



پهنه‌بندی مکانی تبخیر از تشت و برخی عوامل اقلیمی مؤثر بر آن با روش‌های زمین‌آماري (مطالعه موردی: استان فارس)

سید علی اکبر موسوی^{۱*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۴/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۰۳

چکیده

مطالعه تغییرات زمانی- مکانی تبخیر از تشت و عوامل اقلیمی مؤثر بر آن در مدیریت منابع آب و برآوردهای تبخیر و تعرق اهمیت دارد. در مطالعه حاضر، این تغییرات با داده‌های ایستگاه‌های منتخب استان فارس با چند روش درون‌یابی زمین‌آماري بررسی و دقت روش‌ها با استفاده از شاخص‌های آماری (R^2 , MRE, RMSE, NRMSE, GSDER و GMER) ارزیابی شد. تغییرات مکانی متغیرهای اقلیمی از مدل‌های گوسی و کروی با دامنه تأثیر حدود ۹ تا ۳۵ کیلومتر تبعیت می‌نماید. کریجینگ نقطه‌ای معمولی با مدل کروی نیم‌تغییرنا (با شعاع تأثیر ۸/۹ تا ۳۵ کیلومتر و نسبت اثر قطعه‌ای ۰/۰۹ تا ۳۶/۴۴ درصد و با کلاس تغییرپذیری متوسط تا قوی) برای تخمین تبخیر از تشت (ضریب تعیین ۰/۷۴) و عوامل بارشی (ضرایب تعیین ۰/۵۷ تا ۰/۷۶) و روش وزن‌دهی عکس‌فاصله با توان‌های ۲ تا ۵ برای تخمین عوامل دمایی (ضرایب تعیین ۰/۶۲ تا ۰/۸۷) و سرعت باد (ضریب تعیین ۰/۷۳) مناسب‌ترین روش‌ها بودند. فاصله مناسب برای ایستگاه‌های باران‌سنجی حدود ۳۵ کیلومتر تعیین شد. بخش‌های شمالی به ویژه شمال‌شرق استان نسبت به بخش جنوبی از تبخیر از تشت (>۲۳۰ میلی‌متر) و میانگین دمای کم‌تر (>۱۵ درجه سانتی‌گراد)، عوامل بارشی مطلوب‌تر (<۲۳۵ میلی‌متر) و سرعت باد (<۱۵ متر بر ثانیه) بیش‌تری برخوردارند. بر این اساس، مدیریت بهینه آب و تجدید نظر در الگوهای کشت در مناطق مرکزی و جنوبی استان پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: بارش، دما، سرعت باد، کریجینگ معمولی، وزن‌دهی عکس فاصله

مقدمه

پهنه منابع آب و خاک در هر منطقه نقش مهمی ایفا می‌کند. استان فارس یکی از پهناورترین و مهم‌ترین استان‌های کشور از دیدگاه فعالیت‌های کشاورزی و منابع طبیعی می‌باشد که مانند سایر نقاط ایران ایستگاه‌های تبخیرسنجی و سنجش عوامل اقلیمی در آن کافی نبوده و از توزیع مکانی مناسبی برخوردار نیستند و یا این که در برخی ایستگاه‌ها داده‌ها به دلیل داده ناکافی و کیفیت نامطلوب، قابل استفاده نیستند (Daneshkar Arasteh et al., 2004). بنابراین، لازم است با به‌کارگیری روش‌های مختلف تخمین مانند روش‌های آمار کلاسیک شامل روش‌های رگرسیونی، استفاده از فنون سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای، روش‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی و یا روش‌های زمین‌آماري مقدار تبخیر در نقاط فاقد ایستگاه (اندازه‌گیری) برآورد شود. در روش‌های زمین‌آماري بر خلاف آمار کلاسیک، موقعیت مکانی داده‌ها نیز در تجزیه

تبخیر یکی از متغیرهای هیدرولوژیک است که آگاهی از تغییرات مکانی و زمانی و مدل‌سازی آن در فرآیندهای کشاورزی، منابع طبیعی و حفاظت از آب و خاک اهمیت زیادی دارد. از کل میزان بارش در ایران که حدود ۳۰ درصد میانگین بارش جهانی و ۲۵۱ میلی‌متر است، ۷۱ درصد (۱۷۹ میلی‌متر) تبخیر می‌شود (Saadatkhah et al., 2001; Shaban et al., 2007; Zare Abyaneh et al., 2010). میزان تبخیر تابع بسیاری از متغیرهای اقلیمی از جمله عوامل دمایی، باد و ساعات آفتابی است. تبخیر و عوامل اقلیمی عمدتاً در طول زمان و مکان متغیرند و بررسی تغییرات مکانی و زمانی این عوامل در مدیریت

^۱ دانشیار بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

*نویسنده مسئول: aamousavi@gmail.com

روش‌های دیگر مناسب‌تر است. (Mahdian 2002) نشان داد که روش اسپلین و روش کریجینگ برای برآورد بارندگی و دما سه اقلیم خشک، نیمه‌خشک و مرطوب ایران نسبت به روش‌های دیگر برتری دارد. Solaimani et al. (2006) نیز در تخمین متوسط بارش در کفه نمک سیرجان روش کریجینگ را نسبت به روش عکس فاصله برتر گزارش کردند. سایر پژوهشگران نیز از روش‌های وزن‌دهی عکس فاصله (Jahangir and Jahanpanah, 2018)، خوشه‌بندی و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (Parsamehr et al., 2018) و وزن‌دهی عکس فاصله، کریجینگ معمولی و کوکریجینگ (Siabi and Sanaeinejad, 2015) برای پهنه‌بندی خشکسالی و برخی عوامل و شاخص‌های اقلیمی در ایران استفاده کردند. در خارج از ایران نیز از روش‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی و زمین‌آماری برای بررسی تغییرات مکانی-زمانی تبخیر در یک حوزه کوهستانی در ایالت کلرادو (Tran et al., 2019)، روش‌های زمین‌آماری برای بررسی تغییرات مکانی تبخیر از چمن‌زارهای غرب کانادا (Armstrong, 2011)، روش‌های سنجش از دور برای تخمین تبخیر واقعی از اراضی پارکی ساسکاچوان کانادا (Armstrong et al., 2018) و روش‌های زمین‌آماری برای بررسی تغییرات مکانی تبخیر واقعی از اکوسیستم‌های خشکی در چین (Zheng et al., 2019) استفاده کردند. آگاهی از میزان تبخیر از تشت و سایر عوامل اقلیمی و پهنه‌بندی این عوامل نقش مهمی در مدیریت منابع هر منطقه، رونق اقتصادی و وضعیت معیشتی ساکنان به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند استان فارس که اقتصاد آن عمدتاً وابسته به منابع کشاورزی و طبیعی است، ایفا می‌کند. از طرفی به دلیل تعداد محدود ایستگاه‌های سنجش بایستی از روش‌های تخمین مانند روش‌های زمین‌آماری برای برآورد تبخیر از تشت و عوامل اقلیمی مؤثر بر آن در نقاط فاقد اندازه‌گیری، تعیین الگوی توزیع مکانی و پهنه‌بندی این عوامل استفاده نمود. با توجه به اینکه تحقیقات اندکی در ارتباط با کاربرد روش‌های زمین‌آماری در این ارتباط انجام شده، لذا انجام تحقیقاتی در این راستا بسیار مهم و ضروری است. بنابراین، این تحقیق با هدف بررسی تغییرات مکانی تبخیر از تشت و برخی عوامل اقلیمی مؤثر بر آن، ارزیابی چند روش برآورد

