

## استفاده از روش‌های زمین آماری در تعیین نیاز آبی چغندر قند در استان تهران<sup>۱</sup>

### Determination of sugar beet water requirement in Tehran province using geostatistics methods

مهدی شهابی فر<sup>۲</sup>، مهدی کوچک‌زاده<sup>۳</sup>، محسن محمدزاده<sup>۴</sup> و سید مجید میرلطیفی<sup>۳</sup>

م. شهابی فر، م. کوچک‌زاده، م. محمدزاده و س.م. میرلطیفی. ۱۳۸۳. استفاده از روش‌های زمین آماری برای تعیین نیاز آبی زراعت چغندر قند

در استان تهران. چغندر قند ۲۰(۲): ۱۴۷-۱۳۳

#### چکیده

به منظور تعیین نیاز آبی خالص (تبخیر و تعرق پتانسیل) زراعت چغندر قند با هدف مدیریت منابع آب، برنامه‌ریزی آبیاری، بهینه‌سازی مصرف آب و دستیابی به حداکثر عملکرد، از روش دو مرحله‌ای فائو استفاده شده است. با استفاده از داده‌های هواشناسی، تبخیر و تعرق مرجع به روش هارگریوز-سامانی در ۳۸ ایستگاه هواشناسی محاسبه شده و سپس با اعمال ضریب گیاهی مناسب مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل چغندر قند محاسبه شد. با سه روش درون‌یابی (کوکریگینگ، کریگینگ و میانگین وزنی عکس فاصله) مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل چغندر قند برای ۳۰۴۵ نقطه (رئوس شبکه ۳۳۰۰ × ۵۲۰۰ متری) که از ایستگاه‌های هواشناسی فاصله داشته‌اند برآورد شده و براساس آن‌ها با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) نقشه‌های توزیع مکانی تبخیر و تعرق پتانسیل چغندر قند در سطح استان تهران تهیه گردیده است. نقشه‌های حاصل بر اساس معیار میانگین مربع خطا (MSE) که به روش اعتبار متقابل محاسبه گردیده، ارزیابی شده و بر اساس ارزیابی به عمل آمده نقشه حاصل از روش درون‌یابی کوکریگینگ در اولویت قرار گرفته است. براساس نتایج، در تیرماه در سطح استان، کمترین و بیشترین مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل روزانه چغندر قند به ترتیب برابر ۵/۵ و ۱۰ میلی‌متر و کمترین و بیشترین مقدار نیاز آبی خالص چغندر قند در طول دوره رشد در استان به ترتیب برابر ۶۰۰ و ۱۲۰۰ میلی‌متر بدست آمده است.

واژه‌های کلیدی: تبخیر و تعرق، چغندر قند، روش‌های زمین آماری، سیستم اطلاعات جغرافیایی، نیاز آبی

<sup>۱</sup> - اقتباس از رساله دکتری تحت عنوان: برآورد تبخیر و تعرق مرجع منطقه‌ای با استفاده از زمین آمار و سیستم اطلاعات جغرافیایی در استان تهران  
<sup>۲</sup> - دکترای علوم و مهندسی آبیاری از دانشگاه تربیت مدرس، عضو هیئت علمی و رئیس بخش تحقیقات آبیاری و فیزیک خاک مؤسسه تحقیقات خاک و آب  
E-mail: m\_shahabifar@yahoo.com  
<sup>۳</sup> - عضو هیئت علمی گروه آبیاری دانشگاه تربیت مدرس  
<sup>۴</sup> - عضو هیئت علمی گروه آمار دانشگاه تربیت مدرس

## مقدمه

بیشتر از اندازه طراحی می شود که هر دو باعث هدر رفتن سرمایه می گردد. حال آن که اگر اندکی هزینه قبل از اجرا و در مرحله طراحی صرف تخمین نیاز آبی گیاهان شود مشکلات فوق الذکر اتفاق نخواهد افتاد. از جمله دلایل وجود خطا در برآورد نیاز آبی گیاهان، عدم آگاهی کافی طراحان از مسائل اگرونومیکی و خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه در رابطه با مصرف آب و عدم انتخاب روش مناسب تخمین نیاز آبی گیاهان می باشد.

نیاز آبی زراعت چغندر قند به شدت تابع شرایط آب و هوایی، مدیریت آبیاری و طول دوره رشد هم چنین تراکم، ژنوتیپ و میزان نیتروژن مصرفی می باشد (کوچکی و همکاران ۱۳۷۲). چغندر قند از نظر نیاز آبی به واسطه دوره رشد طولانی جزء گیاهان پرمصرف به شمار می رود به طوری که مقدار نیاز آبی آن در کرج و مشهد به ترتیب برابر ۸۸۳ و ۷۶۲/۸ میلی متر در طول دوره رشد برآورد شده است (غالبی ۱۳۷۹؛ رحی-می-ان و اسدی ۱۳۷۹). نیاز آبی این گیاه در طول دوره رشد در مناطق مختلف جهان بی-ن ۳۵۰ تا ۱۱۵۰ میلی متر گزارش شده است (Allen et al. 1998). براساس تحقیقات انجام شده، در دو ماه اول دوره رشد میزان تبخیر و تعرق چغندر قند در مقایسه با تبخیر و تعرق مرجع بسیار اندک است و دلایل آن سطح اندک پوشش گیاهی در مراحل اولیه می باشد که بوته ها با فواصل زیاد از هم قرار دارند. به محض این که

محدودیت منابع آب و رقابت بخشهای مختلف در استفاده از این منابع از یک طرف و افزایش سطح اراضی فاریاب از طرف دیگر اهمیت بهره برداری بهینه از این منابع را صد چندان می سازد. جهت بهره برداری مناسب از برآورد دقیق آب مورد نیاز گیاهان در مطالعات کشاورزی، مدیریت من-ابع آب و محی-ط زیست ضرورتی اساسی می باشد. تعیین می-زنان تبخیر و تعرق در مقیاس م-نطقه ای پی-ش نی-از برنامه های توسعه کشاورزی پایدار می باشد و برای نی-ل به این هدف تعیین نقشه توزیع مکانی تبخیر و تعرق در سطح هر منطقه ضروری است (Martinez-Cob 1996).

