



مقایسه تبخیر تعرق مرجع دو روش هارگریوز- سامانی و استاندارد فائو ۵۶ در مقیاس پهنه‌ای در

حوضه کرخه بزرگ

علی اکبر سبزی پرور^{۱*}، صبا سقائی^۲، حامد نوذری^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۶/۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۱/۳۰

چکیده

هدف از پژوهش حاضر ارائه پهنه تبخیر تعرق گیاه مرجع (ET_o) با استفاده از حداقل پارامترهای هواشناسی در حوضه کرخه بزرگ می‌باشد. در این پژوهش با استفاده از داده‌های هواشناسی ۲۴ ایستگاه سینوپتیک واقع در این حوضه و نواحی اطراف آن، ET_o با روش‌های فائو ۵۶ و هارگریوز- سامانی به کمک نرم‌افزار RefET محاسبه و روش‌های مختلف درونیابی به ET_o بدست آمده از دو روش، برازش داده شد. انتخاب روش مناسب درونیابی براساس آماره‌های ضریب تعیین و جذر میانگین مربعات خطا صورت گرفت. نتایج بیانگر دقت بیشتر روش کریجینگ معمولی برای ماه‌های فصل رشد (آوریل تا سپتامبر) در این حوضه می‌باشد. در گام بعدی با استفاده از روش مناسب درونیابی، پهنه مکانی ET_o دو روش فائو ۵۶ و هارگریوز- سامانی در محیط نرم‌افزار ArcMap برای ماه‌های فصل رشد ترسیم و بازبینی گردید. سپس مساحت اختصاص یافته به هر بازه از نقشه‌های تولیدی بدست آمده و در هر ماه، دو روش فائو ۵۶ و هارگریوز- سامانی در مقیاس پهنه‌ای با یکدیگر مقایسه شدند. تفاوت بین پهنه مکانی دو روش فائو ۵۶ و هارگریوز- سامانی در مناطق شمالی حوضه بیشتر از سایر نواحی است. این مسئله می‌تواند ناشی از تأثیر ارتفاع باشد. اختلاف بین دو پهنه مکانی، بیشتر در ماه‌های ژوئیه و اوت دیده می‌شود.

واژه‌های کلیدی: حوضه کرخه بزرگ، Ref-ET، روش‌های درونیابی، ArcMap کریجینگ معمولی

مقدمه

استاندارد برای محاسبه تبخیر تعرق گیاه مرجع و نیز برای ارزیابی سایر روش‌های تجربی پیشنهاد می‌گردد. از آنجایی که اکثر ایستگاه‌های هواشناسی فاقد داده‌های مورد نیاز و قابل اعتماد (به خصوص داده‌های تابش کل خورشیدی) برای برآورد تبخیر تعرق گیاه مرجع با استفاده از روش پنمن مانیتث می‌باشند و در صورت موجود نبودن برخی از آن‌ها مانند تابش نیاز به واسنجی مدل‌های مربوطه می‌باشد (سبزی پرور و همکاران، ۲۰۱۳)، در این شرایط آلن و همکاران (۱۹۹۸) معادله هارگریوز را که تنها نیاز به اندازه‌گیری دمای کمینه و بیشینه روزانه دارد برای برآورد تبخیر تعرق مرجع توصیه می‌کنند.

تحقیقات انجام گرفته در نقاط مختلف جهان مبین این نکته هستند که دقت مقادیر تبخیر تعرق برآورد شده با رابطه فائو-پنمن-مانتث در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده لایسیمتری از دیگر روابط تجربی بالاتر می‌باشد (آلن و همکاران، ۱۹۹۸). لذا این روش به عنوان یک روش

^۱ استاد هواشناسی گروه مهندسی آب، دانشگاه بوعلی سینا

(*نویسنده مسئول: swsabzi@basu.ac.ir)

^۲ فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه بوعلی سینا

^۳ استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه بوعلی سینا

مرجع را در سطح استان پهنه‌بندی کردند که در آن تبخیرتغرق مرجع به‌عنوان متغیر وابسته و ارتفاع به‌عنوان یک متغیر مستقل در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که مناطق مرکزی، جنوبی و برخی از نواحی غربی استان از شدت تبخیرتغرق بیشتری نسبت به مناطق شمالی و شرقی برخوردارند. ولیزاده کامران و همکاران (۱۳۹۱) در پژوهشی در شهرستان مشکین شهر اردبیل، مقدار تبخیرتغرق مرجع را با روش بلانی-کریدل و اصلاحی دورنبوس و پروت محاسبه نموده و سپس با تابع درونیایی کریجینگ، این مقادیر را به سطح تعمیم دادند.

پژوهش حاضر سعی در ارائه پهنه تبخیرتغرق گیاه مرجع (ET_0) با استفاده از حداقل پارامترهای هواشناسی در قالب نقشه‌های هم تبخیرتغرق در حوضه کرخه بزرگ دارد. در پژوهش حاضر ابتدا ET_0 با استفاده از دو روش فائو ۵۶ و هارگریوز-سامانی در ۲۴ ایستگاه سینوپتیک واقع در حوضه کرخه و مناطقی در اطراف این حوضه (به منظور بررسی دقیق‌تر) با استفاده از نرم‌افزار Ref ET محاسبه گردید. در گام بعدی به منظور دستیابی به روش مناسب درونیایی برای داده‌های ET_0 در منطقه مورد مطالعه، روش‌های مختلف درونیایی از قبیل وزن‌دهی معکوس فاصله^۴، تابع‌های پایه شعاعی^۵، چند جمله‌ای جهانی^۶ و چند جمله‌ای محلی^۷ و روش کریجینگ به داده‌ها برازش داده شد. نتایج بدست آمده از روش ارزیابی متقابل^۸ براساس معیارهای خطاسنجی نظیر ضریب تعیین و جذر میانگین مربعات خطا با یکدیگر مقایسه شدند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز رودخانه کرخه در غرب کشور و در مناطق میانی و جنوب غربی رشته‌کوه‌های زاگرس قرار دارد. حوضه کرخه از نظر مختصات جغرافیایی بین طول‌های جغرافیایی

برای تعیین تبخیرتغرق منطقه‌ای عمدتاً از سه روش تحلیل همبستگی، میانگین وزنی و زمین‌آمار^۱ استفاده می‌شود. در این میان استفاده از روش زمین‌آمار نسبت به دو روش قبل ارجحیت دارد (حسنی‌پاک، ۱۳۷۷). با استفاده از روش زمین‌آمار می‌توان سطحی پیوسته از خصوصیات آماری نقاط معلوم را به وجود آورد (دویچ، ۲۰۰۲).

ساوانا و همکاران (۲۰۰۷) با استفاده از مدل پرستلی تیلور، تبخیرتغرق پوشش‌های جنگلی در حوضه آبریز رودخانه مکونگ (ژاپن) را تخمین و سپس داده‌های به دست آمده را پهنه‌بندی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که مدل بکار گرفته شده توانایی برآورد تبخیرتغرق در وسعت‌های زیاد با ارتفاعات مختلف از پوشش‌های جنگلی را داراست.

لین و همکاران (۲۰۰۸) ضمن نشان دادن توانایی شبکه عصبی فازی در برآورد تبخیرتغرق مرجع در مقایسه با روش پنمن مانیتث فائو ۵۶، اقدام به پهنه‌بندی آن برای حوضه رودخانه دان شیو تابوان کردند، نتایج نشان داد که برآوردهای حاصل از پهنه‌بندی در مناطق فاقد اندازه‌گیری می‌تواند قابل قبول باشد.

والواردو مدریس و همکاران (۲۰۱۱) در ایستگاه سائوپائولو^۲ در شهر جاباتیکیل^۳ در دوره آماری ۲۰۰۶-۲۰۰۲ به‌منظور اصلاح معادلات محاسبه تبخیرتغرق مرجع که به پارامترهای کمتری برای محاسبه تبخیرتغرق مرجع نیاز دارند، ابتدا ET_0 براساس معادلات دمایی کاماگور و جنس هیز محاسبه و سپس در مقایسه با معادله فائو ۵۶ در رابطه رگرسیونی قرار گرفتند و ضرایب اصلاحی معادلات برای دوره‌های ۱۵ روزه و ماهانه محاسبه شدند. در آخر نیز نقشه‌های توزیع مکانی این پارامتر را در منطقه ترسیم نمودند.