و تحلیل‌ها در نظر گرفته شده و بر اساس نسبت بخش ساختاردار به بخش بدون ساختار (اثر قطعه‌ای) تغییرات، کلاس وابستگی مکانی هر متغیر تعیین می‌شود (Cambardella et al., 1994). تعداد اندکی از محققان از روش‌های زمین‌آماری برای تخمین و پهنه‌بندی عوامل اقلیمی و به ویژه مقدار تبخیر از تشت بهره گرفته‌اند. Zare Abyaneh et al. (2010) پس از برآورد تبخیر از تشت با کاربرد ۹ مدل مختلف و با استفاده از عوامل اقلیمی ۶۱ ایستگاه هواشناسی ایران، کریجینگ معمولی با تغییرنمای دایره‌ای را مناسب‌ترین روش برای پهنه‌بندی نتایج حاصل از بهترین مدل تبخیر از تشت (روش ایوانوف) در نقاط فاقد اندازه‌گیری معرفی کردند. در تحقیقی، (Asakareh 2007) تغییرات زمانی-مکانی بارش سالانه ایران را بررسی و میزان همبستگی بین تغییرات بارش و عوامل مکانی شامل طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع را حدود ۰/۵۹۹ گزارش نمودند. Tobies and Salas (1985) روش کریجینگ را در توزیع بارش سالانه در ۲۹ ایستگاه باران‌سنجی آمریکا، (Mirmousavi et al., 2010) روش کریجینگ معمولی با تغییرنمای کروی را بهترین روش درون‌یابی بارندگی سالانه و (Zabihi et al., 2012) نیز تغییرنمای گوسی را بهترین مدل نیم‌تغییرنما برای بارش سالانه استان قم پیشنهاد کردند. سایر پژوهشگران نیز روش‌های میانگین متحرک وزن‌دار (Mahdavi et al., 2004) و روش اسپلین صفحه نازک با توان دو (Mahdian et al., 2009) را برای برآورد بارش سالانه در جنوب شرقی کشور مناسب معرفی کردند. در حالی که (Goovaerts 2000) گزارش کرد روش کریجینگ ساده در مقایسه با روش کوکریجینگ برآورد بهتری از بارندگی سالانه در پرتغال داشته است. Irnak and Ranade (2008) و (Zhao et al., 2005) روش کریجینگ را بهترین روش برای تخمین دما معرفی و بیان کردند با کاربرد این روش تفاوت مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده کم‌ترین مقدار بود. (Nalder and Wein 1998) توزیع مکانی بارندگی و دمای ماهانه را در جنگل‌های شمال کانادا با روش‌های کوکریجینگ، کریجینگ عمومی، نزدیک‌ترین همسایه، عکس مجذور فاصله همراه با گرادیان^۱ (GIDS) بررسی و گزارش کردند روش GIDS از

^۱ Gradient inverse distance (GIDS)

فسا، فیروز آباد، قیر و کارزین، کازرون، لار، لامرد، ممسنی و نی‌ریز استفاده شد (جدول ۱).

Table 1- Geographical information of the studied meteorological stations in Fars province (after Fars Meteorological Bureau)

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه در استان فارس (برگرفته از درگاه اداره کل هواشناسی استان فارس)

Station	Elevation (m)	Longitude (° E)	Latitude (° N)
Abadeh	2030	52.4	31.1
Arsanjan	1648	53.3	29.9
Estahban	1690	54.1	29.1
Eqlid	2300	52.4	30.5
Izadkhist	2188	52.1	31.3
Bavanat	2231	53.4	30.3
Shiraz	1484	52.4	29.3
Jahrom	1082	53.3	28.3
Darab	1098	54.2	28.5
Zarghan	1596	52.4	29.5
Zarrin Dasht	1067	54.5	28.3
Sepidan	2201	52.0	30.1
Sadde Doroudzan	1650	52.2	30.1
Takhte Jamshid	1605	52.5	29.6
Safashahr	2251	53.1	30.4
Fasa	1288	53.4	28.6
Farrashband	765	52.0	28.8
Firuzabad	1340	52.5	28.9
Qir and Karzin	840	53.0	28.5
Kazerun	860	51.4	29.4
Lar	792	54.2	27.4
Lamerd	405	53.1	27.2
Mamasani	950	53.5	30.2
Neyriz	1580	54.2	29.1

بررسی خصوصیات آماری و تغییرات مکانی

خصوصیات معمول آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای آماری (EXCEL و SPSS) و زمین‌آماری (GS+) تعیین و وضعیت نرمال بودن توزیع آن‌ها بررسی شد و در مواردی که داده‌ها از توزیع نرمال انحراف داشتند با استفاده از تبدیل‌های مناسب، توزیع داده‌ها تا حد امکان به توزیع نرمال نزدیک شدند. به منظور بررسی وابستگی و تعیین الگوی ساختار مکانی داده‌ها، مقدار نیم‌تغییرنمای تجربی داده‌ها به وسیله نرم‌افزار GS+ محاسبه (Webster and Oliver, 2001) و مدل‌های نظری شامل مدل‌های کروی، نمایی، گوسی و خطی به آن‌ها برازش داده شد (Kresic, 1997). با استفاده از معیارهای ضریب تعیین و مجموع مربعات باقی‌مانده‌ها بهترین مدل انتخاب و ضرایب آن شامل اثر قطعه‌ای، سقف و دامنه تأثیر برای استفاده در مرحله تخمین تعیین شد (Mallants et al., 1996; Zheng et al., 2009). به منظور بررسی همسانگردی و ناهمسانگردی داده‌ها، مقدار نیم‌تغییرنمای تجربی در

و معرفی روش مناسب و پهنه‌بندی این عوامل در استان فارس انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مطالعاتی استان فارس در بخش جنوب غربی ایران واقع در عرض ۲۷ تا ۳۱ درجه شمالی و طول ۵۰ تا ۵۵ درجه شرقی است. این استان دارای ۴ ناحیه اقلیمی سرد و خشک شمالی، معتدل و مرطوب مرکزی، گرم و خشک جنوبی و گرم و نیمه‌مرطوب غربی است (Hatami Bahamanbeigloo and Khoshhal Dastjerdi, 2006) و با مساحت ۱۲۲۶۰۸ km² پنجمین استان بزرگ و چهارمین استان پرجمعیت کشور بوده که دارای ۲۹ شهرستان، ۹۴ شهر و ۲۴ ایستگاه هواشناسی است (شکل ۱).

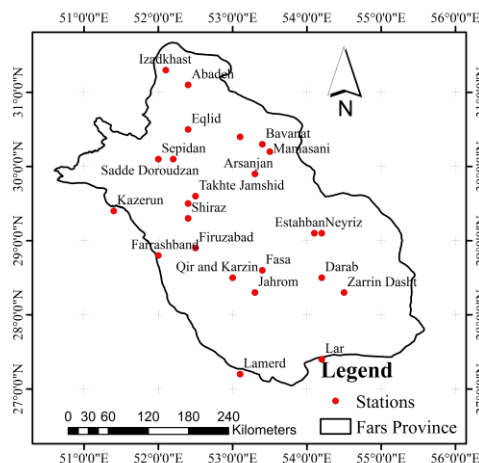


Figure 1- Location of the study area and meteorological stations

شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های هواشناسی

برای تعیین ساختار تغییرات مکانی و تخمین تبخیر از تشت و برخی عوامل اقلیمی مؤثر بر آن از اطلاعات بلندمدت (بر حسب اطلاعات موجود در ایستگاه‌ها از اطلاعات مربوط به سال‌های ۱۳۵۶ تاکنون) موجود تبخیر از تشت، میانگین حداقل و حداکثر دمای هوا (درجه سانتی‌گراد)، حداقل و حداکثر مطلق دمای هوا (درجه سانتی‌گراد)، میانگین بارش (میلی‌متر)، تعداد روزهای بارانی و حداکثر بارش روزانه (میلی‌متر)، ساعات آفتابی و سرعت باد (متر بر ثانیه) ۲۴ ایستگاه هواشناسی شامل ایستگاه‌های آباده، سپیدان، ارسنجان، استهبان، اقلید، ایزدخواست، بوانات، تخت جمشید، جهرم، داراب، سد درودزن، زرکان، زرین‌دشت، شیراز، صفاشهر، فراشبند،

جهات مختلف محاسبه و رویه نیم‌تغییرنا (تغییرنامی مسطحاتی) ترسیم شد. با استفاده از ضرایب بهترین مدل نیم‌تغییرنا و معیار پیشنهادی Cambardella et al., (1994) کلاس وابستگی مکانی هر عامل نیز تعیین شد.