چغندر قند یکی از مهمترین منابع تولید شکر در جهان و ایران می باشد. ولی چغندر قند در اغلب مناطق ایران کشت می شود و یا قابل کشت است (رحیمیان و اسدی ۱۳۷۹). بنابراین تحقیق و برنامه ریزی برای افزایش تولید این محصول به منظور نیل به خودکفایی کشور و جلوگیری از واردات شکر، ضروری است. از جمله مطالعات لازم در این راستا تعیین نیاز آبی این گیاه می باشد.

هرچند هدف اصلی آبیاری تأمین نیاز آبی گیاهان (تبخیر و تعرق) می باشد، اما غالباً به ضرورت برآورد نیاز آبی گیاهان در طرح های آبیاری توجه کافی نمی شود. این امر سبب عدم تناسب بین آب و اراضی تحت کشت می گردد. به عبارتی پروژه کمتر و یا

اغلب مدل‌هایی که برای تعیین تبخیر و تعرق مورد استفاده قرار می‌گیرند، مدل‌های غیر مکانی بوده و اساس آن‌ها بر این فرض استوار است که من اطاق اطراف نقطه اندازه‌گیری، سطحی همگن است ولی این فرض در واقع با توجه به تغییرات شدید داده‌های آب و هوایی و تغییرات ارتفاعی در سطح منطقه مورد مطالعه مورد اشکال می‌باشد (Garcia and Hashmi 1994) توزیع غیریکنواخت انرژی در سطح یک ناحیه، باعث انتقال افقی انرژی می‌گردد. انتقال و جابجایی افقی توده اتمسفر منجر به انتقال بخار آب و انرژی محسوس می‌شود و ای-ن-پ-دی-ده از عوامل ناهمگنی سطح منطقه و عدم کارایی مدل‌های غیر مکانی می‌باشد (Burman and Pochop 1994; Rosenberg, 1969 and Monteith 1981).

یکی دیگر از دلایلی که سبب عدم امکان استفاده از مدل‌های نقطه‌ای در تخمین تبخیر و تعرق در سطح یک منطقه می‌شود تعداد محدود ایستگاه‌های هواشناسی توزیع نامناسب محل ایستگاه‌ها و نامناسب بودن داده‌های آن‌ها از نظر کمیت و کیفیت می‌باشد. به عبارت دیگر به دلیل تراکم اندک ایستگاه‌ها در واحد سطح، مقادیر به دست آمده از اندازه‌گیری پارامترهای آب و هوایی، توانایی توصیف وضعیت منطقه را ندارند. تحقیقات تریمر (Trimmer 1980) در نبراسکا نشان داد که در صورت هموار بودن منطقه به لحاظ توپوگرافی، داده‌های اندازه‌گیری شده در یک ایستگاه هواشناسی را می‌توان برای محاسبه تبخیر و

مساحت پوشش گیاهی کامل می‌شود (حدود ۶۰ تا ۸۰ روز بعد از کاشت) مقدار تبخیر و تعرق گیاهی به تبخیر و تعرق مرجع نزدیک‌تر می‌شود که علت آن تعرق زیاد از سطح وسیع برگ‌ها است (کوچکی و همکاران ۱۳۷۲). تمام تحقیقات انجام شده برای تعیین نیاز آبی چغندر قند نقطه‌ای بوده و در مقیاس منطقه‌ای کاربرد دقیقی ندارد.

تابش خورشیدی، دما و رطوبت هوا و سرعت باد پارامترهای اقلیمی هستند که در زمان بررسی فرآیند تبخیر و تعرق باید مورد توجه قرار گیرند این داده‌ها که برای تعیین تبخیر و تعرق به کار می‌روند از نوع داده‌های مکانی (Spatial Data) بوده و شدیداً تابع خصوصیات مکان می‌باشند (Allen et al. 1998 and Jensen et al. 1990). به طور مثال اختلاف فاحشی را برای درجه حرارت هوا و سرعت باد می‌توان در فاصله‌های کم-تر از یک کیلومتر مشاهده نمود (Al-Ghobari 2000; hashmi and Garcia 1998). این تغییرات در مناطق کوهستانی مثل ایران باز هم شدیدتر است. در یک منطقه علاوه بر تغییرات داده‌های اقلیمی در مقیاس مکان، تنوع کاربری اراضی و نوع خاک نیز باعث تغییر شدت تبخیر و تعرق در سطح منطقه می‌شوند (Rose 1984). تغییرات مکانی خصوصیات خاک سبب می‌شود تا توسعه ریشه، جذب آب و نهایتاً فرآیند تبخیر و تعرق به یک پدیده مکانی تبدیل گردد (Hillel 1985; Miller 1980).

آوردند. آن‌ها با استفاده از معادله به دست آمده و مدل ارتفاعی که از نقشه‌های توپوگرافی استان مذکور تهیه کرده بودند، نقشه تبخیر و تعرق مرجع را برای استان خوزستان ترسیم نمودند.

در یکی از حوضه‌های آبریز دانمارک از نقشه کاربری اراضی، سری‌های زمانی بارندگی ماهانه و تبخیر و تعرق پتانسیل در یک معادله همبستگی استفاده کرده و توزیع فضایی تبخیر و تعرق واقعی را تخمین زدند (Skop and acquarone 1997).

