

تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی نیاز آبی سویا در استان مازندران

محمد اسماعیل کمالی^۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۶/۱۰

چکیده

با توجه به کشت سویا در فصول گرم سال و ضرورت تامین آب برای آن، در این تحقیق تهیه نقشه نیاز آبی سویا در استان مازندران مدنظر قرار گرفت. اطلاعات مورد نیاز شامل داده‌های اقلیم، گیاه و منطقه مورد مطالعه در محیط GIS جمع‌آوری شد. تبخیر-تعرق مرجع به روش فائو-پنمن-مانتیت و با استفاده از داده‌های ۵۱ ایستگاه هواشناسی محاسبه شد. با تعیین نمودار ضریب گیاهی در مراحل مختلف رشد، نیاز آبی در دوره‌های ۱۰ روزه بدست آمد. پس از انجام آنالیز روند و ناهمسانگردی، تابع رفتاری داده‌ها با محاسبه نیم‌تغییرنمای تجربی و برازش مدل‌های نیم‌تغییرنمای تعیین شد. درون‌یابی داده‌ها با استفاده از روش‌های مختلف زمین‌آماری و قطعی انجام شد. خطای درون‌یابی بر اساس شاخص‌های ریشه میانگین مربع خطا (RMSE) و ریشه میانگین مربع خطای استاندارد شده (RMSSE) حاصل از ارزیابی متقابل بدست آمد. نقشه‌ها نشان دادند که بیش‌ترین میزان نیاز آبی در مردادماه و ۴/۴۵ تا ۵/۲۶ میلی‌متر در روز است. مجموع نیاز آبی ۵۱۱ تا ۶۱۳ میلی‌متر بدست آمد که در مناطق غربی ۵۱۱ تا ۵۶۰ و در مناطق شرقی در بخش‌های شمالی ۵۶۰ تا ۵۸۰، بخش‌های مرکزی ۵۸۰ تا ۵۹۵ و بخش‌های جنوبی ۵۹۵ تا ۶۱۳ میلی‌متر می‌باشد. نتایج با مقادیر سند ملی و کتاب مرجع اختلاف معنی‌داری داشته است.

واژه‌های کلیدی: تغییرات مکانی، سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، سویا، کریجینگ معمولی، نیم‌تغییرنما

مقدمه

مستقیم، اصولاً از روش غیرمستقیم جهت محاسبه نیاز آبی در برنامه‌ریزی‌های آبیاری استفاده می‌شود (شریفان و قهرمان، ۱۳۸۵). اما در هر کدام از روش‌های مذکور، نیاز آبی به‌صورت نقطه‌ای یا محلی بدست می‌آید. لذا فقط در موقعیت اندازه‌گیری قابل‌قبول هستند و به دلیل تغییرات اقلیمی در سطح یک منطقه، با فاصله گرفتن از آن نقطه، از میزان دقت آن‌ها کاسته می‌شود. در نتیجه جهت بسط داده‌های نقطه‌ای نیاز آبی به سطوح وسیع و برآورد میزان آن در نقاط فاقد داده، از روش‌های درون‌یابی استفاده می‌شود. در گذشته درون‌یابی با استفاده از روش‌های آمار کلاسیک، میانگین حسابی و رگرسیونی انجام می‌گرفت که این روش‌ها سریع و آسان می‌باشند. اما در نظر نگرفتن موقعیت داده‌ها و همبستگی مکانی آن‌ها، باعث ایجاد خطا در انجام درون‌یابی می‌شود. از این‌رو درون‌یابی بر اساس آنالیز مکانی داده‌ها پیشنهاد شد (Matheron., 1963). آنالیز مکانی به دو صورت روش‌های قطعی و روش‌های زمین‌آمار می‌باشد. روش‌های قطعی بر اساس تعیین سطح از نقاط نمونه‌گیری شده و بر پایه شباهت‌ها (مانند روش وزن‌دهی عکس فاصله) یا درجه هموارسازی (مانند توابع پایه شعاعی، چند جمله‌ای سراسری و چند جمله‌ای موضعی) انجام می‌شود. همچنین بعضی از روش‌های قطعی مانند

با توجه به مصرف زیاد آب در بخش کشاورزی، جهت دستیابی به بهره‌وری مناسب آب، اعمال برنامه‌ریزی آبیاری برای گیاهان الزامی است. برای این منظور تعیین نیاز آبی گیاه و تهیه نقشه‌های توزیع مکانی نیاز آبی برای سطوح وسیع امری ضروری است. نیاز آبی یک گیاه اصولاً برابر تبخیر - تعرق گیاه در نظر گرفته می‌شود که یکی از مولفه‌های اصلی بیلان آب است. نیاز آبی به دو روش مستقیم و غیرمستقیم برآورد می‌گردد. در روش مستقیم نیاز آبی را می‌توان به‌صورت مستقیم و با استفاده از دستگاه‌هایی مانند لایسیمتر و یا قانون بیلان رطوبتی خاک به‌دست آورد. در روش غیرمستقیم نیز نیاز آبی از روش دو مرحله‌ای فائو بدست می‌آید که حاصل ضرب ضریب گیاهی محصول (Kc) در تبخیر-تعرق مرجع (ET₀) می‌باشد (Allen et al., 1990). ضریب گیاهی بر اساس ویژگی‌های گیاهی به‌دست می‌آید و به نوع محصول بستگی دارد. ولی ET₀ با استفاده از داده‌های اقلیمی به‌دست می‌آید که در ایستگاه‌های هواشناسی اندازه‌گیری می‌شوند. با توجه به زمان بر بودن و پرهزینه بودن روش

^۱ پژوهشگر پسا دکتری، گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد

یکی از عواملی که کیفیت بذر سویا را تحت تاثیر قرار می‌دهد، تنش آبی است (Wilcox and Frankenberger., 1987). در تحقیقی با اعمال تنش در مراحل مختلف رشد سویا مشخص شد که تنش در هر مرحله رشد باعث کاهش معنی‌دار عملکرد محصول می‌شود (Abayomi., 2008). مهمترین عامل پایین بودن عملکرد سویا در مازندران نیز عدم توجه به مسائل به‌زراعی آن از جمله برنامه‌ریزی آبیاری مناسب و اعمال آب مناسب در مراحل حساس رشد بیان شده است (اکبری نودهی، ۱۳۹۱). با توجه به کشت و رشد سویا در فصول گرم سال، نیاز به آب یکی از مسائل مهم کشت این محصول می‌باشد. لذا هدف این تحقیق تهیه نقشه‌های توزیع مکانی نیاز آبی سویا در اراضی زراعی استان مازندران با استفاده از روش‌های مختلف درونیابی بود تا با استفاده از آن بتوان نیاز آبی این محصول را در نقاط فاقد داده بدست آورد. همچنین روش‌های مختلف درونیابی و نیز مقادیر ارائه شده نیاز آبی سویا در منابع موجود مورد ارزیابی و مقایسه قرار گیرند. در این راستا جهت تهیه نقشه‌های نیاز آبی محصولات مختلف، نقشه‌های تبخیر-تعرق مرجع در استان گلستان با استفاده از روش‌های درونیابی وزن‌دهی عکس فاصله، کریجینگ و کوکریجینگ بدست آمده است (گنجی زاده و همکاران، ۱۳۹۲). آن‌ها مقادیر تبخیر و تعرق روزانه را برای ایستگاه‌های سینوپتیک استان گلستان در ۳ سال به‌طور انتخابی از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۰ با ۵ روش پنمن-ماتیت-فائو، پنمن اصلاح‌شده، هارگریوز-سامانی، بلانی-کریدل و تورک محاسبه کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که در تعیین ET_0 روش بلانی-کریدل و از بین روش‌های درونیابی، روش کریجینگ بر اساس ریشه میانگین مربعات خطای کم‌تر، از صحت بالاتری برخوردار بود. همچنین پهنه‌بندی ET_0 در مناطق مختلف ایران با استفاده از روش کریجینگ و داده‌های اقلیمی ۹۱ ایستگاه هواشناسی انجام شد (زارع ایبانه و همکاران، ۱۳۸۹). در این تحقیق ابتدا مناطق هم‌اقلیم گروه‌بندی شدند. سپس ET_0 بر اساس اطلاعات اقلیمی هر یک از ایستگاه‌ها به کمک نرم‌افزار Ref-ET به ۱۳ روش محاسبه شد. نتایج نشان داد که روش‌های بر پایه پنمن در اکثر مناطق ایران مناسب‌ترین روش برای برآورد ET_0 به شمار می‌روند. همچنین میزان ET_0 در ۲۳ درصد از سطح ایران که در مناطق مرتفع شمال کشور قرار دارند، کم‌تر از ۴/۴۸ میلی‌متر در روز است و در ۷۷ درصد از سطح کشور در پهنه ET_0 بیش از این مقدار و تا آستانه ۱۰/۷ میلی‌متر در روز قرار دارد. از تحقیقات دیگری که در این زمینه انجام شده است می‌توان به تهیه نقشه‌های تبخیر-تعرق مرجع استان خوزستان با استفاده از روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ (توانا و همکاران، ۱۳۹۰)، تهیه نقشه‌های تبخیر-تعرق مرجع در حوضه آبخیز دریاچه نمک با استفاده از روش‌های زمین‌آماري (وفاخواه و همکاران، ۱۳۸۸)، برآورد مکانی و زمانی نیاز آبی گندم در دوره‌های آبی مختلف

