

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 پذیرش: ۹۵/۰۲/۰۸

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۰/۲۶

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 آماری 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 و تعرق مرجع و پهنه بندی آن در حوضه آبریز بختگان است که برای این کار نیاز به ارزیابی روش های زمین آماری می باشد. 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 ET-calculator- میزان تبخیر و تعرق مرجع روزانه در هریک از ایستگاه ها به روش فائو-پنمن- مانیت به دست آمد. مقادیر ET به دست آمده با توجه به مختصات جغرافیایی ایستگاه های سینوپتیک با استفاده از نرم افزار ARC-GIS فراخوانی گردید. به منظور برآورد مکانی ET از روش های مختلف زمین آماری 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 مناسب ترین 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 آماری استفاده گردید. نتایج نشان داد که در میان سه روش زمین آماری استفاده شده جهت تخمین تبخیر و تعرق منطقه ای روش کوکریجینگ دارای کم ترین معیارهای خطا RMSE، MAE و MBE به ترتیب برابر با ۰/۶۹۷۳، ۰/۵۱۴۶ و ۰/۱۱۵۵- بود و به عنوان روش مناسب جهت برآورد تبخیر و تعرق منطقه ای انتخاب شد.

واژه های 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 می‌باشد که توزیع مکانی و برآورد دقیق آن برای بسیاری از مطالعات نظیر بیلان آب، طراحی و مدیریت سیستم‌های آبیاری، شبیه‌سازی تولید گیاهی، برنامه‌ریزی آبیاری و مدیریت منابع آب 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 تنها برای مناطق با وسعت کم 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. در روش‌های معمول تهیه نقشه‌های ET، مقادیر ET 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 داده‌های ۶ ایستگاه هواشناسی در یکی از دشت‌های کلرادو به منظور تخمین تبخیر و تعرق منطقه‌ای استفاده کردند. در این بررسی روش بلانی کریدل فائو برای محاسبه ET و از روش وزن دهی عکس فاصله برای میان‌یابی بهره‌گرفتند. 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 درون‌یابی انتخاب نمودند و نقشه مکانی و زمانی تبخیر و تعرق را استخراج کردند. Mardikis و همکاران (۲۰۰۵) در مطالعاتی که در یونان برای پیش‌بینی 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 پهنه‌بندی ETo بیان کردند. Alsamamr و همکاران (۲۰۰۹) پژوهشی در خصوص تحلیل مقایسه‌ای روش‌های کریجینگ معمولی و باقی‌مانده برای نقشه برداری میانگین ماهانه تابش خورشیدی در جنوب اسپانیا با استفاده از نرم‌افزار ARCGIS انجام دادند که در بهترین حالت روش کریجینگ معمولی در تمام ماه‌های سال ضریب تبیین بهتری از خود نشان داده بود. نظری فر و همکاران (۱۳۸۶) در تحقیقی برای بررسی تغییرات منطقه‌ای تبخیر و 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 شدت‌های زمین‌آمار را در پهنه‌بندی‌های