داده‌های ۳۴ ایستگاه درجه یک و مدل پن‌من - مانیتث برای تخمین تبخیر و تعرق مرجع ماهیانه در منطقه شمال شرق ایالات متحده به کار گرفته شده است. برای درون‌یابی تبخیر و تعرق در سطح منطقه از همبستگی چند متغیره استفاده گردیده که متغیرهای مستقل این رابطه همبستگی متوسط درجه حرارت ماهیانه، طول جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا بوده است (Fennessey and Vogel 1996).

در برنامه‌ریزی آبیاری درختان زیتون در استان جین اسپانیا برای محاسبه تبخیر و تعرق مرجع از معادله هارگریوز و برای پهنه‌بندی و درون‌یابی از روش معکوس مربع فاصله در سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده شده است (Rojas and Roldan 1996).

داده‌های شش ایستگاه هواشناسی در یکی از دشت‌های کلرادو با مساحت ۱۱۰۰۰۰ هکتار برای تخمین تبخیر و تعرق منطقه‌ای استفاده شده است. برای محاسبه تبخیر و تعرق مرجع روش بلینی -

ه کار برد و استفاده از اینگونه داده‌ها در سطح وسیع با تغییرات نسبتاً شدید ارتفاع، توام با خطای زیاد می‌باشد. تحقیقی دیگر در منطقه‌ای از کالیفرنیا با اندازه‌گیری تبخیر و تعرق، اختلافی در حد ۵۰ درصد را برای این پارامتر در فاصله‌ای معادل ۲۰ کیلومتر نشان داد و نتیجه‌گیری گردید که شدت تبخیر و تعرق از نقطه‌ای به نقطه دیگر تغییر نموده و تابع توپوگرافی و خصوصیات اقلیمی است. لذا نمی‌توان مستقیماً از مقادیر محلی در پروژه‌های منطقه‌ای استفاده کرد (Nixon et al. 1963).

برای تهیه نقشه تبخیر و تعرق مرجع در کلرادو پارامترهای اقلیمی در نقاط مختلف جمع‌آوری و سپس با استفاده از تحلیل همبستگی روابط معنی‌داری بین پارامترهای اقلیمی و ارتفاع بدست آمد. در مورد برخی از پارامترها که ارتباط معنی‌داری وجود نداشت از همبستگی بین آن، با پارامتر دیگر آب و هوایی استفاده شد. در ادامه با مشخص شدن توزیع مکانی پارامترهای اقلیمی تبخیر و تعرق مرجع محاسبه گردید (Claessens et al. 1994).

اسدی و همکاران (۱۳۷۹) با جمع‌آوری داده‌های هواشناسی ۳۲ ایستگاه هواشناسی موجود در استان خوزستان و استان‌های مجاور با روش پن‌من - مانیتث فائو و هارگریوز - سامانی تبخیر و تعرق مرجع را در ایستگاه‌های مذکور محاسبه نموده (فرشی و همکاران ۱۳۷۶) و سپس رابطه همبستگی معنی‌داری بین تبخیر و تعرق مرجع و ارتفاع ایستگاه‌ها به دست

از سه روش تحلیل همبستگی، میانگین وزنی (وزن فاصله) و زمین آماری استفاده شده است. روش تحلیل همبستگی به دلیل آن که هیچ گونه توجه‌ای به خصوصیات مکانی داده‌ها ندارد در این نوع مطالعات نتایج قابل قبولی ارائه نخواهد داد. اما روش میانگین وزنی به دلیل توجه به فاصله بین موقعیت‌ها که خود یکی از خصایص مکانی می‌باشد نتایج مناسب‌تری را نسبت به روش قبلی ارائه می‌دهد ولی این روش نیز به دلیل عدم توجه به ساختار همبستگی داده‌های مکانی که ناشی از تفاوت داده‌ها در موقعیت‌های مختلف می‌باشد دارای ضعف است.

در این بررسی با توجه به خصوصیات مکانی داده‌ها به منظور تعیین نقشه توزیع مکانی تبخیر و تعرق در سطح استان تهران از روش‌های درون‌یابی کریگینگ، کوکریگینگ (CoKriging) و میانگین وزنی عکس فاصله (Inverse Distance Weighted) استفاده شده است. در ضمن با آگاهی از این که تئوری روش‌های کریگینگ و کوکریگینگ در مورد داده‌های مکانی قوی‌تر از روش میانگین وزنی عکس فاصله می‌باشد به دلیل آن که روش اخیر به علت سادگی محاسبات کاربرد زیادی داشته در این مقاله با مقایسه نتایج حاصل از آن با نتایج دو روش دیگر سعی شده است که اهمیت روش‌های درون‌یابی مبتنی بر ساختار همبستگی مکانی داده‌ها آشکارتر گردد.

### مواد و روش‌ها

(Hashmi and Garcia 1998).

در یکی از نواحی کوهستانی اسپانیا داده‌های ۱۵۸ ایستگاه برای محاسبه تبخیر و تعرق مرجع با فرمول بلینی - کریدل فائو استفاده و سپس با روش‌های زمین آماری تبخیر و تعرق منطقه‌ای تخمین زده شد. در این تحقیق کارایی سه نوع تخمین‌گر کریگینگ (Kriging) در درون‌یابی متوسط درازمدت تبخیر و تعرق - م-ج-ع - م-ورد ارزیابی قرار گرفته است و اختلاف معنی‌داری بین آنها مشاهده نشده است (Martinez-Cob 1996).

