکیب تصادفی مجموعه توابع و ترمینال‌ها ایجاد می‌شوند. ترمینال‌ها همان متغیرهای مستقل که شامل پارامترهای موثر در محاسبه داده‌های گمشده می‌باشد. انتخاب توابع مناسب در پژوهش‌های مختلف متفاوت بوده اما تقریباً در همه آن‌ها از چهار عملگر اصلی و توابع مثلثاتی به عنوان عملگرهای فرعی استفاده شده است که در این مطالعه از عملگرهای اصلی (جمع، تفریق، ضرب و تقسیم) و مثلثاتی جهت توابع استفاده شده است. سپس ساختار کروموزوم‌ها شامل طول سر و تعداد ژن‌ها از طریق آزمون و خطا انتخاب می‌گردد.

۲- هر یک از افراد جمعیت مذکور با استفاده از توابع برازش مورد ارزیابی قرار می‌گیرند.

۳- تولید یک جمعیت جدید از فرمول‌ها، که مراحل زیر برای تولید یک جمعیت جدید دنبال می‌شود:

الف) یکی از عمل‌های ژنتیکی تلاقی، جهش و تولید مثل انتخاب می‌شود (این سه عمل ژنتیکی، مهم‌ترین عمل‌های ژنتیکی مورد استفاده در برنامه‌ریزی ژنتیک می‌باشند. عمل‌های دیگری مثل اصلاح ساختار و غیره نیز با احتمال کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرند، ب) تعداد مناسبی از افراد جمعیت حاضر انتخاب می‌شوند (انتخاب فرد یا افرادی از جمعیت مذکور به صورت احتمالاتی می‌باشد که در این انتخاب احتمالاتی منفردهای با برازش بهتر به منفردهای نامرغوب ترجیح داده می‌شوند و آن معنی نیست که حتماً منفردهای نامرغوب حذف می‌شوند، ج) از عمل ژنتیکی انتخاب شده برای تولید فرزند (فرمول جدید) استفاده می‌شود، فرزند (فرمول جدید) تولید شده در یک جمعیت جدید وارد می‌شود و ه) مدل مورد نظر با استفاده از تابع برازش مورد ارزیابی واقع می‌شود.

۴- گام سوم تانیل به حداکثر تعداد تولید، تکرار خواهد شد.

۵- معیار پایان و ارائه نتایج اجرایی برنامه (مثل، تعداد تولید جمعیت جدید، تعیین یک مقدار مشخص برای برازش فرمول‌ها که اگر میزان برازش برابر یا بیشتر از آن مقدار شد، اجرا متوقف شود). طرح کلی گام‌های اجرایی برنامه‌ریزی

وسیله آموزش مدل SVM بر روی یک مجموعه داده به عنوان مجموعه آموزش که شامل فرآیندی به منظور بهینه‌سازی دائمی تابع خطا است، قابل دسترسی است. بر مبنای تعریف این تابع خطا، دو نمونه از مدل‌های SVM شناخته شده است که عبارتند از: الف) مدل‌های رگرسیونی SVM نوع اول که مدل‌های SVM-n نیز نامیده می‌شوند و ب) مدل‌های رگرسیونی SVM نوع دوم که با نام SVM-e شناخته شده هستند. در این مطالعه، SVM-ε به دلیل کاربرد گسترده آن در مسائل رگرسیونی مورد استفاده قرار گرفت. ماشین‌های بردار پشتیبان برای حل مسائل غیرخطی، ابعاد مسأله را از طریق توابع کرنل تغییر می‌دهند. انتخاب کرنل برای SVM به حجم داده‌های آموزشی و ابعاد بردار ویژگی بستگی دارد؛ به عبارت دیگر، باید با توجه به این پارامترها تابع کرنلی را انتخاب کرد که توانایی آموزش برای ورودی‌های مسأله را داشته باشد. در عمل چهار نوع کرنل خطی، چندجمله‌ای، تانژانت هیپربولیک و گوسی (RBF) به کار گرفته می‌شوند. در جدول ۵ معادلات برخی از کرنل‌های رایج ارائه شده‌اند. در نهایت، تابع تصمیم رگرسیون بردار پشتیبان غیرخطی، به صورت معادله ۲ خواهد بود که کنترل‌کننده میزان نوسان تابع گوسی و همچنین کنترل‌کننده نتایج پیش‌بینی و تعمیم‌دهنده مدل SVM است (Yu et al., 2006).

$$f(x_i) = \sum_{i=1}^1 (-\partial_i - \partial_i^*)K(x_i, x_j) + b \quad (2)$$

که ∂_i و ∂_i^* ضرایب لاگرانژ جهت بهینه‌سازی و حداکثرسازی تابع، $K(x_i, x_j)$ تابع کرنل موردنظر و b از ضرایب مدل SVM رگرسیونی می‌باشد.

Table 5- Common kernel functions in supporting vector machines (Hamel, 2009)

جدول ۵- توابع کرنل رایج در ماشین‌های بردار پشتیبان (Hamel, 2009)

Type of function	Kernel function
Linear	$K(x_i, x_j) = x_i^T \cdot x_j$
Polynomial	$K(x_i, x_j) = (\gamma x_i^T \cdot x_j + C)^d$
Hyperbolic tangent	$K(x_i, x_j) = \tanh(\gamma x_i^T \cdot x_j + C)$
RBF	$K(x_i, x_j) = \exp\left(-\gamma x_i - x_j ^2\right)$

معیارهای ارزیابی مدل‌ها

به منظور مقایسه بارش ماهانه مشاهده‌ای و تخمین زده شده توسط مدل‌های ماشین بردار پشتیبان (SVM) و

ژنتیک در شکل ۱ نشان داده شده است. همچنین جدول ۴ مشخصات مدل برنامه‌ریزی ژنتیک استفاده شده در بازسازی داده‌های گمشده بارش ماهانه را نشان می‌دهد.

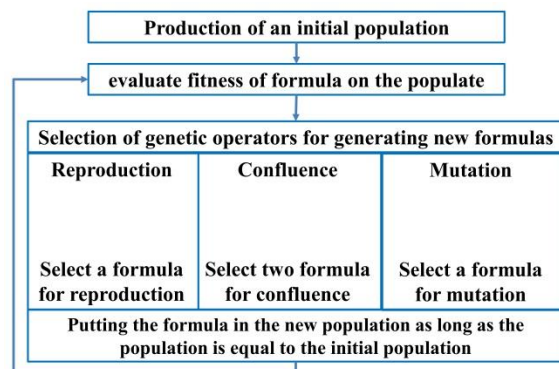


Figure 1- General description of the steps taken to implement genetic programming (Sette and Boullart, 2001)

شکل ۱- شکل کلی گام‌های اجرایی برنامه‌ریزی ژنتیک (Sette and Boullart, 2001)

Table 4- Specifications of genetic programming used to reconstruct missing monthly rainfall data

جدول ۴- مشخصات برنامه‌ریزی ژنتیک به کار رفته برای بازسازی داده‌های گمشده بارش ماهانه

parameter	Value
Head Size	8
Chromosomes	30
Number of Genes	3
Mutation Rate	0.044
Inverstion Rate	0.1
One-Point Recombination Rate	0.3
Two- Point Recombination Rate	0.3
Gene Recombination Rate	0.1
IS Transposition Rate	0.1
RIS Transposition Rate	0.1
Gene Transposition Rate	0.1
Fitness Function Error Type	RMSE
Linking Function	+

ماشین بردار پشتیبان

در یک مدل رگرسیونی SVM 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، معادله بین متغیرهای وابسته و مستقل توسط یک تابع معین f به علاوه یک مقدار اضافی نویز^۱ مشخص می‌شود که شکل ریاضی آن در معادله ۱ نشان داده شده است.

$$Y=f(x) + \text{Noise} \quad (1)$$

بنابراین، موضوع اصلی پیدا کردن فرم تابع f است که بتواند به صورت صحیح، موارد جدیدی را که SVM تاکنون تجربه نکرده است پیش‌بینی کند. این تابع به

¹ Noise

میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب همبستگی (r) استفاده شد. جدول ۷ نتایج دقت مدل‌سازی داده‌های بارش ایستگاه سرابی و مریانج را برای الگوهای مورد بررسی نشان می‌دهد. با توجه به این جدول زمانی که از داده‌های سه ایستگاه برای آموزش مدل‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد، برنامه‌ریزی ژنتیک و ماشین بردار پشتیبان نتایج بهتری از خود نشان می‌دهند. علاوه بر این، SVM عملکرد بهتری نسبت به GP دارد، که این نتیجه با تغییر در ایستگاه هدف (الگوی ۶) نیز به دست آمده است که مقدار مجذور میانگین مربعات خطایی با مقدار ۱۱/۴۳ میلی‌متر را داشته است. اگرچه هر دو مدل عملکرد نزدیکی را داشته اند، اما زمانی که از داده‌های دو ایستگاه برای آموزش مدل‌ها استفاده شد مدل GP عملکرد بهتری نسبت به مدل SVM نشان داد. بنابراین زمانی که تعداد ایستگاه‌های اطراف ایستگاهی که داده‌های گمشده دارد کمتر باشد، می‌توان از مدل GP برای بازسازی داده‌ها استفاده کرد. به طور کلی برای هر دو مدل ماشین بردار پشتیبان و برنامه‌ریزی ژنتیک هر چه تعداد ایستگاه‌های مجاور ایستگاهی که داده گمشده دارد بیشتر باشد، مقادیر بازسازی شده بارش در حدود ۸ میلی‌متر دقت بازسازی بالاتری را داشته است. به منظور ارزیابی و بررسی عملکرد مدل‌های SVM و GP مقادیر مشاهده شده در مقابل مقادیر بازسازی شده توسط مدل‌ها در شکل‌های ۲ تا ۵ ترسیم گردید. شکل ۲ و ۴ به ترتیب نتایج شبیه‌سازی داده‌های بارش ایستگاه سرابی و مریانج، با مدل‌های SVM و GP را نشان می‌دهند. همانطور که این شکل‌ها نشان می‌دهند با افزایش تعداد ایستگاه‌های ورودی برای آموزش مدل‌ها، داده‌های تخمینی به داده‌های مشاهده‌ای نزدیک‌تر و دقت بازسازی داده‌ها بیشتر شده است. شکل‌های ۳ و ۵ ضریب همبستگی بین داده‌های مشاهده‌ای و بازسازی شده برای الگوهای مختلف را نشان می‌دهد. همانطور که این شکل‌ها نشان می‌دهد با اضافه شدن داده‌های یک ایستگاه دیگر به آموزش مدل‌ها، خطای بازسازی به میزان قابل توجهی کاهش یافته است. شکل‌های ۳ و ۵ نشان می‌دهند، زمانی که از داده‌های یک و سه ایستگاه برای بازسازی داده‌های ایستگاه سرابی و مریانج استفاده شده است مدل SVM عملکرد بهتری داشته است. اما زمانی که از داده‌های دو ایستگاه برای آموزش مدل‌ها استفاده شد هر دو مدل تقریباً عملکرد یکسانی از خود نشان دادند.

برنامه‌ریزی ژنتیک (GP)، از معیارهای ضریب همبستگی (r) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE^۱) استفاده شد

$$r = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^n (R_{(obs)i} - R_{(pre)i})^2}{\sum_{i=1}^n (R_{(obs)i} - R_m)^2}} \quad (۳)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (R_{(pre)i} - R_{(obs)i})^2} \quad (۴)$$

که $R_{(pre)i}$ بارش تخمینی در زمان i ، $R_{(obs)i}$ بارش مشاهده شده در همان زمان و R_m میانگین مقادیر مشاهداتی می‌باشند. بر این اساس هر چه مقدار RMSE در تکرارهای مختلف شبیه‌سازی مدل‌ها کمتر و مقدار همبستگی r میان داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده نزدیکتر به یک باشد دقت و عملکرد بالاتری را نشان خواهد داد.

بحث و نتایج

در مطالعه حاضر، برای مدل‌سازی داده‌های بارش ماهانه ایستگاه باران‌سنجی سرابی و مریانج با استفاده از مدل‌های ماشین بردار پشتیبان و برنامه‌ریزی ژنتیک، داده‌های ۱۴ سال برای آموزش و ۵ سال (از سال ۷۹-۷۴) به عنوان داده‌های تست انتخاب شده‌اند. به طور کلی، برای آموزش مدل‌ها از ۷۵ درصد داده‌ها و برای صحت‌سنجی از ۲۵ درصد داده‌ها استفاده شد (Ahmadi et al., 2015). برای آموزش مدل‌ها شش الگو در نظر گرفته شده است (جدول ۶).

Table 6- Pattern used in training of models
جدول ۶- الگوهای مورد استفاده در آموزش مدل‌ها

field	Pattern
1	$R_{Sarabi} = f(R_{Aghajan\ bolaghi})$
2	$R_{Sarabi} = f(R_{Aghajan\ bolaghi}, R_{Aghakhriz})$
3	$R_{Sarabi} = f(R_{Maryanj}, R_{Aghajan\ bolaghi}, R_{Aghakhriz})$
4	$R_{Maryanj} = f(R_{Aghajan\ bolaghi})$
5	$R_{Maryanj} = f(R_{Aghajan\ bolaghi}, R_{Aghakhriz})$
6	$R_{Maryanj} = f(R_{Sarabi}, R_{Aghajan\ bolaghi}, R_{Aghakhriz})$

همانطور که این الگوها نشان می‌دهند در سه الگو ایستگاه هدف سرابی و در سه الگوی دیگر ایستگاه هدف مریانج می‌باشد. به منظور آموزش مدل و بازسازی داده‌های گمشده در هر کدام از ایستگاه‌های هدف سه مرحله آموزش در نظر گرفته شده به طوری که آموزش با استفاده از یک، دو و سه ایستگاه مینا انجام گردید و تابع ورودی به مدل‌ها در هر مرحله با اضافه شدن یک ایستگاه مورد بررسی قرار گرفت. پس از مدل‌سازی، داده‌های بازسازی شده بارش ماهانه ایستگاه‌های سرابی و مریانج با داده‌های مشاهده‌ای مورد مقایسه قرار گرفتند. به این منظور از شاخص‌های آماری

^۱ Root Mean Square Error

Table 7- Performance evaluation of different combinations of SVM and GP models in reconstructing monthly precipitation data of Sarabi and Maryanaj stations

جدول ۷- ارزیابی عملکرد ترکیب‌های مختلف مدل‌های GP و SVM در بازسازی داده‌های بارش ماهانه ایستگاه‌های سرابی و مریانج

Pattern	Base station	Target station	SVM		GP	
			r	RMSE (mm)	r	RMSE (mm)
1	Aghajan bolaghi	Sarabi	0.91	18	0.90	20
2	Agha kahriz and Aghajan bolaghi	Sarabi	0.93	14.34	0.92	14
3	Aghajan bolaghi, Agh kahriz and Maryanj	Sarabi	0.93	12.88	0.93	13
4	Aghajan bolaghi	Maryanaj	0.94	21.1	0.89	21.15
5	Aghajan bolaghi and Agh kahriz	Maryanaj	0.94	13.47	0.94	12.41
6	Aghajan bolaghi, Agh kahriz and Sarabi	Maryanaj	0.95	11.43	0.95	12.21

