# برآورد مکانی و پهنه بندی تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از روش های زمین آماری و سیستم اطلاعات جغرافیایی

کیوان بوالحسنی*[۱] و حیدر زارعی[۲]

۱) دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی منابع آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.
۲) استادیار، گروه هیدرولوژی و منابع آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

*نویسنده مسئول: **bolhasani.keyvan@gmail.com**

**تاریخ دریافت: ۹۴/۱۰/۲۶** **تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۲/۰۸**

## چکیده

**تبخیر و تعرق مرجع پارامتری اساسی در تعیین برنامه آبیاری است که دانستن مقدار آن در هر مکان برای برآورد نیاز آبی، پروژه‌ها و طراحی سیستم های آبیاری از مهم ترین عوامل در مدیریت منابع آب و از ضروریات هر طرح آبیاری و زهکشی به شمار می رود که به دلیل تغییرات مکانی آن باید از روش های درون یابی برای تخمین آن در سطح منطقه ای بهره گرفت. استفاده از روش های زمین آمار یکی از راه های تخمین تبخیر و تعرق در نقاط فاقد ایستگاه می باشد. هدف این پژوهش تعیین مناسب ترین روش زمین آماری برای تخمین مکانی تبخیر وتعرق مرجع و پهنه بندی آن در حوضه آبریز بختگان است که برای این کار نیاز به ارزیابی روش‌های زمین آماری می‌باشد. بدین منظور در این پژوهش از اطلاعات روزانه ثبت شده در ۲۴ ایستگاه سینوپتیک در داخل و اطراف حوضه آبریز بختگان در طی یک دوره سال آبی ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۳ استفاده شده است. با استفاده از نرم افزار ET۰calculator- میزان تبخیر و تعرق مرجع روزانه در هریک از ایستگاه ها به روش فائو-پنمن- مانتیث به‌دست آمد. مقادیر ET به‌دست آمده باتوجه به مختصات جغرافیایی ایستگاه های سینوپتیک با استفاده از نرم افزار ARC-GIS فراخوانی گردید. به منظور برآورد مکانی ET از روش‌های مختلف زمین آمار از جمله روش وزن دهی عکس فاصله (IDW) با توان های مختلف، روش کریجینگ معمولی و کوکریجینگ با مدل های واریوگرامی کروی، نمایی و گوسی استفاده گردید. جهت انتخاب مناسب‌ترین روش درون یابی از سه معیار ریشه میانگین مجموع مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطای مطلق (MAE) و میانگین خطای انحراف (MBE) برای ارزیابی روش های زمین آمار استفاده گردید. نتایج نشان داد که در میان سه روش زمین آماری استفاده شده جهت تخمین تبخیر و تعرق منطقه‌ای روش کوکریجینگ دارای کم‌ترین معیارهای خطا RMSE ، MAE وMBE به‌ترتیب برابر با ۰/۶۹۷۳، ۰/۵۱۴۶ و ۰/۱۱۵۵- بود و به عنوان روش مناسب جهت برآورد تبخیر وتعرق منطقه ای انتخاب شد.**

**واژه‌های کلیدی:** زمین آمار، پهنه بندی، تبخیر و تعرق مرجع و حوضه بختگان.

**مقدمه**

تبخیر و تعرق (ET) یکی از مهم‌ترین اجزای چرخه‌ی هیدرولوژیک و یک عامل مهم در تعیین نیاز آبی می باشد که توزیع مکانی و برآورد دقیق آن برای بسیاری از مطالعات نظیر بیلان آب، طراحی و مدیریت سیستم‌های آبیاری، شبیه سازی تولید گیاهی، برنامه ریزی آبیاری و مدیریت منابع آب اهمیت بسیاری دارد.

روش‌های متعددی برای محاسبه ETo وجود دارد که در اکثر آنها از اندازه‌گیری نقطه‌ای در ایستگاه ها برای برآورد ETo استفاده شده است که نتایج آنها تنها برای مناطق با وسعت کم کاربرد دارد. با توجه به اینکه بیش‌تر مطالعات در مقیاس منطقه ای وسیع صورت می‌گیرند، تعمیم این اطلاعات از حالت نقطه ای به منطقه ای ضرورت می‌یابد. با توسعه روش‌های مختلف درون‌یابی، امکان برآورد مکانی ETo منطقه‌ای در سطوح گسترده فراهم شده است. در روش‌های معمول تهیه نقشه‌های ET۰، مقادیر ET۰ با استفاده از داده‌های هواشناسی و سینوپتیک در موقعیت ایستگاه‌ها محاسبه شده و سپس درون‌یابی می‌شوند. از جمله مطالعات متعددی که در این مورد توسط پژوهشگران مختلف انجام گرفته است که در این تحقیق به برخی از آن‌ها اشاره شده است.

Hashemi و همکاران (۱۹۹۸) از داده های ۶ ایستگاه هواشناسی در یکی از دشت های کلرادو به منظور تخمین تبخیر و تعرق منطقه‌ای استفاده کردند. در این بررسی روش بلانی کریدل فائو برای محاسبه ET۰ و از روش وزن دهی عکس فاصله برای میان یابی بهره گرفتند. Gong و همکاران (۲۰۰۵) در پژوهش خود تغییر پذیری مکانی و روند زمانی تبخیر و تعرق مرجع محاسبه شده به روش پنمن مانتیث را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها روش کریجینگ معمولی را که بیش‌ترین دقت را در اعتبارسنجی دارا بود را برای درون یابی انتخاب نمودند و نقشه مکانی و زمانی تبخیر وتعرق را استخراج کردند. Mardikis و همکاران (۲۰۰۵) در مطالعاتی که در یونان برای پیش بینی مکانی میانگین روزانه تبخیر و تعرق مرجع به دست آمده از معادله پنمن مانتیث انجام دادند، نتایج آنها نشان داد که روش باقیمانده کریجینگ از دقت بالاتری برخوردار بوده است. Vanderlinden و همکاران (۲۰۰۸) براساس پژوهشی که در اندلس اسپانیا انجام دادند از میان روش‌های زمین آماری روش کریجینگ ساده را به عنوان مناسب‌ترین روش پهنه بندی ETo بیان کردند. Alsamamr و همکاران (۲۰۰۹) پژوهشی در خصوص تحلیل مقایسه‌ای روش های کریجینگ معمولی و باقی‌مانده برای نقشه برداری میانگین ماهانه تابش خورشیدی در جنوب اسپانیا با استفاده از نرم افزار ARCGIS انجام دادند که در بهترین حالت روش کریجینگ معمولی در تمام ماه های سال ضریب تبیین بهتری از خود نشان داده بود. نظری فر و همکاران (۱۳۸۶) در تحقیقی برای بررسی تغییرات منطقه ای تبخیرو تعرق پتانسیل در استان همدان، روش کریجینگ در مقیاس ماهانه و روش وزن دهی عکس فاصله در مقیاس سالانه را پیشنهاد کردند. شعبانی (۱۳۸۸) در پژوهشی شدت های زمین آمار را در پهنه بندی های

