

## برآورد مکانی و پهنه‌بندی تبخیر و تعرق مرجع در استان خوزستان

مژده جامعی (دانشجوی دکتری هواشناسی کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، نویسنده مسؤول)

mozhdeh.jamei@gmail.com

محمد موسوی بایگی (استاد هواشناسی دانشگاه فردوسی مشهد)

mousavi500@yahoo.com

### چکیده

تعیین توزیع مکانی تبخیر و تعرق مرجع (ETO) در مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب، مطالعات بیلان آبی و برآورد نیاز آبی گیاهان از اهمیت زیادی برخوردار است. بنابراین هدف پژوهش حاضر تعیین مناسب‌ترین روش درونیابی برای برآورد مکانی ETO و پهنه‌بندی این متغیر در استان خوزستان است. بدین منظور از داده‌های هواشناسی ۴۲ ایستگاه در یک دوره آماری ۲۸ ساله استفاده شد و برای تخمین مقادیر ETO در ایستگاه‌ها، روش فائو پنمن مانیتث بکار برده شد. به منظور برآورد مکانی ETO، هفت روش درونیابی مشتمل بر وزنی عکس فاصله، اسپلاین، گرادیان خطی سه بعدی، کریجینگ عمومی، کوکریجینگ، کریجینگ با روند خارجی و رگرسیون کریجینگ ارزیابی شدند. برای تحلیل واریوگرافی در روش‌های کریجینگ، پنج مدل نیم‌تغییرنمای کروی، نمایی، خطی، خطی دارای حد آستانه و گوسی بر داده‌های ETO برازش شده و براساس مجموع مربعات، خطای کمتر و ضریب تبیین بالاتر نیم‌تغییرنمای مناسب انتخاب شد. تعیین مناسب‌ترین روش درونیابی بر اساس محاسبه شاخص‌های ریشه میانگین مربعات خطا، میانگین خطای اریب و میانگین انحراف مطلق روش‌های مختلف انجام شد. با بررسی شاخص‌های خطا معلوم شد روش کوکریجینگ با مدل نیم‌تغییرنمای گوسی دارای کمترین خطا بود و به عنوان بهترین روش برای مکانی کردن داده‌های ETO ماهانه و سالانه در خوزستان معرفی شد. در مدل نیم‌تغییرنمای گوسی کوکریجینگ، نسبت بخش ساختاردار به کل تغییرپذیری در بیشتر ماه‌ها ۱ بود که بیانگر ساختار مکانی قوی در تغییرات هم‌زمان متغیرهای ETO و ارتفاع است. اما دقت شود روش کوکریجینگ در بیشتر ماه‌ها دارای خاصیت کم برآوردی است.

**کلیدواژه‌ها:** تبخیر و تعرق مرجع، درونیابی، کوکریجینگ، خوزستان.

## ۱- مقدمه

مهمترین عامل در تعیین نیاز آبی، برآورد دقیق ETo در هر منطقه است که توزیع مکانی آن در مدیریت منابع آب، مطالعات بیلان آبی و برآورد نیاز آبی گیاهان اهمیت بسیاری دارد. روش‌های متعددی برای محاسبه ETo وجود دارد که در اکثر آن‌ها از اندازه‌گیری نقطه‌ای در ایستگاه‌ها برای برآورد ETo استفاده شده است که نتایج آنها فقط در مورد مناطق مناسب محلی کاربرد دارد. با توجه به اینکه بیشتر مطالعات در مقیاس منطقه‌ای وسیع صورت می‌گیرند، تعمیم این اطلاعات از حالت نقطه‌ای به منطقه‌ای ضرورت می‌یابد. با توسعه روش‌های مختلف درون‌یابی، امکان برآورد مکانی ETo منطقه‌ای در سطوح گسترده فراهم شده است. استان خوزستان با دارا بودن هزاران هکتار اراضی کشاورزی و جریان پنج رودخانه بزرگ، بیشترین سهم منابع آب سطحی کشور را داراست اما برخلاف گستردگی منابع آبی منطقه، همواره مشکلات تامین آب کشاورزی بویژه در زمان خشکسالی‌ها مطرح بوده است. براین اساس برنامه‌ریزی و مدیریت صحیح منابع آب، تعیین نیاز آبی و برآورد دقیق ETo ضرورت می‌یابد. هدف پژوهش حاضر تعیین مناسب‌ترین روش درون‌یابی برای برآورد مکانی و پهنه‌بندی ETo در استان خوزستان می‌باشد. پژوهش حاضر به دنبال پاسخ به این پرسش است که «دقیق‌ترین روش درون‌یابی داده‌های ETo در خوزستان کدام روش است؟» تا براساس آن بتوان پهنه‌بندی مکانی این پارامتر را در مقیاس سالانه و ماهانه انجام داد.

## ۲- پیشینه پژوهش

مطالعات متعددی در مورد درون‌یابی متغیر تبخیر و تعرق توسط پژوهش‌گران ایرانی و غیرایرانی انجام شده است که در این تحقیق به برخی از آن‌ها اشاره شده است. در استان‌های فارس، بوشهر، هرمزگان و کهگیلویه بویراحمد، سه روش زمین‌آماری کریجینگ معمولی، کریجینگ باقیمانده و کوکریجینگ برای تخمین ETo ماهانه و سالانه ارزیابی شده‌اند. نتایج این بررسی‌ها نشان داده است روش کوکریجینگ به استثنای ماه‌های فروردین، اردیبهشت و شهریور، بهترین روش برای برآورد ETo در این مناطق بوده است (نوشادی و سپاس خواه، ۱۳۸۶: ۳۴۳). برای بررسی تغییرات منطقه‌ای تبخیر و تعرق پتانسیل در استان همدان، روش کریجینگ در مقیاس ماهانه و روش وزن‌دهی عکس

فاصله در مقیاس سالانه پیشنهاد شده است (نظری فر و همکاران، ۱۳۸۶). در استان تهران روش کریجینگ مناسب‌ترین شیوه برآورد منطقه‌ای ETo بوده است (شهابی فر، ۱۳۸۳). براساس پژوهشی که در اندلس اسپانیا انجام شد روش کریجینگ ساده، به عنوان بهترین روش پهنه‌بندی ETo تعیین شد (Vanderlinden & et al., 2008: 242). در کشور چین، روش کریجینگ معمولی برای درون-یابی ETo محاسبه شده به روش پنمن مانتیت برگزیده شده است (Gong & et al., 2005). در یونان، برای پیش‌بینی مکانی میانگین روزانه تبخیر و تعرق مرجع به دست آمده از معادله پنمن مانتیت، روش باقیمانده کریجینگ دقت بالاتری نشان داده است (Mardikis & et al., 2005: 251). در نواحی کوهستانی آراگون اسپانیا، روش کوکریجینگ برای برآورد تبخیر و تعرق منطقه‌ای دارای بهترین نتیجه بوده است (Martinez-Cob., 1996: 19). نتایج پژوهش‌های اشاره شده نشان دادند روش‌های درون-یابی نتایج متفاوتی در مناطق مختلف دارند، براین اساس هدف پژوهش حاضر بررسی روش‌های مختلف درون‌یابی برای برآورد تبخیر و تعرق مرجع منطقه‌ای در استان خوزستان است. روش‌های متعددی برای تخمین ETo وجود دارد و مطالعات متعددی در مورد مقایسه روش‌های مختلف برآورد این متغیر در داخل و خارج از ایران انجام شده است. اما از بین روش‌های موجود، سازمان خواربار جهانی<sup>۱</sup> در نشریه شماره ۵۶، روش ترکیبی فائو پنمن مانتیت را به عنوان تنها روش استاندارد برای محاسبه نیازآبی گیاه مرجع در تمام نقاط جهان معرفی نموده است (علیزاده و کمالی، ۱۳۸۷: ۱۹). طبق آیین‌نامه مصرف بهینه آب در کشاورزی، برای برآورد ETo و نیازآبی کل کشور نیز از روش فائو پنمن مانتیت استفاده شده است (وزارت کشاورزی، ۱۳۷۸: ۱۹). مقایسه داده‌های ETo برداشت شده از لایسمتر ایستگاه هواشناسی دانشکده کشاورزی مشهد با داده‌های برآورد شده به روش‌های فائو پنمن-مانتیت و تشت تبخیر، نشان داد نزدیکترین جواب به داده‌های لایسمتری از روش فائو پنمن مانتیت به دست آمده است (موسوی بایگی و همکاران، ۱۳۸۸: ۹۷). با بررسی روش‌های مختلف، مناسب‌ترین روش برای تخمین ETo در استان خوزستان، روش فائو پنمن مانتیت است (کشلولی و همکاران، ۱۳۸۵). بنابراین بر مبنای مطالعات اشاره شده و پژوهش‌های دیگر، روش فائو پنمن مانتیت برای