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 ماننسیس در ۵۶ درصد از ۹۱ 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 دایره ای مناسب ترین روش برای درون یابی اطلاعات مقادیر بارندگی سالانه بود. کریمی جعفری و اسلامیان (۱۳۹۰) در پژوهشی از روش های زمین آمار از جمله وزن دهی عکس فاصله (IDW) و کریجینگ 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 به ترتیب ۰/۰۰۳۹، ۰/۷۹۱۶ و ۰/۱۵۲۲ بود که نشان دهنده مناسب بودن این روش نسبت به روشهای دیگر بود. گنجی زاده و همکاران (۱۳۹۲) در تحقیقی برای تهیه نقشه تبخیر و تعرق مرجع در استان گلستان از روش های زمین آماری استفاده کردند. با بررسی آنها روش کریجینگ به عنوان بهترین روش انتخاب شد. کمالی پاشاکلایی و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهشی با استفاده از داده های هواشناسی و درون یابی، نقشه های ET_۰ را به دو روش مورد مقایسه قرار دادند. در روش اول مقدار استفاده از داده های اقلیمی آن ایستگاه ها به روش هارگریوز- سامانی محاسبه و سپس درون یابی کردند، در روش دوم ابتدا اجزای معادله هارگریوز سامانی درون یابی و سپس با استفاده از نقشه های آنها در محیط GIS براساس معادله هارگریوز سامانی نقشه ET_۰ را به دست آوردند. نتایج آن ها با مقایسه مقادیر ET_۰ حاصل از هر دو روش با مقادیر محاسبه شده آن در موقعیت ایستگاه های شاهد نشان داد که اختلاف این دو روش معنی دار نبوده، لذا استفاده از هر دو روش مذکور تغییری در دقت نقشه های ET_۰ ایجاد نمی کند. هم چنین از جمله پژوهش های، وفاخواه و همکاران (۱۳۸۸) با مقایسه روش های مختلف زمین آماری در برآورد تبخیر- تعرق پتانسیل در حوزه آبخیز دریاچه نمک، جامعی و حجام (۱۳۸۷) در برآورد منطقه ای تبخیر و تعرق مرجع در استان خوزستان، Geerts و همکاران (۲۰۰۶) با استفاده از روش کریجینگ تهیه نقشه های تبخیر و تعرق برای تولید محصول کینوا در آلتیپلانو در بولیوی و Dalezios و همکاران (۲۰۰۲) به آنالیز مکانی تبخیر- تعرق در سراسر یونان با استفاده از روش کریجینگ 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

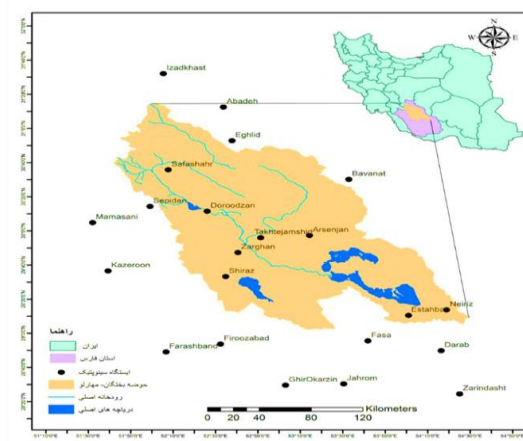
انجام می‌شود. بنابراین تخمین زمین آماری شامل دو مرحله است: مرحله اول شناخت و مدل‌سازی ساختار فضایی متغیر است که بوسیله تحلیل واریوگرام قابل بررسی است و مرحله دوم تخمین متغیر مورد نظر توسط توابع زمین آماری از جمله کریجینگ و کوکریجینگ می‌باشد (Davis et al., ۱۹۸۷).

نتایج پژوهش‌های اشاره شده نشان داد که روش‌های درون‌یابی نتایج متفاوتی در مناطق مختلف داشته است، برای این اساس هدف پژوهش حاضر بررسی و ارزیابی روش‌های مختلف زمین آماری از جمله روش‌های وزن‌دهی عکس‌فاصله، کریجینگ و کوکریجینگ و تعیین مناسب‌ترین روش زمین آماری برای تخمین مکانی تبخیر و تعرق مرجع و پهنه‌بندی آن در حوضه آبریز بختگان است.

مواد و روش‌ها

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 کیلومتر مربع 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 ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل ۱ ارائه شده است. مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک در جدول ۱ آمده است.



شکل ۱: موقعیت منطقه و ایستگاه‌های سینوپتیک در محدوده مطالعاتی

اطلاعات مورد استفاده

داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک بدست آمده پس از حذف و بازسازی داده‌ها آمار یک دوره سال آبی (۱۳۹۳-۱۳۹۲) به عنوان دوره آماری مشترک برای تمام ایستگاه‌های سینوپتیک موجود در محدوده مطالعاتی و خارج از محدوده مطالعاتی (برای افزایش دقت تخمین‌های زمین آماری) در نظر گرفته شد.