خشکسالی ارزیابی کرده است. نتایج پژوهش ایشان نشان داد که با استفاده از معیارهای ارزیابی، روش کریجینگ را به عنوان مناسب‌ترین روش جهت تهیه نقشه شدت خشکسالی بیان نموده است. زارع ابیانه و همکاران (۱۳۸۹) بر اساس مطالعه ای که انجام دادند روش پنمن مانتیس در ۵۶ درصد از۹۱ ایستگاه هواشناسی استفاده شده در آن تحقیق بهترین روش برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل می باشد. میرموسوی و همکاران (۱۳۸۹) بمنظور تعیین بهترین روش زمین آمار جهت تخمین توزیع بارندگی در استان اصفهان تحقیقی انجام دادند و نتایج آنها نشان داد که روش های کریجینگ معمولی، ساده ، توابع پایه شعاعی و یونیورسال به ترتیب دقت های بالاتری را در منطقه مورد مطالعه از خود نشان دادند و روش کریجینگ معمولی با مدل دایره‌ای مناسب ترین روش برای درون یابی اطلاعات مقادیر بارندگی سالانه بود. کریمی جعفری و اسلامیان (۱۳۹۰) در پژوهشی از روش های زمین آمار ازجمله وزن دهی عکس فاصله (IDW) وکریجینگ برای تخمین تبخیر و تعرق مرجع استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد که مقادیر معیارهای میانگین خطای مطلق (MAE)، میانگین خطای اریب (MBE) و شاخص تطابق (D) برای روش وزن دهی عکس فاصله به‌ترتیب ۰/۰۰۳۹، ۰/۷۹۱۶و ۰/۱۵۲۲ بودکه نشان دهنده مناسب بودن این روش نسبت به روشهای دیگر بود. گنجـــی زاده و همکاران (۱۳۹۲) در تحقیقی برای تهیـه نقشـه تبخیـروتعرق مرجع در استان گلستان از روش‌های زمـین آمـاری استفاده کردند. با بررسی آن‌ها روش کریجینـــگ بـــه عنـــوان بهتـــرین روش انتخاب شد. کمالی پاشاکلایی و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهشی با اسـتفاده از داده‌هـای هواشناسـی و درون‌یابی، نقشه‌هـای ET۰ را به دو روش مورد مقایسه قرار دادند. در روش اول مقدار استفاده از داده‌های اقلیمی آن ایستگاه‌ها به روش هـارگریوز- سـامانی محاسبه و سپس درون‌یابی‌کردند، در روش دوم ابتـدا اجـزای معادله هارگریوز سامانی درون‌یابی و سپس با اسـتفاده از نقشـه های آن‌ها در محـیط GIS بـراساس معادلـه هارگریوز سامانی نقشهET۰ را به دست آوردند. نتایج آن ها با مقایسه مقادیر ET۰ حاصل از هر دو روش با مقادیر محاسبه شده آن در موقعیت ایستگاه های شاهد نشان داد که اختلاف این دو روش معنی‌دار نبوده، لذا استفاده از هر دو روش مذکور تغییری در دقت نقشه های ET۰ ایجاد نمی‌کند. هم چنین از جمله پژوهش های، وفاخواه و همکاران (۱۳۸۸) با مقایسه روش‌های مختلف زمین‌آماری در برآورد تبخیر- تعرق پتانسیل در حوزه آبخیز دریاچـه نمـک، جـامعی و حجـام (۱۳۸۷) در برآورد منطقه‌ای تبخیرو تعرق مرجـع در استان خوزسـتان، Geerts و همکاران (۲۰۰۶) بـا اسـتفاده از روش کریجینـگ تهیه نقشه‌های تبخیر و تعرق برای تولیـد محصـول کینوا در آلتیپلانو در بولیوی و Dalezios و همکاران (۲۰۰۲) به آنالیز مکانی تبخیر-تعرق در سراسر یونان با استفاده از روش کریجینـگ را نام برد. در زمین آمار می توان بین مقادیر یک کمیت، فاصله و جهت قرار گرفتن نمونه ها نسبت به یکدیگر ارتباط برقرار کرد. بنابراین در این روش ابتدا به بررسی وجود یا عدم وجود ساختار مکانی بین داده ها پرداخته می شود و در صورت وجود ساختار مکانی تحلیل داده ها

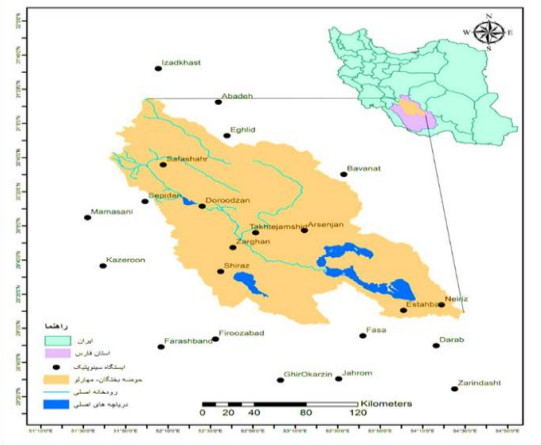
انجام می‌شود. بنابراین تخمین زمین آماری شامل دو مرحله است: مرحله اول شناخت و مدلسازی ساختار فضایی متغیر است که بوسیله تحلیل واریوگرام قابل بررسی است و مرحله دوم تخمین متغیر مورد نظر توسط توابع زمین آماری از جمله کریجینگ و کوکریجینگ می‌باشد(Davis *et al.*,۱۹۸۷).

نتایج پژوهش‌های اشاره شده نشان داد که روش های درون یابی نتایج متفاوتی در مناطق مختلف داشته است، براین اساس هدف پژوهش حاضر بررسی و ارزیابی روش های مختلف زمین آماری از جمله روش‌های وزن دهی عکس فاصله، کریجینگ و کوکریجینگ و تعیین مناسب ترین روش زمین آماری برای تخمین مکانی تبخیر وتعرق مرجع و پهنه بندی آن در حوضه آبریز بختگان است.