برآورد نقطه‌ای ETO در ایستگاه‌های مطالعاتی انتخاب شده‌است و سپس روش‌های درون‌یابی ارزیابی خواهند شد.

### ۳- روش تحقیق

در این پژوهش برای تعیین بهترین روش برآورد مکانی تبخیر و تعرق مرجع، هفت روش درون‌یابی از جمله وزن‌دهی عکس فاصله<sup>۱</sup>، اسپلاین، گرادیان خطی سه‌بعدی، کریجینگ عمومی، کوکریجینگ، کریجینگ با روند خارجی<sup>۲</sup> و رگرسیون-کریجینگ با یکدیگر مقایسه شدند. در ادامه توصیف مختصری از این روش‌ها ارائه شده‌است. همچنین در این تحقیق از نرم‌افزارهای GS+ و Minitab و Arc GIS 9.3 استفاده شد.

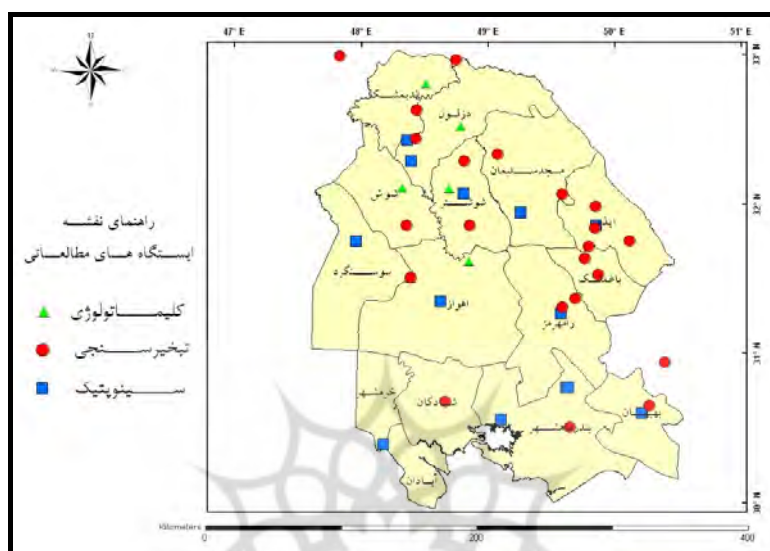
در این مطالعه از داده‌های ۴۲ ایستگاه هواشناسی در داخل و خارج استان خوزستان (۱۳ سینوپتیک، ۷ کليما تولوژی و ۲۲ تبخیرسنجی) در یک دوره آماری ۲۸ ساله (سال‌های ۲۰۰۹-۱۹۸۲ میلادی) برای تخمین ETO در محل ایستگاه‌ها استفاده شد که پراکندگی ایستگاه‌های مطالعاتی در شکل (۱) آمده‌است. برای محاسبه مقادیر ETO در ایستگاه‌ها به روش فائوپنمن مانیتث، نرم‌افزار کراپ وات<sup>۳</sup> به کار رفت. ورودی این نرم‌افزار پارامترهای اقلیمی متوسط حداقل دما، متوسط حداکثر دما، رطوبت نسبی، سرعت باد و تابش است. با توجه به اینکه در برخی ایستگاه‌های مطالعاتی، خلاء آماری وجود داشت، بنابراین پیش از تخمین تبخیر و تعرق، داده‌های کمبود با استفاده از آمار ایستگاه‌های دارای شرایط یکسان و با داده کامل تکمیل و بازسازی شدند.

### ۳-۱- منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی پژوهش استان خوزستان بود که با مساحت ۶۴۷۴۶ کیلومتر مربع، بین ۴۷ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۹ دقیقه طول شرقی و ۲۹ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۴ دقیقه عرض

- 
1. Inverse Distance Weighted (IDW)
  2. Kriging With External Drift
  3. Cropwat

شمالی واقع شده است. این منطقه دارای اقلیم خشک و نیمه خشک بوده و از لحاظ توپوگرافی به دو بخش کوهستانی و جلگه‌ای تقسیم می‌شود. (شکل ۱)



شکل ۱: پراکنندگی ایستگاه‌های مطالعاتی در محدوده استان خوزستان

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۰

#### ۴- مبانی نظری

##### ۴-۱- کریجینگ

کریجینگ نوعی روش تخمینی، مبتنی بر میانگین متحرک وزن‌دار است. برای تخمین مقادیر در نقاط نمونه‌برداری نشده، وزن‌هایی به مقادیر نمونه‌برداری شده اطراف نسبت داده می‌شود (حسنی‌پاک، ۱۳۷۷: ۱۸۱). کریجینگ یک تابع خطی است که از مجموعه مشاهدات توزیع شده در همسایگی نقطه‌ای به دست می‌آید که می‌خواهیم تخمین بزنیم و تابع آن به صورت زیر است.

(۱)

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

در این فرمول:  $Z^*$ : مقدار متغیر مکانی برآورد شده

$Z(x_i)$ : مقدار متغیر مکانی مشاهده شده در نقطه  $i$  ام،  $\lambda_i$ : وزنی که

به نمونه  $X_i$  نسبت داده شده و بیانگر اهمیت نقطه  $i$  ام در برآورد است.  $N$ : تعداد متغیرهای مکانی مشاهده شده است.

تخمین گر کریجینگ دارای دو مرحله است. در مرحله اول شناخت و مدل‌سازی ساختار فضایی متغیرست که می‌توان به وسیله آنالیز نیم تغییرنا آن را بررسی نمود. مرحله دوم تخمین متغیر موردنظر را شامل می‌شود که به مرحله اول وابسته است. شرط استفاده از روش‌های کریجینگ، ایستا بودن متغیر می‌باشد که از طریق نیم تغییر نما قابل تشخیص است. همچنین توزیع داده‌ها باید به توزیع نرمال نزدیک باشد.