در فلوریدا، از داده‌های شبکه تبخیرسنجی برای تخمین تبخیر و تعرق مرجع منطقه‌ای با روش تحلیل‌های زمین آماری استفاده کردند. در این تحقیق دو تخمین‌گر کریگینگ معمولی (Ordinary Kriging) و کریگینگ عام (Universal Kriging) مورد مقایسه قرار گرفت و در نتیجه تخمین‌گر کریگینگ عام مناسب‌تر شناخته شد. برآوردهای انجام شده برای دو ماه جولای (معرف ماه خشک) و ژانویه (معرف ماه مرطوب) بوده و نقشه‌های هم‌واریانس (واریانس تخمین) برای این دو ماه با استفاده از دو تخمین‌گر ارائه شده است (Chin and Sifang Zaho 1995).

با توجه به تحقیقات و مطالعات پیش گفته در می‌یابیم که برای تعیین تبخیر و تعرق منطقه‌ای عمدتاً

$$ET_c = ET_o * K_c$$

که در آن،  $ET_c$  تبخیر و تعرق پتانسیل و  $K_c$  ضریب گیاهی می باشد. ضریب گیاهی از نشریه شماره ۵۶ آبیاری و زهکشی فائو استخراج و با استفاده از تحقیقات انجام شده تعدیل و برای مراحل چهارگانه تعیین و سپس در مقادیر تبخیر و تعرق مرجع ضرب شده است. برای تعیین نقشه توزیع مکانی تبخیر و تعرق پتانسیل چغندرقد در سطح استان تهران از روش های درون یابی کریگینگ معمولی، کوکریگینگ و روش میانگین وزنی عکس فاصله استفاده شده است. شرط اولیه استفاده از کریگینگ خطی آن است که متغیر مورد نظر توزیع نرمال داشته باشد. برای بررسی نرمال بودن توزیع داده ها از آزمون مربع کای استفاده شد و در سطح پنج درصد اختلاف معنی داری بین توزیع داده های مذکور و توزیع نرمال مشاهده نشد. به عبارت دیگر در سطح اعتماد ۹۵ درصد داده ها دارای توزیع نرمال می باشد.

در روش های کریگینگ و کوکریگینگ تخمین تبخیر و تعرق دارای دو مرحله است. مرحله اول، شامل ترسیم شبه تغییرنگار (Semivariogram) تجربی، برازش مدل شبه تغییر نگار و تعیین پارامترهای مدل می باشد. در این مرحله مفهوم پیوستگی، همگنی و ناهمگنی و بالاخره ساختار فضایی تبخیر و تعرق مرجع بررسی می شود. تغییر نگار بنا به تعریف عبارت است از میانگین مربعات اختلاف مقادیر متوالی متغیر مورد نظر و نصف آن شبه تغییر نگار نامیده می شود که بصورت:

استان تهران با مساحت ۱۹۲۹۴۰۲ هکتار در شمال ایران، بین ۳۴ درجه ۴۶ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۱۸ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۱۴ دقیقه تا ۵۳ درجه و ۱۲ دقیقه طول شرقی واقع شده و ارتفاع آن بین ۷۹۰ تا ۴۱۰۰ متر از سطح آب های آزاد متغیر است. این استان به دلیل دارا بودن شرایط اقلیمی بسیار متفاوت (نواحی خشک کویری تا سرد کوهپایه ای) و بازار بزرگ مصرف از لحاظ تولید محصولات مختلف کشاورزی حائز اهمیت خاص می باشد.

برای تعیین تبخیر و تعرق مرجع از داده های ۲۰ ساله اقلی-می ۳۸ ایستگاه هواشناسی واقع در داخل محدوده و مجاور استان استفاده گردیده و مقدار تبخیر و تعرق مرجع با روش هارگریوز - سامانی (Hargreaves and Samani 1985) بر اساس رابطه زیر محاسبه گردید:

$$ET_o = 0.0023 R_a (T + 17.8)(T_{max} - T_{min})^{0.5}$$

که در آن،  $ET_o$  تبخیر و تعرق مرجع بر حسب میلی متر در روز،  $R_a$  میانگین تشعشع فرا زمینی بر حسب میلی متر در روز،  $T$  میانگین دمای روزانه هوا،  $T_{max}$  میانگین حداکثر دمای روزانه هوا و  $T_{min}$  میانگین حداقل دمای روزانه هوا می باشد. میانگین بلند مدت تبخیر و تعرق مرجع برای ماه های مختلف سال محاسبه شده و سپس با استفاده از ضرایب گیاهی مناسب تبخیر و تعرق پتانسیل چغندرقد از رابطه زیر تعیین شده است.

تخمین گر نارایب خطی بر اساس مشاهدات باشد (Cressie 1993).

چنانچه  $Z(x_i) = \begin{bmatrix} Z_1(x_i) \\ Z_2(x_i) \end{bmatrix}$  نشانگر مشاهده

در موقعیت  $i$  ام (تبخیر و تعرق)  $Z_1$  و ارتفاع ایستگاه ( $Z_2$ ) باشد، کوکریگینگ در موقعیت دلخواه  $x_0$  بر اساس مشاهدات در موقعیتهای  $x_1, \dots, x_n$  بصورت خواهد بود:

$$\hat{Z}(x_0) = \sum \Lambda_i Z(x_i)$$

که در آن:

$$\Lambda_i = \begin{bmatrix} \lambda_{11}^i & \lambda_{12}^i \\ \lambda_{21}^i & \lambda_{22}^i \end{bmatrix}, \quad \hat{Z}(x_0) = \begin{bmatrix} Z_1(x_0) \\ Z_2(x_0) \end{bmatrix}$$

است و برای هر  $i$  ماتریس ضرایب  $\Lambda_i$  به گونه‌ای تعیین می‌شوند که  $\hat{Z}(x_0)$  بهترین تخمین گر نارایب خطی بر اساس مشاهدات باشد (Cressie 1993).