روش درونیابی چندجمله‌ای سراسری (GPI)^۱ از کل داده‌ها برای درونیابی استفاده می‌کنند. درحالی‌که روش‌های دیگر مانند روش‌های درونیابی چندجمله‌ای موضعی^۲ (LPI)، وزن‌دهی عکس فاصله^۳ (IDW) و توابع پایه شعاعی^۴ (RBF) فقط از داده‌های موجود در یک همسایگی برای درونیابی استفاده می‌کنند. روش‌های درونیابی قطعی تنها قادر به مدل‌سازی تغییرات ساختاری بوده و در پردازش تغییرات تصادفی ناتوان می‌باشند. اما روش‌های زمین‌آماري مانند انواع کریجینگ، خواص آماری نقاط نمونه‌گیری شده را در نظر گرفته و علاوه بر تغییرات ساختاری و همبستگی مکانی، از فرایندهای تصادفی جهت مدل‌سازی استفاده می‌نمایند (Johnston et al., 2003). عیوضی و مساعدی، (۱۳۹۰). زمین‌آمار شامل روش‌های مختلف کریجینگ است. کریجینگ یک تابع خطی از داده‌های مشاهده‌ای در همسایگی نقطه مورد تخمین است. این روش به‌عنوان بهترین تخمین گر خطی نا اریب با کم‌ترین واریانس شناخته می‌شود. اگر میانگین داده‌های جامعه آماری ثابت و برابر با میانگین کل باشد، از روش کریجینگ ساده استفاده می‌شود و اگر میانگین داده‌ها مشخص نباشد، از روش کریجینگ معمولی استفاده می‌شود. روش کوکریجینگ نیز یکی از روش‌های زمین‌آماري و همانند روش کریجینگ معمولی است با این تفاوت که روش کوکریجینگ با استفاده از متغیر دیگری که از آن به‌خوبی نمونه‌گیری شده است (به‌عنوان داده کمکی) و با داده اصلی همبستگی مناسبی دارد، درونیابی را انجام می‌دهد. اگر بین متغیر اصلی و متغیر فرعی همبستگی خوبی برقرار باشد، دقت این روش نسبت به روش کریجینگ معمولی افزایش می‌یابد.

از طرفی دیگر مصرف سرانه روغن در کشور ۱۷ کیلوگرم است که فقط ۵ درصد آن در داخل تولید می‌شود و بقیه از طریق واردات تامین می‌شود. بنابراین، برنامه‌ریزی و تحقیق برای توسعه کشت دانه‌های روغنی به‌خصوص سویا در هر منطقه ضروری است (اسدی و فرجی، ۱۳۸۸). سویا یکی از بقولات است که از منابع عمده روغن و پروتئین گیاهی در دنیا به شمار می‌رود (قربان زاده نقاب و همکاران، ۱۳۹۲). سویا دارای ۱۵ تا ۲۵ درصد روغن و ۳۰ تا ۴۵ درصد پروتئین می‌باشد (Weiss., 2000) که از نظر پروتئین میزان آن بیش از سایر دانه‌های روغنی مانند کلزا، آفتابگردان، کنجد و بادام زمینی است. آمار سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ نشان می‌دهد که سطح زیر کشت سویا در استان مازندران بیش از ۶ هزار هکتار می‌باشد (قلی زاده و همکاران، ۱۳۹۵). غالب کشت سویا در استان مازندران نیز در نیمه شرقی استان حد فاصل بابلسر تا گلوگاه می‌باشد (قلی زاده و همکاران، ۱۳۹۵).

- 1- Global Polynomial Interpolator
- 2- Local Polynomial Interpolator
- 3- Inverse Distance Weighted
- 4- Radial Basis Functions

کشت و برداشت آن‌ها یکسان می‌باشد. در زمینه نیاز آبی محصولات کشاورزی ۲ مرجع در ایران وجود دارد که سند ملی آب (بی‌نام، ۱۳۷۸) و کتاب مرجع "برآورد آب موردنیاز گیاهان عمده زراعی و باغی کشور" (فرشی و همکاران، ۱۳۷۶) می‌باشد که نیاز آبی سویا در این مراجع به ترتیب فقط برای ۶ و ۳ منطقه در مازندران ارائه شده است. در این تحقیق برای برآورد نیاز آبی گیاهان از روش دو مرحله‌ای فائو استفاده گردید. در این روش ابتدا با استفاده از داده‌های اقلیمی موثر در تبخیر - تعرق، نیاز آبی سطح مرجع چمن (ET₀) که در حقیقت بیانگر قدرت تبخیرکنندگی هوا می‌باشد، برآورد می‌شود و سپس با معرفی ضریب گیاهی مناسب، نیاز آبی گیاه تعیین می‌گردد (Allen et al., 1990). لذا بانک اطلاعاتی جامعی از شرایط گیاه و اقلیم در محیط یک سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) تشکیل و از آن برای ایجاد لایه‌های موضوعی موردنیاز استفاده شد. در لایه اقلیم یک پایگاه داده از داده‌های اقلیمی شامل دمای بیشینه، دمای کمینه، دمای میانگین، سرعت باد، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی، طول جغرافیایی و عرض جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی موجود در استان تهیه گردید. در کل داده‌های ۱۰ ساله بین سال‌های ۱۳۸۹-۱۳۸۰ مربوط به ۵۱ ایستگاه هواشناسی مدنظر قرار گرفت که شامل ۹ ایستگاه سینوپتیک، ۱۱ ایستگاه کلیماتولوژی، ۲ ایستگاه هواشناسی کشاورزی و ۲۹ ایستگاه تبخیرسنجی بوده است و از سازمان هواشناسی استان مازندران و شرکت آب منطقه‌ای مازندران جمع‌آوری گردید که موقعیت ایستگاه‌ها در شکل ۱ نشان داده شده است.

ضیاتبار احمدی (۱۳۷۴) روش فائو-پنمن-مانتیت را به‌عنوان بهترین روش برای اندازه‌گیری تبخیر-تعرق مرجع در مازندران بیان نمود. لذا تبخیر-تعرق مرجع در موقعیت ایستگاه‌ها به روش فائو-پنمن-مانتیت و با استفاده از نرم‌افزار CROPWAT8 بدست آمد. در لایه گیاه نیز تاریخ کشت، دوره رشد، تاریخ برداشت، طول دوره‌های فنولوژی و مقدار ضریب گیاهی مربوط به هر دهه در ۴ دوره رشد تعیین شده است.

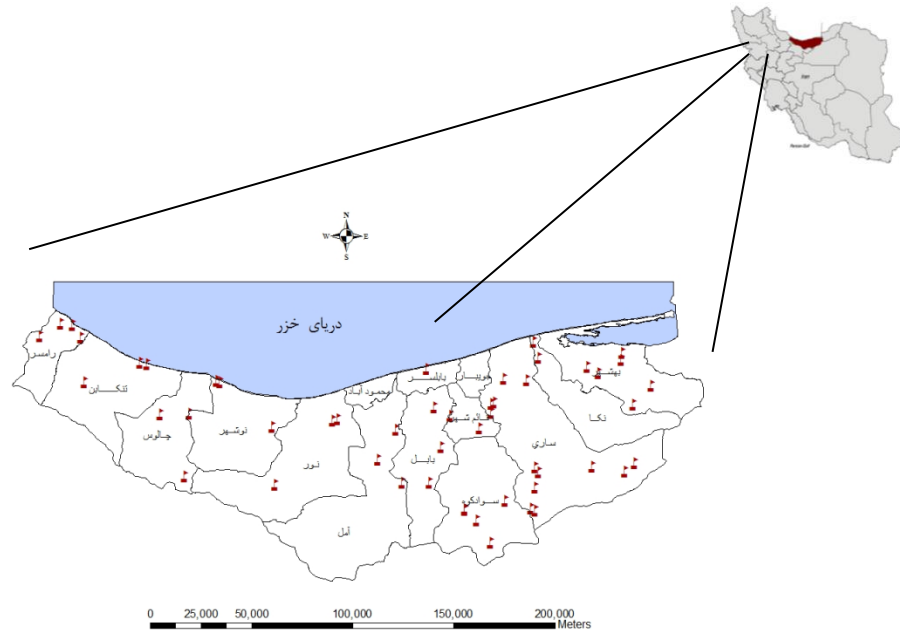
با استفاده از روش‌های کریجینگ، کوکریجینگ و فاصله وزنی معکوس در استان همدان (به‌بهانی و همکاران، ۱۳۸۷)، تهیه نقشه‌های تبخیر-تعرق مرجع در فصل رشد گندم زمستانه و ذرت تابستانه در چین با استفاده از روش کریجینگ (Yang et al., 2013)، تهیه نقشه توزیع مکانی نیاز آبی گندم بهاره در حوزه رودخانه شیانگ در شمال غربی چین با استفاده از روش‌های کریجینگ معمولی، IDW و معادلات تجربی بر اساس نقشه DEM (Tong et al., 2007) و آنالیز منطقه‌ای نیاز آبیاری محصول سیب‌زمینی برای منطقه تراس-اوس-مونتس در کشور پرتغال با استفاده از روش کریجینگ (Sousa and Pereira., 1999) اشاره نمود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، اراضی زراعی استان مازندران در شمال ایران و بین مختصات جغرافیایی ۵۰ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۱۰ دقیقه شرقی و ۳۵ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۵ دقیقه شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). این استان دارای ۲۲ شهرستان و در مجموع به مساحت ۲۳۷۵۶/۴ کیلومتر مربع می‌باشد. بر اساس طبقه‌بندی دومارتن نواحی غربی مازندران بسیار مرطوب، نواحی مرکزی مازندران مرطوب، نواحی شرقی مازندران مدیترانه‌ای و نواحی کوهستانی مازندران نیمه مرطوب می‌باشد. همچنین بر اساس خصوصیات دما، بارش و توپوگرافی استان مازندران دارای دو نوع اقلیم می‌باشد. ۱- اقلیم معتدل و مرطوب یا معتدل خزری که محدوده جلگه‌های غربی و مرکزی استان تا کوهپایه‌های شمالی البرز را شامل می‌شود. ۲- آب‌وهوای کوهستانی که محدوده ارتفاعی بیش از ۱۵۰۰ متر را شامل می‌شود. سطح زیر کشت سویا در مازندران در سال ۱۳۹۴ بیش از ۶ هکتار می‌باشد که بیش از ۴۲۰۰ هکتار آن به صورت دیم و بقیه به صورت آبی کشت می‌شود. عملکرد سویای دیم و آبی نیز ۲۶۳۳ و ۳۳۴۰ کیلوگرم بر هکتار می‌باشد غالب کشت سویا در استان مازندران نیز در نیمه شرقی استان حد فاصل بابلسر تا گلوگاه می‌باشد (قلی زاده و همکاران، ۱۳۹۵). رقم‌های متعارف سویای کشت شده در منطقه نیز رقم‌های تالر، تپور، BP و JK می‌باشد که تاریخ