#### ۲-۴- کوکریجینگ

در صورتی که به اندازه کافی از متغیر اصلی نمونه برداری نشده باشد و نتوان برآورد آماری را با دقت موردنظر انجام داد از روش کوکریجینگ استفاده می‌شود (Majani, 2007: 33). درین موارد می‌توان با در نظر گرفتن همبستگی مکانی بین متغیر اصلی و یک متغیر کمکی که از آن به اندازه کافی نمونه برداری شده است، تخمین را اصلاح کرد و دقت آن را بالا برد. این روش در مواقعی به کار می‌رود که ضریب همبستگی بین متغیر اصلی و کمکی، قوی و معنی‌دارست و بالاتر از ۰/۵ می‌باشد.

#### ۳-۴- رگرسیون-کریجینگ

این روش زمانی به کار می‌رود که در منطقه داده‌ها روندی وجود داشته باشد و در مرحله اول یک یا چند متغیر کمکی مستقل به وفور در منطقه موجود باشد، سپس بین متغیر وابسته و متغیرهای کمکی، همبستگی بالایی وجود داشته باشد. در این روش ابتدا با استفاده از یک رابطه رگرسیون خطی چندگانه بین متغیر اصلی و متغیرهای کمکی، طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع ایستگاه‌ها، روند موجود در داده‌ها محاسبه می‌شود سپس با کم کردن این میزان، از مقادیر متغیر اصلی، جزء باقیمانده در هر ایستگاه به دست می‌آید. سپس باقیمانده‌ها را با روش کریجینگ عمومی درون‌یابی می‌کنیم و لایه درون‌یابی شده خطاها را به لایه مقادیر برآورد شده

از رابطه رگرسیونی می‌افزاییم تا لایه مقادیر نهایی درون‌یابی به دست آید که معادله نهایی آن به صورت زیر است (Boer & et al., 2001:150).

$$\hat{f}(s_0) = \hat{\alpha} + \hat{\beta}_1 x + \hat{\beta}_2 y + \hat{\beta}_3 h + \sum_{i=1}^n w_i z^*(s_i) \quad (2)$$

در معادله فوق  $\hat{\alpha}$ ،  $\hat{\beta}_1$ ،  $\hat{\beta}_2$ ،  $\hat{\beta}_3$  ضرایب معادله رگرسیونی و  $x$ ،  $y$  و  $h$  طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع نقطه  $s_0$  می‌باشد و  $w_i$  وزن مربوط به خطای ایستگاه  $s_i$  است. همچنین  $\hat{f}(s_0)$  مقدار متغیر درون‌یابی شده نقطه  $s_0$  و  $z^*(s_i)$  مقدار باقیمانده در ایستگاه  $s_i$  است.

#### ۴-۴- کریجینگ با روند خارجی

هنگامی که داده‌های واقعی محدودی از متغیر اصلی در منطقه موجود باشد، این روش با استفاده از رابطه خطی بین متغیر اصلی و کمکی متغیر اصلی را پیش‌بینی می‌کند. متغیرهای کمکی علاوه بر اینکه باید در محل داده‌های متغیر اصلی موجود باشند، می‌بایست در تمامی گره‌های شبکه پیش‌بینی نیز تعریف شده باشند. همچنین باید از داده‌هایی به عنوان متغیر کمکی استفاده نمود که همبستگی خطی بالایی با متغیر مورد نظر دارند (Hengel & et al., 2003:3).

#### ۴-۵- روش وزن دهی عکس فاصله

در معادله این روش، وزن به صورت عکس فاصله به توان (P) بیان می‌گردد که در این روش هرچه P بزرگتر باشد بدین معناست که برآورد ایستگاه‌های نزدیک اهمیت بیشتری دارند. توانی که دارای کمترین خطا (ریشه میانگین مربع خطا) باشد، به عنوان توان بهینه انتخاب می‌شود (Ha & et al., 2011: 2797). پارامتر دیگری که در این روش تاثیرگذار است، تعداد نقاط همسایگی در برآورد مقدار نقاط مجهول است که در این مطالعه تعداد نقاط همسایگی (ایستگاه‌های مطالعاتی) ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۵، ۱۸، ۲۱، ۲۴، ۲۷، ۳۰ بررسی خواهند شد.

#### ۴-۶- روش اسپلاین

اسپلاین‌ها توابعی غیرپارامتری‌اند که قابلیت ارتجاعی بالایی دارند اسپلاین‌ها توابعی غیرپارامتری‌اند که قابلیت ارتجاعی بالایی دارند. منظوری غیرپارامتری بودن این است که

نمی‌توان به اطلاعات مربوط به پارامترهای توزیع جامعه متکی بود. اسپلاینها را می‌توان یک تابع چندجمله‌ای تکه‌ای نامید. یعنی توابع پیچیده شامل قطعاتی از چندجمله‌ای‌ها با درجات مختلف و بین هر دو نقطه از فضا هستند که در محل اتصالات نرم شده‌اند (مهدی‌زاده، ۱۳۸۱: ۲۲).

#### ۴-۷- روش گرادیان خطی سه بعدی

در روش گرادیان‌های خطی فرض برین است که در منطقه مورد بررسی نوعی روند در جهت‌های متفاوت وجود دارد که این روند یک چندجمله‌ای از درجه  $n$  فرض می‌شود. در روش گرادیان خطی سه‌بعدی فرض برین است که در راستای طول و عرض و ارتفاع منطقه روند خطی وجود دارد که با برازش یک رابطه رگرسیون خطی چندگانه بین متغیر اصلی اندازه‌گیری شده در ایستگاه هواشناسی و متغیرهای مستقل، می‌توان در نقاطی که متغیر اصلی اندازه‌گیری نشده است مقدار آن را تخمین زد (Majani, 2007:33).

#### ۴-۸- آزمون نرمال بودن و نرمال سازی داده‌ها

پیش از کاربرد روش‌های خانواده کریجینگ و روش‌های گرادیانی، باید تبعیت توزیع داده‌ها از توزیع نرمال مشخص شود. بنابراین پیش از اجرای این روش‌ها، نرمال‌بودن داده‌های تبخیر و تعرق مرجع در سطح اطمینان ۹۵٪ با استفاده از آماره اندرسون دارلینگ به کمک نرم‌افزار Minitab انجام شد.

#### ۴-۹- متغیرها و شاخص‌های تحقیق

به منظور ارزیابی دقت روش‌های درونیابی به کار گرفته شده برای تبخیر و تعرق مرجع از روش اعتبارسنجی حذفی استفاده شد. برای انتخاب بهترین روش درونیابی، شاخص‌های ریشه میانگین مربعات خطا<sup>۱</sup>، میانگین خطای اریب<sup>۲</sup> و میانگین انحراف مطلق<sup>۳</sup> به کار گرفته شد که روابط آن‌ها در زیر آمده است:

- 
1. Root Mean Square Error (RMSE)
  2. Mean Bias Error (MBE)
  3. Mean Absolute Error (MAE)



$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N [Z(x_i) - \hat{Z}(x_i)]^2}{N}} \quad (۳)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^N [Z(x_i) - \hat{Z}(x_i)]}{N} \quad (۴)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^N |Z(x_i) - \hat{Z}(x_i)|}{N} \quad (۵)$$

$Z(x_i)$ : مقدار مشاهده شده متغیر  $i$  ام،  $\hat{Z}(x_i)$ : مقدار برآورد شده متغیر  $i$  ام و  $N$ : تعداد داده‌ها

### ۵- یافته‌های تحقیق

در این بخش نتایج درون‌یابی تبخیر و تعرق مرجع به روش‌های مختلف در منطقه مورد مطالعه ارایه شد و در نهایت بهترین روش درون‌یابی این پارامتر، بر اساس معیارهای ارزیابی خطا مشخص شده است.