شرقی و همکاران (۱۳۸۹) در پژوهشی پس از محاسبه تبخیرتغرق مرجع با استفاده از روش فائوپنمن مانیتث در ۲۹ ایستگاه کلیماتولوژی و سینوپتیک استان یزد، با برقراری ارتباط بین پارامتر تبخیرتغرق مرجع با ارتفاع و همچنین روش عکس مجذور فاصله، نقشه‌های مقادیر تبخیرتغرق گیاه

⁴ Inverse Distance Weights

⁵ Radial Basis Function

⁶ Global Polynomial Interpolation

⁷ Local Polynomial Interpolation

⁸ Cross validation

¹ Geostatistic

² Sao Paulo State

³ Jaboticabal city

همگنی و تصادفی بودن داده‌ها

آن دسته از داده‌هایی که نسبت به میانگین اقلیمی انحراف آماری قابل ملاحظه دارند باید حذف شوند. آزمون فوق به کمک نرم‌افزاری MiniTab و با آزمون همگنی Run Test برای داده‌های پژوهش حاضر، اجرا گردید.

نرمال بودن داده‌ها

جهت برآزش واریوگرام نیاز به آزمون نرمال بودن داده‌ها می‌باشد (تقفیان و همکاران، ۱۳۹۰). به منظور بررسی نرمال بودن داده‌های ET_0 ، از آزمون کولموگراف-اسمیرنوف در نرم افزار MiniTab استفاده شد.

بررسی ساختار مکانی داده‌ها

اساس زمین‌آمار بر واریوگرام استوار است. به طور کلی هر واریوگرام دارای ویژگی‌های زیر است.

دامنه تأثیر

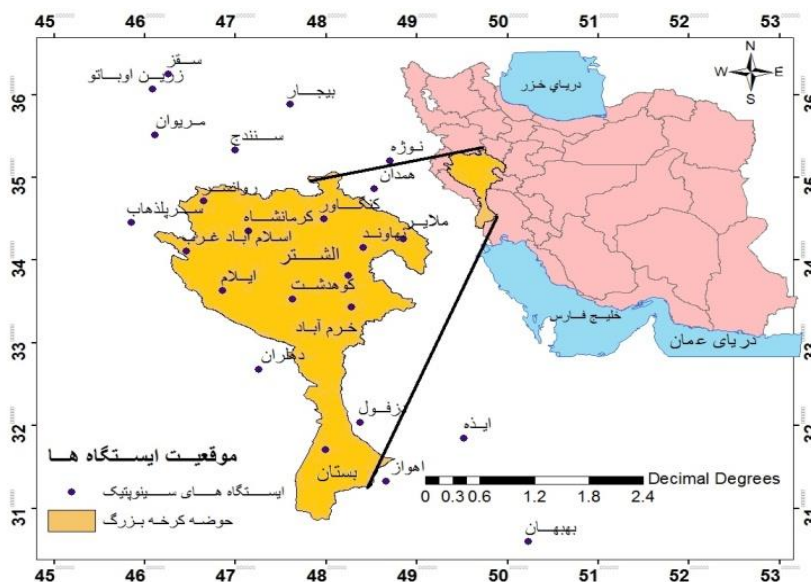
فاصله روی محور افقی که واریوگرام به حد ثابتی می‌رسد، دامنه تأثیر (R) نامیده می‌شود. دامنه تأثیر بزرگتر دلالت بر پیوستگی مکانی گسترده‌تری دارد (حسنی پاک، ۱۳۷۷).

۴۶ تا ۴۹ درجه و ۳۰ دقیقه و عرض‌های جغرافیایی ۳۱ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۳۰ دقیقه قرار گرفته است. مساحت این حوضه حدود ۵۴۰۳۰ کیلومتر مربع است. در پژوهش حاضر از ۲۴ ایستگاه سینوپتیک واقع در حوضه کرخه بزرگ و مناطق نزدیک به حوضه در داخل مرز ایران با دوره مشترک آماری ۲۰۰۹-۱۹۹۸ استفاده شده است. قابل ذکر است برای تحلیل بهتر، ایستگاه‌های سینوپتیک خارج از حوضه، واقع در نزدیکی حوضه (درون مرزهای جغرافیایی ایران) نیز در نظر گرفته شده است. موقعیت حوضه کرخه و ایستگاه‌های سینوپتیک مورد استفاده در این پژوهش در شکل ۱ نشان داده شده است. همچنین در جدول ۱ برخی از خصوصیات جغرافیایی و هواشناسی ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره آماری ۲۰۰۹-۱۹۹۸ ارائه شده است.

تجزیه و تحلیل داده‌های مورد استفاده

بررسی داده پرت

قبل از به‌کارگیری روش‌های زمین‌آمار باید داده‌های پرت شناسایی شوند (اقبال و همکاران، ۲۰۰۵). بدین منظور از روش Box Plot در نرم‌افزار MiniTab استفاده شد.



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک در حوضه کرخه

جدول ۱- برخی از خصوصیات جغرافیایی و هواشناسی ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره آماری ۱۹۹۸-۲۰۰۹

ایستگاه	طول جغرافیایی (درجه شرقی)	عرض جغرافیایی (درجه شمالی)	ارتفاع از سطح دریا (متر)	دما (°C)	رطوبت نسبی (%)	سرعت باد (Knot)	ساعت آفتابی (ساعت)	بارش سالانه (mm)
الشت	۴۸/۲	۳۳/۸	۱۵۶۷/۲	۱۲/۶۹	۴۹/۶	۴/۶	۸/۴۴	۴۷۰/۸
اهواز	۴۸/۶	۳۱/۳	۲۲/۵	۲۶/۶	۳۹/۷	۴/۸	۸/۷	۲۰۰
ایذه	۴۹/۵	۳۱/۸	۷۶۷	۲۱/۴	۳۴/۴	۴/۲	۸/۷	۶۱۶/۸
ایلام	۴۶/۸	۳۳/۶	۱۳۳۷	۱۷	۳۸/۶	۴/۸	۸/۵	۵۲۱/۹
اسلام آباد	۴۶/۴	۳۴/۱	۱۳۴۸/۸	۱۰	۵۰/۱	۴/۱	۸/۵	۴۳۸
بستان	۴۸	۳۷/۷	۷/۸	۲۵/۲	۴۲/۶	۷	۸/۶	۱۷۱
بهبهان	۵۰/۲	۳۰/۶	۳۱۳	۲۴/۹	۳۹/۹	۲/۹	۸/۷	۳۱۰/۲
بیجار	۴۷/۶	۳۵/۹	۱۸۸۳/۴	۱۱/۵	۴۵/۹	۸/۱	۸/۴	۲۹۷/۸
خرم آباد	۴۸/۳	۳۳/۴	۱۱۴۷/۸	۱۷/۲۸	۴۴/۳	۴/۹	۸/۴۱	۴۴۵/۳
دزفول	۴۸/۴	۳۲	۱۴۳	۲۴/۸	۴۸	۲/۸	۷/۷	۳۸۳/۵
دهلران	۴۷/۳	۳۲/۷	۲۳۲	۲۶/۴	۳۶/۲	۵/۱	۸/۵	۲۴۰/۹
روانسر	۴۶/۶	۳۴/۷	۱۳۷۹/۷	۹/۸	۵۰/۱	۵/۷	۸/۴	۴۳۸
زرین اوباتو	۴۶/۱	۳۶/۱	۲۱۴۲/۶	۸/۳	۵۲/۶	۸/۵	۸/۵	۳۷۲
سرپلذهاب	۴۵/۸	۳۴/۴	۵۴۵	۲۰/۵	۴۷/۶	۳/۹	۸/۵	۳۷۵/۹
سقز	۴۶/۳	۳۶/۲	۱۵۲۲/۸	۱۱/۱	۵۲/۸	۵/۲	۸/۳	۴۰۱/۵
سنندج	۴۷	۳۵/۳	۱۳۷۳/۴	۹/۶۶	۵۰/۱	۴/۹	۸/۳	۴۳۸
کرمانشاه	۴۷/۱	۳۴/۳	۱۳۱۸/۶	۱۵/۵۹	۴۳/۵	۴/۹	۸/۱	۳۷۵/۹
کنگاور	۴۷/۹	۳۴/۵	۱۴۶۸	۱۳/۷۲	۵۱	۴/۳	۸/۴	۳۷۶
کوه‌دشت	۴۷/۶	۳۳/۵	۱۱۹۹/۸	۱۵/۹	۴۷/۹	۳/۴	۸/۷۹	۳۸۶/۹
مریوان	۴۶/۱	۳۵/۵	۱۲۸۶/۸	۱۳/۱۳	۵۲/۹	۳/۸	۸	۸۳۲
ملایر	۴۸/۸	۳۴/۲	۱۷۷۷/۸	۱۴/۹۶	۴۲/۴	۵/۵	۸/۵	۳۴۶/۷
نوزه	۴۸/۷	۳۵/۲	۱۶۷۹/۷	۱۱/۵۲	۵۴/۵	۵/۵	۷/۹	۳۱۰/۲
نهایند	۴۸/۴	۳۴/۱	۱۶۸۰/۹	۱۳/۸۲	۴۴/۶	۴/۷	۸/۷	۳۸۳/۲
همدان	۴۸/۵	۳۴/۹	۱۷۴۱/۵	۱۰	۵۰/۱	۴/۱	۸/۳	۴۰۰