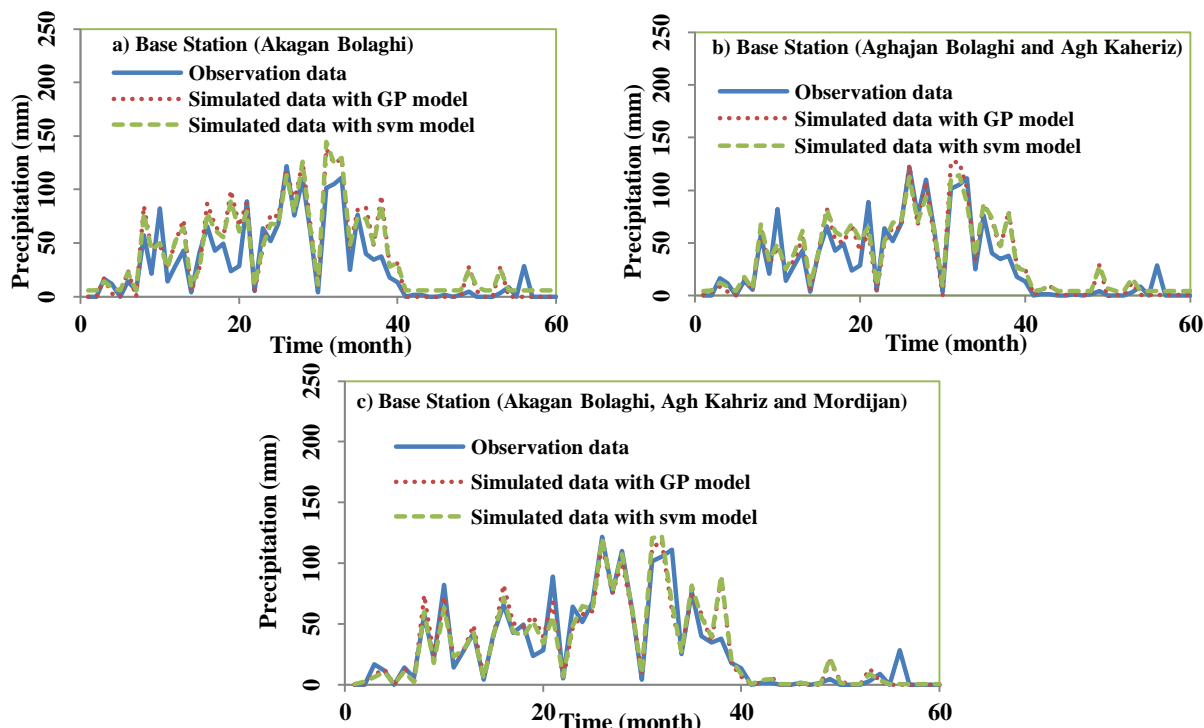


Figure 2- Comparison of observed and reconstructed data with SVM and GP models (Target station: Sarabi)

شکل ۲- مقایسه داده‌های مشاهده‌ای و بازسازی شده با مدل‌های SVM و GP (ایستگاه هدف: سرابی)

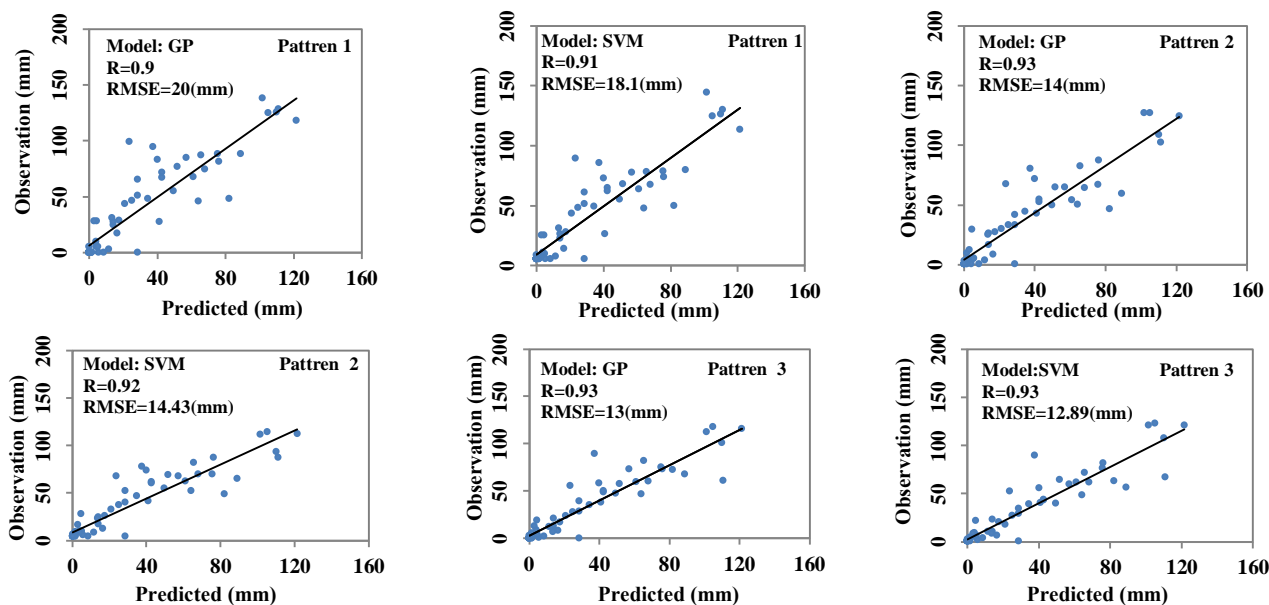


Figure 3- Comparison of correlation coefficient between observed and reconstructed precipitation data (Target station: Sarabi)

شکل ۳- مقایسه ضریب همبستگی بین داده‌های مشاهده‌ای و بازسازی شده (ایستگاه هدف: سرابی)

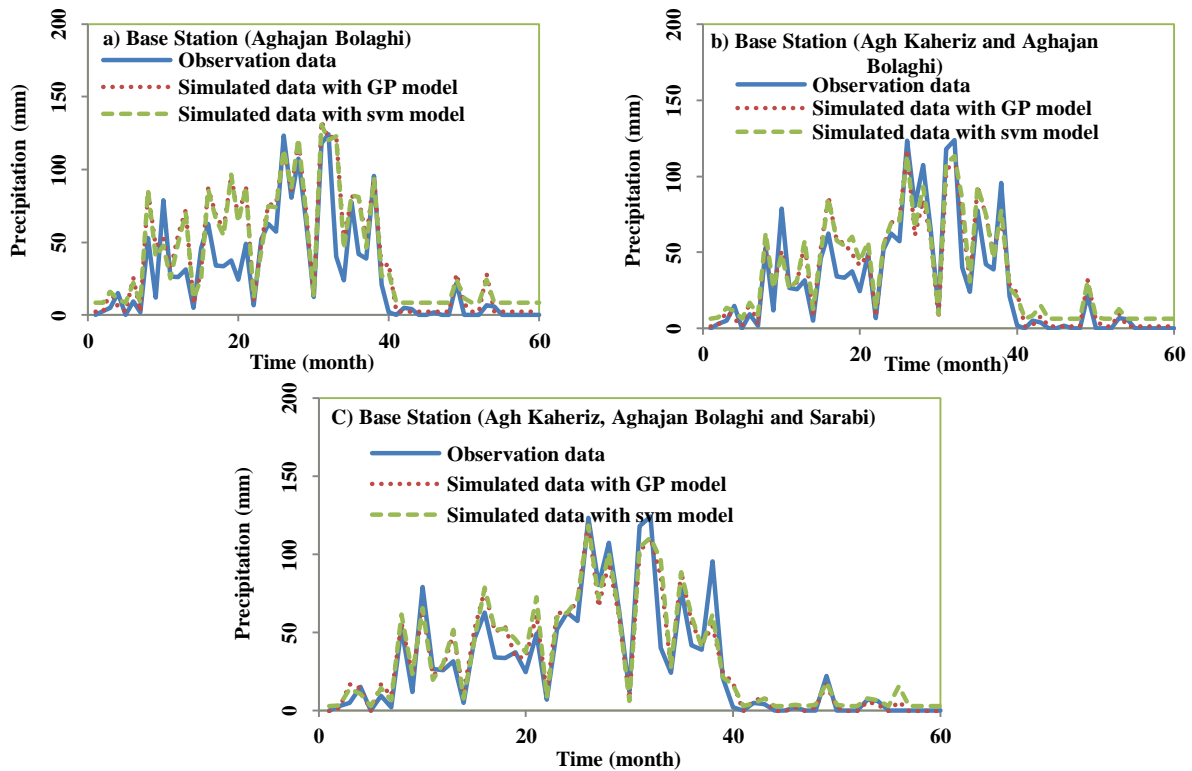


Figure 4- Comparison of observed and reconstructed data with Support vector machine and genetic programming (Target station: Maryanaj)

شکل ۴- مقایسه داده‌های مشاهده‌ای و بازسازی شده با ماشین بردار پشتیبان و برنامه‌ریزی ژنتیک (ایستگاه هدف: مریانج)

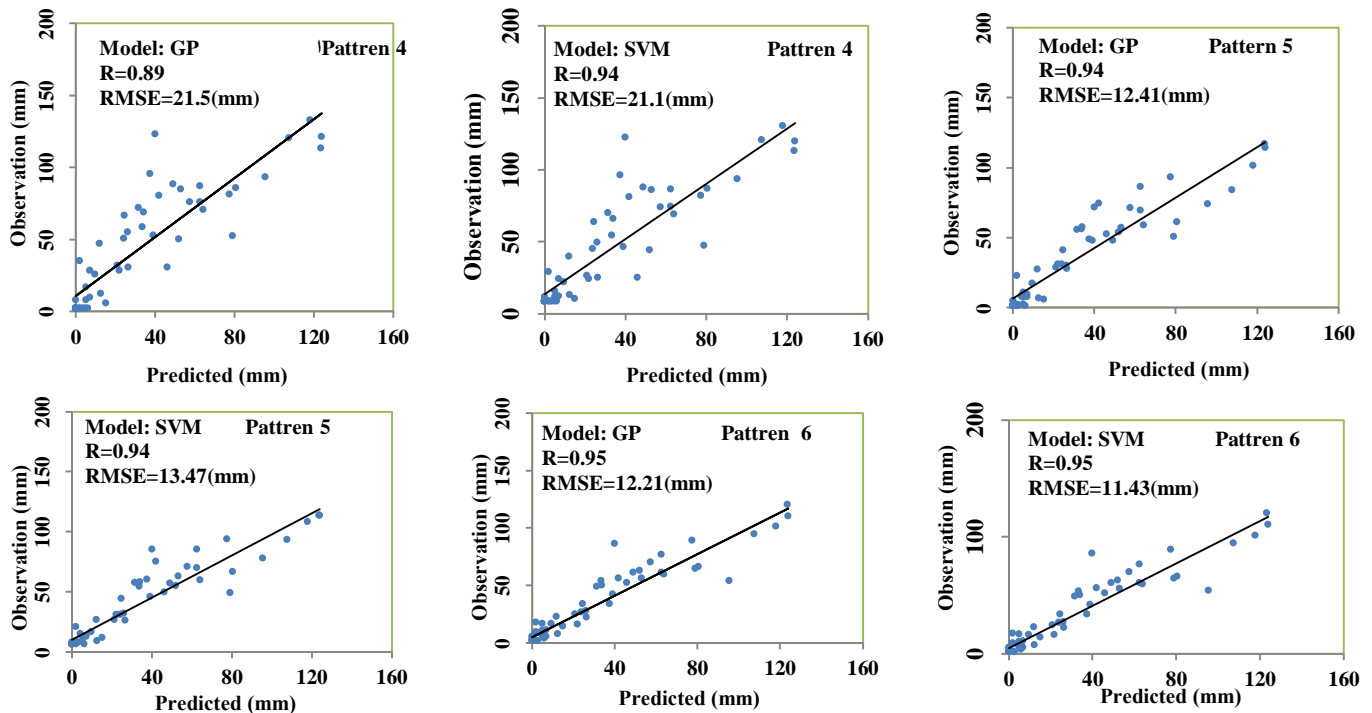


Figure 3- Comparison of correlation coefficient between observed and reconstructed precipitation data (Target station: Sarabi)

شکل ۳- مقایسه ضریب همبستگی بین داده‌های مشاهده‌ای و بازسازی شده (ایستگاه هدف: سرابی)

ماهانه ایستگاه باران‌سنجی سرابی و مریانج در استان همدان در طی سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۳۸۹ مورد بررسی قرار گرفت. در بخش آموزش شبکه دو حالت و برای هر حالت

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، عملکرد مدل‌های ماشین بردار پشتیبان و برنامه‌ریزی ژنتیک در بازسازی مقادیر بارش

دارند بنابراین بطور کلی مدل ماشین بردار پشتیبان دقت بالاتری در بازسازی داده‌های بارش دارد. در بازسازی داده‌های بارش ماهانه، بهترین عملکرد در استفاده از داده‌های سه ایستگاه برای آموزش مدل‌های GP و SVM به دست آمده که ضریب همبستگی و میانگین مربعات خطا برای این الگو در بازسازی داده‌های ایستگاه سرابی به ترتیب ۰/۹۳ و ۱۳ میلیمتر برای مدل GP و ۱۲/۸۸ میلیمتر برای مدل SVM و در بازسازی داده‌های ایستگاه مریانج ۰/۹۵ و ۱۲/۲۱ میلیمتر برای مدل GP و ۰/۹۵ و ۱۱/۴۳ میلیمتر برای مدل SVM می‌باشد. گرچه هر دو مدل در سه حالت مختلف آموزش مدل‌ها، عملکرد تقریباً مشابهی در بازسازی داده‌های بارش ماهانه ایستگاه‌های سرابی و مریانج از خود نشان دادند، اما نتایج نشان داد که هرچه تعداد ایستگاه‌های ورودی برای آموزش مدل‌ها بیشتر شود، عملکرد مدل‌ها افزایش می‌یابد.

منابع

Ahmadi, F., Radmanesh, F., Abadi, R. M. N. 2015. Comparison between Genetic Programming and Support Vector Machine methods for daily river flow forecasting (Case Study: Barandoozchay River). *Journal of Water and Soil*, 28(6), 1162-1171. (In Farsi)

Acock, M. C., Pachepsky, Y. A. 2000. Estimating missing weather data for agricultural simulations using group method of data handling. *Journal of Applied Meteorology*, 39(7): 1176-1184.

Che-Ghani, N., Abu Hasan, Z., Liang, L. 2014. Estimation of missing rainfall data using GEP: Case Study of Raja River, Alor Setar, Kedah. *Lecture Notes Artificial Intelligence*, Article ID 716398: 1-5.

Coulibaly, P., Evora, N. D. 2007. Comparison of neural network methods for infilling missing daily weather records. *Journal of Hydrology*, 341(1-2): 27-41.

Dastorani, T. M., Moghadamnia, A., Piri, J., Ramirez, M. R. 2010. Application of ANN and ANFIS models for reconstructing missing flow data. *Environmental Monitoring and Assessment*, 166: 421-434.

Dorado, J., Rabunal, J. R., Pazos, Rivero, A., Santos, D., Puertas, J. 2003. Prediction and modeling of the rainfall-runoff transformation of a typical urban basin using ANN and GP. *Applied Artificial Intelligence*, 17: 329-343.

Geerts, B. 2003. Empirical estimation of the monthly-mean daily temperature range. *Theoretical and Applied Climatology*, 74(3-4): 145-165.