#### ۵-۱- نتایج نرمال سازی داده‌ها

نتایج اجرای آزمون اندرسون-دارلینگ در ماه‌های مختلف نشان داد که داده‌های ETo در بیشتر موارد با سطح اطمینان ۹۵٪ از توزیع نرمال پیروی می‌نمایند جدول (۱). فقط ماه‌های مارس، آوریل، می، ژوئن و دسامبر از توزیع نرمال تبعیت نکردند که با تبدیل مناسب به توزیع نرمال تبدیل شدند.

جدول ۱: نتایج تبدیل تابع توزیع احتمال داده‌های تبخیر و تعرق مرجع به توزیع نرمال

ماه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	سالانه
قبل از تبدیل P-Value	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۰۶	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۳	۰/۰۸
تابع تبدیل	-	-	Log(x)	Log(x)	Log(x)	Log(log(x))	-	-	-	-	-	Log(x)	-
پس از تبدیل P-Value	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۰۲۲	۰/۰۱۷	۰/۰۱۹	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۰۶	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۰۸

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۰

## ۵-۲- نتایج روش کریجینگ عمومی

پیش از کاربرد روش‌های خانواده کریجینگ باید ساختار مکانی داده‌ها بررسی شوند. بدین منظور ۵ مدل نیم تغییرنا از جمله مدل‌های کروی، نمایی، خطی، خطی که حد آستانه و گوسی داشتند بر داده‌ها برازش شده و از بین آن‌ها براساس مقدار مجموع مربعات خطای (RSS)<sup>۱</sup>، نیم‌تغییرنمای بهینه پایین‌تر انتخاب شد و ضریب تبیین (r<sup>۲</sup>) بالاتر گزینش شد. مشخصات مدل‌های نیم‌تغییرنمای بهینه ماه‌های مختلف در جدول (۲) آمده است. بررسی نسبت بخش ساختاردار به کل تغییرپذیری نشان داد تقریباً در همه موارد نقش مؤلفه ساختاردار بسیار بیشتر از مؤلفه بی‌ساختارست (بیش از ۹۵٪). بنابراین، این سنجه دلالت بر ایده‌آل بودن ساختار مکانی داده‌های ETo ماهانه در محدوده مورد بررسی دارد. همچنین معلوم شد مدل تئوری کروی در تمامی موارد به‌عنوان مدل تئوری بهینه نیم‌تغییرنا در نظر گرفته می‌شود. دامنه تأثیر داده‌ها نیز بین ۲۶ تا ۸۵/۶ کیلومتر است. در شکل (۲) نمونه‌ای از نیم‌تغییرنمای تجربی و مدل تئوری کروی برازش داده شده بر آن مشاهده می‌شود که مربوط به داده‌های تبخیر و تعرق ماه ژانویه است. پس از بررسی نیم‌تغییرنماهای تجربی و انتخاب مدل تئوری کروی به‌عنوان بهترین مدل نیم‌تغییرنا، درون‌یابی داده‌های ETo در ایستگاه مطالعاتی به روش کریجینگ عمومی و با مدل نیم‌تغییرنمای کروی و نرم افزار GS+ انجام شد. هم‌زمان با عملیات درون‌یابی در هر ماه، این روش نیز با تکنیک اعتبارسنجی حذفی ارزیابی شد و شاخص‌های خطا محاسبه گردید.

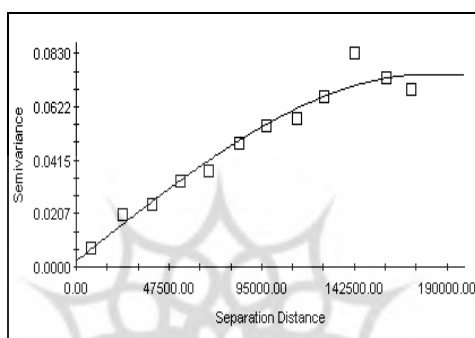
جدول ۲: مشخصات نیم‌تغییرنمای داده‌های تبخیر و تعرق مرجع

ماه	مدل	مجموع مربعات خطا (RSS)	ضریب تبیین (r <sup>۲</sup> )	C/ (C+C0)	دامنه تأثیر (Km)	سقف (C+C0)	اثر قطعه‌ای (C0)
ژانویه	کروی	۲/۸*۱۰ <sup>-۵</sup>	۰/۹۶	۰/۹۹	۵۷/۸	۰/۰۲۸	۰/۰۰۰۲
فوریه	کروی	۱/۱۴*۱۰ <sup>-۳</sup>	۰/۹۷	۰/۹۹	۸۵/۶	۰/۱۹۴	۰/۰۰۰۱
مارس	کروی	۰/۰۴۳	۰/۸۶	۰/۹۹	۵۹/۳	۰/۳۷	۰/۰۰۱
آوریل	کروی	۰/۲۲۲	۰/۸۴	۰/۹۹	۴۹/۸	۰/۹۰۵	۰/۰۰۱
می	کروی	۱/۱۹*۱۰ <sup>-۴</sup>	۰/۸۴	۰/۸۶	۳۵/۹	۰/۰۲۳	۰/۰۰۳
ژوئن	کروی	۷/۴*۱۰ <sup>-۵</sup>	۰/۹	۱	۵۴/۲	۰/۰۲۳	۰
ژوئیه	کروی	۱/۱۷*۱۰ <sup>-۴</sup>	۰/۸۴	۱	۳۱/۲	۰/۰۲۲	۰

## 1 . Residual Sums of Squares

۰	۰/۰۲۵	۲۶	۱	۰/۹	$7/55 * 10^{-5}$	کروی	اوت
۰	۰/۰۲۴	۳۱/۴	۱	۰/۹۸	$5/9 * 10^{-6}$	کروی	سپتامبر
۰	۰/۰۲۸	۵۳/۶	۱	۰/۸۸	$8/3 * 10^{-5}$	کروی	اکتبر
۰/۰۰۰۲	۰/۰۴۹	۴۴/۹	۰/۹۹	۰/۹۱	$2/3 * 10^{-3}$	کروی	نوامبر
۰/۰۰۲	۰/۰۴۲	۸۴/۴	۰/۹۴	۰/۹۳	$1/04 * 10^{-4}$	کروی	دسامبر
۱۰۰	۸۰۵۰۰	۴۵/۷	۰/۹۹	۰/۸۴	$1/5 * 10^{-9}$	کروی	سالانه