جدول ۱: مشخصات ایستگاه های سینوپتیک در محدوده مطالعه

نام ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)
آباد	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
چهرم	۲۸/۴۸۲	۵۳/۵۱۷	۱۰۸۲
داراب	۲۸/۸۹۰	۵۴/۲۹۶	۱۰۹۸
درودزن	۳۰/۱۸۲	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 ET-calculator 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 ET_o ، به روش فائو پنمن مانیتیت را در خود 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.

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} \times U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1+0.34U_2)} \quad \text{رابطه ۱:}$$

که در آن: T : میانگین دمای روزانه هوا برحسب درجه سانتی‌گراد، e_a : فشار بخار واقعی برحسب کیلو ژول ، e_s : فشار بخار اشباع برحسب کیلو ژول، $e_s - e_a$: کمبود فشار بخار اشباع، Δ : شیب منحنی فشار بخار برحسب کیلو پاسکال بر درجه سانتی‌گراد، γ : ضریب ثابت سایکرومتری برحسب کیلو پاسکال بر درجه سانتی‌گراد می باشد. داده‌های مورد استفاده در ایستگاه‌ها 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 مانیتیت از طریق نرم افزار محاسبه شد.

بررسی نرمال بودن و روند داده ها

توزع نرمال یا گوسی یکی از توزیع های است که بیش تر 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 داده 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 اکستشن زمین آمار در نرم افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام شده است.

تخمین مکانی تبخیر و تعرق مرجع با روش های زمین آماری

برای بررسی روش‌های زمین آمار، میانگین داده‌های تبخیر تعرق 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 واریوگرام 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 برای اصل استوار است که نقاط با فاصله کم تر از هم، نسبت به نقاط دارای فاصله بیش تر، دارای مقدار متغیر نزدیک به هم می باشند در این روش برای هر یک از نقاط اندازه گیری، وزنی براساس فاصله بین آن نقطه تا موقعیت نقطه مجهول در نظر می گیرند. سپس این وزن ها 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 یکنواخت تری بین نقاط همجوار توزیع می کنند. البته باید توجه داشت که این روش بدون توجه به موقعیت و آرایش نقاط، فقط فاصله آن ها را در نظر می گیرد، یعنی نقاطی که دارای فاصله یکسانی از نقطه تخمین هستند دارای وزن یکسانی می باشند (سرمدیان، ۱۳۸۸). مقدار فاکتور وزنی با استفاده از فرمول زیر محاسبه می شود:

$$\lambda_i = \frac{D_i^{-a}}{\sum_{i=1}^n D_i^{-a}} \quad \text{رابطه ۲:}$$

λ_i : وزن ایستگاه i ام، D_i : فاصله ایستگاه i ام تا نقطه مجهول و a : توان وزن دهی هستند. در این پژوهش از توان های ۴،۲،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 و تعرق ترسیم شد.

معیار های ارزیابی روش های درون یابی

تکنیک های میان یابی که بتوانند مقادیر یک نقطه اندازه گیری شده را با دقت بالایی تخمین بزنند به عنوان تخمین گر های 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 اندازه گیری شده (ایستگاه های سینوپتیک)، که معمولاً تنها ابزار مقایسه می باشند، عملیات میان یابی مجدداً انجام می گیرد و تفاوت مقدار برآورد شده و مقدار واقعی به عنوان معیاری از خطا محاسبه می شود. به همین ترتیب برای تمام نقاط برآورد صورت می گیرد و خطای حاصل برای کلیه نقاط به دست می آید. در نرم افزار Arc Gis این کار توسط نرم افزار انجام می گیرد.

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 روش‌های مقایسه آماری نظیر واریانس، ضریب همبستگی، کای مربع و مانند آن 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 معیارها در (روابط ۲ الی ۴) آمده است.