سقف یا آستانه واریوگرام^۱

مقدار ثابتی که واریوگرام در دامنه تأثیر به آن می‌رسد.

اثر قطعه‌ای^۲ (C0)

مقدار واریوگرام در مبداء مختصات یعنی به ازای $h=0$ در حالت ایده‌آل مقدار اثر قطعه‌ای باید صفر باشد، اما در بیشتر مواقع بزرگتر از صفر است. در این حالت جزء تصادفی (C0) متغیر ظاهر می‌شود (زهتابیان و همکاران، ۱۳۸۹).

مدل‌های تئوریک رایج واریوگرام

برخی از مدل‌های تئوریک رایج واریوگرام عبارتند از: مدل کرووی^۳، مدل نمایی^۴، مدل گوسی^۵

تشخیص و حذف روند در داده‌ها

اگر واریوگرام به سقف معینی برسد، به معنای عدم وجود روند می‌باشد. از آن جهت که واریوگرام‌های تئوریک مناسب داده‌های گوسی و نمایی می‌باشند، لذا دارای سقف معینی بوده و نیازی به حذف روند از داده‌ها نیست.

³ Spherical Model

⁴ Exponential

⁵ Gaussian Model

¹ Sill

² Nugget Effect

روش عکس فاصله: در این روش مقدار فاکتور وزنی (λ_i) با استفاده از معادله ۲ محاسبه می‌شود.

$$\lambda_i = \frac{D_i^{-\alpha}}{\sum_{i=1}^n D_i^{-\alpha}} \quad (2)$$

که در آن D_i (فاصله بین نقطه برآورد شده و مقدار مشاهده شده در نقطه i ام)، α (توان معادله) و n (تعداد نقاط مشاهده شده) و α ، توان معکوس فاصله است (مهرجردی و همکاران، ۱۳۸۷).

روش تخمین عام (چند جمله‌ای جهانی): یک مدل رگرسیونی چند متغیره بر اساس تمامی داده‌ها تشکیل و یک سطح تفهیمی ایجاد می‌کند (محمدی، ۱۳۸۵).
روش تخمین موضعی (چند جمله‌ای محلی): این روش یک دامنه کوتاه از تغییرات در داده‌های ورودی را در نظر می‌گیرد (محمدی، ۱۳۸۵).

کنترل اعتبار مدل

پارامترهایی که در این پژوهش به منظور اعتبارسنجی پس از ارزیابی متقابل استفاده شدند عبارتند از:
- ضریب تعیین مدل تخمینگر (R^2) و ریشه دوم میانگین مربع خطا (RMSE) برای مقایسه روش‌های درونیابی
- ضریب تعیین مدل تئوریک واریوگرام (r^2)، ریشه میانگین مربع خطای استاندارد (RMSS)^۷ و نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه، برای ارزیابی مدل کریجینگ.

ریشه دوم میانگین مربعات خطا^۸

این معیار طبق معادله ۳ محاسبه می‌گردد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [Z^*(x_i) - Z(x_i)]^2}{n}} \quad (3)$$

که در آن n (تعداد نقاط مشاهده‌ای)، $Z^*(x_i)$ (مقدار برآورد شده برای نقطه i ام) و $Z(x_i)$ (مقدار مشاهده‌ای برای نقطه i ام) می‌باشد.

انواع روش‌های زمین‌آمار

روش‌های احتمالی^۱

روش کریجینگ: این روش، بهترین تخمینگر خطی ناریب^۲ است و در قالب معادله ۱ بیان می‌شود.

$$Z(h) = \sum_{i=1}^n w_i z(x_i) \quad (1)$$

*

که در آن، $Z(h)$ مقدار متغیر مکانی برآورد شده $Z(x_i)$ مقدار متغیر مکانی مشاهده شده در نقطه x_i و w_i وزن آماری است که به نمونه x_i نسبت داده می‌شود و بیانگر اهمیت نقطه^۳ h ام در برآورد است (حسنی‌پاک، ۱۳۷۷). شرط استفاده از این تخمینگر، آن است که متغیر توزیع نرمال داشته باشد.

انواع روش‌های کریجینگ عبارتند از: کریجینگ معمولی^۴، کریجینگ ساده^۴، کریجینگ جامع^۵ و کریجینگ گسسته^۶.
از روش کریجینگ ساده زمانی می‌توان استفاده نمود که میانگین داده‌ها معلوم و در صورت مجهول بودن میانگین، روش کریجینگ معمولی مناسب می‌باشد. کریجینگ عام نیز در صورت وجود روند در داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد (ثقفیان و همکاران، ۱۳۹۰). کریجینگ گسسته در شرایطی که توزیع‌های معمول آماری (نرمال و یا لوگ نرمال) مناسب داده‌ها نباشند، بکار گرفته می‌شود (زهتابیان و همکاران، ۱۳۸۹).

روش‌های معین

روش تابع پایه شعاعی: در این روش از تابعی به صورت $\Phi_j(x) = \Phi(\|X - X_j\|)$ استفاده می‌شود.

¹ Geostatistical Method

² Best Linear Unbiased Estimator

³ Ordinary Kriging

⁴ Simple Kriging

⁵ Universal Kriging

⁶ Disjunctive Kriging

⁷ Root - Mean- Square- Standardized

⁸ Root Mean Square Error (RMSE)

نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه

این نسبت باید کمتر از ۰/۲۵ باشد، در غیر اینصورت ساختار فضایی ضعیف تلقی می‌شود. در چنین مواردی کاربرد زمین‌آمار چندان مفید تلقی نمی‌شود (حسنی‌پاک، ۱۳۷۷).

ضریب تعیین مدل تئوریک و تخمینگر

هر چه این مقدار بیشتر از ۵۰٪ باشد مدل کارایی بیشتری برای تخمین دارد (معادله ۴) (مهرجردی و همکاران، ۱۳۸۷).

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (o_i - t_i)^2}{\sum_{i=1}^N (o_i - \bar{o}_i)^2} \quad (4)$$

o_i مقدار مشاهده‌ای برای نقطه t_i مقدار برآورد شده برای نقطه t_i و \bar{o}_i میانگین مقادیر مشاهده‌ای می‌باشد. برای اینکه یک مدل دقت خوبی را در تخمین داشته باشد باید ریشه دوم میانگین مربعات خطا تا حد امکان کوچک و ریشه میانگین مربع خطای استاندارد آن نزدیک به ۱ باشد (امور نظام فنی دفتر مهندسی وزارت نیرو، ۱۳۹۰).