## مواد و روش ها

### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، حوضه آبریز بختگان واقع در شمال، مرکز و جنوب شرقی استان فارس می‌باشد. این حوضه با مساحت ۲۷۳۸۵ کیلومترمربع در محدوده ۵۱ درجه ۴۲ دقیقه تا ۵۴ درجه ۳۱ دقیقه طول شرقی و ۲۹ درجه تا ۳۱ درجه ۱۴ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. موقعیت منطقه و ایستگاه های مورد مطالعه در شکل ۱ ارائه شده است. مشخصات جغرافیایی ایستگاه های هواشناسی سینوپتیک در جدول۱ آمده است.




**شکل ۱: موقعیت منطقه و ایستگاه های سینوپتیک در محدوده مطالعاتی**

### اطلاعات مورد استفاده

داده های ایستگاه های سینوپتیک بدست آمده پس از حذف و بازسازی داده ها آمار یک دوره سال آبی (۱۳۹۳-۱۳۹۲) به عنوان دوره آماری مشترک برای تمام ایستگاه های سنوپتیک موجود در محدوده مطالعاتی و خارج از محدوده مطالعاتی (برای افزایش دقت تخمین های زمین آماری) در نظر گرفته شد.

**جدول ۱: مشخصات ایستگاه های سینوپتیک در محدوده مطالعه**

| نام ایستگاه | عرض جغرافیایی | طول جغرافیایی | ارتفاع ازسطح دریا (متر) |
|---|---|---|---|
| آباده | ۳۱/۱۹۶ | ۵۲/۶۱۲ | ۲۰۳۰ |
| سپیدان | ۳۰/۲۳۴ | ۵۲/۰۰۷ | ۲۲۰۱ |
| ارسنجان | ۲۹/۳۳۶ | ۵۳/۲۹۷ | ۱۷۰۳ |
| استهبان | ۲۹/۱۴۰ | ۵۴/۰۴۸ | ۱۶۹۰ |
| اقلید | ۳۰/۸۶۹ | ۵۲/۶۷۶ | ۲۳۰۰ |
| ایزد خواست | ۳۱/۵۳۰ | ۵۲/۱۲۸ | ۲۱۸۸ |
| بوانات | ۳۰/۴۷۶ | ۵۳/۶۰۹ | ۲۲۳۱ |
| تخت جمشید | ۲۹/۹۲۰ | ۵۲/۸۸۹ | ۱۶۰۵ |
| جهرم | ۲۸/۴۸۳ | ۵۳/۵۱۷ | ۱۰۸۲ |
| داراب | ۲۸/۸۹۰ | ۵۴/۲۹۶ | ۱۰۹۸ |
| درودزن | ۳۰/۱۸۳ | ۵۲/۴۶۵ | ۱۶۵۰ |
| زرقان | ۲۹/۷۷۸ | ۵۲/۷۰۴ | ۱۵۹۶ |
| زرین دشت | ۲۸/۳۶۵ | ۵۴/۴۲۹ | ۱۰۲۹ |
| شیراز | ۲۹/۵۴۴ | ۵۲/۶۰۳ | ۱۴۸۴ |
| صفاشهر | ۳۰/۵۹۱ | ۵۲/۱۵۶ | ۲۲۵۱ |
| فراشبند | ۲۸/۸۱۳ | ۵۲/۱۱۹ | ۷۸۲ |
| فسا | ۲۸/۸۹۹ | ۵۳/۷۱۹ | ۱۲۸۸ |
| فیروز آباد | ۲۸/۸۸۶ | ۵۲/۵۵۲ | ۱۳۶۲ |
| کازرون | ۲۹/۶۰۷ | ۵۱/۶۶۵ | ۸۶۰ |
| لار | ۲۷/۶۷۰ | ۵۴/۳۷۵ | ۷۹۲ |
| لامرد | ۲۷/۳۶۴ | ۵۳/۲۰۳ | ۴۰۵ |
| ممسنی | ۳۰/۰۷۹ | ۵۱/۵۴۴ | ۹۷۲ |
| نیریز | ۲۹/۱۸۷ | ۵۴/۳۵۲ | ۱۶۳۲ |
| قیروکارزین | ۲۸/۴۷۸ | ۵۳/۰۵۹ | ۷۴۶ |

مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده در محدوده مطالعاتی در جدول ۱ ارائه شده است. سپس با استفاده نرم افزار calculator·ET- میزان تبخیر و تعرق مرجع روزانه بدست آمد. نرم افزار مذکور توانایی به کارگیری طیف وسیعی از داده های هواشناسی را به عنوان ورودی برای محاسبه ETo، به روش فائو پنمن مانتیث را درخود دارد. این روش به عنوان روش استاندارد برای محاسبه تبخیر تعرق مرجع با استفاده از داده های هواشناسی بیان می شود. که معادله آن به صورت زیر می باشد.

رابطه ۱:

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n-G)+\gamma \frac{900}{T+273}\times U_2\,(e_s-e_a)}{\Delta+\gamma(1+0.34U_2)}$$

که در آن: T: میانگین دمای روزانه هوا برحسب درجه سانتی‌گراد، ea: فشار بخارواقعی برحسب کیلو ژول ، es: فشار بخار اشباع برحسب کیلو ژول، es-ea :کمبود فشار بخار اشباع، Δ: شیب منحنی فشار بخار برحسب کیلوپاسکال بر درجه سانتی گراد، γ: ضریب ثابت سایکرومتری برحسب کیلوپاسکال بر درجه سانتی‌گراد می باشد. داده‌های مورد استفاده در ایستگاه ها جهت برآورد تبخیر و تعرق مرجع شامل حداکثر و حداقل دما، میانگین سرعت باد، حداقل و حداکثر رطوبت نسبی و میانگین ساعات آفتابی بودند و سپس تبخیر و تعرق مرجع با معادله فائو پنمن مانتیث از طریق نرم افزار محاسبه شد.

