

## بررسی توزیع مکانی و زمانی نیاز آبی گیاه ذرت با استفاده از روش‌های ژئواستاتیک در استان خوزستان

یاسین بلدی<sup>۱</sup>، زهرا ایزدپناه<sup>۲</sup>، منا گلابی<sup>۳</sup>، محمد الباجی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۲/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۳/۲۳

### چکیده

در استان خوزستان کشت ذرت یکی از کشت‌های اصلی به حساب می‌آید. اغلب در برنامه‌ریزی‌ها، نیاز آبی به صورت نقطه‌ای محاسبه می‌شود، حال آن‌که اجرا آبیاری به صورت منطقه‌ای صورت می‌گیرد. لذا، این اطلاعات باید از حالت نقطه‌ای به منطقه‌ای تبدیل شود. به منظور برنامه‌ریزی آبیاری در استان خوزستان گیاه ذرت بهاره به صورت لایسمتری در دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز کشت شد. هدف از این کشت مقایسه روش‌های مختلف برآورد نیاز آبی گیاه یاد شده با روش لایسمتری و تعیین معادله مناسب بود. نتایج نشان دادند که معادله بلینی-کریدل روشی مناسب برای برآورد تبخیر و تعرق در شرایط مورد مطالعه است. پس از تعیین معادله‌ی مناسب برآورد نیاز آبی، از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی استان خوزستان به منظور پهنه‌بندی نیاز آبی ذرت (به روش بلینی-کریدل) از روش‌های زمین آمار استفاده شد. پهنه‌بندی با استفاده از نرم‌افزار ARC GIS 10.3 انجام شد. ابتدا روی داده‌ها نرمال سازی صورت گرفت. سپس با توجه به کمترین مقدار RMSE مدل نیم‌تغییرنما و پهنه‌بندی مناسب انتخاب شد. نتایج نشان داد روش کریجینگ ساده با مدل نیم‌تغییرنمای دایره‌ای در تمامی ماه‌ها مدلی مطلوب به حساب می‌آید. مقدار RMSE این مدل برای اسفند ماه ۰/۰۸ برای فروردین ۰/۱۷، برای اردیبهشت ماه ۰/۴۶ و برای خرداد ۰/۴۸ به دست آمد. نتایج پهنه‌بندی نیاز آبی نشان داد نیاز آبی نواحی جنوبی استان نسبت به نواحی شمالی هم‌چنین ماه‌های انتهایی نسبت به ابتدایی بیشتر است. در طول دوره مطالعه (اسفند تا خرداد) به صورت ماهانه به ترتیب نیاز آبی ۱/۹۸، ۵/۵۲، ۱۱/۷۸ و ۱۱/۹۷ میلیمتر در روز بوده است. مقادیر پایین RMSE روش‌های پهنه‌بندی بیانگر مطلوبیت پهنه‌بندی نیاز آبی بوده است.

واژه های کلیدی: روش کریجینگ، زمین آمار، نیم‌تغییرنما، نیاز آبی.

<sup>۱</sup> - کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران، yasinbaladi@yahoo.com، ۰۹۰۱۱۵۹۴۶۳۰

<sup>۲</sup> - استادیار گروه آبیاری و زهکشی دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران، ۰۹۱۶۳۱۳۰۸۰۹، zezadpanah@scu.ac.ir

<sup>۳</sup> - استادیار گروه آبیاری و زهکشی دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران، ۰۹۱۶۶۱۵۱۴۳۳، m.golabi@scu.ac.ir (مسئول مکاتبه)

<sup>۴</sup> - استادیار گروه آبیاری و زهکشی دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران، ۰۹۱۶۳۰۷۶۹۷۸، m.albaji@scu.ac.ir

## مقدمه

کمبود ریزش‌های جوی و پراکنش نامناسب زمانی و مکانی آن، کشور ما را در زمره کشورهای خشک و نیمه‌خشک قرار داده است. تبخیر و تعرق گیاه اساسی‌ترین نقش را در تعیین نیاز آبی ایفا می‌کند. تبخیر یکی از عوامل مهم چرخه آب در طبیعت است. بنابراین، محاسبه مقدار آن از اهمیت زیادی برخوردار است. این پدیده در مطالعات بیلان آب جزء تلفات محسوب شده، در مطالعات کشاورزی به‌عنوان نیاز آبی گیاهان و در بررسی‌های اقلیم‌شناسی یک عامل مشخص‌کننده اقلیم محسوب می‌شود. نوع دیگر از برگشت آب به اتمسفر از طریق روزنه گیاهان و اعمال فیزیولوژیکی بوده که به آن تعرق اطلاق می‌شود. به مجموع آب تبخیر شده از سطح خاک، برگ و بافت گیاهی، تبخیر و تعرق گفته می‌شود. تبخیر و تعرق تحت شرایط استاندارد ( $ET_c$ ) که گیاه بدون بیماری بوده و از نظر حاصل‌خیزی خاک و دسترسی به آب و مواد آلی در خاک در شرایط بهینه قرار داشته باشد به‌عنوان نیاز آبی تعریف شده است.

Savva and Frenken (2002) نشان دادند که برآورد میزان تبخیر و تعرق گیاهی از پارامترهای بسیار مهم در برنامه‌ریزی‌های توسعه آبیاری است. اطلاع از نیاز آبی گیاهان زراعی و باغی از ملزومات هر طرح آبیاری می‌باشد. در کشت‌های آبی، نیاز آبی گیاهان اغلب به‌صورت نقطه‌ای اندازه‌گیری و یا برآورد می‌شود. درحالی‌که بیشتر مطالعات و برنامه‌ریزی‌ها در مقیاسی منطقه‌ای صورت می‌پذیرد. لذا، این اطلاعات باید از حالت نقطه‌ای به حالت منطقه‌ای تبدیل شود؛ یعنی باید یک‌پارچگی مکانی این داده‌های نقطه‌ای را ایجاد کرد. بدین منظور باید از ابزارها و فنون جدیدی مانند روش زمین‌آمار و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای بسط داده‌ها و تخمین مقدار داده در نقاط فاقد آمار و تبدیل داده‌های نقطه‌ای به منطقه‌ای استفاده نمود. زمین‌آمار (ژئواستاتیسیتیک<sup>۱</sup>) شاخه‌ای از آمار است که در آن مختصات داده‌های مربوط به