سه سناریو در نظر گرفته شد. در سناریوی اول از آمار ایستگاه آقاجانبلاغی که یکی از ایستگاه‌های مجاور ایستگاه سرابی و مریانج است و دارای آمار و اطلاعات کاملی می‌باشد برای آموزش مدل‌ها استفاده شد. در سناریوی دوم از داده‌های ایستگاه آق کهریز و آقاجانبلاغی و در آخرین سناریو برای بازسازی داده‌های ایستگاه سرابی از ایستگاه‌های آق کهریز، آقاجانبلاغی و مریانج و برای بازسازی داده‌های ایستگاه مریانج از ایستگاه‌های آق کهریز، آقاجانبلاغی و سرابی برای آموزش مدل‌ها استفاده شد. پس از کنترل نتایج داده‌های ایستگاه‌های سرابی و مریانج بازسازی شدند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد هنگامی که از داده‌های یک و سه ایستگاه برای آموزش مدل‌ها استفاده گردید، مدل ماشین بردار پشتیبان عملکرد بهتری از خود نشان داده است و زمانی که از داده‌های دو ایستگاه برای آموزش مدل‌ها استفاده شد، مدل‌ها عملکرد نزدیکی باهم

Golabi, M., Akhondi, A. Radmanesh, F. 2013. Comparison of performance of different artificial neural network algorithms in seasonal modeling Case study; Selected stations in Khuzestan province. *Applied Geosciences Research*, 30: 169-151. (In Farsi)

Ghorbani, M., Khatibi, R., Aytak, A., Makarynskyy, O. 2010. Sea water level forecasting using genetic programming and artificial neural networks. *Computer and Geoscience*, 36 (5): 620- 627.

Hamel, L. 2009. *Knowledge Discovery with Support Vector Machines*, Hoboken, N.J. John Wiley.

Hong, W. C., Pai, P. F. 2007. Potential assessment of the support vector regression technique in rainfall forecasting. *Water Resources Management*, 21(2): 495-513.

Isazadeh, M., Ahmadzadeh, H., Ghorbani, M. A. 2016. Assessment of kernel functions performance in river flow estimation using support vector machine. *Journal of Water and Soil Conservation*, 23(3): 89- 69.

Jeffrey, S. J., Carter, J. O., Moodie, K. B., Beswick, A. R. 2001. Using spatial interpolation to construct a comprehensive archive of Australian climate data. *Environment Modell Software*, 16(4): 309-330.

Kalra, R., Deo, M. C. 2007. Genetic programming to retrieve missing information in wave records along the west coast of India. *Applied Ocean Research*, 29(3): 99-111.

Kashani, M. H., Dinpashoh, Y. 2012. Evaluation of efficiency of different estimation methods for missing climatological data. *Stochastic*

- Environmental Research and Risk Assessment A, 26: 59–71.
- Khorsandi, Z., Mahdavi, M., Salajeghe, A., Eslamian, S. S. 2011. Neural network application for monthly precipitation data reconstruction. *Journal of Environmental Hydrology*, 19: 1-12.
- Koza, J. R. 1992. Genetic programming: On the programming of computers by means of natural selection. Cambridge, MA: MIT Press.
- Li, X., Li, L., Wang, X., Jiang, F. 2013. Reconstruction of hydrometeorological time series and its uncertainties for the Kaidu River Basin using multiple data sources. *Theoretical and Applied Climatology*, 113: 45–62.
- Lin, G. F., Chen, G. R., Huang, P. Y. 2010. Effective typhoon characteristics and their effects on hourly reservoir inflow forecasting. *Advance Water Resource*, 33(8): 887–898.
- Lin, G. F., Chou, Y. C., Wu, M. C. 2013. Typhoon flood forecasting using integrated two-stage support vector machine approach. *Journal of Hydrology*, 486: 334–342.
- Linacre, E. 1992. *Climate Data and Resources – A Reference and Guide*, Routledge. Lon and NY.
- Maity, R., Bhagwat, P. P., Bhatnagar, A. 2010. Potential of support vector regression for prediction of monthly streamflow using endogenous property. *Hydrological Processes*, 24(7): 917–923.
- Nourani, V., Kisi, O., Komasi, M. 2011. Two hybrid artificial intelligence approaches for modeling rainfall–runoff process. *Jouranal of Hydrology*, 402: 41–59.
- Rabunal, J. R., Puertas, J., Suarez, J., Rivero, D. 2007. Determination of the unit hydrograph of a typical urban basin using genetic programming and artificial neural networks. *Hydrological Processes*, 21: 476–485.
- Ramos-Calzado, P., Gomez-Camacho, J., Perez-Bernal, F., Pita-Lopez, M.F. 2008. A novel approach to precipitation series completion in climatological datasets: application to Andalusia. *International of Journal Climatology*, 28(11): 1525–1534.
- Sette, S., Boullart, L. 2001. Genetic programming: principles and applications. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 14: 727–736.
- Solgi, A., Zarei, H., Shehndarabi, M., Alidadis, A. 2017. Monthly precipitation forecast using gene expression and backup vector machine programming models. *Journal of Applied Geosciences Research*, 50: 91-103.
- Sivapragasam, C., Maheswaran, R., Veena, V. 2008. Genetic programming approach for flood routing in natural channels. *Hydrology Processes*, 22: 623–628.
- Tardivo, G., Berti, A. 2012. A dynamic method for gap filling in daily temperature datasets. *Journal of Applied Meteorology and Climate*, 51: 1079–1086.
- Teegavarapua, R. S. V., Chandramouli, V. 2005. Improved weighting methods, deterministic and stochastic data-driven models for estimation of missing. *Journal of Hydrology*, 312: 191-206.
- Ustoorikar, K., Deo, M. C. 2008. Filling up gaps in wave data with genetic programming. *Marine Structure*, 21:177-195.
- Vapnik, V. N. 1998. *Statistical Learning Theory*. Wiley, NY.
- Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., López-Moreno, J. I., García-Vera, M. I., Stepanek, P. 2010. A complete daily precipitation database for northeast Spain: reconstruction, quality control, and homogeneity. *International of Journal Climatology*, 30(8): 1146-1163.
- Vieux, B. E. 2001. Distributed Hydrologic Modeling using GIS. In: *Distributed Hydrologic Modeling Using GIS*. Water, Science and Technology Library, 38: 217-238.
- Whigham, P. A, Crapper, P. F. 2001. Modelling rainfall runoff using genetic programming. *Math Computing*, 33: 707–721.
- Wu, J., Liu, M., Jin, L. 2010. Least square support vector machine ensemble for daily rainfall forecasting based on linear and nonlinear regression. *Advances in Neural Network Research and Applications. Lecture Notes of Electric Engineer*, 67(1): 55–64.
- Xia, Y. L., Fabian, P., Stohl, A., Winterhalter, M. 1999. Forest climatology: Estimation of missing values for Bavaria, Germany. *Agriculture Forest Meteorology*, 96 (1–3): 131–144.
- Yu, P. S., Chen, S. T., Chang, I. F. 2006. Support vector regression for real-time flood stage forecasting. *Journal of Hydrology*, 328: 704-716.

مطالعه تطبیقی سه روش طبقه بندی اقلیمی جهت تعیین مناطق مطلوب کشت گندم دیم در استان کرمانشاه

سعید بازگیر^{۱*}، سید عرفان مومن پور^۲، حسین محمدی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۸/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۵/۰۳

چکیده

هدف از انجام این تحقیق، مقایسه سه روش طبقه بندی اقلیمی کشاورزی فائو، پاپاداکیس و یونسکو جهت تعیین مناطق مناسب کشت گندم دیم در استان کرمانشاه است. به این منظور از داده های مشاهداتی ۵ ایستگاه همدیدی استان استفاده شد. مطابق یافته های پژوهش، بر اساس هر سه روش منتخب، استان از مطلوبیت کشت دیم گندم برخوردار است، به طوری که بر اساس روش فائو، تمام ایستگاه های مورد مطالعه در از نظر کشت این محصول دارای پتانسیل اقلیمی مناسب بودند. همچنین در روش پاپاداکیس، ایستگاه سرپل ذهاب دارای اقلیم مدیترانه ای جنب حاره و چهار ایستگاه کرمانشاه، روانسر، کنگاور و اسلام آباد غرب دارای اقلیم مدیترانه ای بری هستند که مبین مطلوبیت جهت کشت دیم گندم می باشد. در روش یونسکو نیز تمام ایستگاه ها بر اساس شاخص خشکی و رژیم رطوبتی در گروه اقلیم نیمه خشک قرار گرفتند که از این نظر محدودیت خاصی برای دیمکاری ایجاد نمی کند. در مجموع، نتایج حاصل از هر سه روش مؤید مطلوبیت اقلیمی استان جهت دیم کاری گندم با عملکردی قابل قیاس با متوسط کشور (حدود ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار) می باشد.

واژه های کلیدی: کرمانشاه، گندم، فائو، پاپاداکیس، یونسکو، ایران

مقدمه

انجام شده است (Kamali, 1997; Bazgeer, 1999; Mozafari, 2001; Azizi and Shaemi 2004; Alijani and Doostan, 2007; Lashkari and Keykhosravi, 2009; Ziyaeyan Firoozabadi et al., 2010; Yazdan Panah et al., 2008; Khoshakhlagh and Soltani, 2011; Fayzizadeh et al., 2012). گاهی در مطالعات اقلیمی-کشاورزی دیده شده نتایج به دست آمده از روش های مختلف با آنچه که در مزرعه وجود دارد متفاوت بوده و به همین دلیل محقق بایستی با تحلیل کارشناسی و مطابقت نتایج حاصل از روش های طبقه بندی اقلیمی کشاورزی با واقعیات، نقاط ضعف و قوت این روش ها را مورد بررسی قرار دهد (Ghasemi et al., 2008). در یک کار تحقیقی به ارزیابی تنوع و پتانسیل های کشاورزی ایران به روش پاپاداکیس^۴ پرداخته اند و بر اساس آن کشور را به هفت گروه اقلیمی و بیست و یک خرد اقلیم طبقه بندی کرده اند (Azizi and Shaemi, 2004). در مطالعه ای دیگر، پهنه بندی اقلیمی توت فرنگی با روش فائو^۵ را در استان مازندران انجام دادند (Khoshakhlagh and Soltani, 2011). در این تحقیق نشان داده شد که از

شناخت پارامترهای آب و هوایی و محیطی و اثر آن ها بر گیاهان زراعی یکی از مهم ترین عوامل مؤثر در افزایش عملکرد و به تبع آن بالا بردن تولید می باشد. کاشت بی رویه محصولات زراعی در مناطق نامساعد و عدم استفاده از امکانات بالقوه اقلیمی سبب تخریب منابع طبیعی و کاهش چشمگیر عملکرد محصولات و در نهایت هدر رفتن سرمایه های ملی می گردد (Mohammadi, 2011). در ایران به عنوان اولین تحقیقات در زمینه اقلیم شناسی کشاورزی می توان به طرح مطالعاتی سازمان هواشناسی کشور، برای پتانسیل یابی اقلیمی کشت پانزده محصول مهم زراعی و باغی اشاره کرد. پس از آن نیز در این زمینه تحقیقات زیادی بر روی محصولات مختلف

^۱ استادیار هواشناسی کشاورزی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

(*نویسنده مسئول: sbazgeer@ut.ac.ir)

DOI:

^۲ دانشجوی دوره دکتری آب و هواشناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه

تهران

^۳ استاد آب و هواشناسی کشاورزی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

^۴ Papadakis

^۵ Food and Agriculture Organization (FAO)

هوایی در شمال منطقه نیمه خشک اسیوی، این منطقه به هشت طبقه زراعی - اقلیمی تقسیم گردید (Arya et al., 2010) در این طبقه بندی همبستگی بین ارتفاع و دما در ترکیب با تبخیر تعرق و بارش مورد مطالعه قرار گرفت. آن‌ها نشان دادند که داشتن عملکرد مناسب از محصولات سازگار با اقلیم نیمه خشک به طور عمده به مدت زمان دوره بارندگی و میزان تبخیر تعرق بستگی دارد. در پژوهش دیگری با عنوان بررسی روش‌های منطقه بندی زراعی - اکولوژیکی برای مطالعه تغییرات آب و هوایی در کشاورزی کوچک مقیاس در صحرای آفریقا به بررسی روش فائو به منظور پی بردن به میزان تأثیر تغییرات آب و هوایی در بخش کشاورزی در کشورهای جنوب صحرای آفریقا پرداخته شد. نتیجه حاصل حاکی از این واقعیت بود که این طبقه بندی برای شناسایی زمین مناسب برای کشت و کار، مساعد است در حالی که برای پتانسیل یابی پرورش دام، روشی نامناسب به شمار می‌آید (Niggol, 2014). همچنین در تحقیقی دیگر، به منظور مکان‌یابی مناطق مستعد بیماری‌های قارچی گیاه نیشکر و مدیریت بهتر بیماری‌های این گیاه در کشور استرالیا و برزیل، با استفاده از متغیرهای آب و هوایی مناطق این دو کشور از لحاظ اقلیمی - کشاورزی طبقه بندی شدند. نتیجه‌ای که از این تحقیق به دست آمد نشان داد که شرق کوئینزلند^۱ و شرق و مرکز سائوپالئو^۲ به دلیل وجود رطوبت بالا، جزء مناطق مستعد برای رشد بیماری‌های قارچی است (Paulo et al., 2016). در پژوهشی دیگر، با استفاده از روش رگرسیون چند متغیره در ارتباط با شاخص‌های اقلیمی - کشاورزی و همچنین خروجی مدل کانگرو، عملکرد محصول نیشکر را در سائوپالئو برزیل تخمین زدند و نتیجه حاکی از این بود که میزان تغییر پذیری عملکرد نیشکر بین ۷۳ تا ۹۰ درصد با نیمه دوم و میانه فصل برداشت در ارتباط است (Valentina et al., 2017). به علاوه در یک کار تحقیقی دیگر، به منظور تخمین عملکرد محصول ذرت در ایالات متحده، بیشتر از ۵۰ شاخص اقلیمی - کشاورزی مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج این تحقیق بیان‌گر این بود که در مناطق با تولید کم تا متوسط، میزان عملکرد ذرت بیشترین ارتباط را با تغییر پذیری هوا دارد. همچنین دو شاخص دمای هوا و

بین عوامل اقلیمی به ترتیب بارش و دما و همچنین ارتفاع بیشترین نقش را در پراکنش کشت توت فرنگی داشته، به طوری که زمین‌های پست نوار ساحلی در استان مناسب‌ترین مناطق کشت محصول مذکور شناخته شدند. همچنین می‌توان به مطالعه‌ای اشاره کرد که طی پژوهشی با عنوان بررسی تنوع اقلیمی و پتانسیل‌های آگروکلیمای استان ایلام با استفاده از روش پاپاداکیس، نشان دادند که ایستگاه‌های ایلام و ایوان، بر اساس شرایط دمایی فصل تابستان، دارای پتانسیل اقلیمی کشت محصولات غلات زمستانی گندم و جو دیم و همچنین زیتون و پنبه می‌باشند (Shaemi and Ahmadi, 2011). در پژوهشی دیگر (Seydi Shahyondi et al., 2012) به بررسی اراضی مستعد کشت ذرت دانه‌ای در استان لرستان پرداختند. در این بررسی، عناصر اقلیمی دما، بارش، درجه روز رشد از ۷ ایستگاه هواشناسی همدیدی و پارامترهای دیگری مانند ارتفاع، شیب، جهت شیب، فاصله از شبکه هیدروگرافی و خاک به عنوان فاکتورهای مؤثر در پهنه بندی، مورد استفاده قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که نقش هر یک از عناصر اقلیمی و زمین، در مناطق مختلف استان متفاوت بوده و می‌توان از طریق تلفیق لایه‌های مؤثر در فرایند کشت، مناطق مستعد کشت ذرت را پیدا کرد. روش طبقه بندی اقلیمی - کشاورزی پاپاداکیس به منظور شناسایی توان اقلیمی کشت محصولات مرتعی در شمال استرالیا انجام گردید (Reid et al., 1976). در این تحقیق نشان داده شد که می‌توان حبوبات مرتعی را در این منطقه از استرالیا با عملکرد بالا کشت کرد. در تحقیق دیگری در آرژانتین به کمک روش فائو، پتانسیل یابی کشت سیب زمینی مورد مطالعه قرار گرفت (Caldiz et al., 2001). در این تحقیق مناطق غربی و شمال شرقی نامناسب و مناطق جنوب شرقی و شمال شرقی برای کشت این گیاه مناسب تشخیص داده شدند. در تحقیقی در پاکستان با تمرکز روی فعالیت‌های کشاورزی، طبقه بندی اقلیمی در مناطق مختلف انجام شد (Chaudhry and Rasul, 2004). از نتایج این تحقیق می‌توان به خشک تا مرطوب بودن دشت‌های شمالی و مناسب بودن آن برای کشت و کار اشاره نمود. از طرف دیگر مناطق خشک تا بسیار خشک با داشتن مراتع شنی برای کشت دیم مقرون به صرفه تشخیص داده شد. در مطالعه دیگری تحت عنوان طبقه بندی زراعی - آب و