توزیع فراوانی که در مورد نمونه‌های کوچک مورد استفاده قرار می‌گیرد به نام توزیع t یا توزیع t استیودنت معروف است. اگر یک متغیر (X) دارای توزیع نرمال با میانگین μ باشد و اگر تمام نمونه‌های n تایی ممکن از جامعه انتخاب و میانگین آن‌ها محاسبه شود و با \bar{X} نشان داده شود، در این صورت کمیت t از معادله ۵ محاسبه می‌شود (رضایی، ۱۳۸۶).

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{S_{\bar{X}}} \quad (5)$$

t محاسبه شده با t جدول در سطح ۵ درصد مقایسه می‌شود. اگر t محاسبه شده کوچکتر از t جدول باشد در اینصورت اختلاف معناداری بین میانگین نمونه‌ها وجود ندارد.

در این مطالعه به منظور برآزش روش احتمالی کریجینگ ابتدا از نرم‌افزار GS+ به منظور برآزش واریوگرام به داده‌های تبخیرتغرق مرجع استفاده و پس از انتخاب مدل واریوگرام مناسب در این نرم‌افزار، مدل‌های معین و احتمالی به داده‌های تبخیرتغرق مرجع با استفاده از نرم‌افزار GIS

برآزش داده شد. در مرحله بعد از روش ارزیابی متقابل، مقادیر مدل شده داده‌ها برای هر روش محاسبه گردید. در نهایت نیز براساس معیارهای اعتبارسنجی، مدل مناسب انتخاب شد.

نتایج و بحث

فصل رشد در حوضه مورد مطالعه، بین ماه‌های آوریل تا سپتامبر (کیکاوس‌زمان، ۱۳۹۱) در نظر گرفته شده است. از میان روش‌های مختلف کریجینگ، با توجه به عدم وجود روند در داده‌ها و مشخص نبودن میانگین منطقه‌ای تبخیرتغرق، روش کریجینگ معمولی مناسب داده‌ها تشخیص داده شد. مدل تئوریک واریوگرام روش کریجینگ معمولی نیز با استفاده از نرم‌افزار GS+ مشخص گردید. در جدول ۲ نتایج مربوط به مدل تئوریک بهینه واریوگرام تخمینگر کریجینگ معمولی در بسته نرم‌افزاری GS+ ارائه شده است.

به عنوان نمونه، نتایج مربوط به برآزش روش‌های مختلف درونیابی برای ماه آوریل در جدول ۳ ارائه شده است (لازم به ذکر است نتایج سایر ماه‌ها مشابه می‌باشد). همانطور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، بالا بودن مقدار ضریب تعیین و پایین بودن جذر میانگین مربعات خطا در روش کریجینگ معمولی نسبت به سایر روش‌های درونیابی، دلیل انتخاب این روش به عنوان روش مناسب درونیابی برای داده‌های تبخیرتغرق این حوضه در ماه‌های فصل رشد بوده است. مناسب بودن روش کریجینگ معمولی نسبت به سایر روش‌های درونیابی با یافته‌های ماردیکیس و همکاران (۲۰۰۵) و سرمیدیان و تقی‌زاده (۱۳۸۸) مطابقت دارد. گزینش روش مناسب زمین‌آمار در برآورد یک متغیر، به نوع متغیر و عوامل منطقه‌ای تأثیرگذار بر آن بستگی دارد و نمی‌توان روش منتخب در یک منطقه را به سایر مناطق تعمیم داد (صفری، ۱۳۸۱). به منظور نرمال‌سازی داده‌ها از تبدیل‌هایی از قبیل (لگاریتم و جذر داده‌ها) استفاده می‌گردد (محمد ابراهیم، ۲۰۱۱). لازم به ذکر است که داده‌های تبخیرتغرق مرجع برای ماه اوت نرمال نبود و با لگاریتم گرفتن، داده‌ها نرمال شدند.

جدول ۲- نتایج مربوط به برازش مدل تئوریک واریوگرام داده‌های تبخیر تعرق مرجع در روش استاندارد فائو ۵۶

ماه میلادی	مدل تئوریک واریوگرام	دامنه تأثیر (متر)	اثر قطعه‌ای	آستانه	ضریب تعیین مدل تئوریک	اثر قطعه‌ای آستانه	ریشه دوم میانگین مربعات خطای استاندارد
آوریل	گوسی	۷۰۷۸۸۹	۰/۱۳	۲/۳۷	۰/۹۱	۰/۰۵	۱/۵
می	گوسی	۶۰۶۰۴۴	۰/۰۶۵	۳/۱۴	۰/۹۴	۰/۰۲	۱/۰۲
ژوئن	گوسی	۸۱۱۸۱۲	۰/۰۰۱۳۴	۰/۰۱۷۹	۰/۹۳	۰/۰۷	۱/۴
ژوئیه	نمایی	۸۰۶۴۰۰	۰/۰۶۴	۳/۱۴	۰/۷۸	۰/۰۲	۱/۸
اوت	کروی	۶۳۲۹۰۰	۰/۰۰۰۴	۰/۰۱	۰/۷۳	۰/۰۴	۱/۹
سپتامبر	گوسی	۶۵۶۱۰۰	۰/۳	۲/۷	۰/۹۱	۰/۱	۱/۶

جدول ۳- نتایج مربوط به برازش روش‌های مختلف درونیابی برای ماه آوریل در حوضه کرخه

عکس مجذور فاصله		تخمین عام		تخمین موضع		تابع شعاعی		کریجینگ معمولی	
R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE
۰/۴۳	۰/۶۴	۰/۴۵	۰/۵۱	۰/۶۱	۰/۶	۰/۴۶	۰/۴۸	۰/۶۶	۰/۶۲

مقایسه نقشه‌های مکانی تبخیر تعرق مرجع محاسبه شده با دو روش فائو ۵۶ و هارگریوز- سامانی

مقادیر نقطه‌ای تبخیر تعرق مرجع به دست آمده از دو روش فوق به ۱۰ بازه (در هر بازه ۱۰ درصد از کل داده‌های نقطه‌ای تبخیر تعرق مرجع قرار دارند) در هریک از ماه‌های فصل رشد طبقه‌بندی شدند. در مرحله بعد مساحت هریک از بازه‌های تفکیک شده در نقشه‌ها به صورت مجزا محاسبه گردید. مقایسه بین مساحت بدست آمده برای بازه‌های تبخیر تعرق مرجع دو روش فائو ۵۶ و هارگریوز- سامانی در شکل‌های ۲ و ۳ ارائه شده است. لازم به ذکر است که محور افقی در شکل‌های شماره ۳، بازه‌بندی دهکی هر یک از ماه‌های فصل رشد می‌باشد. برخی از بازه‌ها دارای درصد مساحت صفر می‌باشند، زیرا این بازه از تبخیر تعرق درون حوضه کرخه حضور نداشته و مربوط به ناحیه اطراف حوضه کرخه بوده که به منظور آنالیز بهتر مرزهای حوضه مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

در مقایسه بین مساحت‌های اختصاص یافته به هر بازه برای ماه آوریل، روش هارگریوز در ۵۵ درصد از بازه‌ها مقادیر را بیشتر از روش فائو ۵۶ تخمین زده است. تخمین کمتر روش هارگریوز- سامانی در محدوده ایستگاه‌های نپاوند و اسلام‌آباد غرب قرار می‌گیرد. در ماه می، روش هارگریوز-

سامانی در ۵۵ درصد از بازه‌بندی صورت گرفته، مقادیر تبخیر تعرق را بیشتر از روش فائو ۵۶ تخمین زده است. در ماه ژوئن، در ۴۴ درصد از بازه‌بندی صورت گرفته برای این ماه روش هارگریوز نسبت به روش فائو ۵۶ مقادیر تبخیر تعرق را بیشتر تخمین زده است. به منظور تبدیل مقدار مساحت روش هارگریوز به مساحت همان بازه در روش فائو ۵۶، بین مقادیر مساحت بدست آمده از پهنه مکانی دو روش رابطه رگرسیونی برازش داده شد. مقدار ضریب همبستگی بین مساحت‌های محاسبه شده با دو روش هارگریوز- سامانی و فائو ۵۶ در ماه‌های مختلف فصل رشد به شرح جدول ۴ است.