جامعه‌ی تحت بررسی و ساختار فضایی<sup>۲</sup> داده‌های مربوطه، مورد مطالعه قرار می‌گیرد. زمین‌آمار در واقع گرایشی از آمار با زمینه‌های کاربردی در علوم فیزیکی و علوم مربوط به زمین می‌باشد (حسنی پاک، ۱۳۹۲). شهبابی فر و همکاران (۱۳۸۳) در پژوهشی به‌منظور پهنه‌بندی نیاز آبی چغندرقد در استان تهران با استفاده از داده‌های ۳۸ ایستگاه هواشناسی و اعمال ضریب گیاهی مناسب، مقدار تبخیر و تعرق هر نقطه را به‌دست آورده و سپس به‌وسیله روش‌های زمین‌آمار پهنه‌بندی را انجام دادند. شعبانی (۱۳۸۸) در پژوهشی روش‌های زمین‌آمار را در پهنه‌بندی شدت‌های خشک‌سالی ارزیابی کرده است. نتایج نشان دادند که روش کریجینگ به‌عنوان مناسب‌ترین روش جهت تهیه نقشه‌های شدت خشک‌سالی می‌باشد. زارع ایبانه و همکاران (۱۳۸۹) در پژوهشی با گروه‌بندی مناطق هم اقلیم بر اساس اقلیم نمای یونسکو از میانگین‌های دراز مدت متغیرهای اقلیمی ۹۱ ایستگاه هواشناسی و داده‌های لایسیمتر و انتخاب بهترین روش برآورد تبخیر و تعرق به پهنه‌بندی تبخیر و تعرق گیاه مرجع و ارائه آن به‌صورت نقشه‌های پهنه‌بندی و هم تبخیر و تعرق پرداختند و از آن به‌عنوان ابزار اساسی برای مدیریت آب استفاده کردند. کمالی (۱۳۹۰) با بررسی داده‌های هواشناسی ۳۱ ایستگاه در اطراف شهرستان ابهر هم‌چنین با برداشت ۷۱ نمونه خاک، آنالیز و درون‌یابی این اطلاعات به روش زمین‌آمار و با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی به نقشه‌های پهنه‌بندی نیاز آبی، عمق آبیاری و دور آبیاری دست یافتند. نتایج نشان دادند که در اکثر ماه‌ها قسمت شرق و شمال‌شرقی منطقه دارای بیشترین و غرب و جنوب‌غربی دارای کمترین میزان نیاز آبی بوده‌اند. نقشه‌های عمق آبیاری نشان داد که اراضی قسمت شرقی دارای کمترین و اراضی قسمت جنوبی دارای بیشترین مقدار عمق آبیاری بوده‌اند و به این نتیجه رسید که تغییرات دور آبیاری بیشتر متأثر از تغییرات عمق خالص آبیاری بوده است.

<sup>۲</sup> - Spatial Structure<sup>۱</sup> - Geostatistics

باقی‌مانده برای نقشه‌برداری میانگین ماهانه تابش خورشیدی در جنوب اسپانیا با استفاده از نرم‌افزار ARC GIS انجام دادند. که در بهترین حالت روش کریجینگ معمولی در تمام ماه‌های سال ضریب تعیین بهتری داشته است.

Feki et al. (2015) در پژوهشی در تونس دو روش کریجینگ جهانی (UK) و کریجینگ اکسترنال دریف (KED) را برای درون‌یابی بارندگی و  $ET_0$  را با یکدیگر مقایسه کردند. این تحقیق با استفاده از ۲۲ ایستگاه هواشناسی انجام شد. نتایج درون‌یابی بارندگی و  $ET_0$  نشان داد که RMSE روش کریجینگ اکسترنال دریف (KED) نتایج بهتری برای ارزیابی بارندگی ارائه می‌دهد. در صورتی که روش کریجینگ جهانی (UK) برای ارزیابی  $ET_0$  نتایج مناسب‌تری را نشان داد.

بررسی منابع فوق نشان می‌دهند که روش‌های زمین آمار در پهنه‌بندی و تبدیل داده‌ها از حالت نقطه‌ای به منطقه‌ای توانایی مناسبی را دارا می‌باشند. هم‌چنین قابلیت استفاده‌ی روش‌های مختلف زمین آمار در علوم زمین وجود دارد. از طرف دیگر موارد متعدد مصرف ذرت در تغذیه انسان دام، طیور و استخراج حدود ۱۵۰۰ فرآورده متفاوت و کاربرد آن‌ها در صنایع مختلف موجب شده که این محصول به‌عنوان مهم‌ترین غله جهان شناخته شود (نورمحمدی، ۱۳۸۰). استان خوزستان با هزاران هکتار اراضی کشاورزی و جریان پنج رودخانه بزرگ، بیشترین سهم منابع آب سطحی کشور را دارا است. در این استان کشت ذرت یکی از کشت‌های اصلی به‌حساب می‌آید. با توسعه روش‌های مختلف درون‌یابی، امکان برآورد مکانی نیاز آبی منطقه‌ای در سطوح گسترده فراهم شده است (جامعی و موسوی بیگی، ۱۳۹۲).

با توجه اهمیت منابع آبی استان خوزستان و تخصیص سهم عمده‌ای از آب‌های موجود به‌بخش کشاورزی، تبخیر و تعرق بالا در استان و اختصاص سطح وسیعی به کشت ذرت، پژوهش حاضر برای برنامه‌ریزی آبی گیاه ذرت در استان خوزستان جهت تبدیل داده‌های نقطه‌ای به منطقه‌ای انجام گرفت.

Mardikis et al. (2005) در پژوهشی به این نتیجه رسیدند که روش‌های زمین‌آماری با پهنه‌بندی مناسب می‌توانند تخمین صحیحی از توزیع مکانی را در پهنه‌ای وسیع به کمک تکنیک درون‌یابی به‌دست دهند.

Greets et al. (2006) در پژوهشی در بولیوی نقشه‌های تناسب اراضی برای تولید گیاه Guinoa را به‌دست آوردند. در این پژوهش یک بانک اطلاعاتی شامل داده‌های هواشناسی ۳۳-۲۰ ساله ۴۱ ایستگاه هواشناسی منطقه تهیه شد. تبخیر و تعرق، نیاز خالص آبیاری، طول فصل بارش، شدت خشکسالی فصلی و خطر یخ‌زدگی ماهانه بر روی هر یک از ایستگاه‌ها تعیین شد. سپس، داده‌های نقطه‌ای جمع‌آوری شد و به سامانه اطلاعات جغرافیایی انتقال یافته و درون‌یابی آن‌ها به روش کریجینگ معمولی انجام شد.

Casa and Castrignanob (2008) در تحقیقی که در شهر وتربو ایتالیا انجام دادند، رابطه بین خاک و متغیرهای محصول در زمین‌هایی که در آن کشت گندم انجام می‌شد با استفاده از روش‌های زمین‌آماری چند متغیره مورد بررسی قرار دادند و با اعمال روش کریجینگ بر روی خاک، گیاه و ویژگی‌های محصول متغیرهایی که ضریب تغییر متفاوتی داشتند شناسایی و آن دسته از متغیرها که ثبات بیشتری داشتند به‌عنوان مبنا برای مدیریت آب و خاک آن منطقه به‌کار گرفتند.

Lopezavriya et al. (2009) نیاز آبی کلم بروکلی را به روش لایسیمتری در آلبسیت اسپانیا به صورت کشت تابستانه مورد مطالعه قرار دادند. میزان آب مصرفی کلم بروکلی در دوره ۱۰۹ روزه کشت ۳۵۹ میلی‌متر برآورد شد.

محققان زیادی روش فائو پنمن مانیتث را به‌دلیل جامع بودن آن، به‌عنوان روشی مناسب در بیشتر مناطق دنیا پیشنهاد داده‌اند که حاصل آن در مطالعات Sun and Song (2008) و Gong et al. (2006) یافت می‌شود.