جدول ۱- مقدار ضریب گیاهی سویا در دهه‌های مختلف رشد

تیر دهه سوم	تیر دهه دوم	تیر دهه اول	خرداد دهه سوم	خرداد دهه دوم	خرداد دهه اول	اردیبهشت دهه سوم	اردیبهشت دهه دوم
۱/۱۰	۱/۰۶	۰/۹۴	۰/۷۷	۰/۵۹	۰/۴۸	۰/۴۵	۰/۴۵
مهر دهه دوم	مهر دهه اول	شهریور دهه سوم	شهریور دهه دوم	شهریور دهه اول	مرداد دهه سوم	مرداد دهه دوم	مرداد دهه اول
۰/۷۳	۰/۸۶	۰/۹۹	۱/۰۸	۱/۱۰	۱/۱۰	۱/۱۰	۱/۱۰



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی محدوده مطالعاتی و محل ایستگاه‌های هواشناسی استان مازندران

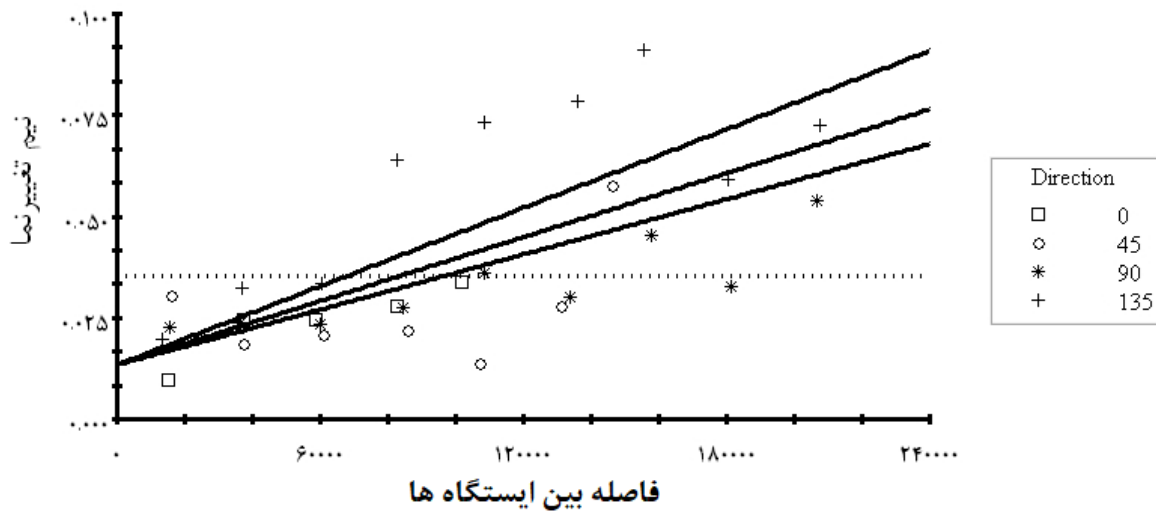
تغییرنا است و درون‌یابی بر اساس تابع رفتاری مدل‌های نیم‌تغییرنا انجام می‌شود.

به فاصله بین نمونه‌ها که از آن به بعد مقادیر متغیر در نقاط مجاور تاثیر چندانی بر یکدیگر ندارند، دامنه یا شعاع تاثیر گفته می‌شود و مقدار نیم‌تغییرنا به ازای آن را آستانه یا سقف گویند. به مقدار نیم‌تغییرنا به ازای $h=0$ نیز اثر قطعه‌ای گفته می‌شود (Isaaks and Srivastava., 1989). باید توجه داشت که اثر قطعه‌ای همان واریانس تصادفی متغیر می‌باشد که در نظر گرفتن آن در محاسبات درون‌یابی روش‌های زمین‌آماري، مزیت این روش‌ها بر روش‌های قطعی درون‌یابی است. وبستر و اولیور (Oliver and Webster., 2014) اخیراً استفاده از نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه (Nugget/Sill) را که قبلاً توسط کمباردلا و همکاران (Cambardella et al., 1994) به‌عنوان شاخصی برای همبستگی مکانی داده‌ها بیان نمودند را زیر سوال برده و بیان داشتند که هرچند این نسبت نقش مهمی در تخمین‌ها دارند و مقدار زیاد آن می‌تواند به دلیل خطای اندازه‌گیری، تعداد کم نمونه‌ها و یا هر دو مورد باشد، اما این نسبت به همبستگی مکانی داده‌ها ارتباطی ندارد. همچنین آن‌ها بیان کردند که هر چه نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه بیش‌تر باشد، مقدار هموارسازی تغییرات بیش‌تر خواهد بود (Oliver and Webster., 2014).

برای تاریخ کشت و برداشت از نظر کشاورزان و کارشناسان محلی استفاده شد که بهترین تاریخ کشت ۱۰ اردیبهشت و تاریخ برداشت ۲۰ مهر با دوره رشد ۱۶۵ روز می‌باشد. مقادیر ضریب گیاهی در نظر گرفته شده در جدول ۱ ارائه شده است که بر اساس اطلاعات کتاب مرجع "برآورد آب موردنیاز گیاهان عمده زراعی و باغی کشور" (فرشی و همکاران، ۱۳۷۶) و نشریه فائو ۵۶ (Allen et al., 1990) بوده است. مقدار ضریب گیاهی در دوره توسعه و انتهایی نیز با تعیین نمودار ضریب گیاهی با استفاده از نرم‌افزار CROPWAT8 انجام شد. از حاصل ضرب مقادیر ضریب گیاهی در تبخیر - تعرق مرجع نیز مقادیر نیاز آبی پتانسیل (نیاز آبی خالص) محاسبه گردید. جهت انجام آنالیزهای مکانی، مقادیر نیم‌تغییرنمای داده‌ها محاسبه شد. نیم‌تغییرنا همبستگی مکانی داده‌ها را بررسی می‌کند، که فرمول آن به‌صورت زیر می‌باشد (Matheron., 1965).