**بررسی نرمال بودن و روند داده ها**

توزع نرمال یا گوسی یکی از توزیع های است که بیش‌تر مورد استفاده قرار گرفته است. اکثر روش‌های آماری فرض نرمال بودن توزیع داده ها را در نظر می‌گیرند. لذا داشتن داده‌هایی که توزیع نرمال دارند، مجوز استفاده از روش های مورد نظر است. توزیع نرمال نشان‌دهنده میزان پراکندگی داده‌ها و در نتیجه گستردگی منحنی توزیع نرمال است و چولگی صفر و کشیدگی ۳ مشخص می شود (حسنی پاک، ۱۳۷۷). هم‌چنین برای یک درون یابی بهینه باید به وجود یا عدم وجود روند در داده ها بررسی شود و در صورت وجود از داد ها حذف شود. هدف از آزمون روند این است که وجود و یا عدم وجود سیر صعودی یا نزولی در سری داده ها بررسی گردد. با ترسیم نمودار های آنالیز روند، وجود روند در داده ها بررسی می شود و قبل از ترسیم واریوگرام باید از عدم وجود روند در داده ها اطمینان داشته باشیم. به همین دلیل باید حذف روند را از سری داده ها صورت گیرد تا خط روند آنها به صورت افقی و بدون شیب و یا شیب آن ناچیز باشد. بررسی نرمال بودن و روند داده ها با استفاده از اکستنشن زمین آمار در نرم افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام شده است.

**تخمین مکانی تبخیر وتعرق مرجع با روش های زمین آماری**

برای بررسی روش‌های زمین آمار، میانگین داده‌های تبخیرتعرق مرجع بدست آمده از داده های هواشناسی ایستگاه های مذکور به همراه مشخصات جغرافیایی ایستگاه ها (طول و عرض جغرافیایی)، در محیط اکسل وارد شد و از طریق نرم افزار ARC-GIS فراخوانی گردید. این نرم افزار توانایی محاسبه روش‌های مختلف زمین آمار را دارا می‌باشد. در این پژوهش از روش های کریجینگ معمولی و کوکریجینگ با مدل‌های واریوگرامی کروی، نمایی و گوسی و روش وزن دهی عکس فاصله با توان‌های ۲، ۳ و ۴ و توان بهینه استفاده شده است در ادامه مختصری درمورد هرکدام از روش های میان یابی توضیحاتی ارائه شده است.

**روش کریجینگ**

در این پژوهش از روش کریجینگ معمولی استفاده شده است. میان یابی به روش کریجینگ وابسته به مدل واریوگرام تئوری برازش داده شده بر واریوگرام تجربی است. در روش کریجینگ از روش کریجینگ معمولی با همسایگی و تعداد گام های مختلف و مدل های واریوگرم کروی، نمایی و گوسی استفاده شده است.

**روش کوکریجینگ**

اساس روش کوکریجینگ بر همبستگی بین متغیر های مختلف است. در این روش برای درون‌یابی متغیر اصلی از یک یا چند متغیر کمکی استفاده می‌شود که دارای تغییرات مشابه اند. در این پژوهش از متغیر ارتفاع ایستگاه های سینوپتیک

به عنوان متغیر کمکی استفاده شد. سه مدل واریوگرام کروی، نمایی و گوسی با تعداد نقاط همسایگی و گام های مختلف بررسی شد و مدلی که کمترین معیار خطا را داشت به عنوان مدل مناسب برگزیده شد.

**روش وزن دهی عکس فاصله**

میان یابی به روش وزن دهی عکس فاصله براین اصل استوار است که نقاط با فاصله کم‌تر از هم، نسبت به نقاط دارای فاصله بیش‌تر، دارای مقدار متغیر نزدیک به هم می‌باشند در این روش برای هر یک از نقاط اندازه‌گیری، وزنی براساس فاصله بین آن نقطه تا موقعیت نقطه مجهول در نظر می گیرند. سپس این وزن‌ها توسط توان وزن دهی کنترل می شود، به طوری که توان های بزرگتر اثر نقاط دورتر از نقطه مورد تخمین را کاهش داده و توان های کوچکتر وزن ها را به طور یکنواخت‌تری بین نقاط همجوار توزیع می‌کنند. البته باید توجه داشت که این روش بدون توجه به موقعیت و آرایش نقاط، فقط فاصله آن‌ها را در نظر می‌گیرد، یعنی نقاطی که دارای فاصله یکسانی از نقطه تخمین هستند دارای وزن یکسانی می‌باشند (سرمدیان، ۱۳۸۸). مقدار فاکتور وزنی با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

رابطه ۲:

$$\lambda_i = \frac{{D_i}^{-a}}{\sum_{i=1}^{n} {D_i}^{-a}}$$

$\lambda_i$ : وزن ایستگاه i ام، $D_i$: فاصله ایستگاه i ام تا نقطه مجهول و $a$: توان وزن دهی هستند. در این پژوهش از توان‌های ۴،۳،۲ و توان بهینه استفاده شد و ریشه میانگین مربعات خطا نیز به کمک نرم افزار به دست آمد. و با مقایسه ریشه میانگین مربعات خطا و معیار های دیگر خطا برای حالاتی که کمترین معیار خطا را داشتند نقشه پهنه بندی تبخیر وتعرق ترسیم شد.

**معیار های ارزیابی روش های درون یابی**

تکنیک‌های میان‌یابی که بتوانند مقادیر یک نقطه اندازه‌گیری شده را با دقت بالایی تخمین بزنند به عنوان تخمین‌گرهای قابل قبول شناخته می شوند. به منظور تعیین دقت، روش های مختلف می بایست مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرند. یکی از روش های مناسب ارزیابی، روش اعتبارسنجی تقاطعی (cross validation) است. در این روش با حذف هریک از نقاط اندازه‌گیری شده (ایستگاه های سینوپتیک)، که معمولا تنها ابزار مقایسه می باشند، عملیات میان یابی مجددا انجام می گیرد و تفاوت مقدار برآورد شده و مقدار واقعی به عنوان معیاری از خطا محاسبه می‌شود. به همین ترتیب برای تمام نقاط برآورد صورت می‌گیرد و خطای حاصل برای کلیه نقاط به دست می‌آید. درنرم افزار Arc Gis این کار توسط نرم افزار انجام می‌گیرد.

برای ارزیابی میزان دقت و انتخاب روش مناسب، معیارهای مختلفی مانند ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطای مطلق (MAE) و میانگین خطای انحراف (MBE)، استفاده از روش های مقایسه آماری نظیر واریانس، ضریب همبستگی، کای مربع و مانند ان وجود دارد. در این تحقیق از سه معیار میانگین خطای مطلق، میانگین خطای انحراف و ریشه میانگین مربعات خطا استفاده شده است. نحوه محاسبه این معیار ها در (روابط ۲ الی ۴) آمده است.