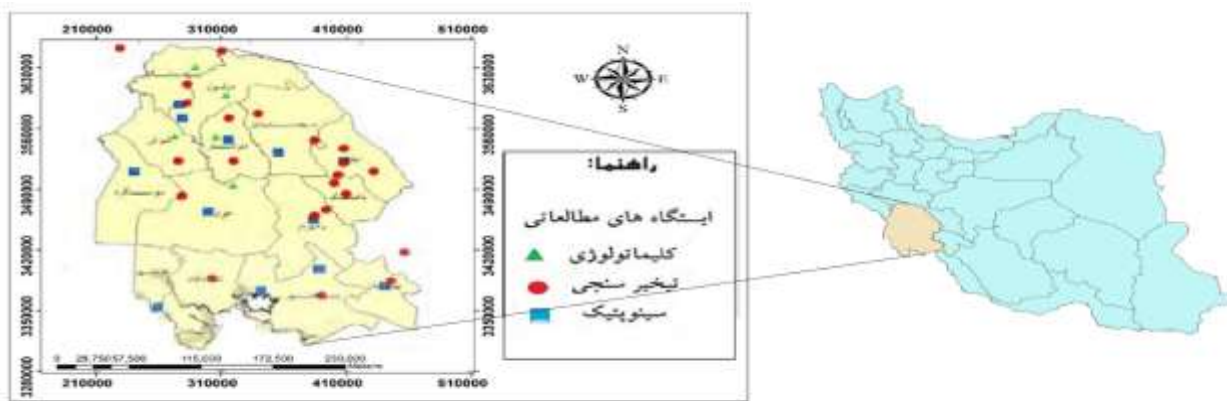
Alsamamra et al. (2009) پژوهشی در خصوص تحلیل مقایسه‌ای روش‌های کریجینگ معمولی و

است. این استان از شمال غربی با استان ایلام، از شمال با استان لرستان، از شمال شرقی و شرق با استان‌های چهارمحال و بختیاری و کهگیلویه و بویراحمد، از جنوب با خلیج فارس و از غرب با کشور عراق هم مرز است. برای پهنه‌بندی نیاز آبی در پژوهش حاضر از ایستگاه‌های مطالعاتی درون استان خوزستان استفاده شده که در شکل (۱) آرایش این ایستگاه‌ها مشخص شده است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

استان خوزستان با مساحتی حدود ۲۳۶۶۴ کیلومترمربع، بین ۴۷ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۹ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ و ۲۹ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۴ دقیقه عرض شمالی از خط استوا، در جنوب غربی ایران واقع شده



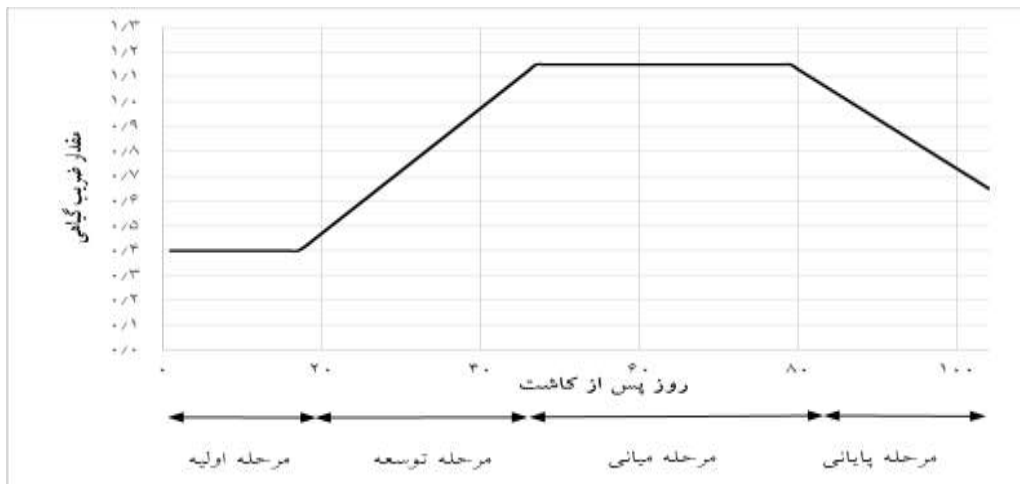
استان خوزستان

شکل (۱): موقعیت استان خوزستان و آرایش ایستگاه‌های مطالعاتی

شود. برای محاسبه نیاز آبی گیاه ذرت روش‌های مختلف برآورد این پارامتر بررسی و با داده‌های به‌دست آمده از لایسیمتر مقایسه و در نهایت روش مناسب انتخاب شد. سپس اطلاعات هواشناسی مورد نیاز برای همه‌ی ایستگاه‌های مطالعاتی جمع‌آوری و به‌صورت میانگین ۳۰ ساله (۱۳۹۴-۱۳۶۴) تنظیم گردید. سرانجام با استفاده از روش مناسب به‌دست آمده تبخیر و تعرق در هر ایستگاه محاسبه و با ضرب در ضریب گیاهی به نیاز آبی تبدیل گردید. شکل (۲) نمودار ضریب گیاهی ذرت که مورد استفاده قرار گرفته است را نشان می‌دهد.

### روش محاسبه نیاز آبی

در این پژوهش ذرت بهاره که دوره رشد آن از ۱۳ اسفند ماه تا ۲۵ خرداد است در سال ۹۴-۱۳۹۳ در لایسیمترهای مزرعه تحقیقاتی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز کشت شد. برای محاسبه نیاز آبی در هر ایستگاه از نرم افزار REF ET4.1 استفاده شد. این نرم‌افزار تبخیر و تعرق مرجع را می‌تواند به شکل ماهانه-روزانه-ساعتی یا کمتر محاسبه کند، ماهانه و روزانه به شکل میلی‌متر در روز یا اینچ در روز و برای کوتاه‌تر از ۲۴ ساعت به شکل میلی‌متر در ساعت و اینچ در ساعت می‌تواند تعیین



شکل (۲): مقادیر ضریب گیاهی ذرت در مراحل رشد (Allen et al, 1998)

روش‌های مختلفی وجود دارد که از مهم‌ترین آن‌ها روش اعتبار سنجی حذفی<sup>۶</sup> یا تقاطعی است. در این روش مقایسه‌ای میان نقاط اندازه‌گیری شده و مقادیر تخمینی با استفاده روش‌های مورد استفاده، صورت می‌گیرد. به این ترتیب که یک نقطه حذف شده و با استفاده از سایر نقاط و اعمال روش میان‌یابی مورد نظر، برای این نقطه تخمین صورت می‌گیرد.

سپس این نقطه به محل خود برگردانده می‌شود و نقطه بعدی حذف می‌شود و به همین ترتیب برای تمام نقاط برآورد صورت می‌گیرد، به طوری که در پایان دو ستون شامل مقادیر مشاهده‌ای و مقادیر برآورد شده وجود دارد که می‌توان به مقایسه آن‌ها پرداخت. برای ارزیابی میزان دقت و خطا میان مقادیر مشاهده‌ای و تخمینی معیارهای مختلفی نظیر مجموع مربعات باقی‌مانده، میانگین مربعات باقی‌مانده، استفاده از روش‌های مقایسه آماری نظیر آنالیز واریانس، کای اسکوار وجود دارد. در این پژوهش از ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)<sup>۷</sup> استفاده شده است.