برای تخمین مقدار تبخیر و تعرق در موقعیت دلخواه  $x_0$  بر اساس مشاهدات در موقعیتهای  $x_1, \dots, x_n$  به شیوه درون‌یابی میانگین وزنی عکس فاصله از رابطه استفاده شد.

$$\hat{Z}(x_0) = (\sum Z(x_i) / h_{0i}) / (\sum 1 / h_{0i})$$

که در آن،  $\hat{Z}(x_0)$  مقدار تخمین در موقعیت  $x_0$ ،  $Z(x_i)$  مقدار معلوم در موقعیت  $x_i$  و  $h_{0i}$  فاصله بین دو موقعیت  $x_0$  و  $x_i$  می‌باشد.

در روش میانگین وزنی عکس فاصله، وزن یا اهمیت موقعیتهای معلوم در تخمین موقعیت مجهول، به نسبت عکس فاصله آنها در مقایسه با مجموع عکس فواصل همه موقعیتهایی که در تخمین شرکت می‌کنند، می‌باشد.

$$\gamma(h) = 1/2N(h)[\sum(Z_i - Z_{i+h})^2]$$

تعریف می‌شود که در آن  $N(h)$  تعداد زوج موقعیتهای متمایزی است که در فاصله  $h$  از یکدیگر قرار دارند،  $Z$  مقدار متغیر مورد نظر در موقعیت معین،  $i$  شاخص موقعیت مورد نظر و  $\gamma(h)$  مقدار شبه تغییر نگار بازای فاصله معرفه  $h$  می‌باشد (Cressie 1993).

برای برازش مدل شبه تغییر نگار به داده‌های تجربی، مدل‌های کروی، نمائی، خطی، خطی سقفدار و گوسی مورد بررسی قرار گرفته و بهترین مدل و پارامترهای آن به شش-وه-اع-تبار متقابل (Cross-Validation) به دست آمده است (Hevesi et al. 1992).

مرحله دوم عبارت است از تخمین زمین آماری تبخیر و تعرق به روش کریگینگ یا کوکریگینگ که به پارامترهای مدل شبه تغییر نگار برازش شده در مرحله اول وابسته است.

برای تخمین مقدار تبخیر و تعرق در موقعیت دلخواه  $x_0$  بر اساس مشاهدات در موقعیتهای  $x_1, \dots, x_n$  به شیوه درون‌یابی کریگینگ از رابطه:

$$\hat{Z}(x_0) = \sum \lambda_i Z(x_i)$$

استفاده شده، که در آن  $\hat{Z}(x_0)$  مقدار تخمین در موقعیت  $x_0$ ،  $Z(x_i)$  مقدار معلوم در موقعیت  $x_i$  و  $\lambda_i$  وزن یا اهمیت مقدار وابسته به موقعیت  $x_i$  است و  $\lambda_i$  ها به گونه‌ای تعیین می‌شوند که  $\hat{Z}(x_0)$  بهترین

## نتایج و بحث

نتایج حاصل از برآزش مدل های شبه تغییر نگار بر داده های ارتفاع ایستگاه ها و تبخیر و تعرق پتانسیل و هم چنین شبه تغییر نگار متقابل ارتفاع ایستگاه - تبخیر و تعرق برای تیر ماه و کل دوره رشد در جدول یک ارائه شده است.

مؤلفه تصادفی متغیر مکانی به دو بخش دارای ساختار و بدون ساختار تجزیه می شود. اثر قطعه در واقع بخش بی ساختار آن است که ناشی از وجود مولفه های تصادفی در توزیع متغیر (تصادفی بودن فرایند) و یا خطاهای نمونه برداری می باشد.

برای آن - تخ - اب - بهت - رین - ن - قشه توزیع مکانی ت - یخ - ی - ر و ت - ع - رق از م - ع - یار میانگین مربع خطا (Mean Square Error) که به روش اعتبار متقابل محاسبه شده، استفاده گردیده است. برای تهیه نقشه های توزیع مکانی تبخیر و تعرق، محدوده مطالعاتی شبکه بندی شده (طول شبکه ۵۲۰۰ متر و عرض آن ۳۳۰۰ متر) و مقدار تبخیر و تعرق به روش کوکریگینگ در رئوس شبکه (۳۰۴۵ گره) برآورد شد و بر اساس آن ها نقشه های توزیع مکانی تبخیر و تعرق ترسیم گردید.

جدول ۱ پارامترهای مدل های شبه تغییرنگار و شبه تغییرنگار متقابل

Table 1 Parameter of semivariogram and cross semivariogram modle

عوامل	اثر قطعه C0	سقف C0+C	شعاع تاثیر A0 (km)	نسبت C/(C+C0)	ضریب تبیین R <sup>2</sup>
تبخیر و تعرق چندرقد (تیر ماه) sugar beet evapotranspiration	0.001	1.338	76.5	0.999	0.76
ارتفاع ایستگاه elevation of station	100	244200	63.1	1	0.84
تبخیر و تعرق - ارتفاع evapotranspiration-elevation	-1	-519.5	73.4	0.998	0.86
تبخیر و تعرق چندرقد (دوره رشد) sugar beet evapotranspiration (growth period)	10	24960	73.9	1	0.80
تبخیر و تعرق - ارتفاع (دوره رشد) evapotranspiration-elevation (growth period)	-100	-74100	71.6	0.999	0.89

ساختار فضایی ضعیف تلقی می گردد. بنابراین با توجه به مقادیر ارائه شده در جدول ۱ مشخص می شود که متغیرهای مورد بررسی دارای ساختار فضایی بوده و

بر این اساس معیار  $C/(C+C0)$  برای بیان وجود ساختار فضایی تعریف شده است، اگر مقدار این معیار کوچکتر از ۰/۵ باشد، نقش مؤلفه بی ساختار بیشتر از مؤلفه های دارای ساختار است و در نتیجه