همانطوری که از جدول ۴ مشخص است ضریب همبستگی خطی برای ماه‌های آوریل، می و ژوئن بالاتر از ۵۰ درصد می‌باشد که گویای وابستگی خطی نقشه‌های مکانی تبخیر تعرق مرجع محاسبه شده با دو روش فائو ۵۶ و هارگریوز- سامانی می‌باشد. در ماه‌های ژوئیه، اوت و سپتامبر ضریب همبستگی خطی مقادیر پایینی را نشان می‌دهد که به معنای عدم وجود همبستگی خطی بین پهنه مکانی بدست آمده از دو روش فائو ۵۶ و هارگریوز- سامانی می‌باشد، به منظور یافتن رابطه بین پهنه‌های مکانی بدست آمده از دو روش فوق، از روش رگرسیون غیرخطی برای این ماه‌ها استفاده گردید. لازم به ذکر است در جدول ۵ منظور

از پارامتر Y مساحت نواحی هم تبخیرتغرق بدست آمده از روش هارگریوز که به عنوان پارامتر وابسته در روابط رگرسیونی و پارامتر X مساحت نواحی هم تبخیرتغرق بدست آمده از روش فائو ۵۶ می باشد که به عنوان پارامتر مستقل در روابط رگرسیونی در نظر گرفته شده اند.

محاسبه ET_0 با روش های فائو ۵۶ و هارگریوز- سامانی به صورت ایستگاهی بوده و برای مشخص شدن وضعیت تبخیرتغرق در یک منطقه نیاز به ایجاد پهنا مکانی از این پارامتر می باشد. در این راستا می توان به پژوهش های نوشادی و سپاسخواه، (۲۰۰۵) و دین پژوه (۲۰۰۶) اشاره نمود. در مطالعات گذشته مقایسه روش های مختلف محاسبه تبخیرتغرق مرجع به صورت ایستگاهی صورت گرفته اما در پژوهش حاضر مقایسه دو روش فوق الذکر در مقیاس منطقه ای می باشد. طبق روابط ارائه شده در جدول ۵، می توان مقدار مساحت ناحیه مربوط به هر بازه در نقشه توزیع مکانی ET_0 مربوط به روش هارگریوز- سامانی را اصلاح نمود. پهنا مکانی دو روش فائو ۵۶ و هارگریوز- سامانی برای ماه های فصل رشد در شکل های ۴ تا ۹ ارائه شده است.

نتیجه گیری

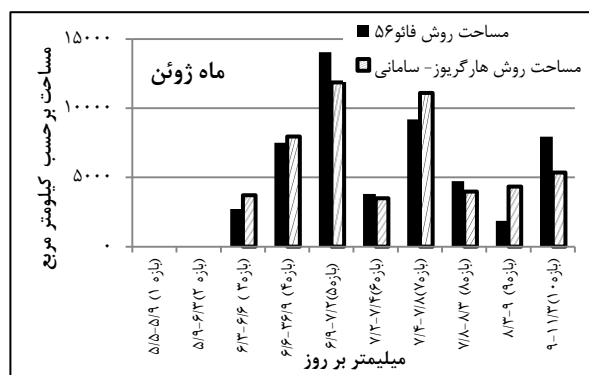
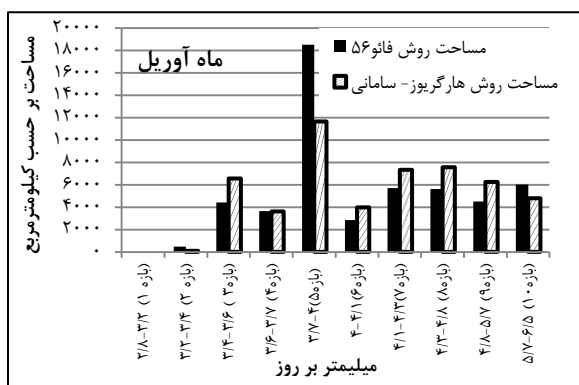
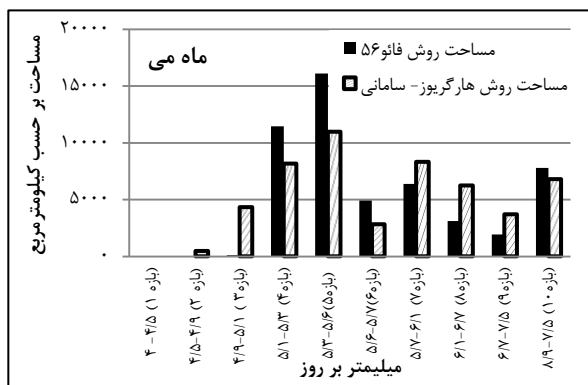
بین مقادیر تبخیرتغرق مرجع محاسبه شده برای هریک از ایستگاه های مورد مطالعه و همچنین مقادیر مساحت اختصاص یافته به هر بازه در پهنا مکانی این پارامتر در دو روش فائو ۵۶ و هارگریوز- سامانی با توجه به آزمون t ، اختلاف معناداری وجود ندارد. این در حالی است که در ایستگاه های مورد مطالعه در حوضه کرخه و نواحی اطراف آن در ماه های فصل رشد به طور متوسط مقدار تبخیرتغرق مرجع با روش هارگریوز- سامانی ۴۷ درصد بیشتر از روش فائو ۵۶ تخمین زده شده است. همچنین، مقایسه بین مساحت بدست آمده از پهنا مکانی برای ماه های دوره رشد نشان می دهد که روش هارگریوز- سامانی به طور متوسط ۵۴ درصد از تبخیرتغرق مرجع کل حوضه کرخه را نسبت به روش فائو ۵۶ بیشتر تخمین زده است. اختلاف بین اعداد بدست آمده از این دو روش، و معنادار نبودن این اختلاف از لحاظ آماری، نشان دهنده بالا بودن واریانس نمونه ها می باشد.

جدول ۴- ضریب همبستگی بین مساحت های محاسبه شده با دو روش هارگریوز- سامانی و فائو ۵۶

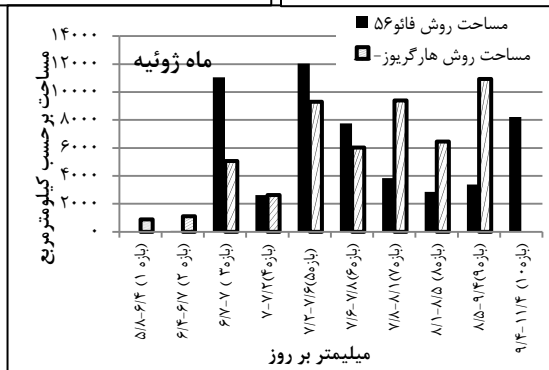
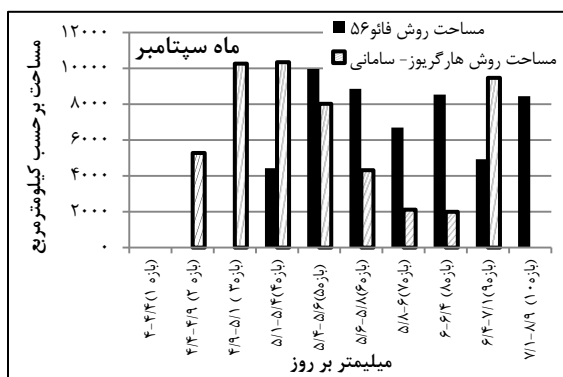
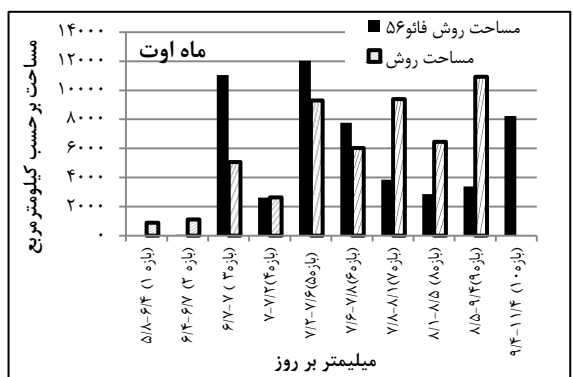
ماه میلادی	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر
ضریب همبستگی خطی بین مساحت ها	۰/۷۶	۰/۷۴	۰/۸۷	۰/۱	۰/۳۵	۰/۰۳