### پهنه‌بندی به روش‌های ژئواستاتستیک (زمین آماری)

قبل از استفاده از تخمین‌گرهای زمین‌آماری، آزمون نرمال بودن داده‌ها بررسی شد و در صورت لزوم داده‌های غیر نرمال با کمک تبدیلات موجود، نرمال شدند. همچنین مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین هر کدام از داده‌ها مشخص شدند. سپس مدل تغییر نامی مناسب هر معیار انتخاب گردید. در واقع باید مدلی انتخاب شود که کمترین خطا و بیشترین انطباق با داده‌ها را داشته باشد. به منظور انتخاب مدل مناسب اقدام به اجرای کلیه مدل‌های تغییر نامی موجود در نرم‌افزار گردید و مناسب‌ترین مدل انتخاب گردید. روش‌های زمین‌آماری که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفتند عبارتند از: روش IDW، کریجینگ ساده<sup>۱</sup>، کریجینگ معمولی<sup>۲</sup>، کریجینگ لوگ نرمال<sup>۳</sup>، کریجینگ عمومی (جهانی)<sup>۴</sup>، کریجینگ با اکسترنال دریف<sup>۵</sup>.

### انتخاب روش مناسب زمین‌آماری

برای بررسی دقت هر روش و یا انتخاب پارامتر مناسب در آن‌ها نیاز به ارزیابی وجود دارد. در این زمینه

<sup>۱</sup> - Simple Kriging

<sup>۲</sup> - Ordinary Kriging

<sup>۳</sup> - Log-Normal Kriging

<sup>۴</sup> - Universal Kriging

<sup>۵</sup> - Kriging With External Drift

6- Cross-Validation

7-Root Mean Square Error

### پهنه‌بندی

پهنه‌بندی انجام شده در این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار ARC GIS 10.3 انجام پذیرفت. با مقایسه انواع مدل‌های کریجینگ و با بهترین نیم تغییرنا پهنه‌بندی برای نیاز آبی، صورت گرفت.

ابتدا داده‌های مورد نظر با مختصات مشخص وارد نرم‌افزار شد. برای انتخاب بهترین نیم تغییرنا و مدل پهنه بندی مدل نیم تغییرنا و کریجینگ مطلوب‌تر است که مقدار RMSE کمتری را از خود نشان دهد. در واقع روشی انتخاب می‌شود که کمترین میزان خطا را در پیش‌بینی خود داشته باشد.

با زمین مرجع کردن نقشه خوزستان هم‌چنین با درج موقعیت دقیق ایستگاه‌های مطالعاتی، با استفاده

از روش های زمین آماری پهنه بندی برای کل استان و در ماه‌های مختلف دوره کشت ذرت صورت گرفت.

### نتایج و بحث

یکی از اهداف پژوهش حاضر تعیین معادله مناسب برای برآورد نیاز آبی ذرت بهاره بود که بدین منظور تبخیر و تعرق با استفاده از معادله‌های فائو پنمن-مانتیت، هارگریوز-سامانی، بلینی-کریدل، تورک، ASCE و تشعشع محاسبه شد. سپس نتایج با داده‌های لایسیمتر مقایسه و معادله مناسب انتخاب شد که نتایج در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول (۱): مقادیر نیاز آبی گیاه ذرت در دهه‌های مختلف رشد

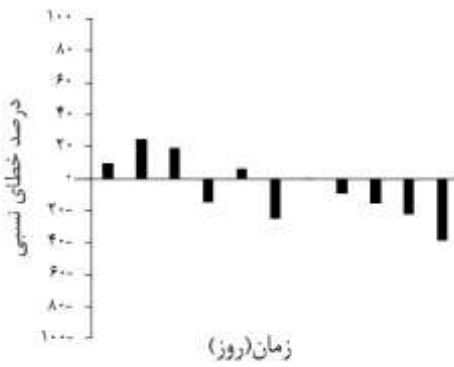
دهه	لایسیمتر	فائو پنمن مانتیث	هارگریوز -	بلینی کریدل (mm)	تورک	ASCE	تشعشع
۱	۱۹/۲۵	۱۴/۵۱	۱۰	۱۷/۳۸	۰۴/۲۹	۴۹۲/۱۱	۶۳/۱۳
۲	۱۸/۲۲	۱۱/۷۳	۹/۷	۱۳/۷۱	۷۳/۲۱	۶۷/۸	۹۸/۱۰
۳	۲۵/۶۵	۱۸/۸۹	۱۵/۵۸	۲۰/۶۷	۴۵/۱۹	۲۹۳/۱۵	۹۸/۱۴
۴	۴۰/۵۸	۷۸/۳۶	۲۹/۰۶	۴۶/۶۵	۳۲/۶۸	۳۲/۳۴	۷۱/۳۲
۵	۶۲/۳۶	۰۸/۴۳	۳۵/۶۳	۵۸/۶۸	۳۲/۷۶	۴۲/۳۹	۹۱/۴۴
۶	۵۴/۶۲	۰۵/۵۳	۴۷/۸۷	۷۸/۰۹	۹۵/۴۴	۷۱/۵۴	۴۶/۵۹
۷	۳۶/۷۰	۰۴/۴۹	۵۱/۹۲	۷۰/۹۳	۳۸/۳۸	۵۰/۵۰	۴۱/۵۶
۸	۱/۸۲	۸۴/۵۹	۶۲/۱۸	۸۹/۹۹	۹۵/۵۴	۰۴/۶۲	۳۵/۷۲
۹	۷۴/۳۲	۱/۶۵	۶۲/۲۸	۸۶/۰۶	۰۱/۶۸	۱۹/۶۸	۳۳/۷۸
۱۰	۶۲/۳۷	۲۶/۵۹	۶۰/۴۵	۷۶/۲۵	۸۶/۷۴	۶۳/۰۸	۸۱/۷۰
*۱۱	۱۹/۳۵	۳۵/۲۲	۱۹/۴۸	۲۶/۸۷	۷۷/۳۳	۳۳/۲۵	۹۹/۲۵
مجموع	۵۳۷/۱	۳۶۱/۴۳۹	۴۰۴/۱۵	۵۸۵/۲۷	۵۸/۴۵۰	۰۵۲/۴۳۶	۵۵/۴۸۰

\*در دهه ۱۱ به علت این که فقط چهار روز تا برداشت باقی‌مانده بود (دوره کشت ۱۰۴ روز)، مقدار نیاز کم به دست آمده است.