تخمین تبخیر از تشت و عوامل مورد مطالعه

برای تخمین با روش کریجینگ نقطه‌ای معمولی، ابتدا وجود یا عدم وجود روند در داده‌ها بررسی شد و پس از اطمینان از عدم وجود روند، با استفاده از ضرایب بهترین مدل نیم‌تغییرنا و بر اساس فاصله هر یک از نقاط تا نقطه مجهول، به هر یک از نقاط اندازه‌گیری شده، وزن‌هایی اختصاص داده شد و با استفاده از مجموعه معادلات کریجینگ نقطه‌ای معمولی (Webster and Oliver, 2001) مقدار عوامل در نقاط فاقد اندازه‌گیری برآورد شد. در روش وزن‌دهی عکس مجذور فاصله نیز، بر اساس عکس فاصله نقاط اندازه‌گیری شده تا نقطه مورد تخمین، به هر یک از نقاط وزنی اختصاص داده شد (با توان‌های مختلف عکس فاصله، عکس مجذور فاصله همراه با گرادیان انجام شد) و مقدار کمیت مورد نظر در نقطه مجهول به روش میانگین‌گیری وزنی محاسبه شد.

ارزیابی نتایج تخمین

دقت نتایج روش‌های تخمین با استفاده از روش ارزیابی دوجانبه (متقابل) تعیین شد. به این ترتیب که یکی از نقاط اندازه‌گیری حذف و با استفاده از سایر نقاط تخمین زده شد. سپس مقدار اندازه‌گیری شده به مجموعه داده‌ها بازگردانده و برای تمامی نقاط این فرآیند تکرار و بر اساس شاخص‌های آماری محاسبه شده، روش مناسب تخمین شناسایی شد. پهنه‌بندی منطقه مورد مطالعه برای تبخیر از تشت و سایر عوامل اقلیمی انجام و نقشه‌های دو بعدی پراکنش مکانی آن‌ها با استفاده از نتایج روش مناسب تخمین، تهیه شد.

نتایج و بحث

تبخیر از تشت و عوامل بارش

نتایج نشان دادند که میانگین تبخیر از تشت در ایستگاه‌های مورد مطالعه در محدوده زمانی مورد بررسی ۲۶۲۹ میلی‌متر و ۸/۶ برابر میانگین بارش استان (۳۰۶ میلی‌متر) است. کم‌ترین و بیش‌ترین میانگین سالیانه تبخیر از تشت به مقدار ۲۱۳۲ و ۴۰۰۰ میلی‌متر به

ترتیب مربوط به ایستگاه‌های سپیدان و لامرد بود در حالی که کم‌ترین و بیش‌ترین میانگین بارش سالیانه به مقدار ۱۳۲ و ۶۲۸ میلی‌متر به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های آباده و سپیدان بود (داده‌ها نشان داده نشده است). نتایج نشان داد بیش‌ترین و کم‌ترین انحراف معیار به ترتیب مربوط به میانگین بارش و تعداد روزهای بارانی می‌باشد (جدول ۲). بیش‌ترین ضریب تغییرات برابر با ۰/۴۰ مربوط به میانگین بارش و کم‌ترین آن ۰/۱۵ مربوط به تبخیر از تشت است. حداکثر چولگی و افراستگی در بین عوامل بارشی مربوط به میانگین بارش است در حالی که کم‌ترین چولگی مربوط به تعداد روزهای بارانی و کم‌ترین افراستگی مربوط به میزان تبخیر از تشت است. بررسی‌های زمین‌آماری نشان داد ساختار مکانی تبخیر از تشت و عوامل بارشی از مدل کروی با ضریب تعیین ۰/۳۲ برای حداکثر بارش روزانه تا ۰/۹۱ برای تبخیر از تشت تبعیت نمود. مقدار اثر قطعه‌ای از ۰/۰۰۱ تا ۰/۶۱ به ترتیب برای حداکثر بارش روزانه و تبخیر از تشت متغیر بود و درصد اثر قطعه‌ای که نسبت به کل تغییرپذیری تعدیل شده برای حداکثر بارش روزانه کم‌ترین (۰/۰۹) و برای تبخیر از تشت بیش‌ترین (۳۶/۴) بود. سقف نیم‌تغییرنا در محدوده ۰/۱۱ (برای حداکثر بارش) تا ۱۸/۱ (برای تبخیر از تشت) و شعاع تأثیر در محدوده ۸/۹۵۰ تا ۳۴/۹ کیلومتر به ترتیب برای حداکثر بارش و میانگین بارش تعیین شد (جدول ۳). نتایج ارزیابی دوجانبه و آماره‌های ارزیابی نشان داد که برای تخمین تبخیر از تشت و عوامل بارشی مورد مطالعه روش کریجینگ نقطه‌ای معمولی برای میانگین بارش، حداکثر بارش روزانه و تعداد روزهای بارانی و روش وزن‌دهی عکس فاصله با توان ۳ برای تبخیر از تشت مناسب‌ترین روش بود (جدول ۴). ضریب تعیین بین مقادیر اندازه‌گیری و تخمین زده شده با استفاده از بهترین روش‌های تخمین بین مقادیر ۰/۵۷ برای حداکثر بارش روزانه و ۰/۷۶ برای تعداد روزهای بارانی متغیر بود (جدول ۴). شکل ۲ نقشه مقادیر عوامل تخمین زده و پهنه‌بندی شده با بهترین روش تخمین را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد به طور کلی بخش‌های شمالی استان (به ویژه شمال شرق) نسبت به بخش جنوبی از عوامل بارشی مطلوب‌تر و تبخیر از تشت کم‌تری برخوردارند. نتایج نشان داد بر اساس ضریب تغییرات و معیار پیشنهادی Wilding