جدول ۵- رابطه بین مساحت بدست آمده بین بازه های تبخیرتغرق مرجع دو روش فائو ۵۶ و هارگریوز- سامانی در ماه های فصل رشد

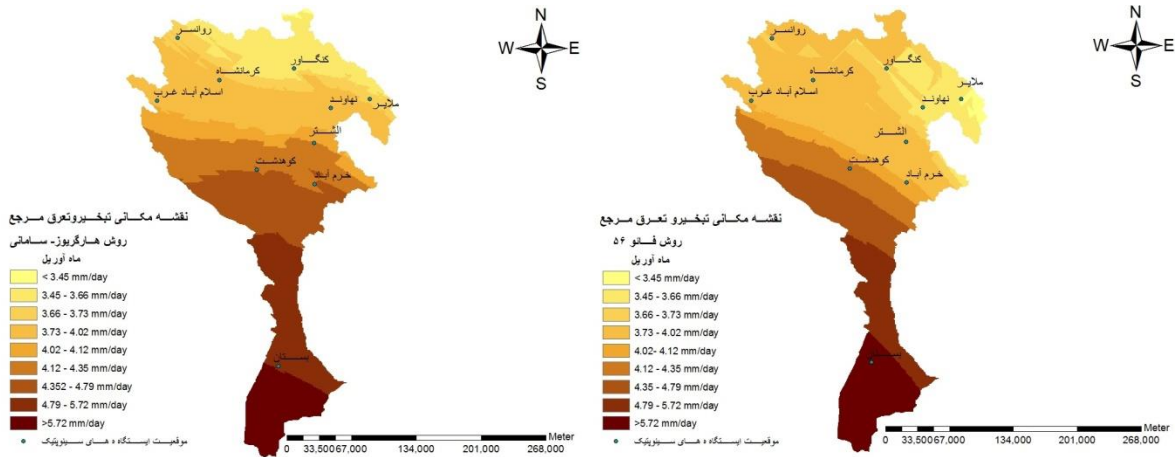
ماه میلادی	مدل رگرسیونی	ضریب تعیین
آوریل	$y = 0.6X + 2.07 \times 10^9$	۰/۸۶
می	$y = 0.57X + 2.27 \times 10^9$	۰/۸۶
ژوئن	$y = 0.84X + 7.97 \times 10^8$	۰/۹
ژوئیه	$y = \text{Ln}(X^{0.5} + 3) + X^{0.98}$	۰/۶۸
اوت	$y = \text{Ln}(X^{0.5} + 3) + X^{0.99}$	۰/۷۶
سپتامبر	$y = \text{Ln}(X+1) + 5.18 \times 10^9$	۰/۶۳



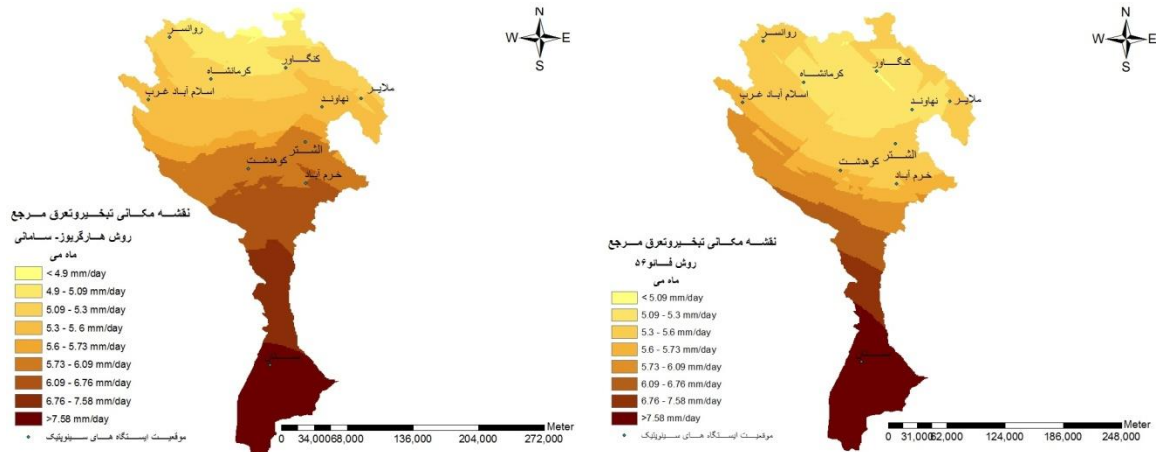
شکل ۲- مساحت اختصاص یافته به هر بازه ET0 در سه ماه اول فصل رشد با دو روش فائو ۵۶ و هارگریوز- سامانی



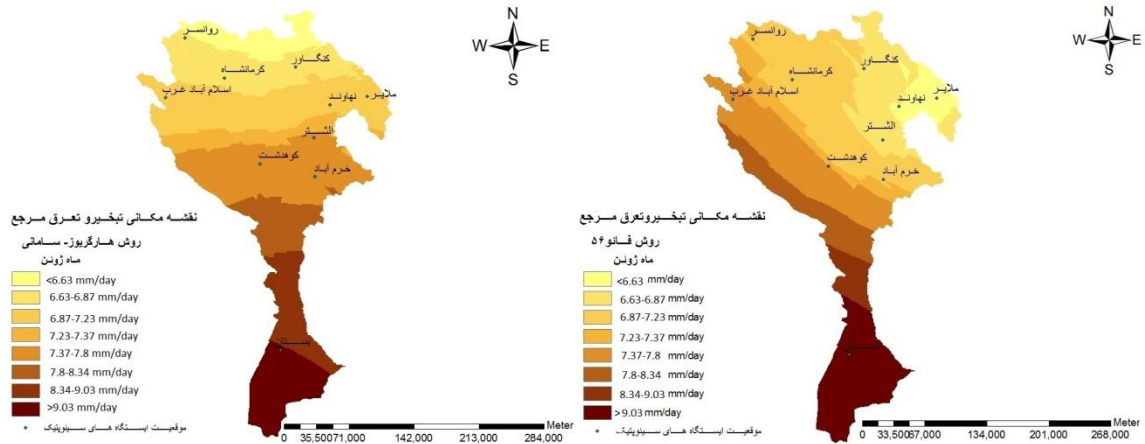
شکل ۳- مساحت اختصاص یافته به هر بازه ET0 در سه ماه دوم فصل رشد با دو روش فائو ۵۶ و هارگریوز- سامانی