¹ Queensland

² Sao Paulo

هوای گرم‌تر نسبت به مناطق شمالی استان، بیشتر ریزش‌های جوی به شکل باران بوده و ریزش برف کمتر از مناطق شمالی است. از مهم‌ترین سامانه‌های باران‌زا بر روی مناطق غربی کشور از جمله استان کرمانشاه می‌توان به کم‌فشارهای مدیترانه‌ای اشاره کرد. دریای مدیترانه علاوه بر اینکه محل عبور کم‌فشارها است، خود نیز محل تشکیل کم‌فشارها می‌باشد که برخی از این کم‌فشارها در حرکت خود به طرف شرق، بر روی قبرس زبانه‌ای کم‌فشار ایجاد کرده و این زبانه کم‌فشار از روی کشور ترکیه وارد کشور شده و نواحی غربی و شمال غربی ایران را تحت تأثیر قرار می‌دهد. گاهی نیز این سامانه پس از عبور از روی ترکیه و برخورد با ارتفاعات آن به دو شاخه تقسیم می‌شود که یک شاخه آن از غرب و شمال غرب وارد کشور می‌شود و پس از ایجاد بارندگی بر روی این مناطق، از طریق خراسان از مرزهای کشور خارج می‌شود و شاخه دیگر پس از عبور از روی کشور عراق از طریق خراسان وارد افغانستان می‌شود. در فصل‌های سرد سال چرخندهای مدیترانه‌ای در مسیر حرکت خود در غرب کشور، استان کرمانشاه را تحت تأثیر قرارداده و بارش‌های مفیدی از جبهه‌های گرم این کم‌فشارها در سطح استان ریزش می‌نماید (Iran Meteorological Organization, 2004). بر اساس واقعیت‌های منطقه و گزارش‌های موجود، استان کرمانشاه از نقطه نظر سطح زیر کشت گندم دیم با عملکرد متوسط ۹۰۰ کیلوگرم در هکتار جزو ده استان برتر کشور می‌باشد (Motiei Langroodi, 1994). جدول ۲ سطح زیر کشت و عملکرد در هکتار گندم دیم را در ایستگاه‌های مورد مطالعه که هر ایستگاه نماینده یک منطقه است نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود کرمانشاه و اسلام‌آباد از نظر سطح زیر کشت و کنگاور و روانسر از نظر عملکرد در هکتار بالاتر از سرپل ذهاب قرار گرفته‌اند. در ادامه به شرح هر یک از روش‌های طبقه‌بندی اقلیمی - کشاورزی فائو، یونسکو و پاپاداکیس پرداخته شده است.

شاخص SPEI^۱ به عنوان بهترین شاخص تخمین عملکرد در ماه جولای تشخیص داده شدند. در این راستا، با توجه به تحقیقات انجام شده در کشور، تحقیقی با هدف مقایسه روش‌های طبقه‌بندی اقلیمی - کشاورزی فائو، پاپاداکیس و یونسکو^۲ برای کشت گندم دیم در استان کرمانشاه و همچنین مطابقت نتایج حاصل از این روش‌ها با واقعیت‌های منطقه انجام گردید.

مواد و روش‌ها

در شکل ۱ موقعیت جغرافیایی استان کرمانشاه به همراه ایستگاه‌های هواشناسی مورد بررسی در این تحقیق نشان داده شده است. استان کرمانشاه از استان‌های غربی کشور بوده که از سمت شمال با استان کردستان، شرق با استان همدان، جنوب استان ایلام و از غرب با کشور عراق همجوار است. به منظور مقایسه و ارزیابی روش‌های طبقه‌بندی اقلیمی - کشاورزی فائو، پاپاداکیس و یونسکو، از داده‌های هواشناسی پنج ایستگاه هم‌مدیدی استان کرمانشاه استفاده و مناطق مستعد کشت گندم دیم در این استان مشخص گردید. مبنای انتخاب پنج ایستگاه هواشناسی هم‌مدیدی، طول دوره آماری، پیوستگی داده‌ها و نبود خلاء آماری بوده و به همین دلیل، دوره آماری ۲۳ ساله (۱۳۶۹-۱۳۹۱) به عنوان طول دوره آماری مشترک انتخاب گردید. در جدول شماره ۱ مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌ها تحت مطالعه ارائه گردیده است. از نظر اقلیمی، در ایستگاه‌های مورد بررسی در استان کرمانشاه ۳ نوع اقلیم مختلف وجود دارد: اول «اقلیم گرم و خشک معتدل» که شهرستان سرپل ذهاب را شامل می‌شود. دوم «اقلیم سرد و نیمه مرطوب» که شهرستان‌های روانسر، کنگاور و اسلام‌آباد غرب را در بر می‌گیرد. سوم اقلیم «سرد و مرطوب» که شهرستان کرمانشاه را در بر می‌گیرد (Mirmoosavi and Shafiei, 2009). سامانه‌های شمال غربی، غربی، شمالی و جنوب غربی آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. نیمه شمالی استان کرمانشاه با ارتفاع متوسط بیش از ۱۵۰۰ متر و استقرار ارتفاعات قابل ملاحظه در آن و تأثیرپذیری از ارتفاعات زاگرس، دارای زمستان‌های سرد است. نیمه جنوبی استان دارای اقلیمی متفاوت نسبت به شمال استان است و در این بخش به سبب استقرار آب و

^۱ Standardized Precipitation Evapotranspiration Index

^۲ United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO)

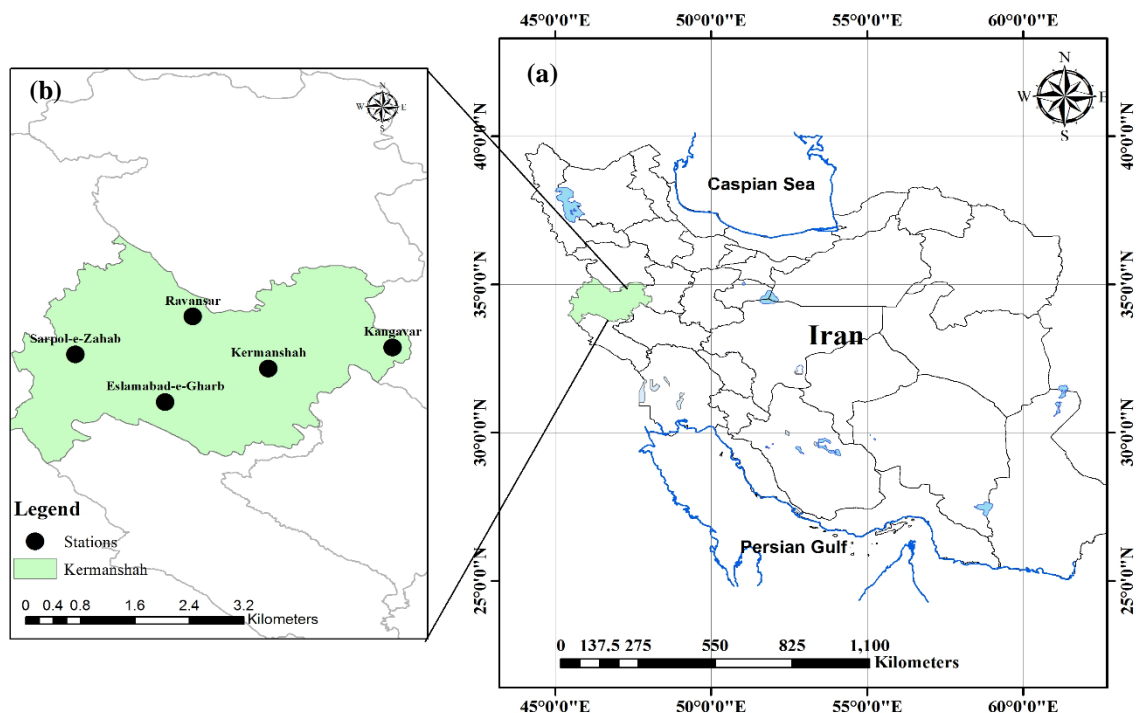


Figure 1 - Map of the geographical location of Kermanshah province (a) and the meteorological stations under study (b)

شکل ۱ - نقشه موقعیت جغرافیایی استان کرمانشاه (A) به همراه ایستگاه‌های هواشناسی تحت مطالعه (B)

Table 1- Geographical location of the studied weather stations in Kermanshah Province (The Ministry of Jihad-Agriculture, 2014)

جدول ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی همدیدی مورد مطالعه در استان کرمانشاه (The Ministry of Jihad-Agriculture, 2014)

Station name	latitude		longitude		Height	Statistical period
	Degree	Minute	Degree	Minute	Meter	
Kangavar	34	30	47	59	1468	1990 - 2012
Kermanshah	34	21	47	09	1319	1990 - 2012
Ravansar	34	43	46	39	1380	1990 - 2012
Sarpol Zohab	34	27	45	52	545	1990 - 2012
Eslam Abad	34	07	46	28	1349	1990 - 2012

Table 2- Long-term average Area under cultivation, yield and production of rain-fed Wheat in the study area
جدول ۲- میانگین بلند مدت سطح زیر کشت، عملکرد و تولید گندم دیم در مناطق مورد مطالعه

Row	Region	Area under cultivation (ha)	Yield (Kg.ha ⁻¹)	Production (Ton)
1	Kermanshah	100400	1210	121484
2	Eslamabad	39000	1100	42900
3	Ravansar	20500	1350	27675
4	Kangavar	8400	1350	11340
5	Sarpol Zohab	10500	900	9450

کشاورزی و ارائه گونه‌های مناسب کاربرد دارد (Farajzadeh and Taklubigash, 2001). در ادامه فرآیند روش مذکور به منظور رعایت ایجاز به طور خلاصه آمده که خواننده می‌تواند برای اطلاع از جزئیات محاسبات به منابع ذکر شده در این تحقیق مراجعه نمایند. در این روش، اولین گام برای یک طبقه‌بندی اقلیمی- کشاورزی تعیین پارامترهای مؤثر آب و هوایی مانند دما و رطوبت به صورت شاخص‌های اقلیمی کشاورزی است و دومین

روش‌ها

روش فائو

مطابق تعریف فائو، ناحیه‌های اقلیمی-کشاورزی، نواحی هستند که بر اساس مناطق کشاورزی مشابه و همگن طبقه‌بندی شده‌اند. به عبارت دیگر در مناطق همگن اقلیمی-کشاورزی درجه تناسب اقلیم با محصولات کشاورزی کشت شده، مورد بررسی قرار می‌گیرد (FAO, 1996). ناحیه‌بندی در برنامه‌ریزی یکپارچه‌سازی اراضی

مرحله، تهیه نقشه توزیع جغرافیایی شاخص‌های مذکور در مراحل مختلف رشد گیاه می‌باشد. برخی از مهم‌ترین

فراسنج‌های اقلیمی که در مراحل رشد گیاه مؤثر هستند عبارتند از رطوبت، دما و دامنه شبانه‌روزی هوا، طول دوره

یخبندان و بدون یخبندان (طول فصل رشد)، مقدار و

توزیع زمانی بارش و میزان تابش (Bouma, 2005). نکته

قابل توجه مؤثر بودن تمام یا برخی از این شاخص‌ها در

منطقه‌ای خاص برای گیاهی ویژه و مؤثر نبودن همین

شاخص‌ها برای همان گیاه در منطقه‌ای دیگر است که

سبب شده تا تعیین اولویت‌دار فراسنج‌های اقلیمی

تأثیرگذار در کشت هر محصولی، مهم‌ترین فرایند این

روش محسوب شود (Battisti and Sentelhas, 2014).

برای نمونه در نواحی استوایی، طول دوره یخبندان در

فعالیت‌های کشاورزی تأثیر چندانی نداشته و از طرف

دیگر مدت ماندگاری و میزان رطوبت از اهمیت بیشتری

برخوردار است (Kazemi Najafabadi, 2004). بنا بر

تحقیقات صورت گرفته در کشور کانادا، میزان بارش و

تبخیرتعرق از جمله مهم‌ترین عوامل مؤثر در تعیین

عملکرد غلات هستند در حالی که در شمال اروپا

بیشترین نقش را تابش‌های خورشیدی دارند (He et al.,

2012). شکل ۲، طرح‌واره مراحل طبقه‌بندی اقلیمی -

کشاورزی محصول گندم دیم به روش فائو را نشان

می‌دهد. لازم به ذکر است که متغیرهای مورد استفاده در

این طرح‌واره با توجه به موقعیت جغرافیایی استان

کرمانشاه، مهم‌ترین نقش را در رشد و نمو گندم دیم دارند

و به همین دلیل از میان سایر متغیرهای اقلیمی، انتخاب

شده‌اند. آستانه‌ها و دامنه‌های این متغیرها بر اساس کار

تحقیقی (Kamali, 1997) و (Bazgeer, 1999) انتخاب

شده‌اند. همچنین، معیارها و طبقات اقلیمی کشت گندم

دیم به روش فائو در استان کرمانشاه در جدول ۳ نشان

داده شده است. معیارهای مذکور در چهار طبقه بسیار

مناسب، مناسب، متوسط و ضعیف تعریف شده‌اند. این

طبقات بر اساس مقادیر و دامنه اعداد محاسبه شده

مربوط به هر معیار تعیین شده‌اند.

روش یونسکو

طبقه‌بندی اقلیمی - کشاورزی یونسکو برای مناطق

خشک دنیا بنا شده است (UNESCO, 1968). برای

رعایت ایجاز، معیارها و فرایندهای محاسبات در این روش به

¹ Moisture regime

² Aridity Index

³ Penman-Monteith

⁴ Cropwat

اختصار توضیح داده خواهد شد که برای کسب اطلاعات

بیشتر به (Gaffari et al., 2015) می‌توان مراجعه نمود.

۱- رژیم رطوبتی^۱ که بر مبنای شاخص خشکی^۲ با استفاده

از بارش و تبخیرتعرق پتانسیل، از معادله ۱ محاسبه می‌گردد.

$A_I = P / PET$ (۱)

که A_I شاخص خشکی، P میانگین بارش سالانه حسب

میلی‌متر و PET میانگین تبخیرتعرق بالقوه سالانه حسب

میلی‌متر می‌باشد که برای محاسبه آن از روش پنمن-

مونتیث^۳ در نرم‌افزار کراپ وات^۴ بر اساس مقیاس داده‌های

ماهانه استفاده شد. طبقات مختلف رژیم رطوبتی از طبقه

فراخشک با شاخص خشکی کمتر از ۰/۰۳ شروع و تا

طبقه خیلی مرطوب با شاخص خشکی بیشتر از ۱

تقسیم‌بندی می‌شوند.

۲- طبقات زمستان که بر اساس میانگین دمای سردترین

ماه سال تعیین می‌شوند عبارت از ملایم، خنک و سرد

بوده که به ترتیب شامل میانگین متوسط روزانه دمای ۱۰

تا ۲۰، ۰ تا ۱۰ و کمتر از ۰ درجه سلسیوس در سردترین

ماه سال می‌باشند.