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

که در آن $Z(x_i)$ مقدار متغیر مکانی در نقطه x_i ، $Z(x_i+h)$ مقدار متغیر مکانی در نقطه x_i+h ، $N(h)$ تعداد زوج نقاط به فاصله h و γ مقدار نیم‌تغییرنا می‌باشد. پس از محاسبه مقادیر نیم‌تغییرنمای داده‌ها، مدل‌های مختلف نیم‌تغییرنا همچون مدل گوسی، نمایی، کروی و خطی بر آن‌ها با استفاده از نرم‌افزار GS+ برازش شد که نمونه‌ای از آن در شکل ۲ نشان داده شده است. باید توجه داشت که یکی از عوامل موثر در انجام تخمین‌های زمین‌آماري، نوع مدل نیم



شکل ۲- نیم تغییرنمای تجربی و مدل نیم تغییرنمای کروی برازش شده در جهت‌های مختلف در دهه سوم اردیبهشت

داده‌ها دارای یک روند از نوع تابع درجه ۲ می‌باشند. سپس ناهمسانگردی داده‌ها بررسی شد. ناهمسانگردی به تغییرات دامنه تاثیر و سقف نیم تغییرنما در جهت مختلف گویند. چنانچه نیم تغییرنما در جهت مختلف دارای سقف یکسان ولی دامنه تاثیر متفاوتی باشد، ناهمسانگردی از نوع هندسی است که در بیش تر مواقع این نوع از ناهمسانگردی وجود دارد (Oliver and Webster., 2014) و چنانچه نیم تغییرنما در جهت مختلف دارای آستانه یکسان اما دامنه تاثیر متفاوتی باشد، ناهمسانگردی از نوع منطقه‌ای است. برای بررسی وجود ناهمسانگردی در داده‌ها نیز نمودار نیم تغییرنما در جهت‌های ۰، ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ درجه رسم شده و بررسی گردید که مشخص شد داده‌های موردنظر در برخی دهه‌ها ناهمسانگرد بودند. لازم به ذکر است که برای استفاده از روش‌های زمین‌آماري داده‌ها باید دارای توزیع نرمال بوده و فرض ایستایی (Stationary) که یعنی میانگین و واریانس در مکان تغییر معنی‌داری نداشته باشند، را دارا باشند. داده‌ها در زمین‌آمار به شکل رابطه ۳ در نظر گرفته می‌شوند.

$$Z(s) = \mu + \xi(s) \quad (3)$$

که در آن $Z(s)$ مقدار متغیر در نقطه (s) ، μ میانگین متغیر که می‌تواند ثابت یا یک تابع چندجمله‌ای باشد که همان روند قطعی و مولفه ساختاری داده است و $\xi(s)$ خطای تصادفی یا مولفه تصادفی است که تابعی از فاصله و مستقل از مختصات است (Boken, et al., 2014; Oliver and Webster., 2004). تابع توزیع داده‌ها نیز با استفاده از نرم‌افزار SPSS مورد بررسی قرار گرفت. نرمال بودن تابع توزیع داده‌ها را می‌توان با استفاده از ضرایب چولگی و کشیدگی، نمودار Q-Q (Q-Q plot)، نمودار جعبه‌ای و یا آزمون نرمال بودن بررسی کرد. مقدار ضرایب چولگی و کشیدگی برای تابع توزیع نرمال

قیاس مدل‌های نیم تغییرنما بر اساس شاخص مجموع مربعات خطا (RSS) صورت گرفته است (معادله ۲). برای دستیابی به شاخص RSS ابتدا مقدار متغیر در یک نقطه از n نقطه معلوم از مسیر محاسبات تخمین حذف شده و با استفاده از مدل برازش شده، مقدار متغیر در آن نقطه تخمین زده می‌شود و اختلاف آن با مقدار واقعی محاسبه می‌گردد که این اختلاف، باقیمانده نامیده می‌شود.

$$RSS = \frac{Z(x_i) - Z^*(x_i)}{\sigma(x_i)} \quad i=1, \dots, n \quad (2)$$

که در این معادله $Z^*(x_i)$ مقدار پیشگویی برای داده $Z(x_i)$ با انحراف معیار $\sigma(x_i)$ می‌باشد.

جهت انجام آنالیزهای زمین‌آماري ابتدا وجود روند در داده‌ها بررسی شد. اگر روند در داده‌ها وجود داشته باشد، باید از روش کریجینگ عام استفاده کرد یا ابتدا داده‌ها را روند زدایی کرد و سپس برای داده‌های روند زدایی شده (باقیمانده) از روش کریجینگ معمولی استفاده کرد (Motz and Searcy., 1993). برای این منظور از آنالیز روندیابی نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد. برای انجام آن داده‌ها در دو سطح XZ و YZ تصویر شدند. محورهای X و Y نشان‌دهنده مختصات جغرافیایی داده‌ها هستند و محور Z بیانگر نیاز آبی است. پس از تصویر نمودن، بر آن‌ها نموداری برازش می‌شود. اگر نمودار برازش شده بر آن‌ها خطی صاف و بدون شیب باشد، بدان معنی است که در داده‌ها روندی وجود ندارد و در غیر این صورت اگر نمودار برازش شده دارای شیب باشد، یعنی داده‌ها دارای یک روند می‌باشند. تجزیه و تحلیل داده‌های مورد بررسی در این تحقیق نشان داد که

- 1- Residual Sums of Squares
- 2- Detrending
- 3- Detrended (Residual)

می‌گردند و از بقیه داده‌ها برای پیشگویی مقدار داده حذف‌شده استفاده می‌شود. چنانچه این عمل برای کل داده‌ها تکرار شود، از مقایسه مقادیر واقعی داده‌های حذف‌شده و مقادیر برآورد شده برای آن‌ها می‌توان خطای برآورد را محاسبه کرد که با شاخص‌های ریشه میانگین مربع خطا (RMSE) و ریشه میانگین مربع خطای استاندارد شده (RMSSE) بیان می‌شود که فرمول آن‌ها به صورت معادلات ۷ و ۸ می‌باشد.

$$RMSE = \left[\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \{Z^*(x_j) - Z(x_j)\}^2 \right]^{0.5} \quad (7)$$

$$RMSSE = \left[\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left\{ \frac{Z^*(x_j) - Z(x_j)}{\sigma(x_j)} \right\}^2 \right]^{0.5} \quad (8)$$

در این معادلات $Z^*(x_j)$ مقدار پیشگویی برای داده $Z(x_j)$ با انحراف معیار $\bar{\sigma}(x_j)$ می‌باشد. مقدار RMSE بیان می‌دارد که چقدر مقادیر پیش‌بینی‌شده به مقادیر واقعی نزدیک می‌باشند. هر چقدر مقدار این شاخص به صفر نزدیک‌تر باشد، مناسب‌تر است. مقدار شاخص RMSSE نیز هرچه به یک نزدیک‌تر باشد، مناسب‌تر است. اگر مقدار آن بیش‌تر از یک باشد، پیش‌بینی‌ها کم برآورد است و اگر کم‌تر از یک باشد، پیش‌بینی‌ها بیش برآورد می‌باشد (Li and Heap., 2008).

نتایج

در این تحقیق پس از محاسبه نیاز آبی سویا در موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی، نرمال بودن آن‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS با استفاده از آزمون نرمال بودن و به روش کولموگروف-اسمیرنوف بررسی شد و مشخص شد که داده‌ها دارای توزیع نرمال می‌باشند. سپس آنالیزهای مکانی بر روی آن‌ها انجام شد (جدول ۲) و نشان داد که داده‌ها دارای روند درجه ۲ بوده و در برخی از دهه‌ها نیز ناهمسانگرد می‌باشند. همچنین بهترین مدل نیم‌تغییرنا برای این داده‌ها، مدل کروی و نمایی بود و اختلاف زیادی هم بین این دو مدل مشاهده نشد. با توجه به نوع مدل‌های نیم‌تغییرنا، میزان همبستگی مکانی داده‌های نیاز آبی سویا متوسط می‌باشد. زیرا میزان پیوستگی هر متغیر مکانی را می‌توان از رفتار نیم‌تغییرنا در نزدیکی مبدا مختصات مشخص نمود. به‌طوریکه هرچقدر شیب نیم‌تغییرنا در نزدیکی مبدا کم‌تر باشد، دلالت بر وجود پیوستگی بیش‌تر متغیر مکانی خواهد بود (حسینی پاک، ۱۳۷۷). مدل‌های کروی و نمایی در نزدیکی مبدا رفتار خطی دارند که بیانگر میزان پیوستگی مکانی متوسط داده‌های مورد نظر می‌باشند.