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۰



شکل ۲: نیم‌تغییرنمای تجربی و مدل تئوری کروی داده‌های تبخیر و تعرق ماه ژانویه

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۰

### ۵-۳- نتایج روش کوکریجینگ

در این مطالعه تبخیر و تعرق مرجع به عنوان متغیر اصلی و ارتفاع متغیر کمکی در نظر گرفته شد. با به کار بستن آزمون معنی‌داری ضریب همبستگی بر این دو متغیر، معلوم شد در تمامی ماه‌ها همبستگی این دو متغیر در سطح ۹۵٪ معنی‌دار است. با بررسی نرمال بودن داده‌های ارتفاع به‌عنوان داده‌های متغیر کمکی با استفاده از آزمون اندرسون-دارلینگ در سطح اطمینان ۹۵٪ معلوم شد این داده‌ها در حد مطلوبی از توزیع نرمال تبعیت می‌کنند. با توجه به اینکه داده‌های متغیر کمکی نیز باید از ساختار مکانی مطلوبی برخوردار باشند، بنابراین پنج نوع مدل نیم‌تغییرنما بر داده‌های ارتفاع برآزش شدند. آنالیز ساختاری داده‌های ارتفاع نشان داد آن‌ها دارای دامنه تأثیر ۴۷/۷ کیلومتر هستند و نسبت بخش ساختاردار به کل تغییرپذیری ۱ است که نشان می‌دهد اثر قطعه‌ای و در نتیجه ساختار مکانی قوی داده‌های ارتفاع وجود ندارد. در روش کوکریجینگ تغییرات هم‌زمان دو متغیر اصلی و کمکی (نیم‌تغییرنمای متقاطع) نیز باید ساختار داشته‌باشد. بنابراین پارامترهای نیم‌تغییرنمای متقاطع تجربی و تئوری داده‌های تبخیر و تعرق مرجع-ارتفاع در ماه‌های مختلف

برآورد شد و نتایج نشان داد مدل تئوری نیم‌تغییر نما در تمامی موارد مدل گوسی است. همچنین نسبت  $[C/(C+C_0)]$  در همه ماه‌ها ۹۹٪ و ۱ بود که نشان داد ساختار مکانی قوی در تغییرات هم‌زمان متغیرهای اصلی و کمکی است (جدول ۳). پس از تعیین مدل تئوری نیم‌تغییر نمای گوسی به عنوان مدل بهینه، درون‌یابی داده‌های ETO با متغیر کمکی ارتفاع در ایستگاه‌های مطالعاتی به روش کوکریجینگ انجام شد.

جدول ۳: مشخصات نیم‌تغییر نمای متقاطع متغیر اصلی و کمکی

ماه	مدل	مجموع مربعات خطا (RSS)	ضریب تیین (r2)	C/(C+C <sub>0</sub> )	دامنه تاثیر (Km)	سقف (C+C <sub>0</sub> )	اثر قطعه‌ای (C <sub>0</sub> )
ژانویه	گوسی	$9/6 * 10^{-3}$	۰/۹	۱	۴۴/۸	-۰/۲۲۶	-۰/۰۰۰۱
فوریه	گوسی	$9/08 * 10^{-3}$	۰/۹۲	۱	۴۴/۱	-۰/۲۵۳	-۰/۰۰۰۱
مارس	گوسی	۰/۰۵۱	۰/۹۶	۰/۹۹	۶۰/۵	-۰/۹۸۶	-۰/۰۰۰۱
آوریل	گوسی	$8/05 * 10^{-3}$	۰/۹۳	۰/۹۹	۹۴/۳	-۰/۳۶۷	-۰/۰۰۰۱
می	گوسی	۰/۳۳۴	۰/۹۳	۱	۷۹/۹	-۲/۰۱۱	-۰/۰۰۰۱
ژوئن	گوسی	۰/۰۱۵	۰/۹۳	۰/۹۹	۸۵/۱	-۰/۴۳۲	-۰/۰۰۰۱
ژوئیه	گوسی	۰/۰۱۱	۰/۹۱	۱	۷۶/۵	-۰/۳۱۶	-۰/۰۰۰۱
اوت	گوسی	۰/۰۱۳	۰/۸۸	۰/۹۹	۴۰/۵	-۰/۴۹۶	۰/۰۰۰۱
سپتامبر	گوسی	$4/95 * 10^{-3}$	۰/۹۷	۰/۹۹	۸۵/۸	-۰/۳۸۵	۰/۰۰۰۱
اکتبر	گوسی	$5/12 * 10^{-3}$	۰/۹۶	۱	۴/۰۸	-۲/۰۰۷	۰/۰۰۰۱
نوامبر	گوسی	۰/۰۱۱	۰/۹۴	۱	۵۱/۹	-۰/۳۱۱	۰/۰۰۰۱
دسامبر	گوسی	$8/92 * 10^{-3}$	۰/۹۴	۱	۶۴/۲	-۰/۲۹۷	۰/۰۰۰۱
سالانه	گوسی	$5/84 * 10^{-3}$	۰/۹۴	۱	۶۱/۹	-۰/۲۴۵	۰/۰۰۰۱

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۰

#### ۴-۵- نتایج روش رگرسیون-کریجینگ

متغیرهای کمکی این روش، طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع ایستگاه‌ها بودند و رابطه بین متغیرهای کمکی و اصلی به صورت یک رابطه رگرسیون خطی چندگانه تعریف شد و معادله آن با نرم‌افزار Minitab در همراه به طور جداگانه استخراج گردید و مقادیر باقیمانده در هر ایستگاه محاسبه شد و در نهایت لایه باقیمانده ایستگاه‌ها با روش کریجینگ در نرم افزار GS+ درون‌یابی شد. سپس مقادیر درون-

یابی شده در هر ایستگاه به مقادیر محاسبه شده توسط معادله رگرسیونی اضافه گردید و با مقادیر اصلی مقایسه شدند. برای ارزیابی این روش تکنیک اعتبارسنجی حذفی به کار رفت.

#### ۵-۵- نتایج روش کریجینگ با روند خارجی

در این روش براساس رابطه خطی بین متغیر کمکی (ارتفاع) و اصلی (ETO) متغیر اصلی پیش‌بینی شد و متغیر کمکی باید در تمامی گره‌های شبکه پیش‌بینی موجود باشد. بدین منظور مختصات گره‌های شبکه از نرم‌افزار GS+ استخراج شد و به صورت یک لایه نقطه‌ای وارد نرم‌افزار ArcGIS گشت. سپس با استفاده از مدل ارتفاعی رقومی (DEM) مقادیر ارتفاع متناظر با گره‌های شبکه استخراج شد. در نهایت مختصات گره‌های شبکه به همراه مقادیر ارتفاع آن‌ها، به عنوان متغیر کمکی برای محاسبه روش کریجینگ با روند خارجی وارد نرم‌افزار GS+ شدند.

#### ۵-۶- نتایج روش وزنی عکس فاصله

در این روش توان‌های ۱ تا ۵ با تکنیک اعتبارسنجی حذفی و معیار ارزیابی خطای ریشه میانگین مربعات خطا بررسی شدند و توان ۳ که در بیشتر ماه‌ها دارای کمترین مقدار خطا بود به عنوان توان بهینه انتخاب شد. برای تعیین مناسب‌ترین تعداد نقاط همسایگی در برآورد منطقه‌ای ETO، درون‌یابی داده‌ها بر پایه تعداد ایستگاه‌های مطالعاتی ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۱، ۲۴، ۲۷، ۳۰ و ۳۰ و توان بهینه ۳ انجام شد. نتایج نشان داد که در بیشتر ماه‌ها، تعداد ۶ نقطه همسایگی کمترین خطا را داشتند.