۳- طبقات تابستان بر اساس میانگین دمای گرمترین

ماه سال مشخص شده و عبارت از خیلی گرم، گرم، ملایم

و خنک بوده که به ترتیب شامل میانگین متوسط روزانه

دمای بیشتر از ۳۰، ۲۰ تا ۳۰، ۱۰ تا ۲۰ و ۰ تا ۱۰ درجه

سلسیوس در گرم‌ترین ماه سال می‌باشند.

روش پاپاداکیس

روش طبقه‌بندی پاپاداکیس به تدریج و همراه با

پژوهش‌های وی در زمینه اقلیم، کشاورزی، آب و خاک و

پدیده‌های اکولوژیکی طی سال‌های ۱۹۲۹، ۱۹۳۸،

۱۹۵۲، ۱۹۶۰، ۱۹۶۶ و در نهایت در سال ۱۹۷۵ کامل

گردید (Azizi and Shaemi, 2004). برای به‌کارگیری این

روش، عناصر اقلیمی مورد نیاز عبارت از متوسط بارش

ماهانه و سالانه؛ کمینه، متوسط و بیشینه دمای ماهانه و

سالانه؛ کمینه و بیشینه دمای مطلق هر ماه می‌باشد. در

این روش ابتدا بایستی رژیم حرارتی مشخص شود که

برای به دست آوردن آن شرایط تابستانی و زمستانی هر

ایستگاه تعیین می‌گردد.

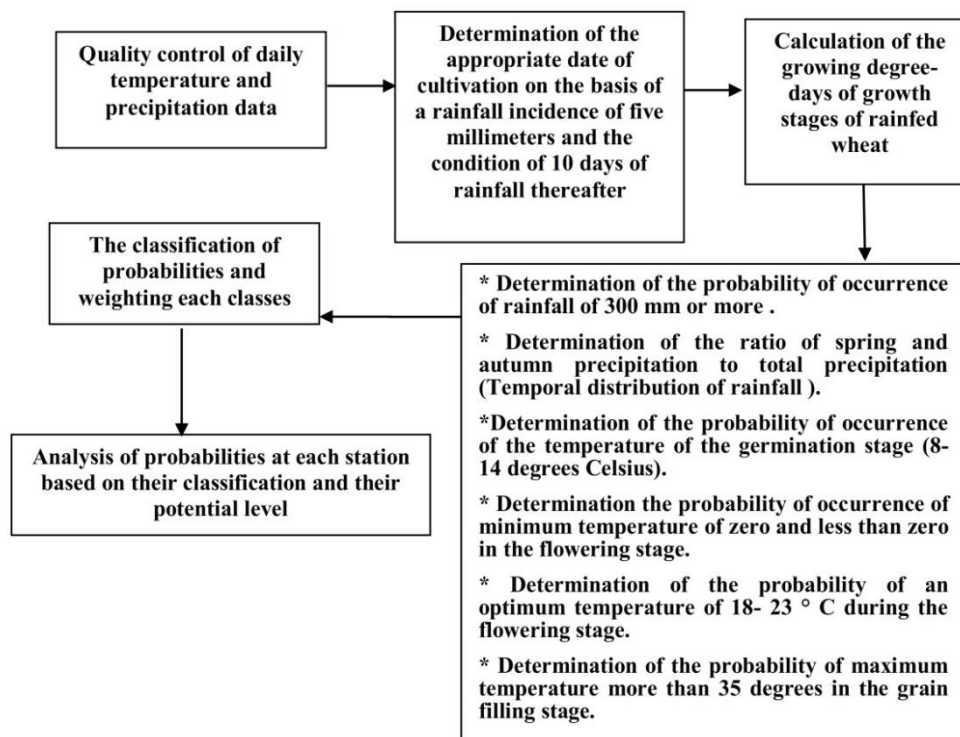


Figure 2 - The Plan of the Agro-Climatic classification Processes for rain-fed Wheat According to FAO Method in Kermanshah Province

شکل ۲ - طرح‌واره فرآیند طبقه‌بندی اقلیمی - کشاورزی محصول گندم دیم به روش فائو در استان کرمانشاه

Table 3- Criteria and climatic classes of rain-fed wheat cultivation in Kermanshah Province (used in the FAO method)

جدول ۳- معیارها و طبقات اقلیمی کشت گندم دیم در استان کرمانشاه (مورد استفاده در روش فائو)

Criterion	Probability distribution function	Class			
		Very suitable	suitable	Moderate	Weak
Probability of occurrence of rainfall of 300 mm or more	Gumbel & Pearson-III	> %80	%(70-80)	%(60-70)	<%60
The ratio of autumn precipitation to total precipitation	Pearson-III	%(30-40)	%(20-30)	%(10-20)	<%10
The ratio of Spring precipitation to total precipitation	Pearson-III	%(25-30)	%(20-25)	%(15-20)	<%15
Probability of occurrence of the temperature of the germination stage (8-14 degrees Celsius).	Normal	>%80	%(70-80)	%(60-70)	<%60
The probability of occurrence of minimum temperature of zero and less than zero in the flowering stage	Normal	<%40	%(40-60)	%(60-80)	>%80
The probability of the optimum temperature of flowering stage (18-23 degrees Celsius)	Normal	>%80	%(60-80)	%(40-60)	<%40
Probability of maximum temperature more than 35 degrees in the grain filling stage	Normal	<%40	%(40-60)	%(60-80)	>%80

مذکور به اختصار توضیح داده خواهد شد که برای مطالعه و کسب اطلاعات بیشتر از جزئیات هر یک از آنها می‌توان به (Azizi and Shaemi, 2004) مراجعه نمود.

شرایط دمای زمستان

برای تعیین دمای زمستان بر مبنای حساسیت و درجه پایداری گیاهان به سرما، شش طبقه مختلف حرارتی در نظر گرفته شده که شامل طبقات محصولات استوایی،

سپس رژیم رطوبتی به کمک تبخیرتعرق بالقوه^۱، نیاز آبشویی^۲، شاخص فصلی رطوبت^۳، میزان و توزیع فصلی بارش محاسبه می‌شود. در نهایت بر اساس انواع رژیم حرارتی و رطوبتی، انواع اقلیم اصلی و فرعی هر ایستگاه تعیین می‌گردد (Reid et al., 1976). در ادامه شاخص‌های

¹ Potential Evapotranspiration

² Leaching Requirement

³ Humidity Seasonal Index

هکتوپاسکال (میلی بار) که با مراجعه به جدول معرفی شده توسط پایاداکیس به دست می‌آیند. بر اساس نسبت بارش به تبخیر تعرق بالقوه (R/E)، شاخص رطوبتی (H_i) ماهانه و سالانه تعیین می‌گردد. در ایستگاه‌هایی که دارای دوره مرطوب ($R > E$) باشند، شاخص آبشویی (L_n) به منظور تعیین نوع ماه از نظر شرایط رطوبتی محاسبه خواهد گردید. ماه‌های سال بر مبنای رابطه بین بارش، تبخیر و آب ذخیره در خاک به سه نوع خشک، میانه و مرطوب (تقسیم شده که شامل $PET < R + WS$ 50% برای ماه خشک، $PET > R + WS$ 50% برای ماه معتدل (میانه) و $R > PET$ برای ماه مرطوب می‌باشند. در این روابط بارش با R ، آب ذخیره در خاک با WS و تبخیر تعرق بالقوه با PET نشان داده شده است. همچنین شاخص آبشویی (L_n) بر اساس معادله $(R + WS) - E$ برای دوره میانه و خشک و بر اساس معادله $\sum (R - E)$ برای دوره مرطوب تعیین و در نهایت بر اساس آستانه‌های تعریف شده، نوع رژیم رطوبتی هر ایستگاه مشخص می‌شود. لازم به ذکر است که آب ذخیره در خاک بر اساس جدول مخصوص آن در روش پایاداکیس و با استفاده از معادله ۳ به دست می‌آید.

$$WS = (O_M - O_{WP}) \cdot h_p \quad (3)$$

در این معادله، O_M رطوبت خاک و O_{WP} نقطه پژمردگی خاک و h_p عمق خاک به متر است که در روش پایاداکیس برای انواع خاک‌ها جداول مخصوص به خود را دارد.

نتایج و بحث

روش فائو

جدول ۴ معیارهای پتانسیل کشت گندم به همراه وزن هر یک از آن‌ها در ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه را نشان می‌دهد. وزن‌دهی به هر یک از طبقات بر اساس مطالعات انجام شده صورت گرفته است (Kamali et al., 2008; Fayzizadeh et al., 2012). نتایج این روش نشان می‌دهد که در کلیه ایستگاه‌ها قابلیت کشت گندم داریم وجود داشته و اغلب معیارها در طبقات بسیار مناسب و مناسب قرار گرفته‌اند. تنها در ایستگاه سرپل ذهاب محدودیت دمایی در مرحله گلدهی گیاه (دمای بهینه مرحله گلدهی، ۱۸ تا ۲۳ درجه سلسیوس) و دمای بیشینه ۳۵ درجه و بیشتر در مرحله پر شدن دانه دیده

محصولات حاره‌ای، مرکبات، جو دو سر، گندم و محصولات بهاری است که با توجه به آستانه‌های دمایی زمستان، ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه در این تحقیق در یک یا چند طبقه از طبقات حرارتی قرار خواهند گرفت.

شرایط دمای تابستان

با توجه به شرایط دمای تابستان نه طبقه حرارتی در روش پایاداکیس قابل تشخیص است که بر اساس پتانسیل‌های گرمایی و شرایط اقلیمی شامل پنبه، قهوه، برنج، ذرت، گندم، تایگا، توندرا، منجمد و آندی-آلپی می‌شوند. معیارهای لازم برای تعیین شرایط تابستان عبارت از طول فصل بدون یخبندان؛ میانگین بیشینه دمای n ماه گرم‌تر سال؛ میانگین بیشینه دمای گرم‌ترین ماه سال است. طول فصل بدون یخبندان به سه حالت کمینه، قابل دسترس و متوسط دسته‌بندی می‌شود. مبنای تعیین این طبقات، متوسط ماهانه کمینه‌های مطلق دما می‌باشد. به این صورت که مبنای حالت حداقل، ۷ درجه و برای حالت قابل دسترس، ۲ درجه و برای متوسط، صفر درجه سلسیوس می‌باشد. به عنوان مثال در خصوص کشت پنبه معیارهای فوق بر اساس شرایط دمای تابستان به این شکل دسته‌بندی می‌شوند: برای طول فصل بدون یخبندان می‌بایست حداقل در ۴/۵ ماه از سال، کمینه دمای مطلق ماهانه بالای ۷ درجه سلسیوس؛ میانگین بیشینه دمای ۶ ماه گرم‌تر سال بیش از ۲۵ درجه سلسیوس؛ و میانگین دمای بیشینه گرم‌ترین ماه سال کمتر از ۳۳/۵ درجه سلسیوس باشد.

تعیین رژیم رطوبتی

در این روش شاخص‌هایی که بر مبنای آن شرایط رطوبتی یک ایستگاه معین می‌گردد عبارتند از تبخیر تعرق پتانسیل (PET)، تداوم فصل خشک و مرطوب، شاخص رطوبتی ماهانه و سالانه (H_i) و میزان آبشویی خاک (L_n). برای تعیین رژیم رطوبتی هر ایستگاه ابتدا میزان تبخیر تعرق بالقوه ماهانه طبق پیشنهاد پایاداکیس از معادله ۲ محاسبه می‌شود.

$$PET = 0.5625 (e_{\max} - e_{\min-2}) \times 10 \quad (2)$$

در آن PET تبخیر تعرق بالقوه حسب میلی‌متر، ۰/۵۶۲۵ ثابت پایاداکیس، e_{\max} و $e_{\min-2}$ به ترتیب فشار بخار آب اشباع در دمای کمینه منهای ۲ و دمای بیشینه حسب

روش پاپاداکیس

جدول ۶ نتایج حاصل از روش پاپاداکیس را برای پنج ایستگاه مورد مطالعه نشان می‌دهند. ملاحظه می‌شود که تمامی ایستگاه‌ها به جز ایستگاه سرپل ذهاب، بر اساس شاخص‌هایی که به دست آورده‌اند دارای اقلیم مدیترانه‌ای برّی می‌باشند. تنها ایستگاه سرپل ذهاب دارای اقلیم مدیترانه‌ای جنب حاره می‌باشد. از ویژگی‌های اقلیم مدیترانه‌ای برّی و اقلیم مدیترانه‌ای جنب حاره این است که گندم دیم محصول غالب آن می‌باشد. بنابراین تمامی ایستگاه‌ها بر اساس روش پاپاداکیس نیز امکان کشت گندم دیم را دارند. لازم به ذکر است که از نظر شرایط تابستانی تمامی ایستگاه‌ها در طبقه پنبه که آن را در روش پاپاداکیس با علامت اختصاری (G)^۱ و از نظر شرایط زمستانی دو ایستگاه سرپل ذهاب و روانسر به ترتیب در دو طبقه جو دو سر خنک‌تر (AV)^۲ و جو دو سر سردتر (av)^۳ و سه ایستگاه کرمانشاه، اسلام آباد و کنگاور در طبقه گندم زمستانه با علامت اختصاری (TV)^۴ قرار می‌گیرند. به جز ایستگاه سرپل ذهاب که دارای رژیم حرارتی جنب حاره‌ای گرم (Su^۱)^۵ می‌باشد بقیه ایستگاه‌ها از لحاظ رژیم حرارتی دارای رژیم حرارتی قاره‌ای برّی (CO^۱)^۶ می‌باشند. فصول مرطوب، میانه خشک هر ایستگاه نیز با حرف اول هر ماه میلادی مشخص شده است برای مثال ایستگاه سرپل ذهاب دارای ماه‌های مرطوب دسامبر تا مارس (D - M) و ماه‌های میانه آوریل و نوامبر (A, N) و ماه‌های خشک می تا اکتبر (M-O) است. از نظر رژیم رطوبتی تمامی ایستگاه‌ها در گروه رژیم رطوبتی مدیترانه‌ای خشک (Me) قرار می‌گیرند. لازم است اشاره شود که میزان تبخیرتعلق سالانه در روش پاپاداکیس با استفاده از معادله تجربی ۲ محاسبه می‌شود در حالی که این متغیر در روش یونسکو با استفاده از روش پنمن-مونتیث در نرم‌افزار کراپ وات محاسبه می‌گردد و به همین دلیل در میزان برآورد آن توسط دو روش فوق، اختلافاتی مشاهده می‌شود.

می‌شود. البته بایستی توجه داشت که عامل اصلی و محدود کننده کشت دیم، بارش و توزیع زمانی آن می‌باشد (Bazgeer, 1999) که با توجه به نتایج به دست آمده در تحقیق حاضر، حتی در ایستگاه سرپل ذهاب بر اساس مقدار و توزیع زمانی مناسب بارش، این محدودیت وجود نداشته و در این منطقه نیز امکان کشت گندم دیم میسر است. ذکر این نکته ضروری است که افزایش دمای بیش از ۳۵ درجه در مرحله پر شدن دانه سبب افزایش تبخیرتعلق گیاه و تنش آبی شده که به نوبه خود چروکیده شدن دانه و کاهش عملکرد محصول را به دنبال دارد (Kamali, 1997).