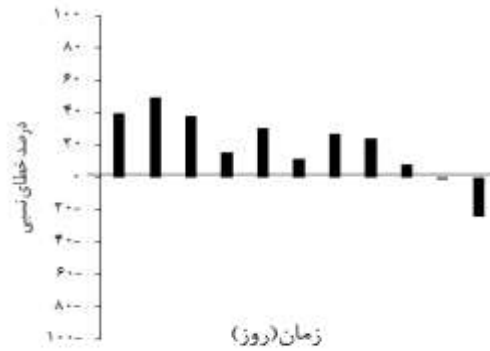
از معادله‌ها برآورد غیرمستقیم مقایسه شود که در این پژوهش از شاخص درصد خطای کل و درصد خطای نسبی استفاده شد. با توجه به این که حجم کل آب آبیاری در طول دوره کشت بسیار اهمیت دارد، معادله‌ای که بتواند کمترین خطا را با روش مشاهده‌ای (لایسیمتر) داشته باشد را می‌توان به‌عنوان معادله‌ای مطلوب و نزدیک‌ترین برآورد به مقدار مشاهده‌ای انتخاب نمود. در جدول (۲) مقادیر درصد خطای کل ارائه شده است. جدول (۲): مقادیر درصد خطای کل معادله‌های استفاده شده

همان‌گونه که در جدول (۱) مشاهده می‌شود در بین این معادله‌ها، معادله‌ی بلینی - کریدل با ۵۸۵/۲۷ میلی‌متر بیشترین و پس از آن معادله تشعشع با ۴۸۰/۵۵ میلی‌متر نیاز آبی قرار دارد. معادله هارگریوز - سامانی با ۴۰۴/۱۵ میلی‌متر، کمترین میزان نیاز آبی را نشان داده است. این اختلاف ناشی از متفاوت بودن پارامترهای ورودی در محاسبه تبخیر و تعرق برای هر معادله است. برای بررسی میزان دقت معادله‌های یاد شده هم‌چنین انتخاب معادله‌ی مناسب برآورد، باید نیاز آبی اندازه‌گیری شده به‌وسیله لایسیمتر با هر کدام

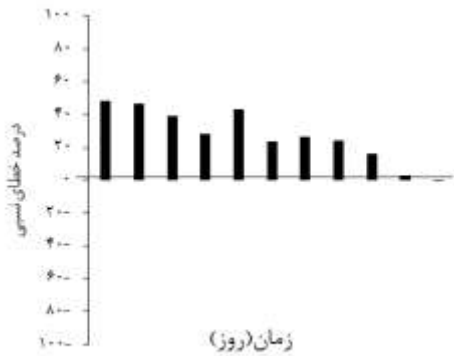
روش برآورد	لایسیمتر	فائو پنمن مانتیث	هارگریوز - سامانی	بلینی - کریدل	تورک	ASCE	تشعشع
مقدار کل تبخیر و تعرق (میلی‌متر)	۵۳۷/۱	۴۳۹/۳۶	۴۰۴/۱۵	۵۸۵/۲۷	۴۵۰/۵۸	۴۳۶/۰۵۲	۴۸۰/۵۵
درصد خطای کل (درصد)	۱۸/۱۹	۲۴/۷۵	۸/۹۶	۲۳/۸۲	۱۸/۸	۱۰/۵۲	



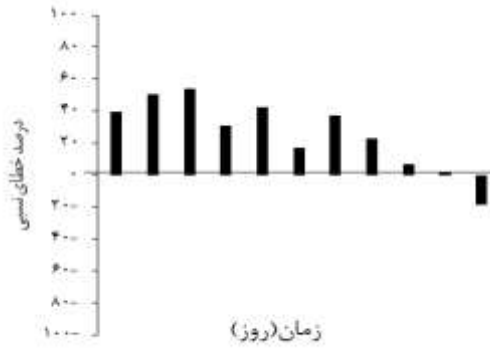
مطابق جدول (۲) معادله بلینی کریدل کمترین درصد خطای کل را نسبت به سایر روش‌ها دارا است. علاوه بر شاخص درصد خطای کل از شاخص درصد خطای نسبی نیز برای انتخاب معادله مناسب نیز استفاده شد. شکل (۲) مقدار خطای نسبی برای مدل‌های استفاده شده را نشان می‌دهد.



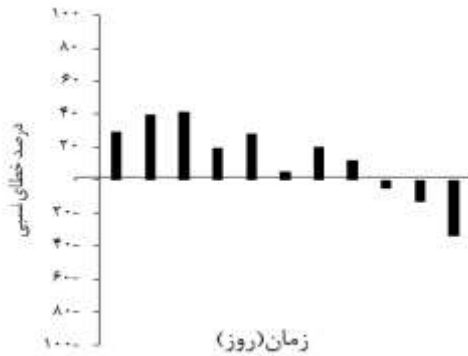
معدله بلینی - کریدل



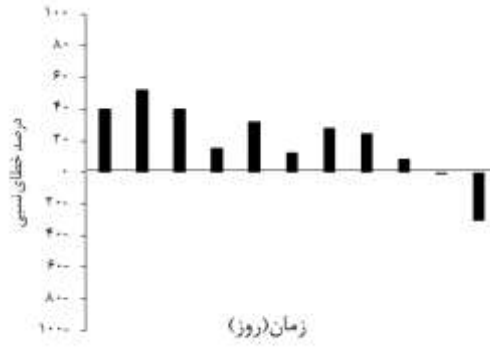
معدله فائو پنمن مانتیث



معدله هارگریوز - سامانی



معدله تورک



معدله ASCE

معدله تششع

شکل (۲): درصد خطای نسبی نیازآبی برآورد شده



مربوط به دهه دهم با خطای کمتر از چهار درصد می‌باشد.

شکل معادله تشعشع نشان می‌دهد که معادله تشعشع همواره برآوردهای کمتری نسبت به داده‌های لایسیمتری داشته‌است. فقط در سه دهه آخر بیش برآورد بوده است. بیشترین خطای نسبی مربوط به دهه سوم با حدود ۴۲ درصد خطا و کمترین مقدار مربوط به دهه ششم با خطای کمتر از شش درصد می‌باشد.

به طور کلی نتایج نشان دادند که معادله بلینی-کریدل مدل مناسب تری برای منطقه مورد مطالعه است. موسوی حسب و ناصری (۱۳۸۷) در پژوهشی بر گیاه نیشکر نیز در همین منطقه به نتایجی مشابه در مورد برتری معادله بلینی-کریدل برای برآورد نیاز آبی گیاه نیشکر رسیدند.

پس از تعیین معادله مناسب برآورد تبخیر و تعرق، در ماه‌های مختلف رشد گیاه ذرت مدل‌های نیم تغییر نما و مدل زمین آمار مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج در جدول (۳) ارائه شده است.

با توجه به شکل (۲) مشخص می‌شود که معادله بلانی کریدل در سه دهه اول برآورد کمتری نسبت به داده‌های لایسیمتری داشته است اما در دهه‌های پایانی مدل مقادیر بیشتری را محاسبه کرده یا به عبارتی بیش برآورد بوده است. از آنجایی که از پارامترهای ورودی این معادله رطوبت و دما است به نظر می‌رسد با تغییرات این دو عامل، مقدار خطا مثبت و منفی شده‌اند.

شکل معادله فائو پنمن مانتیث نشان می‌دهد که به استثنای دو دهه آخر همواره برآوردهای کمتری نسبت به داده‌های لایسیمتری داشته و به‌طور کلی کم برآورد بوده است. بیشترین خطای نسبی مربوط به دهه دوم با حدود ۵۰ درصد خطا و کمترین مقدار مربوط به دهه دهم می‌باشد. گرچه معادله فائو پنمن مانتیث معادله‌ای جامع یاد می‌شود ولی در این پژوهش مقادیر خطای نسبتاً زیادی از خود نشان داده است.