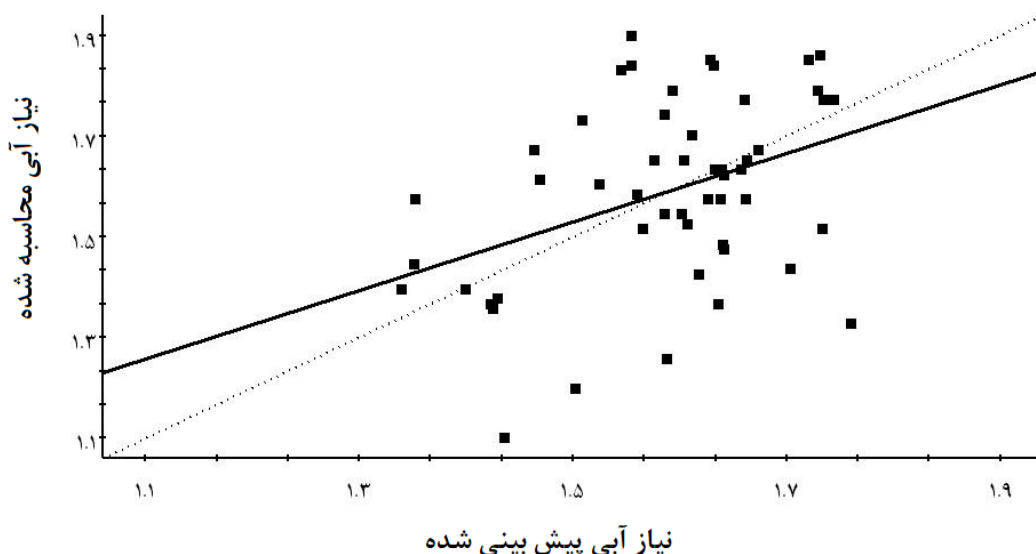
در بازه (۲، -) است. در نمودار Q-Q، داده‌های یک توزیع نرمال معمولاً روی خط قرار می‌گیرد و داده‌ها روی خط به‌صورت ماریج یا به شکل S نخواهند بود. نمودار جعبه‌ای نیز معمولاً برای توزیع نرمال در مرکز نمودار قرار می‌گیرد و عدم تقارن در نمودار می‌تواند به دلیل نرمال نبودن داده‌ها باشد. در این تحقیق نرمال بودن داده با استفاده از آزمون نرمال بودن و به روش کولموگروف-اسمیرنوف بررسی شد. درون‌یابی داده‌ها در این تحقیق با استفاده از روش‌های کریجینگ معمولی، کوکریجینگ (با داده کمکی ارتفاع ایستگاه‌ها)، وزن‌دهی عکس فاصله و توابع پایه شعاعی (اسپیلاین کاملاً منظم)، چندجمله‌ای سراسری (GP) و چندجمله‌ای موضعی (LP) مدنظر بوده است. برای استفاده از روش کوکریجینگ باید داده کمکی با داده اصلی همبستگی مناسبی داشته باشد. در این تحقیق از داده کمکی ارتفاع ایستگاه هواشناسی به‌عنوان داده کمکی استفاده شد. اما چون همبستگی آن با داده اصلی بسیار ضعیف بود، روش کوکریجینگ قابل‌استفاده نبوده است (Nalder and Wein., 1998). چندجمله‌ای‌های سراسری و موضعی چندجمله‌ای‌های ریاضی می‌باشند. تفاوت آن‌ها این است که روش GP از کل داده‌ها برای درون‌یابی استفاده می‌کنند. درحالی‌که روش LP فقط از داده‌های موجود در یک همسایگی برای درون‌یابی استفاده می‌کند. فرمول روش‌های کریجینگ معمولی، وزن‌دهی عکس فاصله و توابع پایه شعاعی (اسپیلاین کاملاً منظم) به ترتیب معادله‌های ۴، ۵ و ۶ می‌باشد. شایان ذکر است که درون‌یابی داده‌ها پس از حذف روند انجام شد که این کار با انجام دستوری در محیط GIS انجام گردید.

$$Z(x)^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (4)$$

$$Z(x)^* = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{Z(x_i)}{d_i^n}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^n}} \quad (5)$$

$$Z^* = \sum_{i=1}^n a_i f_i(x) + \sum_{j=1}^n b_j \psi(d_j) \quad (6)$$

که در این معادله $Z(x)^*$ مقدار پیش‌بینی‌شده در نقطه x با استفاده از داده‌های واقعی $Z(x_i)$ در نقطه‌ایی با مختصات x_i است و λ_i نیز وزن نسبت داده‌شده به متغیر $Z(x_i)$ ، d_i فاصله بین نقطه مورد پیش‌بینی و محل داده واقعی، n توان، $\psi(d)$ تابع پایه شعاعی، d_j فاصله بین نقاط نمونه‌برداری شده و پیش‌بینی‌شده نقطه x و $f(x)$ روند تابع است. شایان ذکر است λ_i به‌گونه‌ای تعیین می‌شوند که میانگین توان دوم خطای پیشگویی حداقل شود (حسینی پاک، ۱۳۷۷). برای مقایسه روش‌های مختلف درون‌یابی و نیز ارزیابی برآوردهای درون‌یابی از روش جک نایف و نمودار ارزیابی متقابل (حسینی پاک، ۱۳۷۷) استفاده شد (شکل ۳). در این روش هر کدام از داده‌ها حذف



شکل ۳- نمودار ارزیابی متقابل برای داده‌های نیاز آبی سویا در دهه سوم اردیبهشت (میلی‌متر بر روز)
 (خط تو پر نمودار درجه یک برآزش شده بر داده ها و خط نقطه چین خط نیمساز می باشد)

این روش‌ها می‌تواند بیش برآورد یا کم برآورد بودن درونیابی‌ها را مشخص نمود، استفاده شده است. لازم به ذکر است مکان‌هایی که به کشت این محصولات اختصاص می‌یابد، ثابت نیستند و در سال‌های مختلف ممکن است کشاورز به کشت این محصولات اختصاص دهد یا آن را تغییر دهد.

نتایج درونیابی داده‌ها نیز در جدول ۳ ارائه شد و نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین روش‌های مختلف درونیابی مشاهده نشده است. لذا تهیه نقشه با استفاده از هر کدام از این روش‌ها، تفاوت معناداری در میزان دقت نقشه‌ها ندارد. نقشه‌های ارائه در شکل‌های ۴ و ۵ با استفاده از روش کریجینگ معمولی است به این دلیل که در

جدول ۲- نتایج محاسبات زمین‌آماری نیاز آبی سویا

RSS	شعاع تأثیر کوچک‌تر (متر)	شعاع تأثیر بزرگ‌تر (متر)	مدل نیم تغییرنما	زاویه ناهمسانگردی	ناهمسانگردی	ماه
$7/1 \times 10^{-3}$	97820/1	256331	کروی	30/4	دارد	دهه دوم اردیبهشت
$7/1 \times 10^{-3}$	97820/1	256331	کروی	30/4	دارد	دهه سوم اردیبهشت
18×10^{-3}	70770/8	284088	نمایی	21/1	دارد	دهه اول خرداد
42×10^{-3}	95873/9	284085	نمایی	21	دارد	دهه دوم خرداد
123×10^{-3}	95873/9	284085	کروی	21	دارد	دهه سوم خرداد
768×10^{-3}	105924	206161	نمایی	11/2	دارد	دهه اول تیر
122×10^{-3}	105923	206161	نمایی	11/2	دارد	دهه دوم تیر
145×10^{-3}	105914	206167	نمایی	11/2	دارد	دهه سوم تیر
527×10^{-3}	--	45703/1	کروی	--	ندارد	دهه اول مرداد
527×10^{-3}	--	45703/1	کروی	--	ندارد	دهه دوم مرداد
527×10^{-3}	--	45703/1	کروی	--	ندارد	دهه سوم مرداد
74×10^{-3}	--	45703/1	کروی	--	ندارد	دهه اول شهریور
70×10^{-3}	--	45703/1	کروی	--	ندارد	دهه دوم شهریور
49×10^{-3}	--	45703/1	کروی	--	ندارد	دهه سوم شهریور
$5/9 \times 10^{-3}$	90400/4	104509	نمایی	14/9	دارد	دهه اول مهر
$2/9 \times 10^{-3}$	90400/4	104509	نمایی	14/9	دارد	دهه دوم مهر

جدول ۳- مقدار RMSE در روش‌های مختلف درون‌یابی داده‌های نیاز آبی سویا (میلی‌متر بر روز)

ماه	کریجینگ معمولی	وزن دهی عکس فاصله (n=1)	توابع پایه شعاعی (اسپیلاین کاملاً منظم)	چندجمله‌ای موضعی	چندجمله‌ای سراسری
دهه دوم اردیبهشت	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۷
دهه سوم اردیبهشت	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۷
دهه اول خرداد	۰/۲۱	۰/۲۲	۰/۲۱	۰/۲۰	۰/۲۰
دهه دوم خرداد	۰/۲۶	۰/۲۷	۰/۲۶	۰/۲۵	۰/۲۵
دهه سوم خرداد	۰/۳۳	۰/۳۵	۰/۳۴	۰/۳۲	۰/۳۲
دهه اول تیر	۰/۴۵	۰/۴۷	۰/۴۶	۰/۴۴	۰/۴۴
دهه دوم تیر	۰/۵۱	۰/۵۳	۰/۵۲	۰/۵۱	۰/۵۰
دهه سوم تیر	۰/۵۳	۰/۵۵	۰/۵۴	۰/۵۳	۰/۵۲
دهه اول مرداد	۰/۴۹	۰/۵۱	۰/۵۰	۰/۴۸	۰/۴۸
دهه دوم مرداد	۰/۴۹	۰/۵۱	۰/۵۰	۰/۴۸	۰/۴۸
دهه سوم مرداد	۰/۴۹	۰/۵۱	۰/۵۰	۰/۴۸	۰/۴۸
دهه اول شهریور	۰/۳۹	۰/۴۰	۰/۴۰	۰/۳۹	۰/۳۹
دهه دوم شهریور	۰/۳۹	۰/۳۹	۰/۳۹	۰/۳۸	۰/۳۸
دهه سوم شهریور	۰/۳۵	۰/۳۶	۰/۳۶	۰/۳۵	۰/۳۵
دهه اول مهر	۰/۲۴	۰/۲۴	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۲۴
دهه دوم مهر	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۲۰