روش یونسکو

جدول ۵ نتایج حاصل از روش یونسکو برای ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همان طور که از جدول ملاحظه می‌شود، شرایط شاخص رطوبتی تمامی ایستگاه‌ها در رژیم رطوبتی نیمه خشک (۰/۲-۰/۵) قرار گرفته که بر اساس امکان کشاورزی دیم (گندم دیم) در این مناطق را میسر می‌سازد. از نقطه نظر تیپ زمستان (نوع زمستان)، تمامی ایستگاه‌ها به جز ایستگاه کنگاور دارای زمستان‌های خنک می‌باشند که برای رشد گیاه در طول دوره زمستان محدودیت ایجاد کرده و عموماً گیاهان این مناطق برای سازگاری با اقلیم این نواحی نیاز به رشد و توسعه سریع مراحل فنولوژیک در بهار دارند (Ghaffari et al., 2015). ایستگاه کنگاور دارای زمستان از نوع سرد می‌باشد. بنابر این در فصل زمستان در منطقه کنگاور، گیاهانی که کاشت می‌شوند محدودیت رشد داشته و محصولاتی باید کاشت شود که بتوانند سرمای زمستان را تحمل و یک خواب زمستانه را نیز طی نمایند (مانند گندم). از نظر شرایط تابستان، تمامی ایستگاه‌ها به جز ایستگاه سرپل ذهاب، دارای تابستانی گرم بوده که گیاهان چنین مناطقی در فصل تابستان با تبخیرتعلق بالا و تنش آبی مواجه هستند. البته با توجه به برداشت گندم دیم در اوایل اردیبهشت در سرپل ذهاب، محدودیتی برای این گیاه از نظر تیپ تابستان در این منطقه وجود نخواهد داشت.

¹ Gossypium

² Avena sativa

³ Avena

⁴ Triticum

⁵ Subtropical

⁶ Continental

Table 4- Criteria potential of rain-fed wheat with their weight at the meteorological stations (used in the FAO method)

جدول ۴- معیارهای پتانسیل کشت گندم دیم به همراه وزن آن ها در ایستگاه های هواشناسی مورد مطالعه (مورد استفاده در روش فائو)

Indicators	Stations				
	Sarpol Zohab	Kermanshah	Eslamabad	Kangavar	Rvansar
Probability of occurrence of rainfall of 300 mm or more	S(3)	S(3)	VS(4)	S(3)	VS(4)
The ratio of autumn precipitation to total precipitation	VS(4)	VS(4)	VS(4)	VS(4)	S(3)
The ratio of Spring precipitation to total precipitation	S(3)	VS(4)	S(3)	VS(4)	VS(4)
Probability of occurrence of the temperature of the germination stage	W(1)	VS(4)	M(2)	S(3)	M(2)
The probability of occurrence of minimum temperature of zero and less than zero in the flowering stage	VS(4)	VS(4)	VS(4)	S(3)	VS(4)
The probability of the optimum temperature of flowering stage (18-23 °C)	W(1)	S(3)	VS(4)	VS(4)	VS(4)
Probability of maximum temperature more than 35 °C in the grain filling stage	W(1)	S(3)	S(3)	S(3)	VS(4)

* اعداد داخل پرانتز بیانگر وزن هر یک از طبقات می باشند. در این جدول (VS= Very Suitable, S= Suitable, M= Moderate W=Weak) می باشد.

Table 5- Results from the UNESCO method at the studied stations

جدول ۵- نتایج حاصل از روش یونسکو در ایستگاه های مورد مطالعه

	Sarpol Zohab	Kermanshah	Eslamabad	Kangavar	Ravansar
Annual precipitation (mm)	395.9	436.1	456.6	380.9	501.6
Average annual temperature (°C)	20.2	14.4	13.5	13.1	15
Annual potential evapotranspiration(mm)	1650	1446.7	1249.3	1210.2	1590.4
Moisture regime (AI)	0.24	0.30	0.37	0.32	0.31
The type of moisture regime	semi-arid	semi-arid	semi-arid	semi-arid	semi-arid
Average monthly temperature in the coldest month of the year	8.1	2.2	1.5	-0.3	1.3
Winter type	Cool	Cool	Cool	Cold	Cool
Average monthly temperature in the warmest month of the year	32.3	28.1	25.8	25.4	28.7
Summer Type	too warm	warm	warm	warm	warm

Table 6- Results from the Papadakis method at the meteorological stations under study

جدول ۶- نتایج حاصل از روش پاپاداکیس در ایستگاه های هواشناسی تحت مطالعه

	Sarpol Zohab	Kermanshah	Eslamabad	Kangavar	Ravansar
Annual precipitation (mm)	395.9	436.1	456.6	380.9	501.6
Average annual temperature (°C)	20.2	14.4	13.5	13.1	15
Average annual potential evapotranspiration (mm)	1779	1506	1452	1410	1228
The length Season without frost	At least 4.5 Month	At least 4.5 Month	At least 4.5 Month	At least 4.5 Month	At least 4.5 Month
Summer type	G	G	G	G	G
Winter type	AV	TV	TV	TV	av
Thermal regime	Su	CO1	CO1	CO1	CO1
Humid Season	D-M	D,J,F	D-M	D-M	D-M
Middle season	A,N	M,A,N	A-O	M,A,O	A
Dry season	M-O	M-O	M-S	M-S	M-O
Moisture index	0.24	0.30	0.37	0.32	0.31
Leaching index	104	72.6	177	87	157
Moisture regime	Me	Me	Me	Me	Me
Climatr type	Sub-Tropical Mediterranean	Continental Mediterranean	Continental Mediterranean	Continental Mediterranean	Continental Mediterranean
Considerations	Suitable for cultivation	Suitable for cultivation	Suitable for cultivation	Suitable for cultivation	Suitable for cultivation

نتیجه‌گیری

با توجه به کشت گندم دیم در استان کرمانشاه می‌توان گفت که نتایج حاصل از هر سه روش فائو، پاپاداکیس و یونسکو برای کشت این محصول مناسب و با واقعیت‌های منطقه یعنی جدول ۲ مطابقت داشته است. بر اساس تحقیق (Azizi and Shaemi (2004) شهرستان کرمانشاه به عنوان نماینده استان کرمانشاه با استفاده از روش پاپاداکیس از نظر نوع تابستان، نوع زمستان، رژیم حرارتی، رژیم رطوبتی و نوع اقلیم به ترتیب در طبقه پنبه (G)، طبقه گندم زمستانه (TV)، قاره‌ای بری (CO1) و اقلیم مدیترانه‌ای بری قرار گرفت و مناسب کشت گندم دیم تشخیص داده شد که با نتایج این تحقیق مشابه می‌باشد. اما از لحاظ تعیین فصل‌های مرطوب، میانه و خشک شباهت‌ها و تفاوت‌هایی بین نتایج تحقیق حاضر و نتایج تحقیق آن‌ها برای ایستگاه کرمانشاه وجود دارد. بر اساس تحقیق حاضر، ماه‌های دسامبر، ژانویه و فوریه ایستگاه کرمانشاه در گروه فصل مرطوب قرار گرفتند و ماه مارس جزء فصل میانه می‌باشد در حالی که در مطالعه Azizi and Shaemi (2004) ماه‌های دسامبر تا مارس به طور کلی در گروه فصل مرطوب قرار گرفتند. فصل میانه ایستگاه کرمانشاه در تحقیق جاری، مارس، آوریل و نوامبر می‌باشد ولی در کار آن‌ها، فصل میانه دو ماه اول بهار یعنی آوریل و می و ماه دوم پاییز (نوامبر) را در بر گرفت. ماه‌های مه تا اکتبر ایستگاه کرمانشاه در تحقیق حاضر جزء فصل خشک می‌باشند در صورتی که فصل خشک این ایستگاه در کار تحقیقی (Azizi and Shaemi (2004) اندکی دیرتر شروع شده و ماه سوم بهار یعنی ژوئن تا آخر اکتبر را در بر می‌گیرد. بنابراین در تعیین فصول ماه‌های مارس و مه ایستگاه کرمانشاه در تحقیق حاضر و کار تحقیقی Azizi and Shaemi (2004) تفاوت وجود دارد. Ghasemi et al., (2008) در تحقیقی با استفاده از روش یونسکو و شاخص تعدیل شده خشکی به پهنه‌بندی اقلیمی کشاورزی مناطقی از استان‌های آذربایجان شرقی و اردبیل مبادرت ورزیدند. طبق این تحقیق مناطق با شاخص خشکی بالاتر از ۰/۵ جزو مناطق نیمه مرطوب، مرطوب و خیلی مرطوب با فعالیت کشاورزی معمول طبقه‌بندی می‌شوند، حال آن که وضعیت موجود در منطقه مطالعاتی نشان داد که شاخص خشکی بیشتر از ۰/۶۵ اغلب در مناطق مرتفع با

محدودیت دما و دوره رشد واقع شده و عمدتاً توسط جنگل پوشیده شده است. نتایج ایشان بیان‌گر عدم توافق نتایج روش فوق با واقعیات منطقه بود. شاید یکی از دلایل عدم تطابق مذکور، پراکنش نامناسب و تراکم کم ایستگاه‌های هواشناسی در مناطق کوهستانی مانند آذربایجان شرقی و اردبیل با تغییرات پستی و بلندی شدید و وجود خرد اقلیم‌های منطقه بوده است. این در حالی است که در تحقیق حاضر با علم به این موضوع و کوهستانی بودن بیشتر مناطق استان کرمانشاه، فرایند پهنه‌بندی انجام نشده و با دیدگاه نقطه‌ای و پوشش ایستگاهی به مقایسه روش‌های مورد مطالعه پرداخته شده است. از دیگر نتایج این تحقیق که با نتایج مطالعه (Azizi and Shaemi (2004) و Moghtaderi and Khorramdel (2014) مشابه می‌باشد، این است که روش پاپاداکیس به دلیل کاربرد چند متغیر در محاسبه شاخص‌های حرارتی و رطوبتی، پتانسیل‌های کشاورزی منطبق بر واقعیات منطقه را با جزئیات بیشتری نشان می‌دهد. اگرچه پیچیده بودن و تعدد اقلیم‌های معرفی شده مستلزم صرف وقت بیشتر در این روش می‌باشد. در یک جمع‌بندی کلی می‌توان اذعان کرد:

۱- در روش پاپاداکیس بر اساس فرآیند روش‌شناسی آن، محصولات مناسب با اقلیم منطقه به نوعی به کاربر تحمیل شده، در حالی که در روش فائو بر اساس نیازها و محدودیت‌های مراحل رشد محصول، مناطق مساعد کشت انتخاب می‌شوند (در روش پاپاداکیس از شرایط اقلیمی به محصولات رسیده، ولی در روش فائو از محصول به منطقه اقلیمی رسیده می‌شود). در خصوص روش یونسکو، اگر چه در این مطالعه نتایج آن با دو روش دیگر مطابقت داشت، ولی با توجه به این که این روش برای مناطق خشک دنیا معرفی شده، چه بسا برای مناطق شمالی و به خصوص سواحل مازندران نتایج مناسبی از آن حاصل نشود.

۲- در مناطق کوهستانی با خرد اقلیم‌های زیاد، با توجه به تراکم کم ایستگاه‌ها، بهتر است بدون انجام درون‌یابی اقدام به تحلیل نتایج به صورت نقطه‌ای و تنها بر اساس پوشش منطقه‌ای ایستگاه‌های هواشناسی اقدام کرد. در پایان ذکر این نکته ضروری است که نمی‌توان یک روش را با قاطعیت قبول و یا رد نمود. پیشنهاد می‌شود که روش‌های مورد مطالعه برای محصولات و اقلیم‌های مختلف کشور به کار برده شود.

منابع

- Alijani, B., Doostan, R. 2007. Identification of suitable areas planted Barberry in South Khorasan Province Using GIS. *Journal of Geography and Development*, 4(8): 13-33. (In Farsi)
- Araya, A., Keesstra, S. D., Stroosnijder, L. 2010. A New Agro-Climatic classification for crop suitability zoning in Northern Semi-Arid Ethiopia. *Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, 50(7): 1057-1064.
- Azizi, Gh., Shaemi, A. 2004. Evaluation of diversity and potentials of Iran Agriculture by Papadakis Method. *Journal of Geographical Research*, 36 (49): 71-92. (In Farsi)
- Battisti, R., Sentelhas, P. C. 2014. New agroclimatic approach for soybean sowing dates recommendation: A case study. *Journal of Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental*, 18(11): 1149-1156.
- Bazgeer, S. 1999. Investigation of Agro-climatic potential of rainfed wheat (Case study: Kurdistan Province). Master's thesis of Agricultural Meteorology. Tehran university. (In Farsi)
- Bouma, E. 2005. Development of comparable agro-climatic zones for the international exchange of data on the efficacy and crop safety of plant protection Products. *EPPO Bulletin*, 35 (2): 233-238.
- Caldiz, D. O., Gaspari, F. J., Haverkort, A. J., Struik, P. C. 2001. Agro-Ecological zoning and potential yield of single or double cropping of potato in Argentina. *Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, 109(4): 311-320.
- Chaudhry, Q. Z., Rasul, G. 2004. Agro-Climatic classification of Pakistan. *Quarterly Science Vision*, 9 (1-2): 59-66.
- Faizzadeh, B., Abdali, H., Rezaei Banafsheh, M., Mohammadi, Gh. 2012. Zoning of Wheat cultivation in East Azarbaijan Province using spatial analysis in GIS. *Journal of Agriculture (Research and Development)*, 25 (3): 75-91. (In Farsi)
- FAO. 1996. Agro-Ecological zoning guidelines, Food and Agriculture Organization of the United Nations, *Soils Bulletin* (76): 1-78.
- Farajzadeh, M., Taklubigash, A. 2001. Agro-Climatic zoning of Hamedan Province using geographical information system with emphasis on rainfed wheat. *Geographical Research*, 33(41): 93-105. (In Farsi)
- Ghaffari, A., Ghasemi, V., De Pauw, E. 2015. Agro-Climatic zoning of Iran by UNESCO approach. *Iranian Journal of Dryland Agriculture*, 4(1): 63-74. (In Farsi)
- Ghasemi, V., Mahmudi, Sh., Ghaffari, A., De Pauw, E. 2008. Agro-Climatic zoning with UNESCO method and modified drought index in some parts of East Azarbaijan and Ardebil in provinces. *Iranian Journal of Agricultural Science*, 39 (2): 281-289. (In Farsi)
- He, Y., Wang, H., Qian, B., McConkey, B., Cutforth, H., Lemke, R., DePauw, R., Brandt, K., McCaig, T., Hu, K., Hoogenboom, G. 2012. Effects of climate change on killing frost in the Canadian Prairies. *Journal of Climate Research*, 3 (54): 221-231.
- Iran Meteorological Organization. 2004. Climate atlas studies- Tourism of Iran. (In Farsi)
- Kamali, Gh., Sadaghiani., Sedaghatkerdar Poor, A. 2008. The climatic zoning of dryland wheat in Eastern Azerbaijan. *Journal of Water and Soil*, 22(2): 467-483. (In Farsi)
- Kamali, Gh. 1997. Ecological study of the capability of western drylands of Iran in terms of climate and with special emphasis on rain-fed wheat, Ph.D. dissertation of agronomy and plant breeding, Islamic Azad University, Tehran Science Research Branch. (In Farsi)
- Kazemi Najafabadi, M. 2004. Feasibility study of olive cultivation in Isfahan Province using GIS, Master's thesis of Physical geography, Faculty of Geography, University of Tehran. (In Farsi)
- Khoshakhlag, F., Soltani, M. 2011. Zoning of Agro-Climatic of Strawberry cultivation using Geographic Information System (Case Study: Mazandaran Province). *Journal of Sepehr*, 78(20): 32-38. (In Farsi)
- Lashkari, H., Keykhosravi, Gh. 2009. Location of suitable places for pistachio cultivation in Sabzevar city using GIS with models (Boolean, Ratio, and Paired comparison method). *Journal of Geography and Planning*, 14 (27): 95-139 (In Farsi)
- Mirmosavi, S. H., Shafiei, Sh. 2009. Application of multivariate statistical methods for the study of climatic characteristics of the Western region of Iran (Kermanshah, Kurdistan, Hamedan, Ilam, Lorestan). *Journal of Geographical Notion*, 3(5): 96-117. (In Farsi)
- Moghtaderi, Gh., Khorramdel, F. 2014. Evaluation of climatic agricultural potentials of Fars Province using Papadakis technique. *Journal of Fundamental and Applied Life Sciences*, 4(1): 60-70.
- Mohammadi, H. 1390. *Applied Climate*, Tehran University Press, 272 pages. (In Farsi)
- Motiei Langroudi, S. H. 1994. *Economic Geography of Iran*. Ferdowsi University of Mashhad Press, 220 pages. (In Farsi)
- Mozafari, Gh. 2001. Evaluation of environmental capabilities of rain-fed wheat cultivation, Case study: Kermanshah Province. Ph.D. dissertation of Climatology, Tarbiat Modarres University. (In Farsi)
- Niggol, S. 2014. Evaluation of the Agro-Ecological zone methods for the study of climate change with micro farming decisions in Sub-Saharan