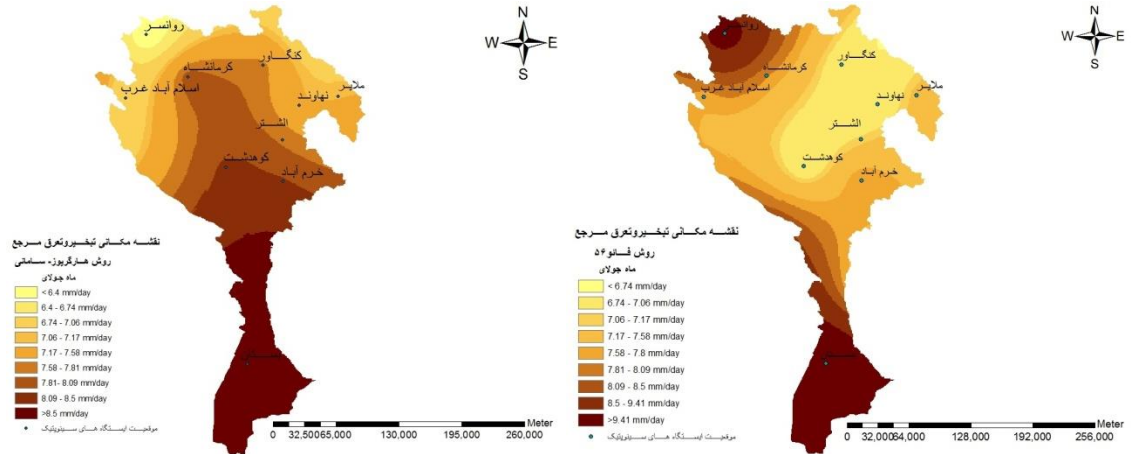
شکل ۴- پهنه مکانی تبخیر و تعرق مرجع در ماه آوریل



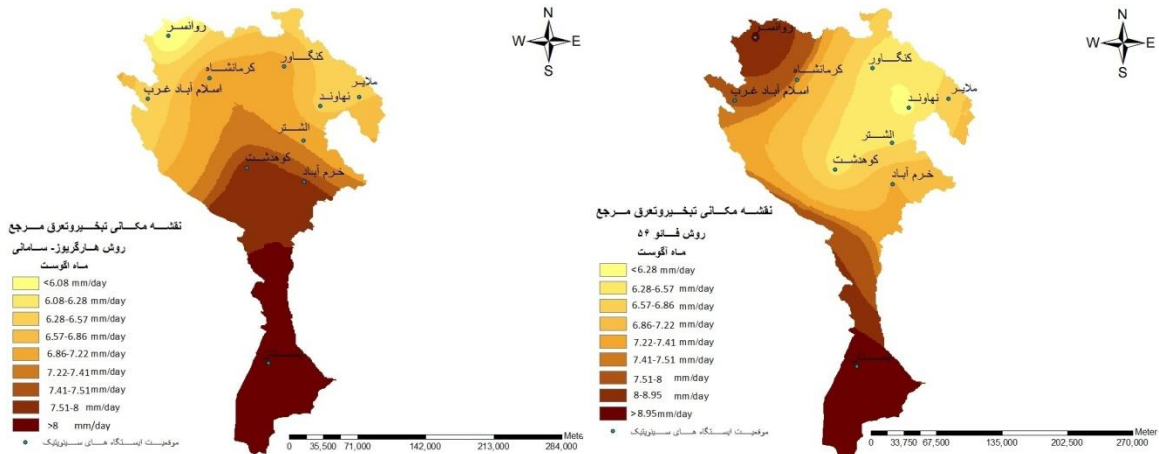
شکل ۵- پهنه مکانی تبخیر و تعرق مرجع در ماه می



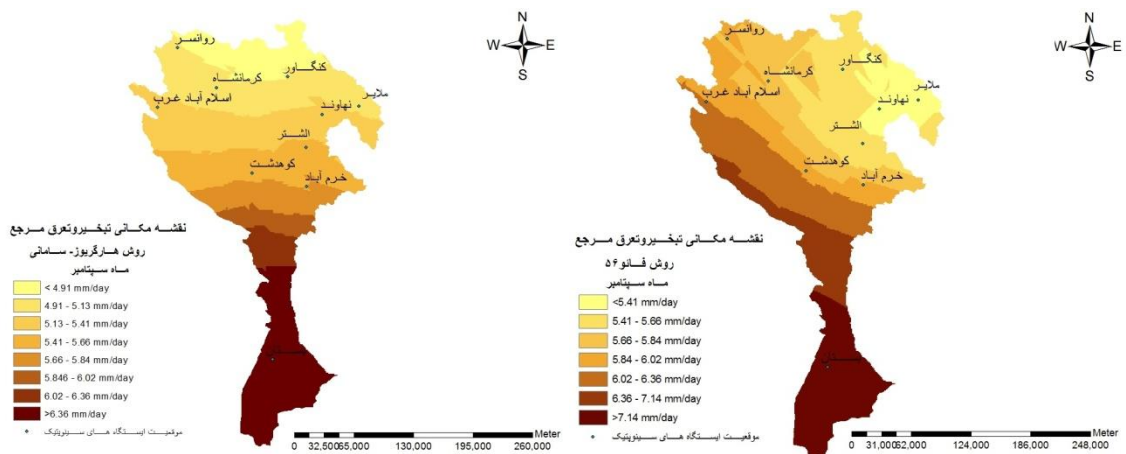
شکل ۶- پهنه مکانی تبخیر و تعرق مرجع در ماه ژوئن



شکل ۷- پهنه مکانی تبخیر تعرق مرجع در ماه ژوئیه



شکل ۸- پهنه مکانی تبخیر تعرق مرجع در ماه اوت



شکل ۹- پهنه مکانی تبخیر تعرق مرجع در ماه سپتامبر

وزارت نیرو). ۱۳۹۰. راهنمای روش های توزیع مکانی عوامل اقلیمی با استفاده از داده های نقطه‌ای.

ثقفیان، ب.، رزمخواه، ه.، قرمز چشمه، ب. ۱۳۹۰. بررسی تغییرات منطقه‌ای بارش سالانه با کاربرد روش‌های زمین‌آمار (مطالعه موردی استان فارس). مجله مهندسی منابع آب، سال چهارم، ۳۸-۲۹.

حسینی‌پاک، ع. ا. ۱۳۷۷. زمین‌آمار (ژئواستاتستیک). انتشارات دانشگاه تهران.

رضایی، ع. ا. ۱۳۸۶. مفاهیم آمار و احتمالات. نشر مشهد.

زهتابیان، غ. ر.، جان‌فزا، ع.، محمدعسگری، ح.، نعمت‌الهی، ن. ا. ۱۳۸۹. مدلسازی توزیع مکانی برخی از خصوصیات شیمیایی آب‌های زیرزمینی مطالعه موردی در حوزه آبخیز گرمسار. فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۱(۱): ۷۳-۶۱.

سرمردیان، ف.، تقی‌زاده مهرجردی، ر. ا. ۱۳۸۸. مقایسه روش‌های درون‌یابی جهت تهیه نقشه خصوصیات کیفی خاک (مطالعه مزرعه دانشکده کشاورزی). مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۴۰(۲): ۱۵۷-۱۶۵.

شاهدی، ک.، زارعی، م. ۱۳۹۰. ارزیابی روش‌های برآورد تبخیرتعرق در استان مازندران. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، ۳: ۲۱-۱۱.

شرقی، ط.، بری ابرقویی، ح.، اسدی، م. ا.، کوثری، م. ر. ۱۳۸۹. برآورد تبخیرتعرق گیاه مرجع با استفاده از روش فائو-پنمن-مانتیت و پهنه‌بندی آن در استان یزد. فصلنامه علمی پژوهشی خشک‌بوم، ۳۳: ۲۵-۱.

صفری، م. ۱۳۸۱. تعیین شبکه بهینه پایش آب‌های زیرزمینی با استفاده از روش‌های زمین‌آمار. پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.

علیزاده، ا.، میرشاهی، ب.، هاشمی‌نیا، م.، ثنایی‌نژاد، ح. ۱۳۸۰. بررسی دقت و عملکرد تبخیرتعرق پتانسیل محاسبه شده به روش‌های هارگریوز- سامانی و تشتک تبخیر در ایستگاه‌های سینوپتیک استان خراسان. مجله علمی و فنی سازمان هواشناسی کشور، ۱۱۲-۹۰.