این تحقیق با یافته‌های (Zabihi et al., 2012) که متوسط شعاع تأثیر را برای بارش استان قم ۳۱/۴۶ کیلومتر گزارش کردند مطابقت داشت. همانگونه که قبلاً در ارتباط با مقایسه نتایج نوع مدل حاکم بر تغییرات مکانی ذکر شد دلایل مطابقت یا عدم مطابقت ذکر شده دلایل احتمالی بوده و ممکن است دلایل و عوامل دیگری نیز دخالت داشته باشند. به علاوه این که ممکن است وابستگی نوع مدل کلی حاکم بر تغییرات مکانی با وابستگی اجزا و پارامترهای مدل (از جمله شعاع تأثیر) به عوامل متعدد مؤثر مانند مجاورت مکانی و غیره متفاوت باشد. درصد اثر قطعه‌ای تبخیر از تشت و عوامل بارشی کم‌تر از ۲۵ درصد و بر اساس معیار پیشنهادی (Cambardella et al., 1994)، این عوامل در محدوده کلاس قوی وابستگی مکانی واقع شدند (جدول ۳). بنابراین، می‌توان با استفاده از تبخیر از تشت و عوامل بارشی اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های محدود و بدون صرف وقت و هزینه و با به کارگیری روش‌های زمین‌آماری مقدار هریک از این عوامل را در مناطق فاقد ایستگاه برآورد نموده و منطقه مورد نظر را پهنه‌بندی کرد و از نقشه‌های پهنه‌بندی در مسائل مختلف مدیریت منابع طبیعی و کشاورزی استفاده نمود. روش وزن‌دهی عکس فاصله با توان ۳ (برای تبخیر از تشت) و روش کریجینگ نقطه‌ای معمولی (برای میانگین بارش، حداکثر بارش روزانه و تعداد روزهای بارانی) مناسب‌ترین روش تخمین بودند که با یافته‌های (Zabihi et al., 2012) و (Mirmousavi et al., 2010) که روش کریجینگ را روش مناسب برای تخمین میانگین بارش سالانه به ترتیب در استان‌های قم و اصفهان پیشنهاد کردند، مطابقت داشت. در حالی که با یافته‌های (Mahdavi et al., 2004) که روش میانگین متحرک وزن‌دار را برای برآورد بارش سالانه در جنوب‌شرقی کشور مناسب معرفی کردند، مطابقت نداشت. همچنین با یافته‌های (Mahdian et al., 2009) نیز که روش اسپیلاین صفحه نازک با توان دو را بهترین روش ارزیابی بارندگی سالانه و ماهیانه در جنوب شرق ایران گزارش کردند مطابقت نداشت که احتمالاً به دلیل تفاوت‌های اقلیمی و توپوگرافی در مناطق مورد مطالعه می‌باشد. ضریب تعیین نسبتاً زیاد (۰/۵۷ تا ۰/۷۶) معنی‌دار بین مقادیر اندازه‌گیری و تخمین زده شده نشان‌دهنده دقت قابل قبول روش‌های تخمین پیشنهاد شده می‌باشد. مقادیر میانگین خطای باقی‌مانده برای تمام

(1985)، تبخیر از تشت و عوامل بارشی در استان فارس در محدوده تغییرپذیری متوسط (ضریب تغییرات ۱۶ تا ۳۵ درصد) واقع شدند. از بین عوامل مورد مطالعه، توزیع میانگین بارش به دلیل انحراف قابل توجه از توزیع نرمال، با اعمال تبدیل لگاریتمی، به توزیع نرمال نزدیک و از داده‌های تبدیل یافته در تجزیه و تحلیل‌های زمین‌آماری استفاده شد. نیم‌تغییرنمای مسطحاتی تبخیر از تشت و عوامل بارشی مورد مطالعه تقریباً مدور و در جهات مختلف یکسان و در نتیجه این عوامل همسانگرد در نظر گرفته شدند (داده‌ها نشان داده نشده). در بین مدل‌های برازش داده شده مدل کروی تطابق بیش‌تری به نیم‌تغییرنمای محاسبه شده داشت که با نتایج (Mirmousavi et al., 2010) که مدل کروی را برای نیم‌تغییرنمای بارش سالانه استان اصفهان پیشنهاد کردند مطابقت داشت ولی با یافته‌های (Zabihi et al., 2012) که مدل گوسی را بهترین مدل نیم‌تغییرنما برای بارش سالانه استان قم پیشنهاد کردند مطابقت نداشت که احتمالاً به دلیل تشابه نسبی عوامل اقلیمی استان فارس با استان اصفهان (به دلیل مجاورت مکانی و مشابهت در سایر عوامل مؤثر بر اقلیم) و تفاوت عوامل اقلیمی با استان قم می‌باشد. نتایج نشان داد حدود ۳۷ درصد از تغییرات تبخیر از تشت بدون ساختار مکانی (تصادفی) و مابقی (۶۳ درصد) دارای ساختار مکانی بود. در حالی که تقریباً ۱۰۰ درصد تغییرات حداکثر بارش روزانه دارای ساختار مکانی بود که نشان می‌دهد همبستگی مکانی بین مقادیر حداکثر بارش روزانه و مقادیر تبخیر از تشت در منطقه به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین می‌باشد. با توجه به وابستگی میزان تبخیر از تشت به مقدار بارش و سایر عوامل اقلیمی مانند سرعت باد، تابش خورشید، دمای هوا و غیره و تغییرات این عوامل، بیش‌تر و تصادفی بودن تغییرات تبخیر از تشت نسبت به سایر عوامل قابل انتظار است. البته دامنه تأثیر نیم‌تغییرنمای میانگین بارش (۳۴/۹ کیلومتر) نسبت به سایر عوامل بارشی بیش‌تر بود که نشان‌دهنده وابستگی مکانی میانگین بارش در فواصل دورتر و امکان استفاده از مقادیر اندازه‌گیری شده در نقاط دورتر برای تخمین در نقاط فاقد ایستگاه می‌باشد. بر اساس شعاع تأثیر تعیین شده، فاصله بهینه بین ایستگاه‌های باران‌سنجی حدود ۳۵ کیلومتر است و فاصله دو ایستگاه مجاور نباید از این مقدار بیش‌تر باشد. نتایج

نشان داد روش وزن‌دهی عکس فاصله با توان ۲ برای تخمین ساعات آفتابی، با توان ۴ برای تخمین میانگین حداقل و حداکثر دما و با توان ۵ برای تخمین میانگین دما و حداقل و حداکثر مطلق دما مناسب‌تر از سایر روش‌ها می‌باشد. ضریب تعیین مربوط به نتایج روش‌های مناسب تخمین بین ۰/۶۲ (برای ساعات آفتابی) و ۰/۸۷ (برای حداقل مطلق دما) متغیر است. میانگین خطای باقی‌مانده در تمام عوامل دمایی مثبت و میانگین هندسی نسبت خطا کم‌تر از واحد بوده و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده که معیاری برای مقایسه دقت تخمین‌ها می‌باشد به ترتیب برای ساعات آفتابی و میانگین دما بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار بود. پهنه‌بندی عوامل دمایی نشان داد به طور کلی بخش‌های شمالی استان (به ویژه شمال شرق) نسبت به بخش جنوبی از میانگین دمای بلندمدت کم‌تری برخوردارند در حالی که بخش‌های مرکزی و جنوب‌غربی استان از میانگین دمای سالانه بیش‌تر (و تبخیر از تشت بیش‌تری) برخوردارند (شکل ۲). بر اساس معیار Wilding (1985) به جز ساعات آفتابی و حداکثر مطلق دما که تغییرپذیری ضعیف داشتند سایر عوامل دمایی در محدوده تغییرپذیری متوسط (میانگین دما و میانگین حداقل و حداکثر دما) و زیاد (حداقل مطلق دما) واقع شدند. عوامل دمایی به جز ساعات آفتابی تقریباً از توزیع نرمال تبعیت نمودند بنابراین از داده‌های اولیه در تجزیه و تحلیل‌های زمین‌آماری استفاده شد.

عوامل بارشی مثبت و میانگین هندسی نسبت خطا کم‌تر از واحد بود که نشان می‌دهد روش‌های معرفی شده، این عوامل را مقداری بیش از مقادیر واقعی برآورد نموده‌اند. ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده که معیاری برای مقایسه دقت تخمین عوامل مختلف است به ترتیب برای حداکثر بارش روزانه و تبخیر از تشت، کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار بود که نشان می‌دهد در بین این عوامل، بیش‌ترین و کم‌ترین دقت تخمین به ترتیب مربوط به حداکثر بارش روزانه و تبخیر از تشت می‌باشد. نقشه‌های پهنه‌بندی تهیه شده نشان می‌دهد بخش‌های شمال استان (به ویژه شمال شرق) نسبت به جنوب از عوامل بارشی مطلوب‌تر و تبخیر از تشت کم‌تری برخوردارند و به طور کلی از نظر حداکثر بارش روزانه نسبت به سایر عوامل، منطقه مورد مطالعه همگن‌تر و با تغییرات کم‌تر می‌باشد در حالی که از نظر میانگین بارش بلندمدت و تعداد روزهای بارانی و میزان تبخیر از تشت همگنی بسیار کم‌تر و تغییرات بیش‌تر است (شکل ۲).