از شکل (۲) مشخص می‌شود که معادله هارگریوز-سامانی همواره برآوردهای کمتری نسبت به داده‌های لایسیمتری داشته و به‌طور کلی کم برآورد بوده است. بیشترین خطای نسبی مربوط به دهه دوم با حدود ۴۹ درصد خطا و کمترین مقدار مربوط به دهه دهم می‌باشد. این معادله بر مبنای اطلاعات دمایی استوار است و به نظر می‌رسد این معادله کلیه پارامترهای دخیل در برآورد نیاز آبی را در نظر نمی‌گیرد، مقادیر خطا بیان‌گر همین مسئله است.

شکل معادله تورک نشان می‌دهد که این معادله همواره برآوردهای کمتری نسبت به داده‌های لایسیمتری داشته است. بیشترین خطای نسبی مربوط به دهه سوم با حدود ۵۸ درصد خطا و کمترین مقدار مربوط به دهه دهم با خطای کمتر از سه درصد می‌باشد.

شکل (۲) نشان می‌دهد که معادله ASCE پنمن مانتیث همواره برآوردهای کمتری نسبت به داده‌های لایسیمتری داشته است. فقط در دو دهه آخر بیش برآورد بوده است. ولی بیشترین خطای نسبی مربوط به دهه دوم با حدود ۵۲ درصد خطا و کمترین مقدار

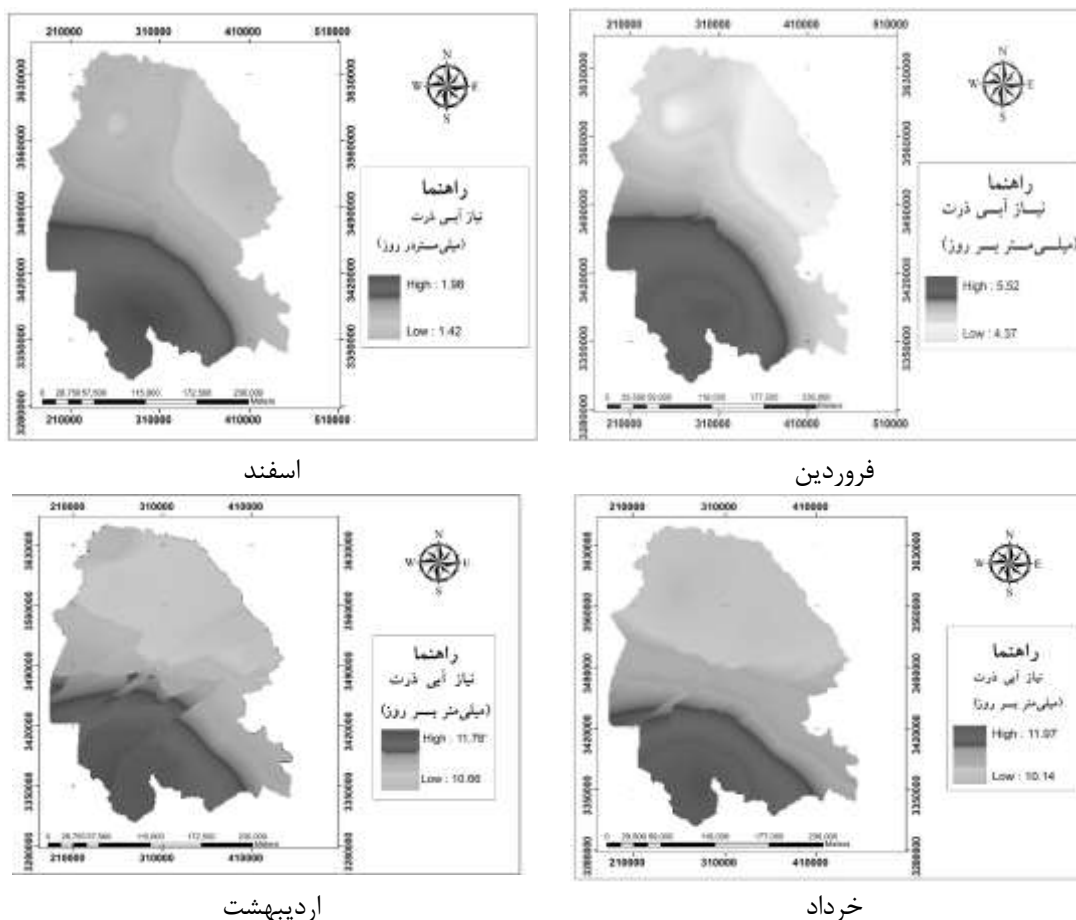
جدول (۳): مقادیر ریشه میانگین مربعات خطای روش‌های مختلف کریجینگ در پیش‌بینی نیاز آبی

نام روش درون‌یابی	RMSE			
	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد
Inverse Distance Weighting (IDW)	۰/۱۵	۰/۲۲	۰/۶۲	۰/۶۵
Ordinary Kriging (Circular)	۰/۱۲	۰/۱۸	۰/۵۲	۰/۵۶
Ordinary Kriging (Spherical)	۰/۱۱	۰/۱۸	۰/۴۹	۰/۵۲
Ordinary Kriging (Tetraspherical)	۰/۱۱	۰/۱۸	۰/۵۱	۰/۵۳
Ordinary Kriging (Pentaspherical)	۰/۱۳	۰/۱۸	۰/۵۱	۰/۵۵
Ordinary Kriging (Exponential)	۰/۱۲	۰/۱۷	۰/۵۵	۰/۵۷
Ordinary Kriging (Gaussian)	۰/۱۱	۰/۱۷	۰/۵۱	۰/۵۱
Ordinary Kriging (Rational Quadratic)	۰/۱۳	۰/۱۸	۰/۴۹	۰/۵۲
Ordinary Kriging (Hole Effect)	۰/۱۲	۰/۱۹	۰/۵۳	۰/۵۳
Ordinary Kriging (K-Bessel)	۰/۱۲	۰/۱۹	۰/۵۵	۰/۵۵
Ordinary Kriging (J-Bessel)	۰/۱۱	۰/۱۸	۰/۵۱	۰/۵۱
Ordinary Kriging (Stable)	۰/۱۲	۰/۱۸	۰/۴۹	۰/۵۲
Simple Kriging (Circular)	۰/۰۸	۰/۱۷	۰/۴۶	۰/۴۹
Simple Kriging (Spherical)	۰/۱۱	۰/۱۸	۰/۵۰	۰/۵۰
Simple Kriging (Tetraspherical)	۰/۱۲	۰/۱۹	۰/۴۹	۰/۵۱
Simple Kriging (Pentaspherical)	۰/۱۲	۰/۱۸	۰/۵۱	۰/۵۴
Simple Kriging (Exponential)	۰/۱۱	۰/۱۹	۰/۵۰	۰/۴۹
Simple Kriging (Gaussian)	۰/۱۰	۰/۱۷	۰/۴۸	۰/۴۹
Simple Kriging (Rational Quadratic)	۰/۱۲	۰/۱۷	۰/۴۹	۰/۵۰
Simple Kriging (Hole Effect)	۰/۱۲	۰/۱۸	۰/۵۰	۰/۵۱
Simple Kriging (K-Bessel)	۰/۱۱	۰/۱۹	۰/۴۹	۰/۵۴
Simple Kriging (J-Bessel)	۰/۱۲	۰/۱۸	۰/۵۱	۰/۵۲
Simple Kriging (Stable)	۰/۱۰	۰/۱۹	۰/۵۰	۰/۵۵
Universal Kriging (Circular)	۰/۱۳	۰/۱۸	۰/۵۱	۰/۵۱
Universal Kriging (Spherical)	۰/۱۴	۰/۱۹	۰/۵۴	۰/۵۴
Universal Kriging (Tetraspherical)	۰/۱۱	۰/۲	۰/۵۰	۰/۵۳
Universal Kriging (Pentaspherical)	۰/۱۲	۰/۱۹	۰/۵۶	۰/۵۰
Universal Kriging (Exponential)	۰/۱۲	۰/۱۸	۰/۵۲	۰/۵۱
Universal Kriging (Gaussian)	۰/۱۱	۰/۱۹	۰/۵۵	۰/۵۴
Universal Kriging (Rational Quadratic)	۰/۱۲	۰/۱۹	۰/۵۶	۰/۵۳
Universal Kriging (Hole Effect)	۰/۱۲	۰/۲	۰/۵۷	۰/۵۰
Universal Kriging (K-Bessel)	۰/۱۳	۰/۱۹	۰/۵۲	۰/۵۲
Universal Kriging (J-Bessel)	۰/۱۲	۰/۱۸	۰/۵۱	۰/۵۱
Universal Kriging (Stable)	۰/۱۲	۰/۱۹	۰/۵۲	۰/۵۰