#### ۵-۷- نتایج روش اسپلاین

برای درون‌یابی داده‌های تبخیر و تعرق مرجع به شیوه اسپلاین، از روش TPS به وسیله Geostatistical Analyst Toolbox از نرم‌افزار ArcGIS 9.3 استفاده شد.

#### ۵-۸- نتایج روش گرادیان خطی سه‌بعدی

در روش گرادیان خطی سه‌بعدی از طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع هر ایستگاه به عنوان متغیرهای مستقل برای برآورد مقادیر تبخیر و تعرق مرجع (متغیر وابسته) استفاده شد و بین متغیرهای مستقل و تبخیر و تعرق مرجع یک رابطه رگرسیون خطی چندگانه برقرار شد. صورت کلی معادلات استفاده شده به شرح زیر است:

$$ETO_i = a_0 + a_1 * X_i + a_2 * Y_i + a_3 * Z_i \quad (7)$$

$ETo_i$ : مقدار مقادیر تبخیر و تعرق مرجع برآورد شده در نقطه  $i$

$X_i$ : طول جغرافیایی نقطه  $i$ ،  $Y_i$ : عرض جغرافیایی نقطه  $i$

$Z_i$ : ارتفاع نقطه  $i$ ،  $a_0, a_1, a_2, a_3$ : پارامترهای معادله

با بررسی معادلات در ماه‌های مختلف مشخص شد در تمامی ماه‌ها ضرایب متغیرهای مستقل طول جغرافیایی ( $X_i$ )، عرض جغرافیایی ( $Y_i$ ) و ارتفاع ( $Z_i$ ) منفی است. این نتایج نشان دهنده آن است که تبخیر و تعرق مرجع از غرب به شرق و از جنوب به شمال منطقه کاهش می‌یابد و این کاهش از جنوب به شمال می‌تواند ناشی از تأثیر عرض جغرافیایی بر میزان تابش دریافتی در سطح زمین باشد. همچنین با افزایش ارتفاع ایستگاه‌ها مقدار آن کاهش می‌یابد که دلیل آن کاهش دما با افزایش ارتفاع و در نتیجه کاهش تبخیر از سطح زمین است. اما در این میان اثر کاهشی ارتفاع و عرض جغرافیایی بر تبخیر و تعرق مرجع در تمامی موارد بیشتر است (به دلیل بزرگ‌تر بودن ضریب ارتفاع نسبت به ضرایب طول و عرض جغرافیایی در معادلات رگرسیونی). در جدول (۴) معادلات رگرسیون خطی سه‌بعدی ماه‌های مختلف ارائه شده است.

جدول ۴: معادلات گرادیان خطی سه بعدی مربوط به ماه‌های مختلف<sup>۱</sup>

ماه	معادله گرادیان خطی سه بعدی
ژانویه	$ETo = 11/3 - 0/000186 Z - 0/000001 X - 0/000003 Y$
فوریه	$ETo = 18/4 - 0/000382 Z - 0/000002 X - 0/000004 Y$
مارس	$ETo = 22/0 - 0/000716 Z - 0/000002 X - 0/000005 Y$
آوریل	$ETo = 28/3 - 0/00134 Z - 0/000003 X - 0/000006 Y$
می	$ETo = 36/7 - 0/00159 Z - 0/000002 X - 0/000008 Y$
ژوئن	$ETo = 63/5 - 0/000648 Z - 0/000008 X - 0/000015 Y$
ژوئیه	$ETo = 65/4 - 0/000040 Z - 0/000010 X - 0/000015 Y$
اوت	$ETo = 60/0 - 0/000045 Z - 0/000008 X - 0/000014 Y$
سپتامبر	$ETo = 44/7 - 0/000195 Z - 0/000006 X - 0/000010 Y$
اکتبر	$ETo = 24/6 - 0/000762 Z - 0/000001 X - 0/000006 Y$
نوامبر	$ETo = 19/9 - 0/000562 Z - 0/000002 X - 0/000005 Y$
دسامبر	$ETo = 12/4 - 0/000235 Z - 0/000001 X - 0/000003 Y$
سالانه	$ETo = 12374 - 0/204 Z - 0/00141 X - 0/00287 Y$

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۰

۱. (X: طول جغرافیایی (متر)، Y: عرض جغرافیایی (متر)، Z: ارتفاع (متر))

### ۵-۹- انتخاب بهترین روش درون‌یابی برای منطقه‌ای نمودن تبخیر و تعرق مرجع

برای انتخاب بهترین روش درون‌یابی داده‌های ETo ماهانه و سالانه در منطقه مطالعاتی هفت روش درون‌یابی ارزیابی شدند. تعیین بهترین روش مکانی کردن داده‌های ETo ماهانه و سالانه بر اساس محاسبه شاخص‌های میانگین مربعات خطا، میانگین خطای اریب و میانگین خطای مطلق انجام پذیرفت که نتایج محاسبه شاخص‌ها به ترتیب در جداول (۵)، (۶) و (۷) موجود می‌باشد. بررسی شاخص ریشه میانگین مربعات خطا (جدول ۴) در ماه‌های مختلف نشان داد روش‌های کریجینگ عمومی، کوکریجینگ و وزن‌دهی عکس فاصله نسبت به سایر روش‌ها در برآورد ETo، خطای کمتری دارند. نتایج این روش‌ها در بیشتر موارد نزدیک به هم به دست می‌آید اما بررسی شاخص میانگین خطای مطلق (جدول ۶) نشان داد در بیشتر ماه‌ها روش کوکریجینگ خطای کمتری نسبت به روش‌های دیگر دارد. بررسی شاخص میانگین خطای اریبی (جدول ۷) نشان داد روش‌های کریجینگ، کوکریجینگ و گرادسانی سه‌بعدی نسبت به سایر روش‌ها دارای کمترین خطای اریب است. در شکل (۳) توزیع مکانی تبخیر و تعرق مرجع منطقه‌ای سالانه در استان خوزستان برای نمونه ارائه شده است. خطای ماهانه (میلی‌متر بر روز) و خطای سالانه (میلی‌متر بر سال) است.

جدول ۵: مقادیر ریشه میانگین مربعات خطای روش‌های مختلف درون‌یابی داده‌های ETo<sup>۱</sup>