عوامل دمایی

نتایج نشان داد بیش‌ترین انحراف معیار در عوامل دمایی مربوط به ساعات آفتابی و کم‌ترین انحراف معیار مربوط به میانگین حداقل دما و حداکثر مطلق دما بود. در حالی که بیش‌ترین ضریب تغییرات (۰/۶۸) برای حداقل مطلق دما و کم‌ترین آن (۰/۰۳) برای ساعات آفتابی بود. حداکثر چولگی و افزایش چولگی مربوط به ساعات آفتابی و کم‌ترین آن مربوط به میانگین دما بود (جدول ۲). نتایج

Table 2- Summary statistics of pan evaporation and the studied climatological parameters

جدول ۲ - خلاصه آماری تبخیر از تشت و عوامل اقلیمی مورد مطالعه

Climatological properties	Statistical measures						
	Min	Max	Mean	SD	CV (%)	Skewness coefficient	Kurtosis coefficient
Pan Evaporation and Precipitation Properties							
Pan Evaporation (mm)	1975	3358	2629	406	15	0.1	-0.96
*Mean Precipitation (mm)	133	653	307	124	40	1.18	1.25
Rainy Days	22	52	37.5	8.4	23	-0.11	-0.68
Maximum Daily Precipitation (mm)	45.9	153	82.1	29.2	36	0.88	-0.14
Thermal Properties							
Average of the Minimum Temperature (°C)	3.2	18.9	11.3	3.9	35	-0.1	-0.85
Average of the Maximum Temperature (°C)	19.5	32.9	26.4	4.3	16	-0.07	-1.11
Mean Temperature (°C)	11.8	25.8	18.8	4.0	21	-0.04	-0.99
Minimum Absolute Temperature (°C)	-21.6	-1.8	-9.7	6.6	68	-0.88	-1.01
Maximum Absolute Temperature (°C)	35.4	49.6	42.9	3.9	9	-0.18	-0.99
Suashine Hours	3001	3505	3335	114	3	-1.12	1.5
Wind Properties							
Wind Velocity (m s ⁻¹)	8	17	12.4	1.99	16	0.51	0.54

*Due to the relatively large deviation from the Normal distribution, the distribution was transformed to the Normal distribution using Log-normal transformation.

*به دلیل انحراف نسبتاً زیاد از توزیع طبیعی، با استفاده از تبدیل لگاریتمی، توزیع به توزیع طبیعی تبدیل شد.

Table 3- Coefficient of the best fitted models to the variograms of pan evaporation and the studied climatological parameters

جدول ۳- ضرایب بهترین مدل برازش داده شده به نیم تغییرنمای تبخیر از تشت و عوامل اقلیمی مورد مطالعه

Climatological properties	Variogram properties						Residual Sum of Square (RSS)
	Model	Nugget Effect	Range (m)	% Nugget effect	Spatial dependency class	Determination coefficient (R ²)	
Pan Evaporation and Precipitation Properties							
Pan Evaporation (mm)	Spherical	6.61	32670	36.44	Medium	0.91	10.4
Mean Precipitation* (mm)	Spherical	0.022	34900	9.25	Strong	0.82	0.008
Rainy Days	Spherical	0.033	28480	5.02	Strong	0.69	0.132
Maximun Daily Precipitation (mm)	Spherical	0.0001	8950	0.09	Strong	0.32	0.0067
Thermal Properties							
Average of the Minimum Temperature (°C)	Spherical	0.001	23850	0.22	Strong	0.53	0.123
Average of the Maximum Temperature (°C)	Guassian	0.037	15280	13.88	Strong	0.69	0.238
Mean Temperature (°C)	Spherical	0.0001	28100	0.03	Strong	0.65	0.0457
Minimum Absolute Temperature (°C)	Spherical	0.1	27380	0.17	Strong	0.62	1869
Maximum Absolute Temperature (°C)	Guassian	0.032	15540	24.31	Strong	0.61	0.0064
Sunshine Hours	Guassian	0.457	33650	17.44	Strong	0.64	2.05
Wind Properties							
Wind Velocity (m s ⁻¹)	Spherical	0.002	23920	5.83	Strong	0.26	0.0021

Table 4- Results of evaluation of the predictions for pan evaporation and the studied climatological parameters using the best prediction method

جدول ۴- نتایج ارزیابی تخمین‌ها برای تبخیر از تشت و عوامل اقلیمی مورد مطالعه با استفاده از بهترین روش تخمین

Climatological properties	Best prediction method*	Statistical measures**					
		R ²	MRE	RMSE	NRMSE	GMER	GSDER
Pan Evaporation and Precipitation Properties							
Pan Evaporation (mm)	IDW3	0.74	6804	45995	1689929	-0.072	-
Mean Precipitation* (mm)	O-Kriging	0.75	7239	5993	240878	-1.764	-
Rainy Days	O-Kriging	0.76	5622	5381	168462	0.212	48.28
Maximun Daily Precipitation (mm)	O-Kriging	0.57	380	298	11629	-1.499	-
Thermal Properties							
Average of the Minimum Temperature (°C)	IDW4	0.73	3.95	4.14	145	0.782	2.71
Average of the Maximum Temperature (°C)	IDW4	0.79	4.87	4.85	188	0.333	23.87
Mean Temperature (°C)	IDW5	0.80	3.12	3.17	106	0.097	97.85
Minimum Absolute Temperature (°C)	IDW5	0.87	5.93	6.22	229	-3.213	-
Maximum Absolute Temperature (°C)	IDW5	0.75	3.92	3.66	146	0.092	102.53
Sunshine Hours	IDW2	0.62	3259	3318	122151	-0.064	-
Wind Properties							
Wind Velocity (m s ⁻¹)	IDW5	0.73	1.56	1.60	57.4	0.611	5.29

منطقه مورد نظر را پهنه‌بندی نمود و از نقشه‌های پهنه‌بندی در مسائل مختلف مدیریتی به ویژه در مدیریت کشاورزی در منطقه استفاده نمود. نتایج نشان داد که به طور کلی برای تخمین عوامل دمایی بر خلاف اغلب عوامل بارشی (به جز تبخیر از تشت)، روش وزن‌دهی عکس فاصله از روش کریجینگ نقطه‌ای معمولی دقیق‌تر و مناسب‌تر می‌باشد (جدول ۴). به گونه‌ای که روش‌های وزن‌دهی عکس فاصله با توان ۴ برای تخمین میانگین حداقل و حداکثر دما، با توان ۵ برای تخمین میانگین دما، حداقل و حداکثر مطلق دما و با توان ۲ برای تخمین ساعات آفتابی مناسب‌ترین روش بودند. نتایج با یافته‌های Zhao et al., (2005) و Ranade (2008) که روش کریجینگ معمولی را بهترین و دقیق‌ترین روش تخمین دما معرفی کردند مطابقت نداشت که احتمالاً به دلیل شرایط متفاوت اقلیمی، زمین‌شناسی، پستی و بلندی، ارتفاع از