رابطه ۲: $$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{n}|Z_{est,i}-Z_{obs,i}|}{n}$$

رابطه ۳: $$MBE = \frac{\sum_{i=1}^{n}(Z_{est,i}-Z_{obs,i})}{n}$$

رابطه ۴: $$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(Z_{est,i}-Z_{obs,i})^2}{n-1}}$$

که در روابط فوق $Z_{est}$ : مقدار برآورد شده پارامتر مورد نظر، $Z_{obs}$ : مقدار مشاهده شده پارامتر مورد نظر و n : تعداد داده های مشاهداتی می باشد. در واقع MAE معرف دقت روش و مقدار متوسط خطاست که هر چه به صفر نزدیکتر باشد، بهتر است، MBE نشانگر میانگین انحراف معیار مقدار برآوردی از مقدار مشاهده است و هر چه کمتر باشد بهتر است و درحالت ایده آل بایستی مساوی صفر باشد. در عمل هیچ گاه مقدار این دو آماره صفر نخواهد شد. ریشه میانگین مربعات خطا هرچه دارای مقدار کمتر باشد دقت روش درون یابی بالاتر می‌باشد.

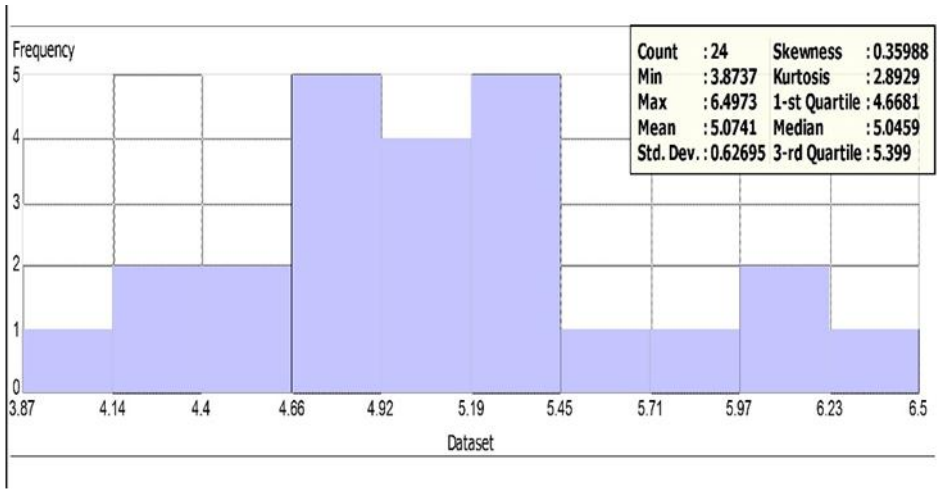
## نتایج و بحث

### نتایج بررسی نرمال بودن و روند داده ها

آزمون نرمال بودن با استفاده از اکستنشن زمین آمار با فعال نمودن نمودار هیستوگرام داده ها امکان نمایش توزیع داده‌ها ایجاد شد، که در این پنجره با مشخص نمودن لایه مورد نظر (ایستگاه های سینوپتیک) برای مشاهده و انتخاب متغیر مربوطه (تبخیروتعرق) می توان هیستوگرام آن را مشاهده و بررسی نمود (شکل ۲). مهمترین ویژگی توزیع این است که نمودار درمرکز هیستوگرام دارای تقارن باشد و در صورت یکسان بودن تقریبی میانگین و میانه، این امر حاصل می گردد که دارای یک برآمدگی در مرکز بوده و متقارن می باشد که بیانگر نرمال بودن توزیع داده ها می باشد ( جدول ۲). هم چنین باتوجه به این که چولگی نزدیک به صفر و کشیدگی کمتر از ۳، نتایج حاکی از نرمال بودن داده ها می باشد. به نحو دیگر براساس نمودار q-qplot نیز می توان نشان داد که داده ها نرمال و حول خط ۴۵ درجه می باشد که نتایج آن ها در (شکل ۳) ارائه شده است.

با ترسیم نمودار سری داده های تبخیر و تعرق مرجع، وجود روند در داده ها بررسی می شود. پس از رسم نمودار مقادیر تبخیر و تعرق مرجع در تمام ایستگاه ها و با برازش دادن خط روند از مقادیر اندازه گیری شده، نزولی یا صعودی

بودن خط روند سری داده ها را مشخص می کنیم (شکل ۴). در نمودار خط روند برازش داده شده و معادله خط نمایش داده شده است که با توجه به نمودار و خط روند داده ها مشخص می شود که داده ها دارای یک روند طبیعی و به صورت یک خط افقی دارای شیب نزدیک به صفر یا ناچیز می باشند که نتایج حاکی از عدم وجود روند در داده‌ها می باشد.