این که نقاط را با کمترین خطا پیش‌بینی کرده است می‌تواند به عنوان روش مطلوب در نظر گرفته شود. در این قسمت نتایج به‌دست آمده با یافته‌های توانا و همکاران (۱۳۹۰) مطابقت دارد.

پس از تعیین مدل مناسب پهنه‌بندی انجام شد. شکل (۳) پهنه‌بندی نیاز آبی ذرت در ماه‌های کشت در استان خوزستان را نشان می‌دهد

با توجه به مقادیر RMSE به‌دست آمده مشخص می‌شود روش Simple Kriging با مدل نیم تغییر نمای Circular در تمامی ماه‌ها مدلی مطلوب به حساب می‌آید. مقدار RMSE این مدل برای ماه اول ۰/۰۸ برای ماه دوم ۰/۱۷، برای ماه سوم ۰/۴۶ و برای ماه چهارم ۰/۴۸ است. نیم تغییرنمای مشخص شده به دلیل این که برازشی بهتری بر داده‌ها داشته، خطای کمتری را دارا است. روش کریجینگ ساده نیز به دلیل



شکل (۳): پهنه بندی نیاز آبی ذرت

در ماه دوم کشت (فروردین) کمترین میزان نیاز آبی در مناطق شمال و شمال شرقی استان و حداکثر آن در نواحی جنوبی و جنوب غرب به‌وقوع پیوسته‌است که علت آن کاهش عرض جغرافیایی از شمال به جنوب بوده است. بیشترین میزان نیاز آبی در این ماه در استان خوزستان ۵/۵۲ میلی‌متر بر روز و کمترین نیاز آبی ۴/۳۷ میلی‌متر بر روز بوده است.

در ماه اول کشت (اسفند) کمترین میزان نیاز آبی در مناطق شمال و شمال شرقی استان و حداکثر آن در نواحی جنوبی و جنوب غرب به‌وقوع پیوسته است که علت آن کاهش عرض جغرافیایی از شمال به جنوب بوده است. بیشترین میزان نیاز آبی در این ماه در استان خوزستان ۱/۹۸ میلی‌متر بر روز و کمترین نیاز آبی ۱/۴۲ میلی‌متر بر روز بوده است.

- مقادیر پایین RMSE روش‌های پهنه‌بندی نشان‌گر مطلوبیت پهنه‌بندی نیاز آبی بوده است.

ماه سوم به دلیل رشد حداکثری گیاه و وجود بیشینه‌ی ضریب گیاهی، نیاز آبی گیاه به حداکثر خود می‌رسد. در این ماه در استان بیشترین میزان نیاز آبی روزانه گیاه ۱۱/۷۸ میلی‌متر و کمتر نیاز آبی روزانه گیاه ۱۰/۶۶ میلی‌متر است. این تغییرات از شمال به جنوب افزایشی می‌باشد. همچنین تغییرات نیاز آبی گیاه ذرت در خرداد ماه در استان از ۱۰/۱۴ تا ۱۱/۹۷ میلی‌متر بر روز است.

به طور کلی یافته‌های این قسمت با با نتایج جامعی و موسوی بیگی (۱۳۹۲) مطابقت دارد

### نتیجه گیری

در مقاله حاضر به منظور تعیین معادله مناسب برای برآورد نیاز آبی ذرت در استان خوزستان از روش مقایسه لایسیمتری و معادله‌های موجود استفاده، سپس از روش‌های زمین آمار جهت پهنه‌بندی نیاز آبی ذرت در استان خوزستان استفاده گردید و نتایج زیر به صورت خلاصه به‌دست آمد.

- مقایسه نتایج به‌دست آمده از لایسیمترهای مورد مطالعه و روش‌های برآورد نیاز آبی ذرت نشان داد که به‌ترتیب روش بلینی-کریدل و فائو پنمن مانیت به‌عنوان معادله‌های مناسب برای برآورد نیاز آبی در منطقه می‌باشند. لذا روش بلینی- کریدل مبنای پهنه‌بندی نیاز آبی در منطقه قرار گرفت.

- پهنه‌بندی نیاز آبی در منطقه مورد نظر نشان داد که در اسفند بیشترین نیاز آبی ۱/۹۸، فروردین ۵/۵۲، اردیبهشت ۱۱/۷۸ و خرداد ۱۱/۹۷ میلی‌متر در روز بوده است.

- نقشه‌های پهنه بندی نشان دادند که نواحی جنوبی استان نسبت به نواحی شمالی همچنین ماه‌های انتهایی نسبت به ماه ابتدایی نیاز آبی بیشتری را در دوره کشت نشان می‌دهد. این امر ناشی از افزایش دما و کاهش عرض جغرافیایی می‌تواند باشد. همچنین تغییرات میزان نیاز آبی از غرب به شرق استان به‌دلیل شرایط توپوگرافی استان خوزستان بوده است.