نیم‌تغییرنمای مسطحاتی محاسبه و ترسیم شده نشان داد که مشابه با عوامل بارشی، تمامی عوامل دمایی نیز همسانگرد بودند. نتایج نشان داد همبستگی مکانی بین میانگین دما و حداکثر مطلق دما در منطقه به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار می‌باشد. به عبارتی حدود ۲۵ درصد از تغییرات حداکثر مطلق دما تصادفی (بدون ساختار) و مابقی دارای ساختار مکانی می‌باشد در حالی که تقریباً تمام تغییرات میانگین دمای منطقه دارای ساختار مکانی است. بر اساس معیار Cambardella et al., (1994) تمام عوامل دمایی مورد مطالعه از نظر وابستگی مکانی در محدوده وابستگی مکانی قوی واقع شدند (جدول ۳). بنابراین می‌توان با استفاده از عوامل دمایی اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های محدود و بدون صرف وقت و هزینه و با به کارگیری روش‌های زمین‌آماری مقدار هر یک از این عوامل را در مناطق فاقد ایستگاه برآورد نمود و با استفاده از آن‌ها

ترتیب برابر با ۰/۵۱ و ۰/۵۴ و در مقایسه با اغلب عوامل کم‌تر بود به گونه‌ای که نیازی به تبدیل توزیع به توزیع نرمال نبود (جدول ۲). سرعت باد با ضریب تعیین ۰/۲۶ از مدل کروی با اثر قطعه‌ای، سقف و شعاع تأثیر (کیلومتر) به ترتیب برابر با ۰/۰۰۲، ۰/۰۳۴ و ۲۳/۹۲ تبعیت نمود (جدول ۳). ارزیابی‌ها نشان داد روش وزن‌دهی عکس فاصله با توان ۵ (با ضریب تعیین ۰/۷۳) برای تخمین سرعت باد مناسب‌ترین روش بود (جدول ۴). میانگین خطای باقی‌مانده برای سرعت باد مثبت و میانگین هندسی نسبت خطا کم‌تر از واحد بود. نتایج و نقشه پهنه‌بندی سرعت باد نشان داد بخش‌های شمال استان به ویژه شمال شرق نسبت به جنوب بادخیزتر و دارای سرعت باد و بادهای بیش‌تری می‌باشند (شکل ۲) و به طور کلی نیمه شرقی استان نسبت به نیمه غربی بادخیزتر است و فراوانی بادهای سریع در این بخش‌ها بیش‌تر است که بایستی در مسائل مختلف مدیریتی مد نظر قرار گیرد. لازم به ذکر است هر چه منطقه‌ای بادخیزتر باشد مشروط به این‌که رطوبت فراهم باشد تبخیر بیش‌تر خواهد بود؛ ولی با توجه به خشکی و کم بودن بارش در بخش‌های مذکور، علی‌رغم بادخیزتر بودن، میزان تبخیر در این بخش‌ها کم‌تر است. سرعت باد در مقایسه با اغلب عوامل دمایی و بارشی از انحراف معیار و ضریب تغییرات کم‌تری برخوردار بود به گونه‌ای که سرعت باد با ضریب تغییرات ۱۶ درصد در محدوده تغییرپذیری متوسط واقع شد (Wilding, 1985). داده‌های سرعت باد از توزیع نرمال تبعیت نموده و از داده‌های اولیه برای تحلیل‌های زمین‌آماری استفاده شد. نیم‌تغییرنمای مسطحاتی سرعت باد بر خلاف سایر عوامل نشان داد که ضرایب نیم‌تغییرنما در جهت‌های مختلف یکسان نبوده و ناهمسانگرد می‌باشد (داده‌ها نشان داده نشده). ساختار مکانی سرعت باد با ضریب تعیین به نسبت کم‌تری (۰/۲۶) در مقایسه با سایر عوامل از مدل کروی با اثر قطعه‌ای، سقف و شعاع تأثیر (کیلومتر) به ترتیب برابر با ۰/۰۰۲، ۰/۰۳۴ و ۲۳/۹۲ تبعیت نموده (جدول ۳) و در محدوده وابستگی مکانی قوی واقع شد (Cambardella et al., 1994). همچنین روش وزن‌دهی عکس فاصله با توان ۵ و با ضریب تعیین ۰/۷۳ برای تخمین سرعت باد مناسب‌تر از سایر روش‌ها می‌باشد (جدول ۳).

سطح دریا و غیره در منطقه مورد مطالعه می‌باشد که بر عوامل دمایی منطقه مؤثرند. Siabi and Sanainejad (2015) نیز روش‌های زمین‌آماري و ترکیب آن‌ها را برای پهنه‌بندی شاخص‌های اقلیمی در شمال شرق ایران استفاده و به عنوان روش‌های مناسب معرفی کردند. مقادیر ضریب تعیین زیاد بین مقادیر اندازه‌گیری و تخمین زده شده با استفاده از روش مناسب تخمین (وزن‌دهی عکس فاصله با توان‌های مختلف) که بین مقادیر ۰/۶۲ (برای ساعات آفتابی) و ۰/۸۷ (برای حداقل مطلق دما) متغیر بود نشان دهنده دقت قابل قبول روش‌های مناسب معرفی شده برای تخمین‌ها می‌باشد. مقادیر مثبت میانگین خطای باقی‌مانده و میانگین هندسی نسبت خطای کم‌تر از واحد در تمام عوامل دمایی نشان می‌دهد روش‌های معرفی شده عوامل دمایی را همانند عوامل بارشی مقداری بیش از مقادیر واقعی برآورد نموده‌اند. شاخص‌های آماری محاسبه شده برای مقایسه دقت تخمین عوامل مختلف نشان داد در بین عوامل دمایی بیش‌ترین و کم‌ترین دقت تخمین به ترتیب مربوط به میانگین دما و ساعات آفتابی می‌باشد. نقشه‌های پهنه‌بندی مقادیر عوامل دمایی نشان داد به طور کلی بخش‌های شمال استان (به ویژه شمال شرق) نسبت به بخش جنوبی از میانگین دمای بلند مدت کم‌تری برخوردارند در حالی که بخش‌های مرکزی و جنوب غربی استان از میانگین دمای سالانه بیش‌تر (و میزان تبخیر از تشتت بیش‌تری) برخوردارند (شکل ۲). الگوی تغییرات میانگین دما، میانگین حداقل و حداکثر دما، حداقل و حداکثر مطلق دما در استان تقریباً با یکدیگر مشابه ولی با الگوی تغییرات ساعات آفتابی متفاوت است. حداکثر و حداقل ساعات آفتابی برآورد شده به ترتیب در بخش‌های جنوب غربی و مرکز استان می‌باشد. آگاهی از الگوی تغییرات عوامل دمایی بر اساس نقشه‌های پهنه‌بندی تهیه شده می‌تواند در اتخاذ تصمیمات مدیریت کشاورزی در مزارع، انتخاب نوع کشت در تناوب زراعی و مدیریت احداث و بهره‌برداری از کشت‌های گلخانه‌ای راه‌گشا باشد.