کیکاووس زمان، ع. ۱۳۹۱. پیش‌بینی مقدار تبخیرتعرق

علیزاده و همکاران (۱۳۸۰) در ایستگاه‌های سینوپتیک استان خراسان و شاهی و زارعی (۱۳۹۰) در استان مازندران بر بیش برآورد روش هارگریوز- سامانی نسبت به روش فائو ۵۶ در ایستگاه‌های مورد مطالعه‌شان تأکید نموده‌اند. این نکته قابل ذکر است که پژوهش‌های گذشته دو روش فائو ۵۶ و هارگریوز- سامانی را به صورت ایستگاهی و نقطه‌ای مورد مقایسه قرار داده‌اند، اما در پژوهش حاضر این دو روش با کمک روش‌های درون‌یابی به سطح برازش داده شده و به صورت منطقه‌ای مورد مقایسه قرار گرفته‌اند و بیش‌برآورد به دست آمده در این پژوهش در مقیاس منطقه‌ای می‌باشد. همانطور که در شکل های ۴ تا ۹ مشخص است، در مناطق شمالی حوضه که مرتفع‌تر است، تغییرپذیری تبخیرتعرق مرجع بیشتر از نواحی جنوبی حوضه که در نواحی پست واقع شده‌اند می‌باشد. و اختلاف این روش در نواحی شمالی بیشتر از نواحی جنوبی می‌باشد. اختلاف بین پهنه مکانی دو روش در ماه‌های ژوئیه (تیر) و اوت (مرداد) مشهودتر است. در ماه‌های ژوئیه و اوت روش هارگریوز- سامانی در نواحی شمال‌غربی حوضه بسیار ضعیف عمل کرده و مقادیر تبخیرتعرق را بسیار کمتر از مقادیر فائو ۵۶ تخمین زده است. دلیل این مسئله را می‌توان اینگونه بیان کرد که روش هارگریوز- سامانی، تبخیرتعرق مرجع را با استفاده از دمای هوا (حداقل و حداکثر) و تابش فوق جوی (وابسته به عرض جغرافیایی) محاسبه می‌کند و از تأثیر دیگر پارامترهای هواشناسی نظیر سرعت باد و رطوبت نسبی و متغیرهای آیرودینامیکی صرف نظر می‌کند.

در پژوهش حاضر می‌توان با استفاده از کمترین تعداد داده یعنی حداقل و حداکثر دما، ET_0 را با روش هارگریوز- سامانی محاسبه و پهنه مکانی این پارامتر را ترسیم نمود. سپس با استفاده از روابط رگرسیونی ارائه شده در جدول ۵، می‌توان مقدار مساحت هر بازه را اصلاح نمود. با به کارگیری این روش می‌توان به صورت منطقه‌ای مقدار تبخیرتعرق را با حداقل داده محاسبه و در ارزیابی‌های بیلان آب مربوط به آن منطقه استفاده نمود.

منابع

امور نظام فنی دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا

- Estimation Regional Evapotranspiration by Adaptive Network-based Fuzzy Inference System for Dan-Shui Basin in Taiwan. *J. Chinese Ins. Eng.*, 30(6): 1091-1096.
- Mardikis, M. G., Kalivas, D. P. Kollias, V. J. 2005. Comparison of interpolation methods for the prediction of reference evapotranspiration- An application in Greece. *Water Res. Manage.*, 19: 251-278.
- Mohamed Ibrahim, A. A. 2011. Production of Digital Climatic Maps Using Geostatistical Techniques (Ordinary Kriging) Case Study from Libya. *Int. J. Water Res. and Arid Environ.*, 1(4): 239-250.
- Noshadi, M., Sepaskhah, A. R. 2005. Application of Geostatistics for Potential Evapotranspiration Estimation. *Iranian J. Sci. & Tech.*, 29:343-355.
- Sabziparvar, A. A., R. Mousavi, S. Marofi, N. A. Ebrahimipak, Heidari, M. 2013. An Improved Estimation of the Angstrom-prescot Radiation Coefficients for the FAO 56 Penman-Monteith Evapotranspiration Methods. *Water Res. Manage.*, 27: 2839-2854.
- Sawano, S., Norifumi, H. Hikaru, H., Masakazu, M., Tomoko, Y. 2007. Evaluation of Evapotranspiration in Forested Areas in the Mekong Basin Using GIS Data Analysis. *J. Forest Evapotrans. in the Mekong Basin*, 36-44.
- Valverde Medeiros, P., Noronha Marcuzzo, F. F., Youlton, C., Wendland, E. 2011. Error Autocorrelation and Linear Regression for Temperature-Based Evapotranspiration Estimates Improvement. *J. Americ. Water Res. Ass.*, 1-9.
- واقعی روزانه با استفاده از مدل گردش عمومی RegCM3 و ریزمقیاس‌کننده دینامیکی EH5OM برای دوره ۲۰۱۰-۲۰۴۰ میلادی (مطالعه موردی حوضه کرخه). پایان نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا. محمدی، ج. ۱۳۸۵. پدومتری آمار مکانی. انتشارات پلک.
- مهرجردی، ر. ا.، زارعیان جهرمی، م.، محمودی، ش.، حیدری، ا.، سرمیدان، ف. ۱۳۸۷. بررسی روش‌های درون‌یابی مکانی جهت تعیین تغییرات مکانی ویژگی‌های کیفی آب‌های زیرزمینی دشت رفسنجان. *مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*، ۵: ۶۳-۷۰.
- ولیزاده کامران، خ.، جهانبخش، س.، زاهدی، م.، رضائی بنفشه، م. ۱۳۹۱. برآورد تعرق واقعی و تحلیل ارتباط آن با کاربری زمین در محیط GIS (مطالعه موردی: شهرستان مشکین شهر). *فصلنامه علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی*، (۳۷) ۱۲: ۳۹-۵۴.
- Allen, R., Pereira, L. S. Smith, M. 1998. *Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirement*. Rome, FAO Irrig. and Drain., Paper No. 56.
- Deutsch, C. V. 2002. *Geostatistical reservoir modeling*, Oxford University Press.
- Dinpashoh, Y. 2006. Study of reference crop evapotranspiration in I.R. of Iran. *Agric. Water Manage.*, 84:123-129.
- Iqbal, J., Thomasson, J. A., Jenkins, J. N., Owens, P. R., Whisler, F. D. 2005. Spatial variability analysis of soil physical properties of Alluvial Soils. *J. Soil Sci.*, 69: 1338-1350.
- Lin, C. H., Chao, C., Chen, W. F. 2008.



Comparison of ETo calculated by Hargreaves-Samani and standard FAO 56 methods in regional values in Grand Karkheh Basin

A. A. Sabziparvar^{*1}, S. Saghaei², H. Nozari³

Received: 24 August 2013

Accepted: 19 February 2014

Abstract

The aim of the present research is to generate the daily regional map of reference crop evapotranspiration (ET_o) using minimum meteorological parameters for Grand Karkheh basin. To conduct this study, meteorological data from 24 synoptic stations located in Karkhe basin and surrounding sites were applied and the daily ETo for each site were calculated by Hargreaves-Samani and FAO-56 methods in RefET Software. Furthermore, different interpolation methods were fitted on the results of both mentioned models. The best interpolation method was selected according to coefficient of the determination and Root Mean Square Error criteria. Results indicate that Ordinary Kriging is more accurate and reliable than other interpolation approaches for months of growth season (April-September) for generating the regional ET_o maps in the study regions. The regional maps of ET_o were derived and classified for months of growth season by ArcMap software using the selected interpolation method. Moreover, the area allocated to each classification obtained for each maps of ET_o and in each month of the growth season both ET_o methods in region scale were compared with each other. The discrepancies of ET_o maps from two methods were more significant in the North and North-west of the study region. Regional map differences between two methods were found to be more significant in July and August.

Keywords: Karkheh Basin, RefET, Interpolation Method, ArcMap, Ordinary Kriging

¹ Prof., Department of Water Engineering, Bu-Ali Sina University
(*Corresponding author email address: swsabzi@basu.ac.ir)

² Master Graduate Student, Irrigation and Drainage, Bu-Ali Sina University

³ Assistant prof., Department of Water Engineering, Bu-Ali Sina University)