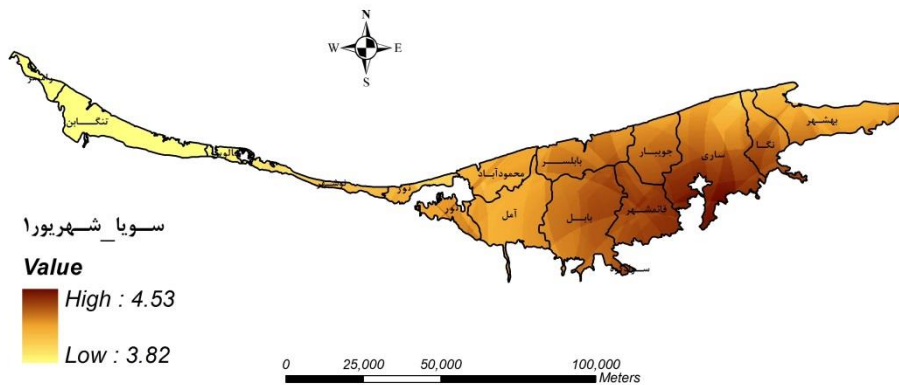
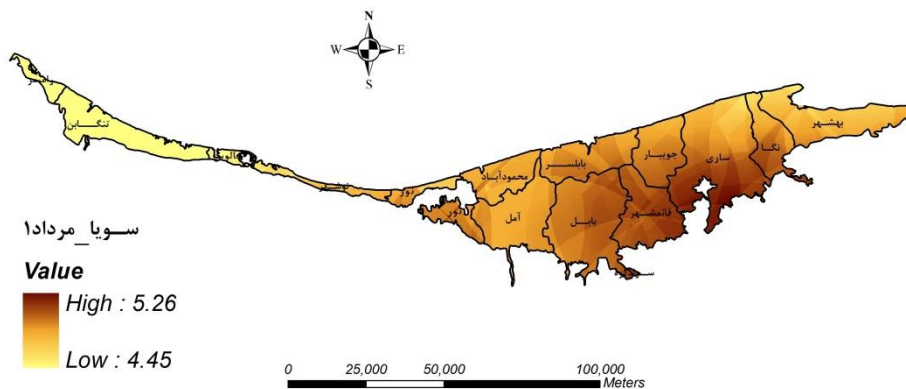
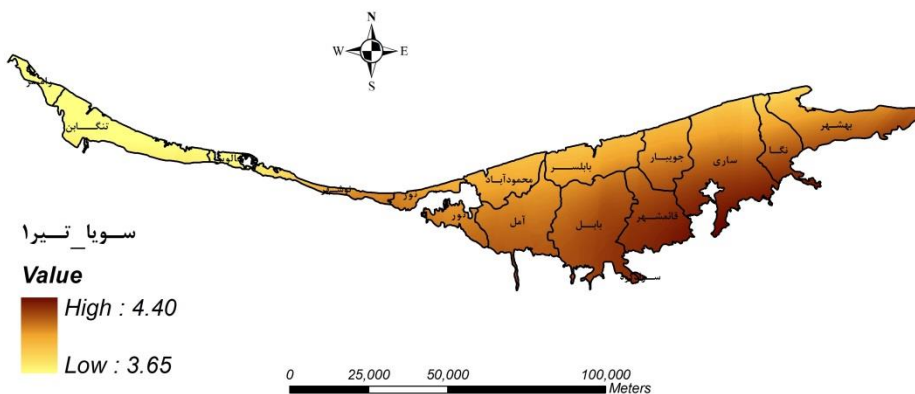
جدول ۴- الف- مقدار RMSSE درون‌یابی داده‌های نیاز آبی سویا

دهه دوم اردیبهشت	دهه سوم اردیبهشت	دهه اول خرداد	دهه دوم خرداد	دهه سوم خرداد	دهه اول تیر	دهه دوم تیر	دهه سوم تیر
۱/۲۴۲	۱/۲۴۲	۱/۱۷۶	۱/۱۷۶	۱/۱۷۶	۱/۱۷۱	۱/۱۷۱	۱/۱۷۱
دهه اول مرداد	دهه دوم مرداد	دهه سوم مرداد	دهه اول شهریور	دهه دوم شهریور	دهه سوم شهریور	دهه اول مهر	دهه دوم مهر
۱/۱۰۹	۱/۱۰۹	۱/۱۰۹	۱/۱۲	۱/۱۲	۱/۱۲	۱/۱۳۷	۱/۱۳۷

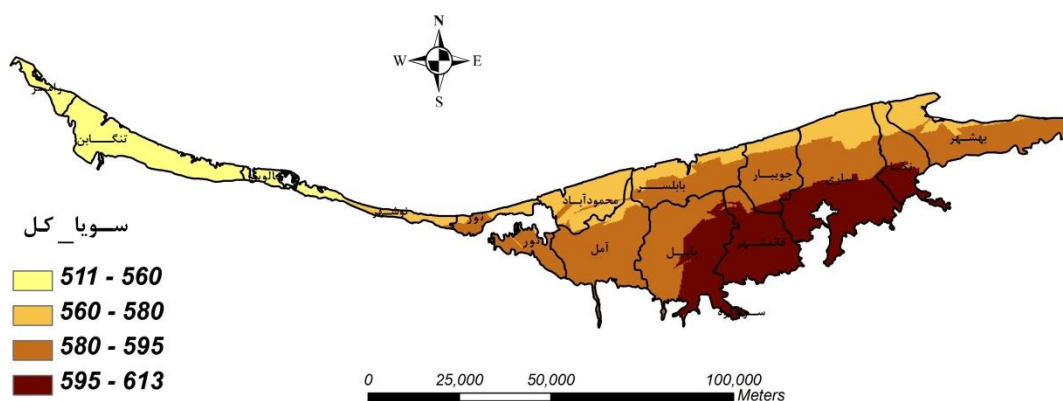
با نتایج ایستگاه‌های مورد مطالعه در سند ملی نشان می‌دهد که نیاز آبی محاسبه شده و پیش‌بینی شده سویا در این تحقیق برای این ایستگاه‌ها به ترتیب ۳۲ الی ۵۹ و ۳۵ الی ۶۰ درصد بیش‌تر از نتایج سند ملی می‌باشد (جدول ۵). از جمله دلایل این امر، تاریخ کشت و طول دوره رشد متفاوت در سند ملی نسبت به این تحقیق و نیز تغییر در مقادیر ETO محاسبه شده در این تحقیق نسبت به مقادیر سند ملی می‌باشد. در سند ملی برای دشت‌های قائم‌شهر-جویبار، دشت ناز و نکا-بهبهر دوره رشد ۱۴۵ روز از ۲۰ فروردین تا ۱۰ شهریور و برای دشت‌های تالار-سیاهرود، تجن و نکارود دوره رشد ۱۳۴ روز از ۱۰ اردیبهشت تا ۲۰ شهریور در نظر گرفته شده است. در حالی که با توجه به تحقیقات میدانی و نظر کارشناسان و کشاورزان محلی و با التفات به نوع ارقام غالب مورد کشت در استان، میزان دوره رشد سویا در منطقه ۱۶۵ روز می‌باشد. لذا کم‌تر بودن طول دوره رشد در سند ملی منجر به کم‌تر شدن مقدار نیاز آبی محاسباتی آن گردید.

از این رو است که نقشه‌ای نشان‌دهنده موقعیت مکان‌هایی مختص کشت این محصولات وجود ندارد. لذا نقشه‌های مورد نظر برای کل اراضی زراعی استان تهیه شده است و به این معنی نیست که تمام مساحت زراعی در نظر گرفته شده تحت کشت این محصولات می‌باشند. بلکه وقتی در هر کجای استان، این محصولات کشت شود، می‌توان از این نقشه‌ها استفاده نمود. مقدار RMSSE در دهه‌های مختلف نیز نشان می‌دهد که درون‌یابی‌ها در این تحقیق کم برآورد بوده است (جدول ۴).

نقشه‌های نیاز آبی نیز نشان داد که بیش‌ترین میزان نیاز آبی سویا در مرداد ماه رخ داد که مقدار آن در دامنه ۴/۴۵ تا ۵/۲۶ میلی‌متر در روز بود. همچنین نقشه‌ها نشان داد که کل نیاز آبی سویا در یک دوره رشد بین ۵۱۱ تا ۶۱۳ میلی‌متر در منطقه تغییر می‌کند. بدین صورت که مناطق غربی ۵۱۱ تا ۵۶۰ و در مناطق شرقی در قسمت‌های شمالی ۵۶۰ تا ۵۸۰، قسمت‌های مرکزی ۵۸۰ تا ۵۹۵ و در قسمت‌های جنوبی ۵۹۵ تا ۶۱۳ میلی‌متر بدست آمد. قیاس این نتایج



شکل ۴- پهنه‌بندی میانگین روزانه نیاز آبی سویا در دهه اول تیر، مرداد و شهریور (میلی‌متر بر روز)



شکل ۵- پهنه‌بندی کل نیاز آبی سویا در یک دوره رشد (میلی‌متر)

قائم‌شهر، دانشکده کشاورزی ساری، باغ کلا نکا و آمل مقایسه شدند. همچنین قیاس نتایج این تحقیق با نتایج ایستگاه‌های مورد مطالعه در کتاب مرجع "برآورد آب مورد نیاز گیاهان عمده زراعی و باغی کشور" نشان می‌دهد که نیاز آبی محاسبه شده و پیش‌بینی شده در این تحقیق برای سویا به ترتیب ۵ تا ۱۸ و ۳ تا ۱۵ درصد کم‌تر می‌باشد (جدول ۵). نتایج بدست آمده در این تحقیق اختلاف کم‌تری را با نتایج کتاب مرجع نسبت به نتایج سند ملی دارند که دلیل آن این است که تاریخ کشت و طول دوره رشد در کتاب مرجع با این تحقیق برابر است. این اختلاف موجود نیز به دلیل تغییر در پارامترهای هواشناسی و در نتیجه تغییر در مقادیر ET_0 می‌باشد.