- Africa. *European Journal of Agronomy*, 2(52): 157- 165.
- Paulo C., Dayana L. S., Leonardo A. M., Ana Raquel, S., Wander J. P., Jorge, L. D., Enrico B. A. 2016. Agro-climatic favorability zones for sugarcane orange rust as a tool for cultivar choice and disease management. *Journal of Crop Protection*, (84): 88-97.
- Reid, R., Ryan, M. D., Burt, R. 1976. Exploration for, and utilization of, collections of tropical pasture Legumes. *Journal of Agro-Ecosystems*, 2(4): 293-307.
- Seydi Shahyonndi, M., Khalidi, Sh., Shakiba, E., Mirbagheri, B. 2012. Agro-climatically zoning for corn in Lorestan Province using GIS techniques. *Journal of Applied Researches in Geographical Sciences*, 29(13): 195-214. (In Farsi)
- Shaemi, A., Ahmadi, H. 2011. Study of climate diversity and potentials of agro-climatic in Ilam Province using Papadakis method (Selected Stations, Ilam, Ivan and Dehloran). *Journal of Climatological Researches*, 78(2): 13-20. (In Farsi)
- The Ministry of Jihad-Agriculture. 2014. *Agricultural Statistics*. ICT Center, First Volume: 6-20. (In Farsi)
- UNESCO. 1968. *Agroclimatological methods: methods agroclimatologiques*. Proceedings of the Unesco Symposium on Methods in Agroclimatology, held at the University of Reading, July 23-30, 1966, 392 pages.
- Valentina, P., Tommaso, S., Tommaso, G., Giacomo, F., Maurits, B., Fabio, M., Marco, A., Roberto, C. 2017. Forecasting sugarcane yields using agro-climatic indicators and Canegro model: A case study in the main production region in Brazil. *Journal of Agricultural Systems*, (154): 45-52.
- Yazdan Panah, H., Kamali, Gh., Rahimi, D. 2008. Determination of climate potential of rainfed wheat cultivation in East Azarbaijan Province using intelligent neural networks and GIS. *Journal of Geographical Researches*, 23(2): 81-101. (In Farsi)
- Ziyaeyan Firoozabadi, P., Khalidi, Sh., Khandan, S., Alizadeh, A. 2010. Agro-Climatic zoning of Citrus in Lorestan Province using combined overlap index and Fuzzy Logic model and comparison of models. *Journal of Geographical Planning*, 3 (8): 21-54. (In Farsi)

Estimating actual evapotranspiration using OLI images and SEBAL algorithm (Case study: Dasht-e Naz, Sari)

M. Raeini-Sarjaz^{1*}, H. Piri², M.A. Gholami³, S. Khazaei⁴

Received: 30/08/2016

Accepted: 31/10/2017

Abstract

Estimation of evapotranspiration is, one of the main components of the hydrological cycle, and is essential for irrigation scheduling, water balance, irrigation system design and management and crop yields simulation. Unlike conventional methods remote sensing estimates evapotranspiration in different spatial scales. Therefore, the aim of this study is to estimate evapotranspiration using OLI sensor images and SEBAL algorithm in the Dasht-e-Naz area, Sari, Iran. To evaluate the results, evapotranspiration estimated by the reference method, Penman-Monteith-FAO, was compared with SEBAL algorithm. Strong and significant correlation was obtained between these two methods ($R^2=0.93$), Low error of estimation by SEBAL compared with reference method (RMSE=1.14) and low absolute difference between the SEBAL and Penman-Monteith-FAO (MAE=0.96) indicates that there is a good match between estimated values by SEBAL algorithm and Penman-Monteith-FAO standard method. This study showed that OLI sensor images and SEBAL algorithm could satisfactorily estimate actual evapotranspiration in the Dasht-e-Naz area, Sari.

Keywords: SEBAL Algorithm, Penman-Monteith-FAO, Evapotranspiration, Remote Sensing, Iran



¹ Professor of Agrometeorology, Department of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran

(*Corresponding Author's Email Address: Raeini@yahoo.com)

DOI:

² M.Sc. Graduate of Agrometeorology, Department of Water Engineering, Sari Agricultural sciences and Natural Resources University, Iran

³ Associate Professor, Department of Water Engineering, Sari Agricultural sciences and Natural Resources University, Iran

⁴ PhD candidate of Irrigation and Drainage, Department of Water Engineering, Sari Agricultural sciences and Natural Resources University, Iran

Application of acceptance probability approach for determination of optimal rain gauge network density (Case study: South Khorasan province)

M. Pourreza-Bilonidi^{1*}, M. Shafiei², F. Shahabi Fard³, H. Mousazadeh⁴

Received: 11/11/2017

Accepted: 16/07/2018

Abstract

For accurate estimation of rainfall, as a key element in agricultural and water balance studies, an optimum density of rain gauges is required. Although many approaches based on geostatistic are developed to optimize rain gauges network, but majority of them suffer from drawbacks. This study aimed to assess a newly developed method in geostatistic based on acceptance probability, for designing the rain gauge network with least error in South Khorasan province. The linear moment method was used for testing the homogeneity of the study stations. Then, by choosing a suitable semi-variogram, the acceptance probability in the region was calculated. Based on the spatial pattern of annual rainfall, the acceptance probability was worked out for various parts of the province and the acceptance accuracy (AP) values were analyzed at different levels of probability. The results showed that 20 stations of existing network had no significant effect on estimating the rainfall and it can be recommended to shift their location in order to obtain an optimal network. Also, similar to the existing network of 63 stations, the remaining 43 stations could cover 36% of the province at the probability acceptance level of 80%. Besides, the results indicated that by adding 27 rain gauges to the locations specified in the optimal density, the performance of the optimized network will be approximately doubled comparing to previously existing one, which means 65% coverage of province.

Keywords: Climatological variogram, Kriging variance, Acceptance accuracy, Density, Rain gauge



¹ Assistant professor, Department of water engineering, College of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran

(*Corresponding Author Email Address: mohsen.pourreza@birjand.ac.ir)

DOI:

² Assistant professor, Hydroinformatics Department, East Water and Environment Research Institute (EWERI), Mashhad, Iran

³ M. Sc., Manager of Studies Office, South Khorasan Water Authority, Birjand, Iran

⁴ Ph. D. Student, Department of geology, International Campus, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran & Department of Environment and Water Resources Quality, South Khorasan Regional Water Company, Birjand, Iran



Evaluation of NMME seasonal temperature forecasts over Iran's river basins

H. Najafi¹, A. R. Massah Bavani^{2*}, P. Irannejad³, A. W. Robertson⁴

Received: 01/07/2017

Accepted: 10/06/2018

Abstract

The aim of this research is to evaluate the temperature outputs of climate forecasting systems over Iran. The analysis is provided based on Atmosphere-Ocean Coupled General Circulation Models from North America Multi Model Ensemble (NMME). The skill of NMME individual models are evaluated in different initializations, of lead times (0-month, 1-month and 2-month) for October-December (OND), December-February (DJF), and February-April (FMA) target seasons. Temperatures at 2m from Climate Research Unit (CRU) dataset are used as reference observation over 1982-2010. Pearson correlation, Mean Error and Root Mean Squared Error are calculated as deterministic verification criteria for seasonal forecast verification. In addition, Relative Operating Characteristic (ROC) score is calculated as a categorical measure for below-normal and above-normal conditions. The results suggest that correlation between NMME forecasts and CRU is higher in FMA (compared to DJF and OND). CFSv2 has a significant skill in the south of Iran in FMA (correlation ≥ 0.9 , ROC ≥ 0.7). Spatial pattern of NMME biases is similar in three target seasons. GFDL-FLOR-B01 bias is lowest among all evaluated NMME models. At longer lead times; skill of some models is dropped for forecasting temperature in some river basins in Iran. Given large temperature biases found in NMME individual models, applying Model Output Statistics is recommended. Developing Multi-model Ensemble (MME) can also help to improve seasonal forecasts in Iran's river basins for agriculture and water resources management applications.

Key words: Seasonal Forecasting of Temperature, North American Multi Model Ensemble (NMME), Iran's river basins, Atmosphere-Ocean Coupled General Circulation Models, Iran



¹ Ph. D. in Water Resources Engineering, College of Aburaihan, University of Tehran, Iran

² Associate Professor, College of Aburaihan, University of Tehran, Iran

(*Corresponding Author Email Address: armassah@ut.ac.ir)

DOI:

³ Associate Professor, Department of Space Physics, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

⁴ Head of Climate Group, International Research Institute for Climate and Society (IRI), Erath Institute, Columbia University in New York, USA



Comparative analyses of SPI and SPEI meteorological drought indices (Case study: Golestan province)

L. Rezaei Ghaleh¹, K. Ghorbani^{*2}

Received: 04/04/2017

Accepted: 11/11/2017

Abstract

Precipitation-based drought indices including the SPI generally neglect the effect of other variables such as temperature and evapotranspiration on drought intensity. However, some studies have confirmed the systematic errors involved. Therefore, alternate indices like Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) have been proposed. The current comparative study was aimed to evaluate the SPI and SPEI indices' skill for drought monitoring in different climatic regions of Golestan province. The results were analyzed in different seasons based on the correlation between SPI and SPEI indices classes in a 12-month window. The results showed that in more humid regions, the correlation between the two indices is higher. Similarly, in smaller time scales, the correlation was higher. The SPEI detects greater number of wet and dry spells comparing to SPI. Significant correlation between the two indices was observed at Ramyan station using Pearson's parametric test at 95% confidence level for 3 and 6 months time series. Seasonal frequency analysis of drought classes showed that both indices have more inter-classes variations in summer. Maximum number of severe and extreme drought events was observed at Ghaffar Haji station during summer using both indices. Also the comparison of SPI and SPEI time series showed that SPEI index detects longer wet and dry periods, but SPI index revealed bigger extreme values.

Keywords: Drought, Pearson's parametric test, Golestan province, Time series, Iran



¹ M. Sc. Graduate, Water Resource Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Golestan, Iran

² Associate Professor of Water Engineering Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Golestan, Iran

(*Corresponding author email address: ghorbani.khalil@yahoo.com)

DOI:

Performance evaluation of the genetic programming and support vector machine models in reconstruction of missing precipitation data

M. Kadkhodahosseini¹, R. Mirabbasi-Najafabadi², H. Nozari³, A. Rostami⁴

Received: 21/10/2017

Accepted: 21/07/2018

Abstract

Incomplete rainfall datasets with missing gaps is a major challenge in climatology and water resource studies. In the present study, two intelligent models, namely Genetic Programming (GP) and Support Vector Machines (SVM) were used to reconstruct the monthly rainfall data of four rain-gauges located in Hamedan province, Iran during the period of 1992 to 2011. The incomplete rainfall data was reconstructed first by using the data of one, two and three stations respectively. The results showed that increasing the memory and the number of stations involved in the training phase, will improve the performance of the models. In reconstruction of monthly precipitation data of Sarabi and Maryanj stations, the Support Vector Machine method showed better performance with RMSE of 12.9 mm and 11.4 mm, and correlation coefficients (r) of 0.93 and 0.95, respectively. The corresponding values of RMSE for GP approach were 13 mm and 12.21 mm, which indicated the superior performance of SVM.

Keywords: Rainfall, Missing data, Intelligent methods, Hamedan



¹ Ph. D. Student of Water Resources Engineering, Department of Water Engineering, College of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

² Assistant Professor, Department of Water Engineering, College of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

(*Corresponding Author Email Address: mirabbasi_r@yahoo.com)

DOI:

³ Assistant Professor, Department of Water Engineering, College of Agriculture, Buali Sina University, Hamedan, Iran

⁴ M. Sc. Student of Water Resources Engineering, Department of Water Engineering, College of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran



Comparative study of three agroclimatic classification methods for determination of suitable regions of rainfed wheat cultivation

S. Bazgeer^{1*}, S. E. Momenpour², H. Mohammadi³

Received: 11/11/2017

Accepted: 25/07/2018

Abstract

The purpose of the current feasibility study was to compare three agroclimatic classification methods namely FAO, Papadakis and UNESCO for determination of suitable regions of rainfed wheat cultivation in Kermanshah province, west of Iran using observed data of five synoptic stations. Application of all three methods revealed that the most regions of the province are suitable for the crop cultivation. Based on FAO method, all study stations showed climatic suitability of wheat cultivation. Application of Papadakis method, on the other hand, showed that Sarpol Zahab weather station have a sub-tropical Mediterranean climate and, Kermanshah, Ravansar, Kangavar and Islamabad have continental Mediterranean climate, which are mainly suitable for rainfed wheat. In case of UNESCO climatic classification, the climate of all five study stations was recognized as semi-arid climate which indicates high climatic potential of the province for growing rainfed wheat. In general, all three method confirm the climatic suitability of the region with average yield of 1000 kg ha⁻¹.

Keywords: Kermanshah province, FAO, Papadakis, UNESCO, Wheat, Iran



¹ Assistant Professor of Agricultural Meteorology, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran
(*Corresponding Author Email Address: sbazgeer@ut.ac.ir)

² Ph. D. Student in Climatology, Faculty of Geography, University of Tehran

³ Professor of Agricultural Climatology, Faculty of Geography, University of Tehran

بسمه تعالی

راهنمای تهیه مقاله

نشریه هواشناسی کشاورزی نشریه علمی- پژوهشی انجمن مهندسی آبیاری و آب ایران است که دو شماره در سال منتشر می‌شود. مقاله‌های پژوهشی در زمینه‌های رابطه گیاه و محیط، کمی‌سازی تأثیر پدیده‌های زیان‌بخش بر کشاورزی، مدل‌سازی و پیش‌بینی‌های هواشناسی کشاورزی، جفت‌سازی مدل‌های جوی- اقیانوسی و مدل‌های زراعی، ارتباط آفات و بیماری‌های گیاهی و دامی با عوامل هواشناسی، کاربرد ابزارها و تکنیک‌های نوین در اندازه‌گیری‌های میدانی هواشناسی کشاورزی، هواشناسی کشاورزی محصولات خاص، برهمکنش گیاه و فرایندهای هیدرومتئورولوژیک، مدیریت ریسک در هواشناسی کشاورزی، هواشناسی کشاورزی و امنیت غذایی، اقلیم‌شناسی کشاورزی، اثر تغییر اقلیم بر فرآیندهای فنولوژیک و تولیدات دامی و گیاهی، کاربرد GIS و RS در پایش و مدیریت تولیدات زراعی، فرآیندهای خرد اقلیمی گیاه و محیط و سایر مباحث مرتبط که به زبان فارسی نگاشته شده باشند، قابل ارائه در این نشریه می‌باشند. این مقالات باید نتیجه تحقیقات شخصی نویسندگان (گان) بوده و پیش‌تر در مجلات داخلی و خارجی به چاپ نرسیده باشند.