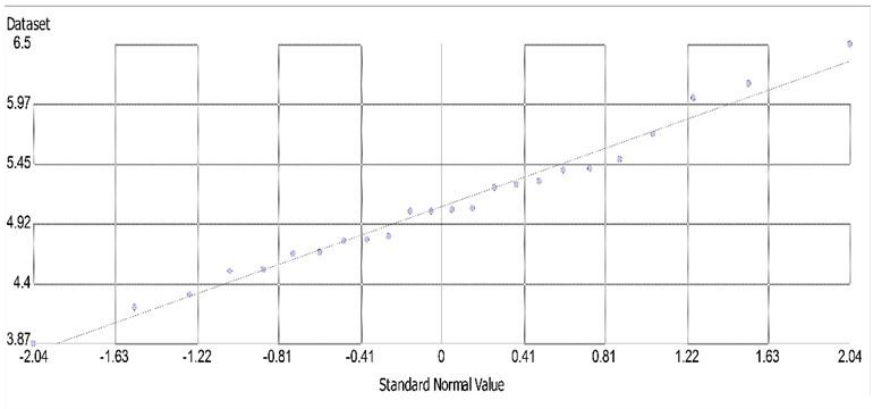



**شکل ۲ : نمودار هیستوکرام داده های تبخیر و تعرق مرجع**

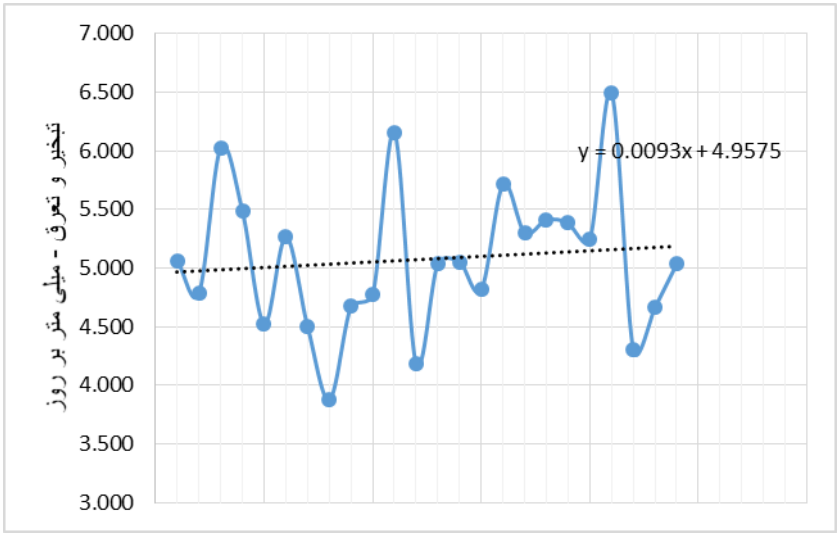
**جدول ۲: نتایج آماری بررسی نرمال بودن داد ه ها**

**داده های تبخیر و تعرق مرجع ایستگاه های سینوپتیک**

| حداقل | حداکثر | میانگین | انحراف معیار | چولگی | کشیدگی | میانه |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ۳/۸۷۳ | ۶/۴۹۷ | ۵/۰۷۴ | ۰/۶۲۶ | ۰/۳۵ | ۲/۸۹ | ۵/۰۴۵ |




**شکل۳: نمودار q-qplot برای داد های تبخیر و تعرق**



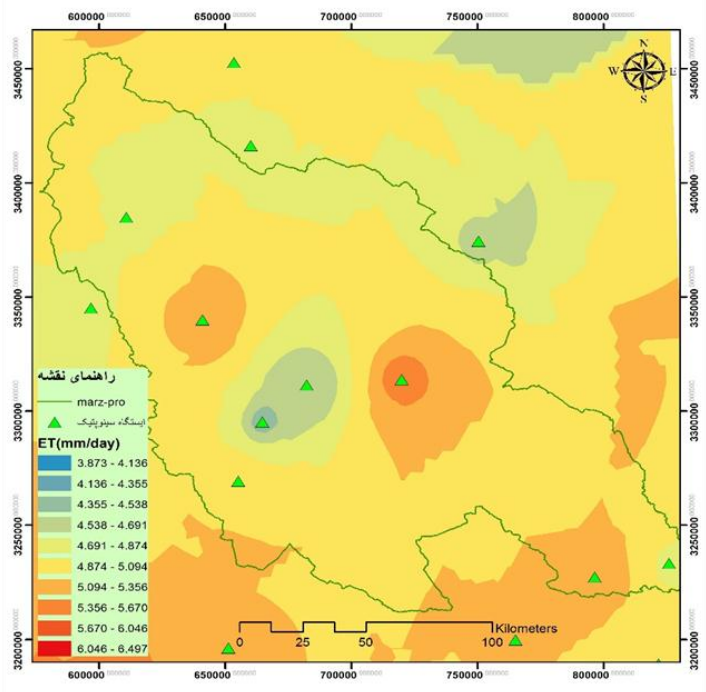

**شکل ۴: نمودار بررسی روند در داده های تبخیر وتعرق مرجع در ایستگاه های سینوپتیک**

## نتایج روش های میان یابی برای داده های تبخیر و تعرق مرجع

باتوجه به (جدول ۳) معیار های خطا برای داد های تبخیر و تعرق و برای روش های مختلف به صورت زیر است. کمترین مقدار ریشه میانگین مربعات خطا در روش وزن دهی عکس فاصله با مقدار توان بهینه ۰/۶۸۸۰ و با توجه به اعتبارسنجی تقاطعی مقادبر برآورد شده تبخیر و تعرق از مقادیر مشاهده ای در هریک از ایستگاه‌ها مقدار میانگین خطای مطلق و میانگین خطای انحراف برای این روش به ترتیب ۰/۵۳۶۸ و ۰/۰۷۳۹- می باشد. در جدول ۳ توان بهینه برابر یک می‌باشد. در نتیجه می توان بیان کرد که در میان توان های مختلف،روش وزن دهی عکس فاصله با توان بهینه دارای خطای کمتر و در نتیجه برآورد مکانی بهتری داشته است. در شکل ۳ نقشه پهنه بندی برای روش مورد نظر ترسیم شده است.

**جدول ۳: نتایج روش وزن دهی عکس فاصله برای داده های تبخیر و تعرق مرجع ایستگاه‌های سینوپتیک**

| روش میان یابی | توان | تعداد همسایگی | RMSE (mm/day) | MAE (mm/day) | MBE(mm/day) |
|---|---|---|---|---|---|
| | ۲ | ۶ | ۰/۷۱۶۸ | ۰/۵۶۹۵ | -۰/۱۱۱۱ |
| وزن دهی عکس فاصله | ۳ | ۹ | ۰/۷۲۱ | ۰/۵۶۳۷ | -۰/۱۴۳۳ |
| | ۴ | ۱۲ | ۰/۷۵۲۷ | ۰/۵۸۱۷ | -۰/۱۶۷۴ |
| | توان بهینه | ۹ | ۰/۶۸۸ | ۰/۵۳۶۸ | -۰/۰۷۳۹ |