با توجه به آن که متغیرهای مورد بررسی دارای ساختار فضایی می‌باشند، توزیع مکانی آن‌ها به صورتی است که تشابه مقدار متغیر مکانی برای نقاط نزدیک به هم بیش از نقاط دورتر است. لذا با افزایش فاصله مکانی بین نمونه‌ها، به حدی می‌رسیم که از آن به بعد مقدار متغیر مکانی در نقاط اطراف یکدیگر بر هم تأثیر چندانی ندارند. این فاصله شعاع تأثیر نامیده می‌شود. بدیهی است که شعاع تأثیر بزرگتر دلالت بر ساختار فضایی گسترده‌تر دارد. این گسترش موجب افزایش محدوده مجازی می‌گردد که می‌توان از داده‌های معلوم در آن برای تخمین مقدار متغیر مکانی در موقعیت مجهول استفاده کرد. در تخمین مقدار تبخیر و تعرق در هر موقعیت، از تمام داده‌های معلوم در شعاع تأثیر استفاده شده است.

هم چنان که فاصله افزایش می‌یابد، مقدار شبه تغییرنگار از مقادیر کم شروع شده و پس از فراز و نشیب‌هایی ممکن است به سمت حد ثابتی میل کند که بعد از آن هر چه فاصله بیشتر شود مقدار شبه تغییرنگار تغییر معنی‌داری نمی‌کند. به این مقدار نسبتاً ثابت سقف گفته می‌شود. در زمین آمار شبه تغییرنگارهایی که به سقف مشخص می‌رسند به دلیل دلالت بر عدم وجود روند در محدوده مطالعاتی اهمیت بیشتری دارند. با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۱ نتیجه می‌شود که شبه تغییرنگارهای متغیرهای ارتفاع ایستگاه‌ها و تبخیر و تعرق و شبه تغییرنگار متقابل ارتفاع ایستگاه - تبخیر و تعرق، دارای سقف بوده و دلالت بر عدم وجود روند در محدوده مطالعاتی می‌نمایند.

جدول ۲ نتایج آماری و میانگین مربع خطای روش‌های مختلف درون‌یابی بر حسب میلی‌متر  
Table 2 statistical results and mean square error of interpolation methods (mm)

عوامل	حداقل	میانگین	حداکثر	انحراف معیار	میانگین مربع خطا
تبخیر و تعرق چغندر قند (تیرماه) sugar beet evapotranspiration	5.5	8.11	10.01	1.036	0
تبخیر و تعرق چغندر قند (تیرماه) - کریگینگ sugar beet evapotranspiration (kriging)	5.80	8.04	9.63	0.857	0.389
تبخیر و تعرق چغندر قند (تیرماه) - کو کریگینگ sugar beet evapotranspiration (cokriging)	5.42	8.05	9.93	0.913	0.386
تبخیر و تعرق چغندر قند (تیرماه) - عکس فاصله sugar beet evapotranspiration (IDW)	5.91	7.81	9.69	0.818	0.495
تبخیر و تعرق چغندر قند (دوره رشد) sugar beet evapotranspiration	598.4	944.4	1196.5	142.27	0
تبخیر و تعرق چغندر قند (دوره رشد) - کریگینگ sugar beet evapotranspiration (kriging)	640.35	940.58	1177.3	118.68	6270.72
تبخیر و تعرق چغندر قند (دوره رشد) - کو کریگینگ sugar beet evapotranspiration (cokriging)	619.20	940.50	1213.6	126.55	5956.39

تبخیر و تعرق چغندر قند (دوره رشد) - عکس فاصله sugar beet evapotranspiration (IDW)	660.95	931.38	1178.2	111.82	7993.58
--	--------	--------	--------	--------	---------

---

تخمین زده شد و براساس آن‌ها نقشه‌های توزیع مکانی تبخیر و تعرق پتانسیل برای تیر ماه و کل دوره رشد ترسیم گردید (نقشه ۱ و ۲). از نتایج به دست آمده در طراحی الگوی کشت، سیستم‌های آبیاری و برنامه‌ریزی در سطح منطقه‌ای می‌توان استفاده نمود.

کمترین و بیشترین مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل به دست آمده در تیر ماه برابر ۵/۵ و ۱۰ میلی‌متر در روز بوده که به ترتیب در شهرستان دماوند و ورامین اتفاق افتاده است. این مقادیر برابر ۰/۶۴ و ۱/۲ لیتر در ثانیه در هکتار می‌باشند. در طی دوره رشد کمترین و بیشترین مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل برابر ۶۰۰ و ۲۰۰۱ میلی‌متر شده است. در کرج براساس نتایج تحقیقات به عمل آمده مقدار نیاز آبی خالص چغندرقد ۸۸۳ میلی‌متر گزارش شده (غالبی ۱۳۷۹) و با روش فوق برابر ۸۴۹ میلی‌متر برآورد گردیده است.

در ۱۰ درصد از اراضی استان تهران میزان تبخیر و تعرق پتانسیل چغندرقد کمتر از ۷۲۵ میلی‌متر در دوره رشد می‌باشد که این اراضی در شمال استان واقع است و در آن‌ها چغندرقد کشت نمی‌شود. در ۷۵ درصد از اراضی استان میزان تبخیر و تعرق پتانسیل چغندرقد بیشتر از ۹۵۰ میلی‌متر در دوره رشد بوده که در این مناطق بعضاً چغندرقد کشت می‌گردد.