## منابع

- توانا، ا.، ع.، ر. هوشمند و ح. فتحیان. ۱۳۹۰. پهنه بندی تبخیر- تعرق مرجع منطقه ای با استفاده از تخمین-گرهای زمین آماری و GIS (مطالعه موردی استان خوزستان). اولین کنفرانس ملی هواشناسی و مدیریت آب کشاورزی، تهران، دانشگاه تهران، گروه مهندسی آبیاری.
- جامعی، م و م. موسوی بیگی. ۱۳۹۲. برآورد مکانی و پهنه بندی تبخیر و تعرق مرجع در استان خوزستان. مجله جغرافیا و توسعه ناحیه ای. شماره بیست و یکم، ۴۲-۲۳.
- حسنی پاک، ع.، ا. ۱۳۹۲. زمین آمار (ژئواستاتستیک). چاپ چهارم. انتشارات دانشگاه تهران، ۳۱۴ صفحه.
- زارع ابیانه، ح.، م. بیات ورشکی و ع.، ا. سبزی پرور. ۱۳۸۹. ارزیابی روش های مختلف برآورد تبخیر تعرق گیاه مرجع و پهنه بندی آن در ایران. پژوهش های جغرافیای طبیعی. شماره ۷۴، صص ۹۵-۱۱۰.
- شعبانی، م. ۱۳۸۸. ارزیابی کاربرد روش های زمین آمار در پهنه بندی شدت های خشکسالی استان فارس، مهندسی آب، سال دوم، صص ۳۶-۳۱.
- شهبابی فر، م.، م. کوچک زاده، م. محمدزاده و س.، م. میر لطیفی. ۱۳۸۳. استفاده از روش های زمین آماری در تعیین نیاز آبی چغندر قند استان تهران. مجله چغندر قند. جلد ۲۰، شماره ۲، صص ۱۳۳-۱۴۷.
- کمالی، م.، ا. ۱۳۹۰. برنامه ریزی آبیاری گندم با استفاده از زمین آمار و سامانه اطلاعات جغرافیایی. مجله پژوهشی آب در کشاورزی، جلد ۲۵، شماره ۲.
- موسوی حسب، ر. و ناصری، ع. ع. ۱۳۸۷. اندازه گیری نیاز آبی واقعی نیشکر و مقایسه آن با نرم افزار - REF ETدر جنوب اهواز جهت تعیین فرمول مناسب برای برنامه ریزی آبیاری. دومین همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی. اهواز، دانشگاه چمران.
- نورمحمدی، ق.، س.، ع. سیادت و ع. کاشانی. ۱۳۸۰. زراعت غلات، جلد اول، چاپ چهارم.
- Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration (Guidelines for Computing Crop Water Requirements). Irrigation and Drainage paper, No. 56. FAO. Rome.
- Alsamamra, H., J. A. Ruiz-Arias, D. Pozo-Vázquez and J. Tovar-Pescador. 2009. A comparative study of ordinary and residual kriging techniques for mapping solar radiation over southern Spain. Agricultural and Forest Meteorology, No. 149, pp. 1343 – 1357.
- Casa, R and A. Castrignanob. 2008. Analysis of spatial relationships between soil and crop variables in a durum wheat field using a multivariate geostatistical approach. European Journal of Agronomy, Vol. 28, No. 3, pp. 331-342.
- Feki, H., B. Hatem and M. Slimani. 2015. Climatic variables mapping using geostatistics in semi-arid region: case study of Tunisia. Geoin for Geostat: An Overview. pp. 15-22.
- Gong, L., Xu. Chong-yu, D., Chen, S., Halldin and Y. D. Chen. 2006. Sensitivity of the Penman-Monteith reference evapotranspiration to key climatic variables in the Changjiang (Yangtze River). Basin Journal of Hydrology, 329, pp. 620- 629.
- Greets, S., D., Raes, M. Garcia, C. D., Castillo and W. Buytaert. 2006. Agro-Climatic suitability mapping for crop production in the Bolivian Altiplano a case study for quinoa. Agricultural and Forest Meteorology, No.139, pp. 399-412.
- Lopez-urrea, R., A. Montoro, P., Lopez-fuster and E., Feres. 2009. Evapotranspiration and responses to irrigation of broccoli, Agricultural Water Management. Vol 96, No. 7, pp. 1155-1161.

Mardakis, M.G., D. P., Kalivas and V. J., Kollias. 2005. Comparison of interpolation methods for the prediction of reference evapotranspiration-an application in Greece. *Water Resource Management*, No.19, pp. 251–278.

Savva, A.P. and K. Frenken. 2002. Crop water requirements and irrigation scheduling, water resources development and management officers. FAO Sub-Regional Office for East and Southern Africa.

Sun, L. and Ch. Song. 2008. Evapotranspiration from a freshwater marsh in the Sanjiang plain, Northeast China. *Journal of Hydrology*, 352, pp. 202– 210.

## Evaluation Spatial and Temporal Distribution of Maize Water Requirement Using Geostatistical Methods in Khuzestan Province

Yasin Baladi<sup>1</sup>, Zahra Ezadpanah<sup>2</sup>, Mona Golabi<sup>3</sup> and Mohammad Albaji<sup>4</sup>

### Abstract

Maize cultivation is considered as one of the main crops in the Khuzestan province. Mostly, in planning water requirement is calculated as a point, while irrigation is preformed locally. Therefore, this data must be converted from the spot to the region. In this research, in order to determination irrigation scheduling in Khuzestan province were planted spring Maize in lysimeter at the Faculty of Water Sciences Engineering of Shahid Chamran University of Ahvaz. The aim of this cultivation were compared between the current methods of determination of water requirement and lysimetric method and determine the appropriate equation. The results showed that the Blaney-Criddle equation is the best method to estimation evapotranspiration in case study area. After determining the appropriate equation of water requirement, mention equation and meteorological data were used for zoning Maize water requirement with geostatistical methods. The zoning was performed using ARC GIS 10.3. First, the data were normalized. Then, according to the lowest RMSE were selected the best semi variogram and zoning model. The results show that simple kriging with circular semi-circular model in all months is considered optimal model. RMSE value of this model was calculated, the amount of it was 0.08, 0.17, 0.46 and 0.48 for March, April, May and June. The result of water requirement zoning showed that this parameter in south is more than north of Khuzestan province. Also, the amount of water requirement in last months is more than first months. During the study period (from March to June), water requirement was 1.98, 5.52, 11.78 and 11.97 (mm/day) monthly. Small amounts of RMSE was indicated the optimum of water requirement zoning.

**Key words:** Kriging method, Geostatistics, Semi variogram, Water requirement

<sup>1</sup> - Shahid Chamran University of Ahvaz/ Faculty of Water Science Engineering/ Irrigation and Drainage Department; [yasinbaladi@yahoo.com](mailto:yasinbaladi@yahoo.com)

<sup>2</sup>- Shahid Chamran University of Ahvaz/ Faculty of Water Science Engineering/ Irrigation and Drainage Department; [z.ezadpanah@scu.ac.ir](mailto:z.ezadpanah@scu.ac.ir)

<sup>3</sup>- Shahid Chamran University of Ahvaz/ Faculty of Water Science Engineering/ Irrigation and Drainage Department; [m.golabi@scu.ac.ir](mailto:m.golabi@scu.ac.ir)

<sup>4</sup>- Shahid Chamran University of Ahvaz/ Faculty of Water Science Engineering/ Irrigation and Drainage Department; [m.albaji@scu.ac.ir](mailto:m.albaji@scu.ac.ir)