**شکل ۵: نقشه تخمین تبخیر و تعرق مرجع با روش وزن دهی عکس فاصله برای ایستگاه های سینوپتیک**

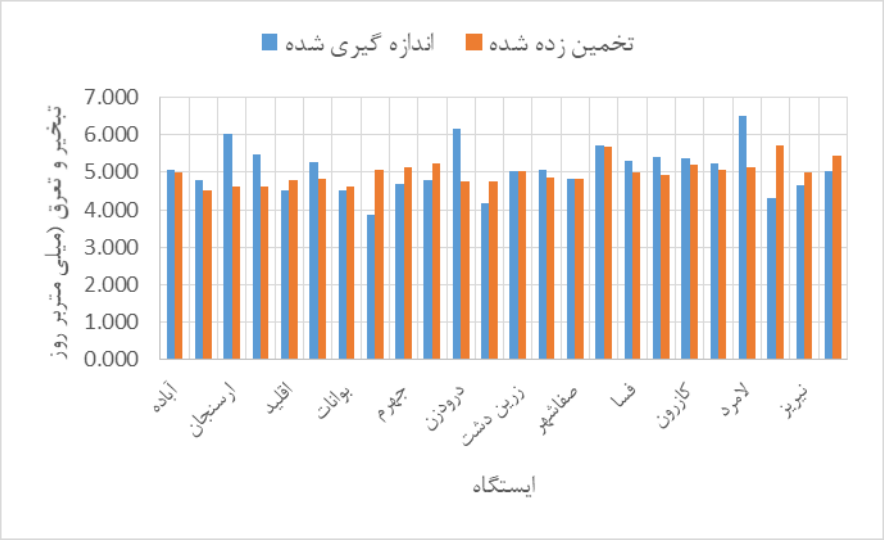
به همین صورت طبق نتایج به دست آمده از جدول ۴ کم‌ترین مقدار ریشه میانگین مربعات خطا در روش کریجینگ و کوکریجینگ برای مدل واریوگرام نمایی به‌ترتیب ۰/۶۶۳۷ و ۰/۶۹۷۳ می باشد. هم چنین مقادیر معیار های میانگین خطای مطلق و خطای انحراف برای روش کریجینگ برابر با ۰/۵۳۲۷ ، ۰/۰۴۸۹- و در روش کوکریجینگ به ترتیب برابر با ۰/۵۱۴۶ و ۰/۰۷۹۹- می باشد.

**جدول ۴: نتایج روش مختلف میان یابی برای داده های تبخیر وتعرق مرجع ایستگاه های سینوپتیک**

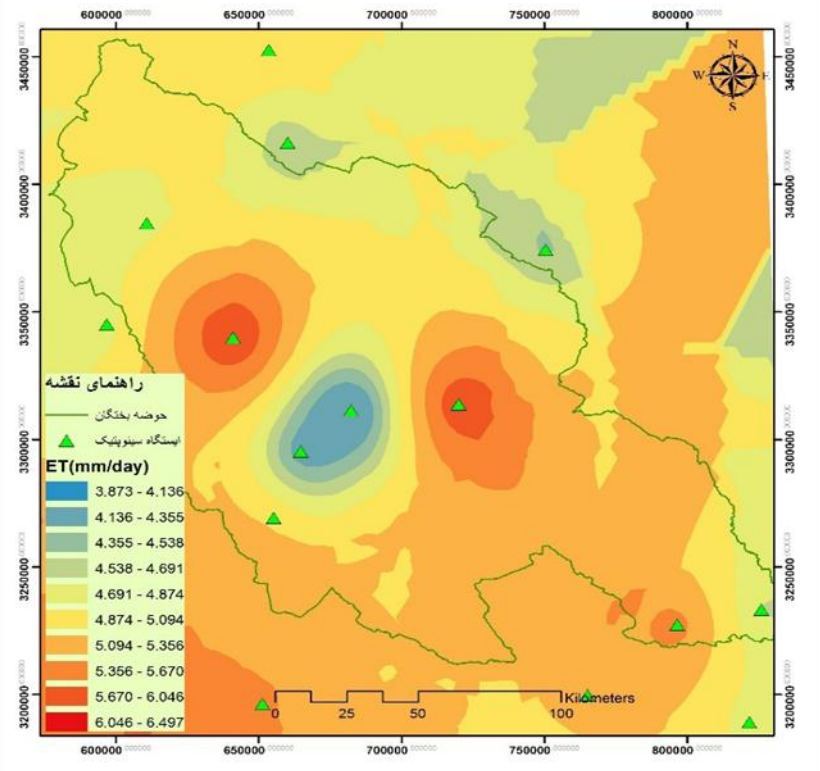
| روش درون‌یابی | مدل واریوگرام | تعداد گام‌ها | تعداد نقاط همسایگی | RMSE (mm/day) | MAE (mm/day) | MBE |
|---|---|---|---|---|---|---|
| کریجینگ معمولی | کروی | ۷ | ۹ | ۰/۶۶۳۷ | ۰/۵۳۲۷ | -۰/۰۴۸۹ |
| | نمایی | ۱۵ | ۹ | ۰/۶۶۳۷ | ۰/۵۳۲۷ | -۰/۰۴۸۹ |
| | گوسی | ۷ | ۶ | ۰/۷۱۱۶ | ۰/۵۶۵۳ | -۰/۰۳۵۳ |
| کوکریجینگ | کروی | ۷ | ۹ | ۰/۷۱۵۸ | ۰/۵۳۱۷ | -۰/۱۱۱۲ |
| | نمایی | ۹ | ۹ | ۰/۶۹۷۳ | ۰/۵۱۴۶ | -۰/۰۷۹۹ |
| | گوسی | ۹ | ۱۵ | ۰/۷۰۹۱ | ۰/۴۹۸۴ | -۰/۱۱۵۵ |

با توجه به نتایج، تخمین با روش کریجینگ و کوکریجینگ با مدل نمایی تفاوت زیادی با هم ندارند و تقریبا نزدیک به هم هستند ولی با توجه به انتخاب بهترین روش براساس معیارهای آماری در روش های مختلف زمین آمار، مقدار خطای مطلق در روش کوکریجینگ کمترین مقدار را دارد. هرچه مقدار خطای مطلق به صفر نزدیک تر باشد نشان دهنده این است که مقادیر تخمین زده شده نزدیک تر به مقدار واقعی هستند. هم چنین مقدار میانگین خطای انحراف نیز باید در

حالت ایده آل مساوی صفر باشد مقادیر مثبت یا منفی به ترتیب نشان دهنده برآورد بیشتر یا کمتر از مقدار واقعی می باشد. در شکل ۵ نمودار های تبخیر و تعرق مرجع اندازه گیری شده در ایستگاه های سینوپتیک و مقادیر تخمین زده شده با روش زمین آمار کوکریجینگ براساس مقادیر اندازه گیری نشان داده شده است.




**شکل ۶: نمودار مقادیر اندازه گیری شده تبخیر و تعرق مرجع و مقادیر تخمین زده شده با روش کوکریجینگ**




**شکل ۴: نقشه تخمین تبخیر و تعرق مرجع با روش کوکریجینگ برای ایستگاه های سینوپتیک**

همان‌طور که در جدول ۳و ۴ مشخص است روش میان یابی کوکریجینگ با مدل واریوگرام نمایی با تعداد ۹ گام و ۹ همسایگی کمترین معیارهای خطا را دارد. نقشه پهنه بندی تبخیر و تعرق برای روشی که کمترین معیار های خطا را دارد در شکل ۴ ارائه شده است.