عوامل باد

نتایج نشان داد حداقل، حداکثر و میانگین سرعت باد در استان به ترتیب ۸، ۱۷ و ۱۲/۴ متر بر ثانیه می‌باشد. ضریب تغییرات سرعت باد ۱۶ درصد و در مقایسه با سایر عوامل کم‌تر بود. چولگی و افراستگی سرعت باد نیز به

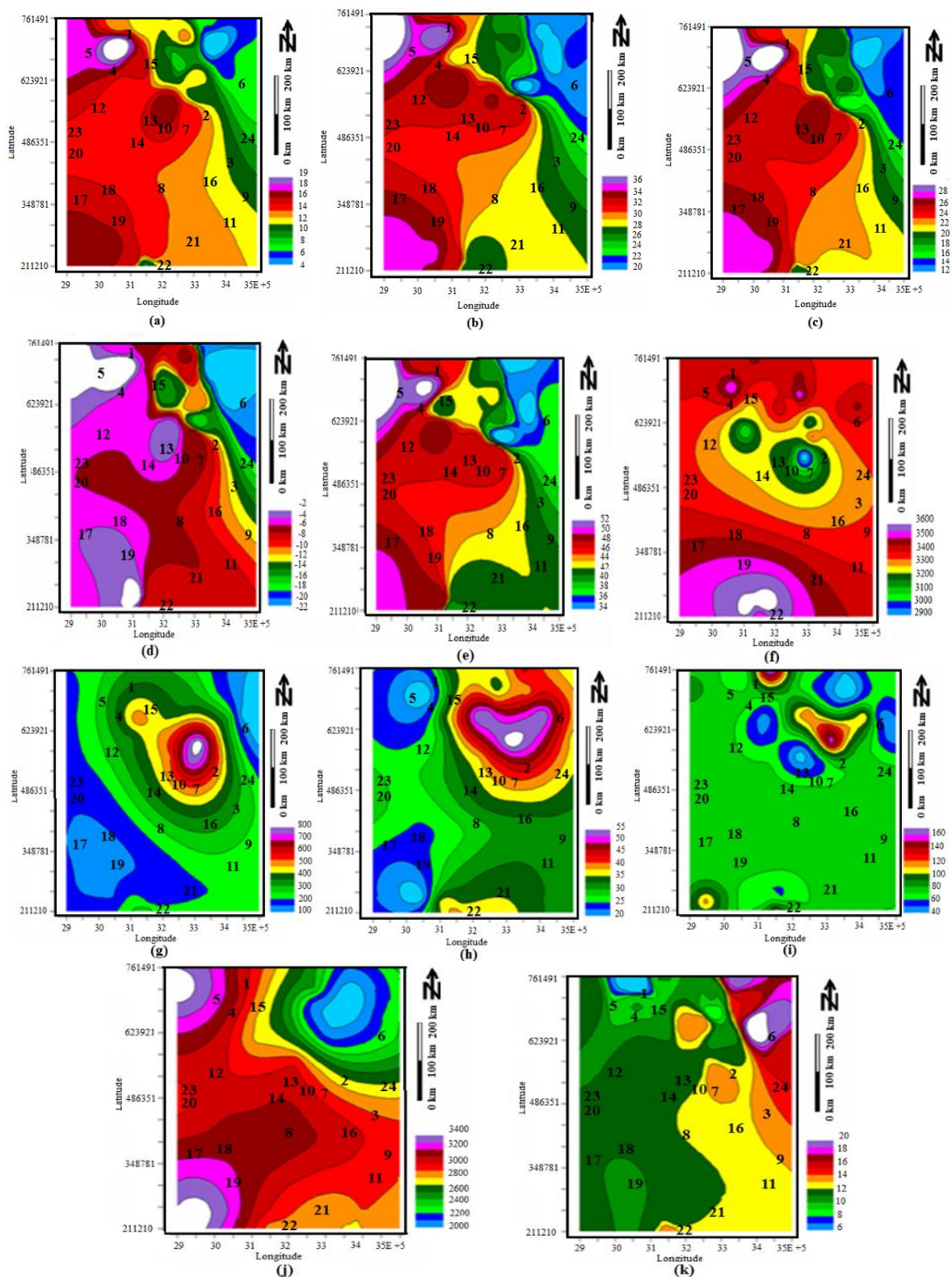


Figure 2- Map of the predicted values using the data obtained from 24 studied stations (Table 1) and by using the results of the best introduced prediction method from Table 3. Figures a to k correspond to the mean value of the minimum temperature, the mean value of the maximum temperature, mean temperature, the minimum absolute temperature, the maximum absolute temperature, sunshine hours, mean precipitation, rainy days, the maximum daily precipitation, pan evaporation, and wind velocity, respectively.

شکل ۲- نقشه مقادیر تخمین زده شده با استفاده از داده‌های ۲۴ ایستگاه مورد مطالعه (جدول ۱) و با به کارگیری نتایج بهترین روش تخمین معرفی شده در جدول ۳. شکل های a تا k به ترتیب مربوط به میانگین‌های حداقل دما، حداکثر دما، دما، حداکثر مطلق دما، حداکثر مطلق دما، ساعات آفتابی، میانگین بارش، تعداد روزهای بارانی، حداکثر بارش روزانه، تبخیر از تشت و سرعت باد است.

مدیریت منابع طبیعی و کشاورزی استان تهیه نمود. بر اساس شعاع تأثیر تعیین شده از نیم تغییرنما، فاصله بهینه بین ایستگاه‌های باران‌سنجی حدود ۳۵ کیلومتر تعیین شد. بنابراین برای پایش دقیق بارش در استان، فاصله دو ایستگاه مجاور نبایستی از ۳۵ کیلومتر بیش‌تر باشد. پهنه‌بندی‌ها نشان داد بخش‌های شمالی استان به ویژه شمال‌شرق نسبت به بخش جنوبی از عوامل تبخیر از تشت و دمای کم‌تر، بارش مطلوب‌تر، و سرعت باد بیش‌تری برخوردارند. بنابراین در بخش‌های جنوبی که از تبخیر از تشت و دمای بیش‌تر و بارش کم‌تری برخوردارند مدیریت استفاده از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی حساسیت بیش‌تری می‌طلبد.

سپاسگزاری

بدینوسیله از دانشگاه شیراز و اداره کل هواشناسی استان فارس برای در اختیار قرار دادن امکانات و داده‌های لازم برای انجام این پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

- Armstrong, R. N. 2011. Spatial variability of actual evaporation in a prairie landscap. Ph.D. Desertaion, Department of Geography and Planning, University of Saskatchewan, Saskatoon, Canada.
- Armstrong, R. N., Pomeroy, J. W., Martz, L. W. 2018. Spatial variability of mean daily estimates of actual evaporation from remotely sensed imagery and surface reference data. *Hydrology and Earth System Sciences*, 23: 4891–4907.
- Asakareh, H. 2007. Spatio-temporal variation of precipitation in Iran over the recent decades. *Geography and Development*, 10:145-164 (in Farsi).
- Cambardella, C. A., Moorman, T. B., Novak, J. M., Parkin, T. B., Karlen, D. L., Turco, R. F., Konopka, A. E. 1994. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Society of America Journal*, 58(5): 1501-1511.
- Daneshkar Arasteh, P., Tajrishi, M., Mirlatifi, M., Saghafian, B. 2004. Necessity of revision on free water surface evaporation estimation models in arid areas with regional advection: Chahnimeh Reservoir as a case study. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 5:37-50 (in Farsi).
- Goovaerts, P. 2000. Geostatistical approach for incorporation, elevation into spatial interpolation of rainfall. *Journal of Hydrology*, 228:113-129.