روش نگارش

مقاله لازم است به صورت Word 2007 و روی صفحات سفید بدون آرم در ابعاد A4 با حفظ ۲/۵ سانتی‌متر حاشیه از هر چهار طرف (به صورت دو ستونه و فاصله سطور یک سانتی‌متر) و با درج شماره صفحه (با فونت نازنین ۱۲ و عناوین اصلی به صورت Bold) و حداکثر در ۱۵ صفحه تنظیم شود و از طریق سامانه نشریه به آدرس (<http://agrimet.ir>) ارسال شود. چکیده در یک ستون و بقیه مقاله در دو ستون نگارش گردند. متن اصلی مقالات باید با فونت (B Nazanin 12) و فاصله سطور یک سانتی‌متر و کلیه عبارات انگلیسی با قلم (Times New Roman 10) به صورت غیر ایتالیک تایپ شوند. در متن مقاله تا حد امکان از معادل فارسی واژه‌های تخصصی لاتین، مصوب فرهنگستان زبان و ادب فارسی استفاده شود. چنانچه معادل فارسی به اندازه کافی رسا نباشد، عین کلمه لاتین بلافاصله در کمانک (پرانتزها) آورده شود.

ترتیب بخش‌ها

بخش‌های مختلف مقاله به ترتیب عبارتند از: عنوان، نویسندگان (گان)، چکیده فارسی، واژه‌های کلیدی فارسی، مقدمه، مواد و روش‌ها، نتایج و بحث، نتیجه‌گیری، تشکر و قدردانی، منابع، پیوست‌ها، عنوان انگلیسی، نگارنده (گان)، چکیده انگلیسی، واژه‌های کلیدی انگلیسی.

عنوان

عنوان کوتاه، جامع و بیانگر موضوع اصلی مقاله باشد (با فونت B Nazanin 14 Bold).

نگارنده (گان)

نام و نام خانوادگی نگارندگان در پایین عنوان مقاله ذکر شود و پس از آن مرتبه علمی، محل اشتغال، آدرس ایمیل نگارنده (گان) آورده شود (با فونت B Nazanin 11 Bold).

*** نویسندگان مسئول یکی از نویسندگان حائز رتبه دانشگاهی (مربی، استادیار، دانشیار یا استاد) باشد که تمامی مکاتبات با ایشان انجام خواهد شد.

چکیده

چکیده باید مجموعه فشرده و گویایی از اهمیت موضوع، روش کار و نتایج تا حداکثر ۲۰۰ کلمه باشد.

واژه‌های کلیدی فارسی

حداکثر شش واژه کلیدی مربوط به موضوع تحقیق مقاله آورده شود (کلمات فارسی با فونت (B Nazanin 12) و کلمات انگلیسی با فونت (Times New Roman 10)).

مقدمه

مقدمه باید شامل معرفی و توجیه موضوع مورد بررسی باشد. در مقدمه باید به تحقیقات انجام یافته در زمینه مورد نظر با ذکر منابع از قدیم به جدید به اندازه کافی توجه و ارجاع شود و هدف بررسی و پژوهش نیز روشن گردد (کلمات فارسی با فونت B Nazanin 12 و کلمات انگلیسی با فونت Times New Roman 10).

مواد و روش‌ها

در این بخش باید چگونگی انجام کار (مواد مورد استفاده و شرح روش‌های جدید به کار رفته، داده‌ها و وسایل به کار رفته، الگوریتم استفاده شده، روش‌های محاسبه و ارزیابی و ...) بیان گردد. همچنین ذکر مأخذ روش‌های متداول و شناخته شده در این قسمت مورد توجه قرار گیرد.

نتایج و بحث

دربگیرنده نتایج حاصل از پژوهش به صورت متن، جدول، نمودار و تصویر است. علل و روابط بین نتایج حاصل، با استفاده از منابع علمی دیگر مورد بحث قرار می‌گیرد.

نتیجه‌گیری

این بخش باید دربرگیرنده یک استنتاج نهایی از پژوهش و ذکر کاربردهای احتمالی آن باشد.

سپاسگزاری (در صورت نیاز)

این بخش قبل از فهرست منابع حداکثر در ۵۰ کلمه آورده شود.

منابع

کلید منابع مورد استفاده اعم از فارسی و انگلیسی در پایان مقاله به زبان انگلیسی برگردانده و به ترتیب حروف الفبای نام خانوادگی اولین نگارنده مرتب می‌شوند. در انتهای منابع فارسی عبارت (In Farsi) قید می‌شود. در برگردان منابع فارسی نام منابع و نام نویسندگان باید از خود مجلات اخذ شود و به صورت ترجمه دلخواه انجام نشود. در ارجاع به منابع باید تا جای ممکن از نام بردن افراد در شروع جمله خودداری و منابع در انتهای جمله و در پرانتز ارائه شوند مانند (Keller, 1982). برای جداسازی منابع در انتهای جمله از نقطه ویرگول ";" استفاده می‌شود مانند (Keller, 1982; Hargreaves and Samani, 1982; Ghamghami et al., 2017).

چنانچه منبعی در شروع جمله استناد شود به صورت نام (سال) انجام می‌گیرد و اسامی فارسی نیز باید به لاتین و سال شمسی به میلادی برگردان شوند.

نحوه ارجاع مقاله‌ها نام خانوادگی نگارنده (گان)، حرف اول نام آن‌ها، سال انتشار مقاله، عنوان مقاله، عنوان کامل نشریه، شماره جلد، شماره نشریه) در داخل کمانک بلافاصله بعد از شماره مجلد قرار بگیرد) و در انتها شماره اولین و آخرین صفحات مقاله (مثال زیر). شماره ردیف برای منابع نیاز نمی‌باشد.

Ghamghami, M., Ghahreman, N., Irannejad, P., Pezeshk, H. 2017. Assessment of Bayesian structure of hidden Markov model for real time prediction of maize phenology. *Journal of Agricultural Meteorology*, 5(1): 1-14. (In Farsi)

He, B., Wu, J., Lu, A., Cui, X., Zhou, L., Liu, M., Zhao, L. 2013. Quantitative assessment and spatial characteristic analysis of agricultural drought risk in China. *Natural Hazards*, 66(2):155-166.

در مورد کتاب‌ها نام خانوادگی نگارنده (گان)، حرف اول نام آن‌ها، سال انتشار، عنوان و ناشر، تعداد صفحات کتاب.

در مورد پایان نامه‌ها و رساله‌ها نام خانوادگی و حرف اول نام دانشجو، سال دفاع، عنوان، نوع رشته و محل اجرا.

عنوان انگلیسی

عنوان مقاله به زبان انگلیسی، باید متناظر با عنوان فارسی باشد و پس از آن مرتبه علمی، محل اشتغال، آدرس ایمیل نگارنده (گان) تمامی به لاتین آورده شود (با فونت Times New Roman 10).

چکیده انگلیسی

چکیده انگلیسی باید عیناً منطبق با چکیده فارسی باشد.

واژه‌های کلیدی انگلیسی

حداکثر شش واژه کلیدی انگلیسی مربوط به موضوع تحقیق مقاله ذکر گردد و باید ترجمه واژه‌های کلیدی فارسی باشد.

جدول‌ها

جدول‌ها لازم است دارای بالانویس جامع و با کیفیت بالا به انگلیسی و فارسی (با فونت B nazanin 10 Bold به صورت وسط‌چین به فارسی و Times New Roman 9 Bold به انگلیسی) باشند. تا آنجا که امکان دارد تعداد جدول‌ها به حداقل ممکن برسد. عنوان جداول در بالا و وسط‌چین و گویای نتایج مندرج در آن باشد. اعداد و عبارات داخل جدول حتماً انگلیسی و با فونت Times New Roman 9 Bold باشد. هر جدول با یک خط افقی از عنوان آن و با یک خط افقی از متن جدول جدا و زیر متن جدول نیز خطی کشیده شود. از کشیدن هر گونه خط عمودی در جدول خودداری شود (مانند جدول ۱). محل جدول‌ها در متن مقاله باشد. ضروری است فرمت جداول انگلیسی باشد به گونه‌ای که مطالب جدول از چپ به راست خوانده شود. واحدهای فیزیکی استفاده شده در سیستم متریک (SI) باشند.

Table 1- Mean hourly meteorological variables in studied station

جدول ۱- میانگین متغیرهای هواشناسی ساعتی اندازه‌گیری شده در ایستگاه مطالعاتی

Time (hr)	6	9
Temperature (°C)	12.5	15.1
Relative Humidity (%)	35	33
Wind Speed (m s ⁻¹)	1.2	0.3

شکل‌ها

شکل‌ها لازم است با کیفیت بالا و زیرنویس به انگلیسی و فارسی (با فونت B nazanin 10 Bold به صورت وسط‌چین به فارسی و Times New Roman 9 Bold به انگلیسی) ارائه شوند. اعداد و عبارات داخل شکل‌ها حتماً انگلیسی و با فونت Times New Roman 9 Bold باشد. شکل بلافاصله پس از ارجاع شماره شکل در متن، ارائه شود. نمودارها به گونه‌ای تهیه شوند که در چاپ سیاه و سفید قابل تشخیص از یکدیگر باشند. محل شکل‌ها در متن مقاله باشد. نقشه‌ها باید دارای فرمت استاندارد (جهت شمال، مختصات، راهنمای نقشه و مقیاس) باشند.

معادله‌ها

معادله‌ها باید به ترتیب با اعداد فارسی داخل پرانتز در انتهای سمت راست متن شماره‌گذاری شده و اشاره به آن‌ها با ذکر فقط واژه معادله (نه رابطه و فرمول) در متن با آوردن شماره آن معادله داخل کمانک ضروری است. کلیه متغیرها و پارامترها در متن تعریف شده باشند. کلیه معادلات و پارامترهای آن‌ها باید به صورت فرمول تایپ شوند و غیرایتالیک باشند و مشابه متغیرهای ارائه شده در معادلات باشند. اندازه قلم برای کلیه روابط و متغیرهای ریاضی ۱۰ است.

***** تذکر مهم:**

نویسندگان موظف به رعایت کلیه موارد مندرج در این دستورالعمل در هنگام ارسال بوده و در صورت عدم رعایت نکات فوق مرحله داوری به تعویق افتاده و مقاله جهت تصحیح عودت داده خواهد شد. همچنین نویسندگان موظف به اعمال نظرات داوران در متن، نمودارها، عکس‌ها و جداول هستند. چنانچه پس از پذیرش در مرحله بازبینی نهایی و صفحه آرایی موارد مورد درخواست نشریه رعایت نگردد، چاپ مقاله و پذیرش آن منتفی خواهد شد.

نشریه هواشناسی کشاورزی

فرم اشتراک نشریه

اینجانب با مشخصات ذیل تقاضای اشتراک یکساله (دو شماره) نشریه هواشناسی کشاورزی را دارم.

- نام شرکت/ سازمان متقاضی:
آدرس شرکت/ سازمان متقاضی:
تلفن:
فکس:
شماره و تاریخ فیش / حواله بانکی:

- نام و نام خانوادگی شخص متقاضی:
آدرس محل کار متقاضی:
آدرس منزل متقاضی:
شماره تلفن منزل:
تلفن محل کار:
شماره و تاریخ فیش / حواله بانکی:
تلفن همراه:
مبلغ پرداختی:

Email:

مبلغ اشتراک یکساله ۵۰۰/۰۰۰ ریال می باشد که بایستی به شماره حساب ۲۲۵۱۱۱۹۷۲۷ به نام بهرام بختیاری، محمد جواد خانجانی و نوذر قهرمان نزد بانک تجارت شعبه دانشگاه شهید باهنر کرمان واریز و تصویر فیش واریزی به دفتر نشریه ارسال گردد. شروع اشتراک بر حسب تاریخ دریافت یا درخواست مشترک از همان شماره یا ابتدای سال خواهد بود. لازم به توضیح است در صورت نیاز به شماره‌های قبلی مراتب را ذیلاً اعلام فرمایید. بهای دو جلد قبلی نیز به شرح فوق می-باشد.

هر گونه تغییر احتمالی قیمت‌ها در ذخیره اشتراک شما اعمال خواهد شد.

** در صورت تغییر آدرس مراتب را اعلام فرمائید. امضاء:

In The Name of God

Contents

Estimating actual evapotranspiration using OLI images and SEBAL algorithm (Case study: Dasht-e Naz, Sari)	1
M. Raeini-Sarjaz, H. Piri, M.A. Gholami, S. Khazaei	
Evaluation and optimization of raingauge network using acceptance probability method (Case study: South Khorasan)	9
M. Pourreza-Bilondi, M. Shafiei, F. Shahabi Fard, H. Mousazadeh	
Evaluation of NMME seasonal temperature forecasts over Iran's river basins	19
H. Najafi, A. R. Massah Bavani, P. Irannejad, A. W. Robertson	
Comparative analyses of SPI and SPEI meteorological drought indices (Case study: Golestan province)	31
L. Rezaei Ghaleh, K. Ghorbani	
Performance evaluation of the genetic programming and support vector machine models in reconstruction of missing precipitation data	41
M. Kadkhodahosseini, R. Mirabbasi-Najafabadi, H. Nozari, A. Rostami	
Comparative study of three agroclimatic classification methods for determination of suitable regions of rainfed wheat cultivation	50
S. Bazgeer, S. E. Momenpour, H. Mohammadi	

Reviewer and Associate Editors of this Issue

Dr. I. Babaeian	Climatological Research Institute
Dr. B. Bakhtiari	Shahid Bahonar University of Kerman
Dr. M. Banayan Aval	Ferdowsi University of Mashhad
Dr. J. Bazrafshan	University of Tehran
Dr. A. A. Darvishsefat	University of Tehran
Dr. B. Ghahraman	Ferdowsi University of Mashhad
Dr. N. Ghahreman	University of Tehran
Dr. A. Khalili	University of Tehran
Dr. H. Khosravi	University of Tehran
Dr. Y. Khoskhoo	University of Kurdistan
Dr. A. Liaghat	University of Tehran
Dr. A. Malekian	University of Tehran
Dr. K. Qaderi	Shahid Bahonar University of Kerman
Dr. N. Sayari	Shahid Bahonar University of Kerman

In the Name of God

JOURNAL OF AGRUCULTURAL METEOROLOGY

Research & Scientific Journal

Vol. 6 No. 1 Spring & Summer, 2018

Published by: Iranian Society of Irrigation and Water Engineering
Executive Director: B. Bakhtiari Shahid Bahonar University of Kerman
Editor- in-Chief: A. Khalili University of Tehran
Internal Manager: N. Ghahreman University of Tehran

Editorial board:

Bakhtiari, B.	Assis., Prof., Shahid Bahonar University of Kerman	Irannejad, P.	Asso., Prof., University of Tehran
Barani, Gh. A.	Prof., Shahid Bahonar University of Kerman	Kamali, Gh. A.	Asso., Prof., Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran
Bolouri zadeh, M.	Asso., Prof., Graduate University of Advance Technology	Khalili, A.	Prof., University of Tehran
Ghahreman, N.	Asso., Prof., University of Tehran	Khanjani, M. J.	Prof., Shahid Bahonar University of Kerman
Hajjam, S.	Asso., Prof., Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran	Raeini, M.	Prof., Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

English Text Editor: N. Ghahreman
Technical Editors: B. Bakhtiari, N. Ghahreman
Graphist: M. Ganjalikhani **Page Setting:** Z. Afzali Gorouh
Office-in-Charge: Z. Afzali Gorouh
Publisher: Iranian Society of Irrigation and Water Engineering

The articles of Journal of Agricultural Meteorology are indexed by:

ISC, SID, Magiran

Address: Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.
Postal code: 76169-14111 Tel./Fax. : +983433257190

E-mail: Agromet_journal@yahoo.com Website: <http://agrimet.ir>