همچنین مقادیر ET_0 در این تحقیق با داده‌های هواشناسی جدیدتر محاسبه شد و نیز از ابزار و روش‌های جدید درونیابی برای یافتن مقدار نیاز آبی در سطح وسیع و نقاط فاقد داده استفاده گردید که باعث افزایش دقت برآوردها شد. با توجه به تغییر پارامترهای اقلیمی در سال‌های اخیر نسبت به سال‌هایی که محاسبات نیاز آبی و کتاب مرجع برای آن سال‌ها انجام شده است، میزان ET_0 و در نتیجه نیاز آبی در این تحقیق با نتایج سند ملی تفاوت یافته است. شایان ذکر است که در سند ملی، نیاز آبی محصولات برای دشت‌های مختلف بدست آمده است. لذا برای ارزیابی نتایج سند ملی با نتایج این تحقیق، مقادیر نیاز آبی دشت‌های دشت ناز، قائم‌شهر-جویبار، نکا-بهشهر، تالار-سیاهرود، تجن، نکارود و آمل به ترتیب با مقادیر نیاز آبی ایستگاه‌های دشت ناز، قراخیل قائم‌شهر، باغ کلا نکا، قراخیل

جدول ۵- مقایسه نیاز آبی محاسبه شده و پیش‌بینی شده سویا در این تحقیق با نتایج سند ملی و کتاب مرجع (میلی‌متر در سال) (مقایسه با استفاده از مقادیر سند ملی (۱۳۷۸) و کتاب مرجع (۱۳۷۶) انجام شده است)

ایستگاه	مقدار در سند ملی	مقدار در کتاب مرجع	محاسبه شده در محل ایستگاه‌های هواشناسی			پیش‌بینی شده در این تحقیق		
			محاسبه شده (میلی‌متر)	اختلاف با سند ملی (درصد)	اختلاف با کتاب مرجع (درصد)	پیش‌بینی شده (میلی‌متر)	اختلاف با سند ملی (درصد)	اختلاف با کتاب مرجع (درصد)
دشت ناز قائم‌شهر - جویبار (قائم‌شهر)	۴۲۸	۶۰۰/۴	۵۶۷/۶	+۳۲/۶	-۵/۴	۵۷۷/۷	+۳۵/۰	-۳/۸
نکا-بهشهر	۳۷۸	--	۵۶۸/۶	+۵۰/۴	--	۵۶۴/۱	+۴۹/۲	--
تالار-سیاهرود	۳۶۵	--	۵۶۲/۰	+۵۴/۰	--	۵۸۳/۹	+۶۰/۰	--
تجن	۴۰۳	--	۵۷۱/۸	+۴۱/۸	--	۵۷۵/۳	+۴۲/۷	--
نکارود	۳۵۸	--	۵۶۸/۶	+۵۸/۸	--	۵۶۴/۱	+۵۷/۵	--
آمل	--	۶۱۶/۳	۵۳۹/۲	--	-۱۲/۵	۵۷۵/۱	--	-۶/۶

قبول یک رویه واحد محاسباتی به‌روزرسانی گردند. محاسبات نیز در هر دوره چندساله، به‌روز گردد. در صورت تعیین نیاز آبیاری باید نوع خاک، سامانه آبیاری و مدیریت آبیاری نیز مدنظر قرار گیرد. همچنین پیشنهاد می‌گردد روش استفاده شده در این تحقیق، برای تمامی محصولات بر طبق الگوی کشت در استان انجام گیرد تا بتوان میزان نیاز آبی در بخش کشاورزی را در تمام نقاط استان بدست آورد که GIS و استفاده از روش‌های درون‌یابی جدید بهترین ابزار برای این امر می‌باشد.

منابع

- اسدی، م.ا. و فرجی، ا. ۱۳۸۸. مبانی کاربردی زراعت دانه‌های روغنی (سویا، پنبه، کلزا و آفتابگردان). انتشارات آموزش و ترویج کشاورزی.
- اکبری نودهی، د. ۱۳۹۱. تأثیر تنش خشکی در مراحل مختلف رشد بر عملکرد و کارایی مصرف آب سویا در مازندران. نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار. ۲۲: ۱-۱۳.
- بهبهانی، م.ر.، رحیمی خوب، ع.، نظری فر، م.ه. و مومنی، ر. ۱۳۸۷. برآورد مکانی و زمانی نیاز آبی گندم در دوره‌های آبی مختلف با استفاده از روش‌های زمین آماری - مطالعه موردی استان همدان. دومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی. اهواز.
- بی‌نام. ۱۳۷۸. سند ملی آب کشور (ایران)، نیاز آبی گیاهان، الگوی کشت، راندمان آبیاری، وزارت جهاد کشاورزی.
- توانا، ا.، هوشمند، ع.ر. و فتحیان، ح. ۱۳۹۰. پهنه‌بندی تبخیر-تعرق مرجع منطقه‌ای با استفاده از تخمینگرهای زمین آماری و GIS (مطالعه موردی: استان خوزستان)، اولین کنفرانس ملی هواشناسی و مدیریت آب کشاورزی، تهران.
- حسینی پاک، ع.ا. ۱۳۷۷. زمین‌آمار (ژئواستاتستیک). انتشارات موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران، چاپ اول، ۳۱۴ص.
- زارع ابیانه، ح.، بیات ورکشی، م.، سبزی پرور، ع.ا. و معروفی، ص. ۱۳۸۹. ارزیابی روش‌های مختلف برآورد تبخیر-تعرق گیاه مرجع و پهنه‌بندی آن در ایران، مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. ۷۴: ۹۵-۱۱۰.
- شریفان، ح. و قهرمان، ب. ۱۳۸۵. بررسی روند تغییرات مکانی و زمانی تبخیر-تعرق در استان گلستان با استفاده از سیستم GIS. دومین کنفرانس مدیریت منابع آب. اصفهان.
- شهبابی فر، م.، کوچک‌زاده، م.، محمدزاده، م. و میرلطیفی، س.م. ۱۳۸۳.

شایان ذکر است که در برخی موارد کشاورزان با توجه به شرایط اقلیمی و میزان بارش، برنامه آبیاری را بر اساس آبیاری تکمیلی (آبیاری در مراحل حساس رشد) انجام می‌دهند. حساس‌ترین مرحله رشد سویا مرحله گلدهی می‌باشد (Doorenbos and Kassam., 1979). اکبری نودهی (۱۳۹۱) نیز طی تحقیقی، مرحله گلدهی را حساس‌ترین مرحله رشد سویا در مازندران بیان نمود. لذا با توجه به نتایج این تحقیق بهترین زمان برای انجام آبیاری تکمیلی برای گیاه سویا، دهه دوم تیر و به مقدار ۴/۱۱ تا ۴/۹۷ میلی‌متر در روز می‌باشد.

نتیجه‌گیری

کل نیاز آبی سویا در یک دوره رشد ۵۱۱ تا ۶۱۳ میلی‌متر در این تحقیق بدست آمد که بیش‌ترین میزان نیاز آبی آن در مرداد ماه و با میانگین ۴/۴۵ تا ۵/۲۶ میلی‌متر در روز می‌باشد. همچنین در صورت انجام آبیاری تکمیلی بهترین زمان دهه دوم تیر است که مقدار نیاز آبی سویا در این دهه ۴/۱۱ تا ۴/۹۷ میلی‌متر در روز می‌باشد. نقشه‌های تهیه‌شده در این تحقیق نشان داده است که از نظر مکانی مناطق شرقی استان نیاز آبی بیش‌تری را نسبت به مناطق غربی داراست. دلیل این امر را می‌توان به دلیل نزدیک بودن فاصله کوه و دریا و در نتیجه قدرت تبخیرکنندگی کم‌تر اتمسفر مناطق غربی نسبت به مناطق شرقی دانست. نقشه‌های تهیه‌شده میزان نیاز آبی را نشان می‌دهد و جهت آبیاری باید میزان نیاز آبیاری را با توجه به نوع سامانه آبیاری و راندمان آن در نظر گرفت. نقشه‌ها و لایه‌های اطلاعاتی تهیه‌شده قابلیت پرسش و پاسخ مکانی و توصیفی دارند و به راحتی می‌توان مناطق با حداکثر یا حداقل نیاز آبی یا میزان نیاز آبی هر محصول در هر شهر یا دشت را بدست آورد. بانک اطلاعاتی تهیه شده قابلیت به‌روز شدن با استفاده از داده‌های هواشناسی جدید و یا شرایط جدید کشت را دارد. از طرفی دیگر نقشه‌های نیاز آبی و جداول اطلاعاتی تهیه‌شده در این تحقیق فقط برای اراضی زراعی تهیه شد. نقشه‌ها به صورت روزانه و دوره‌های ۱۰ روزه تهیه شد که باعث می‌شود کشاورزان در صورت انجام آبیاری به راحتی بتوانند دور آبیاری خود را با نقشه‌ها مطابقت داده و آبیاری را بر اساس نیاز آبی گیاه انجام دهند. در صورت انجام آبیاری تکمیلی یا چند آبیاری نیز می‌تواند با استفاده از این نقشه‌ها، آبیاری را انجام داد. این امر می‌تواند از مصرف مازاد آب جلوگیری کند و موجب افزایش بهره‌وری آب گردد.