روش	سالانه	دسامبر	نوامبر	اکتبر	سپتامبر	اوت	ژوئیه	ژوئن	می	آوریل	مارس	فوریه	ژانویه	ماه
کریجینگ	۱۳۰/۹	۰/۱۶	۰/۲۸	۰/۴۳	۰/۴۹	۰/۶۲	۰/۶۳	۰/۶۱	۰/۵۹	۰/۴۴	۰/۲۵	۰/۱۹	۰/۱۵	
کوکریجینگ	۱۲۹/۷	۰/۱۵	۰/۲۷	۰/۴۲	۰/۵۷	۰/۵۷	۰/۵۹	۰/۶	۰/۶۱	۰/۴۳	۰/۲۴	۰/۱۸	۰/۱۴	
رگرسیون کریجینگ	۱۸۵/۷	۰/۲۲	۰/۳۹	۰/۵۶	۰/۶۲	۰/۷۹	۰/۸۲	۰/۸۶	۰/۷۷	۰/۶۱	۰/۳۷	۰/۲۶	۰/۱۸	
کریجینگ باروند خارجی	۱۵۳/۹	۰/۱۷	۰/۲۸	۰/۴۲	۰/۴۸	۰/۷۱	۰/۷۴	۰/۷۳	۰/۶۵	۰/۴۷	۰/۲۸	۰/۲۱	۰/۱۵	
گرادبان خطی سه‌بعدی	۲۳۰/۴	۰/۲۴	۰/۴۱	۰/۵۶	۰/۸۶	۱/۱۳	۱/۱۹	۱/۱	۰/۸۲	۰/۶۲	۰/۴۱	۰/۳۱	۰/۲	
اسپلین	۱۵۶/۱	۰/۲۲	۰/۴۲	۰/۵۳	۰/۵۹	۰/۷	۰/۶۵	۰/۷	۰/۷۷	۰/۶	۰/۵۳	۰/۳۱	۰/۱۹	
وزن‌دهی عکس فاصله	۱۳۱/۷	۰/۱۷	۰/۲۷	۰/۴۱	۰/۴۷	۰/۶	۰/۶۱	۰/۶۲	۰/۶	۰/۴۴	۰/۲۵	۰/۱۸	۰/۱۴	

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۰

۱. #: مقدار ریشه میانگین مربعات خطای روش منتخب در ماه مورد نظر

جدول ۶: مقادیر خطای مطلق میانگین روش‌های مختلف درونیابی داده‌های ETO<sup>۱</sup>

سالانه	دسامبر	نوامبر	اکتبر	سپتامبر	اوت	ژوئیه	ژوئن	می	آوریل	مارس	فوریه	ژانویه	ماه	روش
۹۵/۹	۰/۱۲	۰/۱۹	۰/۳۱	۰/۳۷	۰/۴۶	۰/۴۸	۰/۴۷	۰/۴۴	۰/۳۳	۰/۱۹	۰/۱۴	۰/۱۱		کرپجنگ
۹۰/۲	۰/۱۱	۰/۱۹	۰/۳۱	۰/۳۵	۰/۴۳	۰/۴۴	۰/۴۴	۰/۴۲	۰/۳۱	۰/۱۸	۰/۱۲	۰/۱		کوکرپجنگ
۱۴۲/۲	۰/۱۸	۰/۳۱	۰/۴۴	۰/۴۸	۰/۶۱	۰/۶۳	۰/۶۵	۰/۵۹	۰/۴۸	۰/۳	۰/۲۱	۰/۱۵		رگرسون کرپجنگ
۱۱۹/۴	۰/۱۲	۰/۱۹	۰/۳۱	۰/۳۶	۰/۵۷	۰/۶۱	۰/۵۶	۰/۴۸	۰/۳۱	۰/۲۳	۰/۱۷	۰/۱۱		کرپجنگ باروند خارجی
۱۸۳/۴	۰/۲۱	۰/۳۴	۰/۴۷	۰/۶۵	۰/۸۹	۰/۹۵	۰/۸۷	۰/۶۳	۰/۵۱	۰/۳۴	۰/۲۵	۰/۱۷		گردبان خطی سه‌بعدی
۱۲۲/۱	۰/۱۶	۰/۲۸	۰/۳۹	۰/۴۶	۰/۵۴	۰/۵۲	۰/۵۷	۰/۶۰	۰/۴۸	۰/۲۵	۰/۲۰	۰/۱۵		اسپلین
۹۰/۳	۰/۱۲	۰/۲	۰/۲۸	۰/۳۲	۰/۴۳	۰/۴۶	۰/۴۵	۰/۴۳	۰/۳۲	۰/۱۹	۰/۱۳	۰/۱۱		وزن‌دهی عکس فاصله

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۰

جدول ۷: مقادیر میانگین خطای اریبی روش‌های مختلف درونیابی داده‌های ETO<sup>۲</sup>

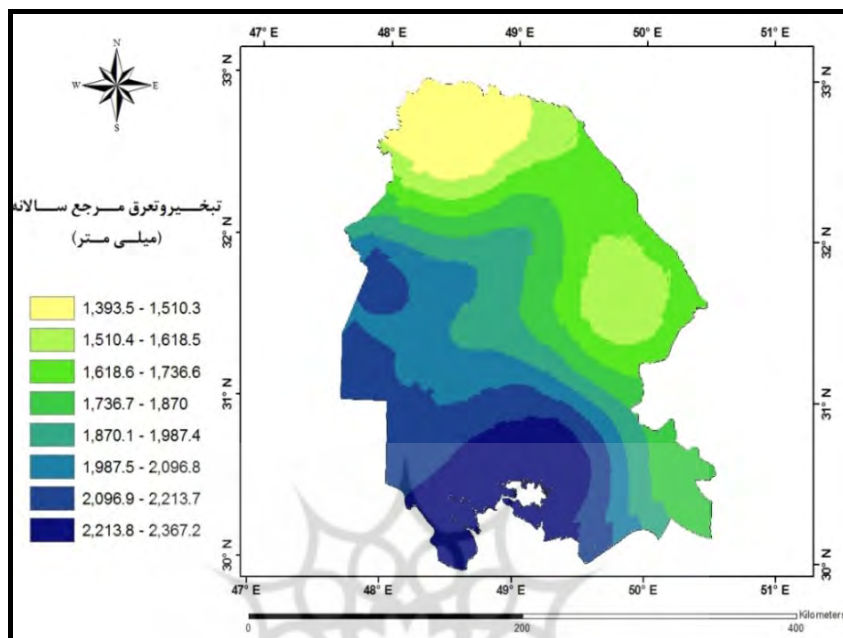
سالانه	دسامبر	نوامبر	اکتبر	سپتامبر	اوت	ژوئیه	ژوئن	می	آوریل	مارس	فوریه	ژانویه	ماه	روش
-۶/۷	-۰/۰۰۸	-۰/۰۱	-۰/۰۵	-۰/۰۳	-۰/۰۴	-۰/۰۵	-۰/۰۵	۰/۰	-۰/۰۱	۰/۰	-۰/۰۳	-۰/۰۵		کرپجنگ
-۴/۹	-۰/۰۰۳	-۰/۰۶	-۰/۰۲۳	-۰/۰۳	-۰/۰۴	-۰/۰۵	-۰/۰۴	-۰/۰۴	-۰/۰۶	-۰/۰۵	-۰/۰۲	-۰/۰۱		کوکرپجنگ
-۷/۱	-۰/۰۰۹	-۰/۰۱	-۰/۰۱۹	-۰/۰۳	-۰/۰۴	-۰/۰۴	-۰/۰۴	-۰/۰۳	-۰/۰۲	-۰/۰۴	-۰/۰۵	-۰/۰۳		رگرسون کرپجنگ
-۸/۵	-۰/۰۰۸	۰/۰۰۷	۰/۰۰	-۰/۰۶	-۰/۰۶	-۰/۰۷	-۰/۰۷	-۰/۰۲	۰/۰۱	-۰/۰۱	-۰/۰۱	-۰/۰۱		کرپجنگ باروند خارجی
-۳/۴	-۰/۰۰۳	-۰/۰۰۸	-۰/۰۶	-۰/۰۴	-۰/۰۱	-۰/۰۱	-۰/۰۱	-۰/۰۱	-۰/۰۶	-۰/۰۵	-۰/۰۴	-۰/۰۳		گردبان خطی سه‌بعدی
-۷/۹	-۰/۰۱	-۰/۰۴	-۰/۰۵۹	-۰/۰۵۸	-۰/۰۶	-۰/۰۲	-۰/۰۲	۰/۰۰۷	-۰/۰۲	۰/۰۱۳	۰/۰۱۸	۰/۰۰۷		اسپلین
۶/۹	۰/۰۰۹	۰/۰۰۸	۰/۰۰۷	۰/۰۵۷	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۵۸	-۰/۰۲	-۰/۰۲	-۰/۰۳	-۰/۰۳	-۰/۰۶		وزن‌دهی عکس فاصله