**نتیجه‌گیری**

در تخمین داده های تبخیر و تعرق مرجع مکانیف روش وزن دهی عکس فاصله با ۹ همسایگی و توان بهینه برابر ۱ دارای کمترین معیار خطا می باشد هم چنین روش کریجینگ با مدل واریوگرامی نمایی و تعداد ۱۵ گام و ۹ همسایگی و روش کوکریجینگ با مدل واریو گرامی نمایی و تعداد ۹ گام و ۹ همسایگی دارای کمترین معیارهای خطا بودند که باتوجه به اینکه روشی باید انتخاب شود که کمترین معیارهای خطا را نسبت به دیگر روش ها داشته باشد پس در داده های تبخیر وتعرق مرجع در یک سال آبی روش زمین آماری کوکریجینگ با مدل نمایی با ۹ گام و ۹ همسایگی به عنوان بهترین روش انتخاب شد.

**منابع**

**نظری فر، م.، سیفی، ک. و مومنی، ر. (۱۳۸۶).** ارزیابی روش های زمین آماری و تیسن در برآورد تغییرات منطقه ای تبخیر و تعرق پتانسیل (مطالعه موردی: استان همدان). نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر،کرمان: دانشگاه شهید باهنرکرمان.

**جامعی،م و حجام،س .(۱۳۸۷).** ارزیابی روش‌های زمین آماری در برآورد منطقه‌ای تبخیر و تعرق مرجع (مطالعه موردی: استان خوزستان) سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، تبریز.

**شعبانی، م. (۱۳۸۸).** ارزیابی کاربرد روش های زمین آمار در پهنه بندی شدت های خشکسالی استان فارس، مهندسی منابع آب، ۲ ،بهار، ص ۳۱-۳۶.

**وفاخواه،م.، محسنی، و.، ساروی، م. و اونق، م. (۱۳۸۸).** مقایسه روش‌های زمین آمار در برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل(مطالعه موردی:حوزه آبخیز دریاچه نمک) مجله پژوهش های آبخیزداری. شماره ۳۰، ص ۳۸ و ۳۹.

**سرمدیان، ف. و تقی زاده مهرجردی، ر. (۱۳۸۸).** مقایسه روش های درون یابی جهت نقشه های خصوصیات کیفی خاک مطالعه موردی (مزرعه دانشکده کشاورزی). تحقیقات آب و خاک ایران. ۴۰، شماره ۲، ۱۶۵-۱۵۵.

**زارع ابیانه، ح.، بیات ورکشی، م.، سبزی پرور، ع.، معروفی، ص. و قاسمی، ع. (۱۳۸۹).** ارزیابی روش های مختلف برآورد تبخیر تعرق گیاه مرجع و پهنه بندی آن در ایران ، پژوهش های جغرافیایی، شماره ۹۵، ص ۱۱۷-۹۵.

**میرموسوی، س.، مزیدی، ا. و خسروی، ی. (۱۳۸۹)**. تعیین بهترین روش زمین آمار جهت تخمین توزیع بارندگی با استفاده از GIS (مطالعه موردی :استان اصفهان) فصلنامه فضای جغرافیایی .سال دهم شماره۳۰ . ص ۱۲۰-۱۰۵.

**کریمی جعفری،م و اسلامیان،س. (۱۳۹۰). ا**رزیابی روش‌های زمین آمار درتخمین تبخیر و تعرق پتانسیل. نخستین کنفرانس ملی هواشناسی و مدیریت آب کشاورزی ایران، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران .

**صادقی راد، ر. (۱۳۹۰)**. تاثیر تطویل آمار در تخمین توزیع مکانی بارش با روش های زمین آماری. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز،۱۴۷ ص.

**گنجی زاده،ر.، برومندنسب،س.، سلطانی محمدی،ا و گنجی زاده،ح .(۱۳۹۲)**. تعیین تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از روش‌های درون - یابی و مقایسه آن با روش‌های تجربی (مطالعه موردی:استان گلستان) اولین همایش ملی بحران آب، اصفهان .

**کمالی پاشاکلایی ،م.، ا، فرید حسینی ،ع، انصاری ،ح، و غلامی سفیدکوهی،م، ،ع. (۱۳۹۴)**. ارزیابی دو روش تهیه نقشه‌های تغییرات مکانی تبخیر-تعرق مرجع (مطالعه موردی: استان مازندران) نشریه آبیاری و زهکشی ایران ، شماره۱، جلد۹، فروردین - اردیبهشت ۱۳۹۴، ص ۲۲۱-۲۳۲.

**Davis, B. M. (1987).**Uses and abuses of cross-validation in geostatistics .Math. Geol. 19, p 241-248.

**Hashemi, M, Garcia L. A, Fontane D. G. (1994)**.Spatial Estimation of Regional Crop Evapotranspiration ,Transaction of the ASAE , 38, 8, pp:1345-1351.

**Dalezios, N. R., Loukas, A. and Bampzelis, D. (2002).** Spatial Variability of Reference Evapotranspiration in Greece, Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 27, 23-24, pp: 1031-1038.

**Mardikis, M. G., Kalivas D. P. and Kollias V. J. (2005).**Comparison of Interpolation Methods for the Prediction of Reference Evapotranspiration-An Application in Greece. Journal Water Resources Management.19, 3, pp: 251-278.

**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.

**Geerts, S., Raes, D., Garcia, M., Del Castillo, C. and Buytaert, W. (2006).** Agro-climatic suitability mapping for crop production in the Bolivian Altiplano: A case study for quinoa. Agricultural and forest meteorology, 139, 3, pp: 399-412.

**Vanderlinden, K., Giraldez, V., and Meirvenne,M. (2008).** Spatial Estimation of Reference Evapotranspiration in Andalusia, Spain. Journal of Hydrometeorology.9, pp: 242–255.

**Alsamamra, H. Ruiz-Arias,J A. Pozo-Va´zquez,D. Tovar-Pescador , J. (2009).** A comparative study of ordinary and residual kriging techniques for mapping solar radiation over southern Spain. Agricultural and Forest Meteorology. 149, pp: 1343 – 1357.