از طرفی دیگر منابع موجود در رابطه با مقادیر نیاز آبی گیاهان، نیاز به بازنگری و به‌روز شدن دارند. پیشنهاد می‌گردد سند ملی و کتاب مرجع با استفاده از اطلاعات کشاورزی قابل اطمینان از جمله طول دوره رشد، تاریخ کشت و تاریخ برداشت صحیح با توجه به نوع رقم کشت شده، ضریب گیاهی مناسب، داده‌های جدید هواشناسی و

- D.L., Guerra, L.C and Harrison, K.A. 2004. Agricultural water use estimation using geospatial modeling and a geographic information system. *Agricultural Water Management*. 67: 185-199.
- Cambardella, C. A., Moorman, T.B., Novak, J.M., Parkin, T.B., Karlen, D.L., Turco, R.F and Konopka, A.E. 1994. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Society of America Journal* 58:1501-1511.
- Doorenbos, J and Kassam, A.H. 1979. Yield response to water. *FAO Irrigation and Drainage Paper No. 33*, FAO, Rome, Italy, 193 pp.
- Isaaks, E.H and Srivastava, R.M. 1989. *An Introduction to Applied Geostatistics*. Oxford University Press. New York. P.561.
- Johnston, K., Ver Hoef, J. M., Krivoruchko, K and Lucas, N. 2003. *ArcGIS9: Using ArcGIS Geostatistical Analyst, The ESRI guide to ArcGIS Analyst*. ESRI, 380 New York Street, Redlands, CA 92373-8100, USA.
- Li, J., Heap, A.D. 2008. *A Review of Spatial Interpolation Methods for Environmental Scientists*. Geoscience Australia Press, Australia, P.137.
- Matheron, G. 1963. Principles of geostatistics. *Economic geology*. 58: 1246-1266.
- Matheron, G. 1965. *La Theorie des Variables Regionalisees et ses Applications*. Massson, Paris.
- Motz, D.S and Searcy, S.W. 1993. *Interpolation Methods for Spatially Variable Data*. ASAE Paper. 93-3561:1-12.
- Nalder, I.A and Wein, R.W. 1998. Spatial interpolation of climatic normals: Test of a new method in the Canadian boreal forest. *Journal of Agricultural Forest Meteorology*. 92.4: 211-225.
- Oliver, M.A and Webster, R. 2014. *A tutorial guide to geostatistics: computing and modeling variograms and kriging*. *Catena*. 113: 56-69.
- Rosenberg, N.J. 1969. Advective Contribution of Energy, Utilized in Evapotranspiration by Alfalfa in the East Central Great Plain. *Agricultural Meteorological*. 6: 179-184.
- Sousa, V and Pereira, L.S. 1999. Regional Analysis of Irrigatoin Water Requirement Using Kriging Application to Potato Crop (*Solanum tuberosum* L.) at Tras-os-montes. *Journal of Agricultural Water Management*. 40: 221-233.
- Tong, L., Kang, S and Zhang, L. 2007. Temporal and spatial variations of evapotranspiration for spring wheat in the Shiyang river basin in northwest China. *Journal of Agricultural Water Management*. 87.3: 241-250.
- Webster, R and Oliver, M.A. 2001. *Geostatistics for environmental scientists*. John Wiley and Sons,
- استفاده از روش‌های زمین‌آماری در تعیین نیاز آبی چغندر قند در استان تهران. چغندر قند. ۲۰: ۱۴۷-۱۳۳.
- ضیاء تبار احمدی، م. ۱۳۷۴. بررسی و مقایسه روش‌های برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل در استان مازندران، مجله نیوار، شماره ۲۸، ۵۳-۴۰.
- عیوضی، م و مساعدی، ا. ۱۳۹۰. بررسی الگوی گسترش مکانی بارش در سطح استان گلستان با استفاده از مدل‌های قطعی و زمین‌آماری، نشریه آب و خاک، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد. ۲۶: ۱-۵۳-۶۴.
- فرشی، ع.ا، شریعتی، م.ر، جباراللهی، ر.، قائمی، م.ر.، شهبایی، فر.م و تولائی، م.م. ۱۳۷۶. برآورد آب مورد نیاز گیاهان عمده زراعی و باغی کشور. جلد اول (گیاهان زراعی). انتشارات نشر آموزش کشاورزی وابسته به معاونت آموزش و تجهیز نیروی انسانی سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، چاپ نخست.
- قربان زاده نقاب، م.، بابایی، ح.ر.، رسام، ق.ع.، دادخواه، ع.ر و خوشنود یزدی، ا. ۱۳۹۲. پاسخ عملکرد، اجزای عملکرد، محتوای پروتئین و روغن دانه ارقام سویا به تغییر تاریخ کاشت در منطقه شیروان. مجله به‌زراعی کشاورزی. ۱۵: ۲: ۴۱-۳۱.
- قلی زاده، ح.، عبادزاده، ح.ر.، حاتمی، ف.، حسین پور، ر.، محیطی، ض.، فضلی استبرق، م.، رضایی، م.م.، عرب، ح.، کاظمی فرد، ر.، فضلی، ب.، عبدشاه، ه.، سفیدی، ه.، رفیعی، م و کاظمیان، ا. ۱۳۹۵. آمارنامه محصولات زراعی (سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴). انتشارات وزارت جهاد کشاورزی (معاونت برنامه ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات)
- گنجی زاده، ر.، برومندنسب، س.، سلطانی محمدی، ا و گنجی زاده، ح. ۱۳۹۲. تعیین تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از روش‌های درون‌یابی و مقایسه آن با روش‌های تجربی (مطالعه موردی: استان گلستان)، اولین همایش ملی بحران آب، اصفهان.
- وفاخواه، م.، محسنی ساروی، م و اونق، م. ۱۳۸۸. مقایسه روش‌های زمین‌آمار در برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل (مطالعه موردی: حوزه آبخیز دریاچه نمک). مجله پژوهش‌های آبخیزداری. ۲۲: ۲ (پیاپی ۸۳): ۳۹-۳۰.
- Abayomi, A.Y. 2008. Comparative growth and grain yield response of early and late soybean maturity group to induced soil moisture stress at different growth stage. *World journal of agrigucltural science*. 4.1:71-78.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. 1990. *Crop evapotranspiration. Irrigation and Drainage Paper No.56*. F.A.O. Rome. Italy.
- Boken, V.K., Hoogenboom, G., Hook, J.E., Thomas,

Yang, J., Liu, Q., Mei, X., Yan, C., Ju, H and Xu, J. 2013. Spatiotemporal Characteristics of Reference Evapotranspiration and Its Sensitivity Coefficients to Climate Factors in Huang-Huai-Hai Plain, China, *Journal of Integrative Agriculture*. 12.12: 2280-2291.

Chichester, England. 271 pp.

Weiss, E.A. 2000. Oil seed crops. Blackwell Science Ltd. 165-205.

Wilcox, J.R and Frankenberger, E.M. 1987. Indeterminate and determinate soybean responses to planting date. *Agronomy Journal*. 79: 1074-1078.

Preparation of Spatial Distribution Maps of Soybean Water Requirement in Mazandaran

M. I. Kamali¹

Received: Feb.21, 2018

Accepted: Set.01, 2018

Abstract

Soybeans are usually grown in warm weather and water supply is necessary for them. Therefore, preparation of soybeans water requirement maps in Mazandaran province was aimed in the current study. The needed information including the characteristics of climate, crop and the study area was formed in GIS. Reference evapotranspiration was computed by using FAO Penman-Monteith method and climatic data from 51 weather stations. By determining crop coefficient curve in the different growth stages, the 10-day soybean water requirement was obtained. After conducting trend and anisotropy analysis, spatial autocorrelation of the data was determined by calculating experimental semivariograms and fitting semivariogram models. Data were interpolated by using different deterministic and geostatistic methods. Interpolations error were determined based on Root Mean Square Error (RMSE) and Root Mean Square Standardized Error (RMSSE) from cross validation technique. Maps showed that the highest soybean water requirement happened in August which was 4.45-5.26 mm/day. Total soybean water requirement was obtained 511 to 613 that was 511 to 560 mm for the western region, followed by 560 to 580 mm for the eastern coastal, 580 to 595 mm for the eastern central and 595 to 613 mm for the eastern south. Results had significant difference compared to studied stations in Reference Book and National Water Document.

Key words: GIS, Ordinary kriging, Semivariogram, Spatial variation, Soybean

1- Postdoctoral Research Fellow, Water Engineering Department, Ferdowsi University of Mashhad
Email: kamalipasha@yahoo.com