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۰

۱. \*: مقدار میانگین خطای مطلق روش منتخب در ماه مورد نظر

۲. \*: مقدار میانگین خطای اریبی روش منتخب در ماه مورد نظر





شکل ۳: توزیع مکانی تبخیر و تعرق مرجع منطقه‌ای سالانه در استان خوزستان-

روش کوکریجینگ با مدل نیم تغییرنمای گوسی

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۰

#### ۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

با ارزیابی هفت روش درونیابی مختلف مشخص شد بهترین روش مکانی کردن و پهنه‌بندی داده‌های ETO ماهانه و سالانه در استان خوزستان براساس شاخص‌های ریشه میانگین مربعات خطا و میانگین خطای مطلق، روش کوکریجینگ با مدل نیم تغییرنمای گوسی است. در مدل نیم تغییرنمای گوسی کوکریجینگ، نسبت بخش ساختاردار به کل تغییرپذیری در بیشتر ماه‌ها ۱ به دست آمد که بیانگر ساختار مکانی قوی در تغییرات هم‌زمان متغیرهای ETO و ارتفاع می باشد اما باید دقت شود کوکریجینگ در بیشتر ماه‌ها دارای خاصیت کم برآوردی است. با بررسی نقشه‌های ETO ماهانه و سالانه به دست آمده معلوم شد در تمامی ماه‌ها، حداقل ETO

در مناطق شمال و شمال غرب استان و حداکثر آن در نواحی جنوبی به وقوع پیوسته است که علت آن کاهش عرض جغرافیایی از شمال به جنوب بوده است. همچنین کاهش ETo از غرب به شرق منطقه به دلیل شرایط توپوگرافی خوزستان بوده است که از غرب به شرق ارتفاع از سطح دریا افزایش یافته است و مرتفع‌ترین نقاط منطقه در نیمه شرقی قرار گرفته‌اند. با توجه به نتایج پژوهش حاضر که مشخص شد استفاده از متغیر کمکی در روش‌های درون‌یابی سبب افزایش دقت برآورد می‌گردد، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده از روش‌های ترکیبی دروایی و متغیرهای کمکی بیشتر استفاده گردد.

سپاسگزاری: نگارندگان بر خود لازم می‌دانند از سازمان آب و برق خوزستان و سازمان هواشناسی کشور به دلیل در اختیار قرار دادن داده‌های هواشناسی تشکر نمایند.

#### کتابنامه

۱. حسنی پاک، علی اصغر. (۱۳۷۷). *زمین آمار (ژئواستاتستیک)*؛ تهران: دانشگاه تهران.
۲. شهابی فر، مهدی. (۱۳۸۳). *برآورد تبخیر و تعرق مرجع منطقه‌ای با استفاده از زمین آمار و سیستم-اطلاعات جغرافیایی در استان تهران*؛ پایان‌نامه دکترای تخصصی علوم و مهندسی آبیاری. دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس.
۳. کشلولی، حیدرعلی. برومند نسب، سعید و حسینی، یاسر. (۱۳۸۵). *مقایسه روش‌های تعیین تبخیر و تعرق پتانسیل پنمن، FAO و تورنت وایت در منطقه شمال خوزستان*؛ اولین همایش منطقه‌ای بهره برداری بهینه از منابع آب حوضه های کارون و زاینده رود، دانشگاه شهرکرد.
۴. علیزاده، امین و کمالی، غلامعلی. (۱۳۸۷). *نیاز آبی گیاهان*؛ مشهد: دانشگاه امام رضا.
۵. نظری فر، محمدهادی؛ سیفی، کیوان و مومنی، رضوانه. (۱۳۸۶). *ارزیابی روش های زمین آماری و تیسن در برآورد تغییرات منطقه ای تبخیر و تعرق پتانسیل - مطالعه موردی استان همدان*.
۶. نوشادی، مسعود و سپاسخواه، علیرضا. (۱۳۸۶). *«کاربرد زمین آمار برای تخمین تبخیر تعرق بالقوه»*. فصلنامه تحقیقات مرتع و بیابان ایران. ۱۴(۲). صص ۳۴۳-۳۵۵.

۷. موسوی بایگی، محمد؛ عرفانیان، مریم و سرمد، مجید. (۱۳۸۸). «استفاده از حداقل داده‌های هواشناسی برای برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع و ارائه ضرایب اصلاحی (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی)». مجله آب و خاک. ۲۳(۱). صص ۹۱-۹۹.
۸. مهدیزاده، مهیار. (۱۳۸۱). *ارزیابی روش های زمین آماری برای برآورد دما و بارندگی در حوضه آبریز دریایچه ارومیه؛ پایان نامه کارشناسی ارشد*. تهران: دانشگاه تهران
۹. وزارت کشاورزی. (۱۳۷۸). *آیین نامه مصرف بهینه آب در کشاورزی (سند ملی نیاز آبی)- نیاز آبی، الگوی کشت و راندمان آبیاری، جلد اول دشت های استان خوزستان*. مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی.
10. Boer E.P.J., Beurs K.M.d., & Dewi H.A.(2001). ***Kriging and thin plate splines for mapping climate variables***. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 3(2): 146-154.
11. Gong L., Xu Ch. & Chen, D.(2005) ***Spatial interpolation and analyses of reference evapotranspiration and its temporal trends in Changjiang(Yangtze River) Catchment, China***. Geophysical Research Abstracts :7.
12. Ha,W., Gowda P.H., Oommen,T., Marek T.H, Porter D.O., & Howell T.A. (2011). ***Spatial Interpolation of Daily Reference Evapotranspiration in the Texas High Plains***. Congress of World Environmental and Water Resources :2796-2804.
13. Hengel ,T., Heuvelink B.M.G., & Stein, L.(2003).***Comparison of Kriging with external drift and regression Kriging***. ITC. Technical note: 1-17.
14. Mardikis M.G., Kalivas D.P. & Kollias V.J. (2005).***Comparison of Interpolation Methods for the Prediction of Reference Evapotranspiration-An Application in Greece***. Journal Water Resources Management.19(3): 251-278.
15. Majani B.S.(2007).***Analysis of External Drift Kriging Algorithm with application to precipitation estimation in complex orography***. International Institute For Geo-Information Science And Earth Observation Enschede. The Netherlands:1-91.

16. Martinez-Cob, A.(1996). *Multivariate geostatistical analysis of evaporation and precipitation in mountainous terrain*. Journal of Hydrology. 174(1-2):19-35.
17. Vanderlinden, K., Giraldez, V., & Meirvenne,M. (2008). *Spatial Estimation of Reference Evapotranspiration in Andalusia, Spain*. Journal of Hydrometeorology.9 : 242-255.