مقادیر مثبت میانگین خطای باقی‌مانده برای سرعت باد و میانگین هندسی نسبت خطای کم‌تر از واحد نشان می‌دهد روش وزن‌دهی عکس فاصله با توان ۵ سرعت باد را نیز مشابه سایر عوامل مقداری بیش از مقادیر واقعی برآورد نموده است. ریشه میانگین مربعات خطای نرمال‌شده سرعت باد در مقایسه با سایر عوامل کم‌ترین بود که نشان‌دهنده دقت بیش‌تر روش به کارگرفته شده برای تخمین است.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد روش کریجینگ نقطه‌ای معمولی با مدل نیم‌تغییرنمای کروی برای تخمین تبخیر از تشت و عوامل بارشی و روش وزن‌دهی عکس فاصله برای تخمین عوامل دمایی و سرعت باد مناسب‌ترین و دقیق‌ترین روش می‌باشند. بنابراین، می‌توان با استفاده از مقادیر اندازه‌گیری شده این عوامل در ایستگاه‌های نسبتاً محدود و با به کارگیری این روش‌ها مقادیر عوامل اقلیمی را در مناطق فاقد ایستگاه با دقت قابل قبول برآورد و نقشه‌های پهنه‌بندی آن‌ها را به منظور استفاده در مسائل کلان

- Hatami Bahamanbeigloo, Kh., Khoshhal Dastjerdi, J. 2006. Determining climatic regions of Fars Province using factor analysis. *Journal of Geographic Space*, 10:135-150 (in Farsi).
- Irnak, A., Ranade, P. K. 2008. GIS based estimation of spatial distribution of temperature and evapotranspiration in Nebraska. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, St. Joseph, Mishigan, USA.
- Jahangir, M. R., Jahanpanah, M. 2018. Drought condition severity and zoning based on rainfall anomaly index (RAI) in Fars province. *Extention and Development of Watershed Management*, 6:35-44 (in Farsi).
- Kresic, N. 1997. *Hydrogeology and groundwater modeling*. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, USA. 457 p.
- Mahdavi, M., Chegini Hosseini, E., Mahdian, M. H., Rahimi Bandarabadi, S. 2004. Investigation of using geostatistical methods for estimation of annual precipitation in arid and semiarid regions of southeast Iran. *Journal of Natural Resources*, 57:211-224 (in Farsi).
- Mahdian, M. 2002. Determination of Optimization Interpolation Methods to Estimate Rainfall and Temperature in Arid, Semiarid and Humid Regions (IRAN). Project Report Soil Conservation and Watershed Management Research Institute.

- Mahdian, M. H. Rahimi Bandarabady, S., Sokouti, R., Norouzi Banis, Y. 2009. Appraisal of the geostatistical methods to estimate monthly and annual temperature. *Journal of Applied Sciences*, 9(1): 128-134.
- Mallants, D., Mohanty, B. P., Jacques, D., Feyen, J. 1996. Spatial variability of hydraulic properties in a multi-layered soil profile. *Soil Science*, 161:167-181.
- Mirmousavi, S. H., Mazidi, A., Khosravi, Y. 2010. The determination of optimum geostatistics method for estimating precipitation distribution using GIS (Case study of Esfahan province). *Geographic Space*, 10:105-120.
- Nalder, J. A., Wein, R. W. 1998. Spatial Interpolation of Climate normal: Test of a New Method, *Canadian Boreal Forest. Agricultural and Forest Meteorology*, 92(4): 211-225.
- Parsamehr, A. H., Mobin, M. H., Khosravani, Z. 2018. Using run theory to analysis of drought severity – duration – return period (Case study: Fars Province). *Iranian Journal of Ecohydrology*, 5(2): 471-481 (in Farsi).
- Saadatkah, N., Sarang, S. A., Abrishamchi, A., Tajrishi, M. 2001. Estimation of evaporation from Chahnimeh Reservoirs. *Journal of Water and Wastewater*, 40:1-12.
- Shaban, M., Khajeoddin, S. J., Karimzadeh, H. R. 2007. Studying drought resistance in some tree and bushes for remediation of arid and semi arid regions. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 1: 58-63 (in Farsi).
- Siabi, N., Sanaeinejad, H. 2015. An investigation into using of combined geostatistical methods to increase precision in climatological classification and climatic parameters zoning in great Khorasan. *Journal of Climate Research*, 15: 32-81 (in Farsi).
- Solaimani, K., Habibnejad, M., Abkar, A., Bani-Asadi, M. 2006. Analysis of depth-area-duration curves of rainfall in semi-arid and arid region using geostatistical methods (Case study: Sirjan). *Desert*, 1:31-42.
- Tobies, G. Q., Salas, J. D. 1985. A comparative analysis of techniques for spatial analysis precipitation. *Water Resources Bulltain*, 21: 365-380.
- Tran, A. P., Rungee, J., Faybishenko, B., Dafflon, B., Hubbard, S. S. 2019. Assessment of spatiotemporal variability of evapotranspiration and its governing factors in a mountainous watershed. *Water*, 11: 243:2-17.
- Webster, R., Oliver, M. 2001. *Geostatistics for Environmental Scientists*. John Wiley & Sons, England. 271 p.
- Wilding, L. P. 1985. Spatial variability: Its documentation, accommodation and implication to soil surveys, pp. 166-194, In: Nielsen, D.R. and Bouma, J. (eds.), *Soil Spatial Variability*, Pudoc, Wageningen, Netherlands.
- Zabihi, A., Solaimani, K., Shabani, M., Abravsh, S. 2012. An investigation of annual rainfall spatial distribution using geostatistical methods (A case study: Qom Province). *Physical Geography Quarterly*, 43:102-112 (in Farsi).
- Zare Abyaneh, H., Moghaddamnia, A. R., Bayat Varkeshi, M., Gasemi, A., Shadmani, M. 2010. Spatial variability of pan evaporation in Iran and its estimation using several empirical models. *Water and Soil Science (Agricultural Science)*, 20(1): 113- 129. (in Farsi)
- Zhao, C., Nan, Z., Cheng, G. 2005. Metods for modeling of temporal and spatial distribution of air temperature at landscape scale in the southern Qilian Mountains, China. *Ecological Modelling*, 189: 209-220.
- Zheng, H., Yu, G., Wang, Q., Zhu, X., He, H., Wang, Y., Zhang, J., Li, Y., Zhao, L., Zhao, F., Shi, P., Wang, H., Yan, J., Zhang, Y. 2019. Spatial variation in annual actual evapotranspiration of terrestrial ecosystems in China: Results from eddy covariance measurements. *Journal of Geographical Sciences*, 26: 1391-1411.
- Zheng, Z., Zhang, D., Chai, M. F., Zhu, X., Shi, Z., Zhang, S. 2009. Spatio-temporal changes in soil salinity in a drip-irrigated field. *Geoderma*, 149: 243–248.



Spatial zoning of pan evaporation and affecting variables using geostatistic methods (Case study: Fars province)

S. A. A. Moosavi^{1*}

Received: 21/08/2018

Accepted: 26/06/2019

Abstract

The study of spatio-temporal variations of pan evaporation is quite important in water resource management and evapotranspiration estimation. In current research, these variations and affecting variables have been examined using several geostatistic methods across Fars province, Iran. The skill of these methods were evaluated by statistical measures including R^2 , MRE, RMSE, NRMSE, GMER, and GSDER. Spatial variability structure of the studied climatic variables followed the Gaussian and spherical models with influence ranges of 9 to 35 km. The ordinary point kriging with spherical semivariogram model (with influence ranges of 8.9 to 35 km, nugget ratios of 0.09 to 36.44% and variability classes of moderate to strong) was the most suitable method for interpolating of pan evaporation (with R^2 of 0.74) and precipitation characteristics (with R^2 of 0.57 to 0.76) values. The inverse distance weighting with weighting powers of 2 to 5 was the most suitable method for prediction of temperature (with R^2 of 0.62 to 0.87) and wind characteristics (with R^2 of 0.73). The optimum distance between the rain gauges was determined as 35 km. In general, the results showed that the northern and especially the northeastern parts of the province had lower temperature ($<15^\circ\text{C}$) and pan evaporation (<2300 mm), more rainfall (>235 mm), and higher wind speed (>15 m s⁻¹) in comparison to southern parts. Therefore, precise water resource management and new cropping pattern in these regions of the province may be recommended.

Keywords: Inverse distance weighting, Ordinary kriging, Precipitation, Temperature, Wind speed



¹ Associate Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture, Shiraz University
(*Corresponding Author Email Address: aamousavi@gmail.com)
DOI: [10.22125/agmj.2019.113709.0](https://doi.org/10.22125/agmj.2019.113709.0)