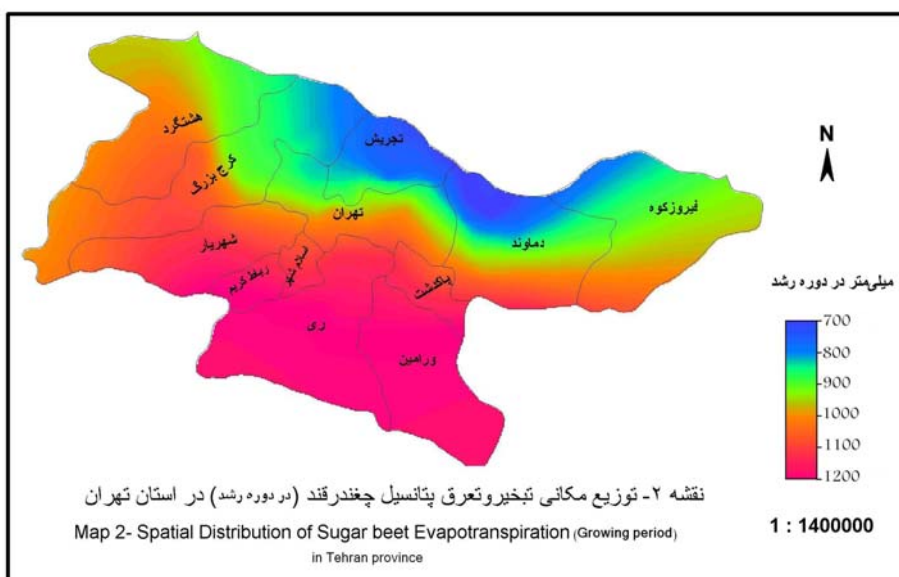
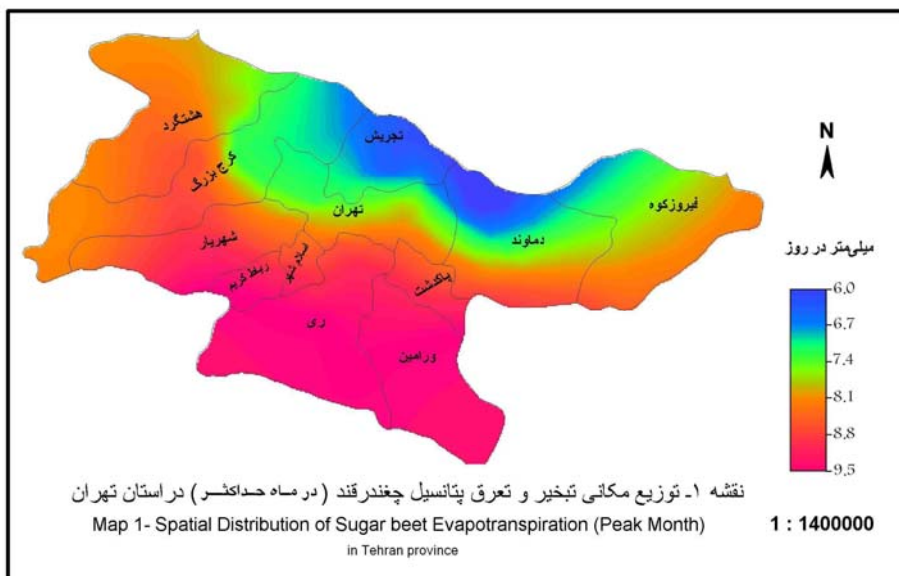
در جدول ۲ نتایج آماری داده‌های محاسبه شده تبخیر و تعرق و اطلاعات حاصل از هر سه روش درون‌یابی ارائه شده است. هم‌چنین میانگین مربع خطا که به روش اعتبارسنجی متقابل محاسبه شده در ستون آخر جدول ارائه گردیده که با توجه به آن اولویت با نقشه حاصل از روش کوکریگینگ، کریگینگ و میانگین وزنی عکس فاصله است.

در سطح استان به دلیل تغییر ارتفاع در نقاط مختلف دمای هوا نیز به تبع آن متغیر بوده و در نتیجه مقدار تبخیر و تعرق که شدیداً تابع دمای هواست در سطح استان تغییر کرده است. لذا این عامل در محدوده مورد مطالعه وابستگی مکانی دارد. که نتایج به دست آمده نیز این مطلب را تأیید می‌نماید. زیرا روش‌های زمین آماری به دلیل آن که در تخمین علاوه بر مقدار متغیر مورد بررسی در یک موقعیت، همبستگی فضایی آن را نیز در تحلیل آن‌ها لحاظ می‌کند نتایج مناسب‌تری را ارائه داده‌اند. در ضمن روش کوکریگینگ به دلیل تئوری ارائه شده و استفاده از متغیر کمکی ارتفاع نقاط که وابستگی شدید با تبخیر و تعرق دارد، برآوردهای مناسب‌تری عاید نموده است.

بنابراین به منظور تهیه نقشه توزیع مکانی تبخیر و تعرق پتانسیل چغندرقد در سطح استان تهران محدوده مورد نظر را همانگونه که قبلاً اشاره شده است شبکه‌بندی نموده و مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل به روش کوکریگینگ برای رئوس شبکه‌ها

نتایج حاصل منطقه‌ای بوده و با استفاده از آن‌ها در مطالعات آتی می‌توان با ملحوظ نمودن داده‌های خاک، بارش و هم چنین اطلاعات شیوه‌های کشت نقشه‌های توزیع مکانی برنامه‌ریزی آبیاری زراعت چغندر قند را تهیه نمود. در ضمن اطلاعات به دست آمده در طرح تحویل حجمی آب به زارعین بسیار لازم

می‌باشد زیرا با داشتن مختصات مکانی هر مزرعه نیاز آبی خالص چغندر قند در آن تعیین می‌گردد. در ضمن از این اطلاعات می‌توان در مطالعات هیدرولوژی حوزه‌ها نیز استفاده نمود زیرا تبخیر و تعرق از عوامل مهم بیابان آبی در هر حوزه می‌باشد.



## منابع مورد استفاده References

- اسدی، ح. قاسمی دهکردی، و.ر. توحیدی، ح.ر. و فرشی، ع.ا. ۱۳۷۹. استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی به منظور پهنه‌بندی داده‌های نیاز آبی گیاهان (مطالعه موردی استان خوزستان). مجله خاک و آب ویژه نامه آبیاری. جلد ۱۲. شماره ۱۰.
- رحمیان، م.ح. و اسدی، ح. ۱۳۷۹. تأثیر تنش آبی بر عملکرد کمی و کیفی چغندر قند و تعیین تابع تولید و ضریب گیاهی آن. مجله خاک و آب ویژه نامه آبیاری جلد ۱۲ شماره ۱۰.
- غالبی، س. ۱۳۷۹. بهینه‌سازی مصرف آب در زراعت چغندر قند با استفاده از توابع تولید آب- عملکرد در کرج. مجله خاک و آب ویژه نامه آبیاری جلد ۱۲ شماره ۱۰.
- کوچکی، ع.، حسینی، م. و نصیری محلاتی، م. ۱۳۷۲. رابطه‌ی آب و خاک در گیاهان زراعی (ترجمه). چاپ اول. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۵۶۰ ص.
- فرشی، ع.ا. شریعتی، م.ر. جارالهی، ر. قائمی، م.ر. شهبازی فر، م. و تولائی، م.م. (۱۳۷۶). تخمین آب مورد نیاز گیاهان عمده زراعی و باغی کشور. جلد اول. چاپ اول. نشر آموزش کشاورزی، کرج. ۹۰۰ ص.
- Al-Ghobari HM (2000) Estimation of Reference Evapotranspiration for Southern Region of Saudi Arabia. Irrigation Science, 19: 81-86
- Allen R, Pereira LS, Smith M (1998) Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirement. Rome: FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56, Italy
- Burman R, Pochop LO (1994) Evaporation, Evapotranspiration and Climate Data. Amsterdam: Elsevire, The Netherlands
- Chin DA, Sifang Zhao (1995) Evaluation of Evaporation-Pan Networks. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 121(5): 338-346
- Claessens L, Garcia LA, Jensen M, Lange RW (1994) Reference Evapotranspiration Maps for Colorado. Water Resources Research Ins., Completion Report No. 182. Fort Collins, Colorado.
- Cressie N (1993) Statistics for Spatial Data. John Wiley and Sons, U.S.A.

- Fennessey NM, Vogel RM (1996) Regional Models of Potential Evaporation and Reference Evapotranspiration for The Northeast USA. *Journal of Hydrology*, 184: 337-354
- Hargreaves GH, Samani ZA (1985) Reference Crop Evapotranspiration from Temperature. *Appl. Eng. Agric.*, 1(2): 96-99
- Hashmi M, Garcia LA (1998) Spatial and Temporal Errors in Estimating Regional Evapotranspiration. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 24(2): 108-114
- Hashmi M, Garcia LA, Fontane DG (1994) Spatial Estimation of Regional Crop Evapotranspiration, *Transaction of The ASAE*, 38(5): 1345-1351
- Hevesi JA, Istok JD, Flint AL (1992) Precipitation Estimation in Mountainous Terrain Using Multivariate Geostatistics. Part 1: Structural Analysis. *J. Appl. Meteorol.*, 31(7): 661-676
- Hillel D (1985) *Advance in Irrigation*. 3 rd Vol. Orlando: Academic Press, U.S.A.
- Jensen ME, Burman RD, Allen RG (1990) *Evapotranspiration and Irrigation Water Requirement*. ASAE Manual and Rep. On Engrg. Pract. No. 70, ASAE
- Martinez-Cob A (1996) Multivariate Geostatistical Analysis of Evapotranspiration and Precipitation in Mountainous Terrain. *Journal of Hydrology*, 174: 19-35
- Miller EE (1980) Similitude and Scaling of Soil-water Phenomena. In: *Application of soil Physics*, ed. Hillel, D. ,pp.300-316. New York : Academic press, U.S.A.
- Monteith JL (1981) Evaporation and Surface Temperature. *Quarterly J. Royal Meteorological Soc.*, London, England, 107: 1-27
- Nixon PR, McGillivray NA, Lawless GP (1963) Evapotranspiration: Climate Comparisons in Coastal Fogbelt, Coastal Valley, and Interior Valley Locations California. *Int. Assoc. Sci. Hydrol. Com. For Evaporation* 62:221-231. (Edited by Jensen, 1981)

- Rojas R, Roldan J (1996) Evapotranspiration Mapping and Irrigation Scheduling for Olive Trees. Proceeding of The International Conference of Evapotranspiration and Irrigation Scheduling. San Antonio, Texas, 644-650
- Rose CW (1984) Modeling Evapotranspiration : An Approach to Heterogeneous Communities, In: Evapotranspiration from Plant Communities, ed. Sharma, M.L. pp.203-222. Amsterdam: Elsevier, The Netherlands
- Rosenberg NJ (1969) Advective Contribution of Energy, Utilized in Evapotranspiration by Alfalfa in The East Central Great Plain. Agricultural Meteorology, 6: 179-184
- Skop E, Acquarone M (1997) GIS Mapping of Evapotranspiration in The Vejle Fjord Watershed, Denmark. <http://WWW.esri.com/Library/Userconf/Europroec97/4.Enviroment/E3/e3.Htm>
- Trimmer WL (1980) Suitability of Region-Wide Irrigation Scheduling by Local Evapotranspiration Measurement. Project Completion Report. Nebraska Water Resources Center, Lincoln