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

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

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

که در روابط فوق Z_{est} : مقدار برآورد شده پارامتر مورد نظر، Z_{obs} : مقدار مشاهده شده پارامتر مورد نظر و n : تعداد داده‌های مشاهداتی می‌باشد. 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 هیچ‌گاه مقدار این دو آماره صفر نخواهد شد. ریشه میانگین مربعات خطا هرچه دارای مقدار کمتر باشد دقت روش درون یابی بالاتر می‌باشد.

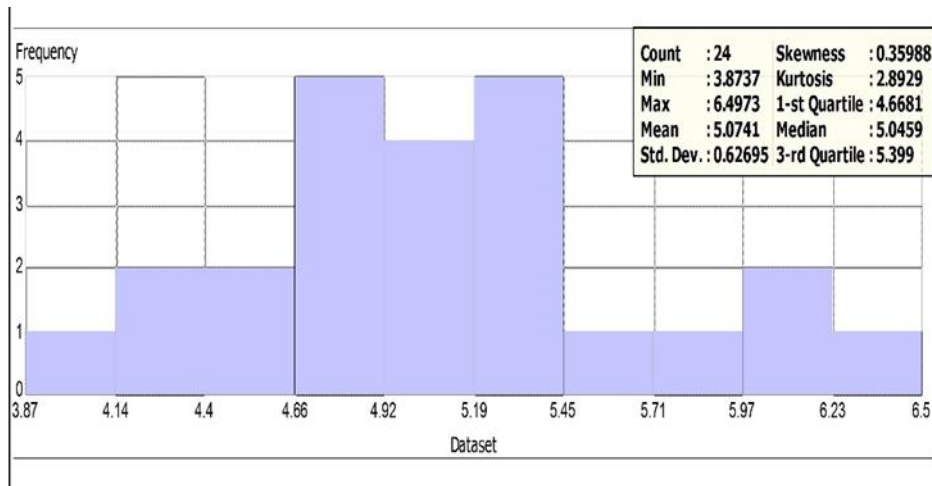
نتایج و بحث

نتایج بررسی نرمال بودن و روند داده‌ها

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

با ترسیم نمودار سری داده‌های تبخیر و تعرق مرجع، وجود روند در داده‌ها بررسی می‌شود. پس از رسم نمودار مقادیر تبخیر و تعرق مرجع در تمام ایستگاه‌ها و با برازش دادن خط روند از مقادیر اندازه‌گیری شده، نزولی یا صعودی

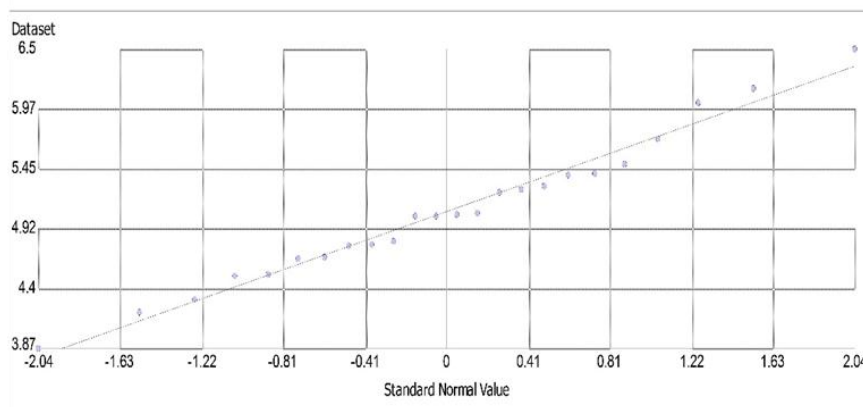
بودن خط روند سری داده ها را مشخص می کنیم (شکل ۴). در نمودار خط روند برآزش داده شده و معادله خط نمایش داده شده است که با توجه به نمودار و خط روند داده ها مشخص می شود که داده ها دارای یک روند طبیعی و به صورت یک خط افقی شیب نزدیک به صفر یا ناچیز می باشند که نتایج حاکی از عدم وجود روند در داده ها می باشد.



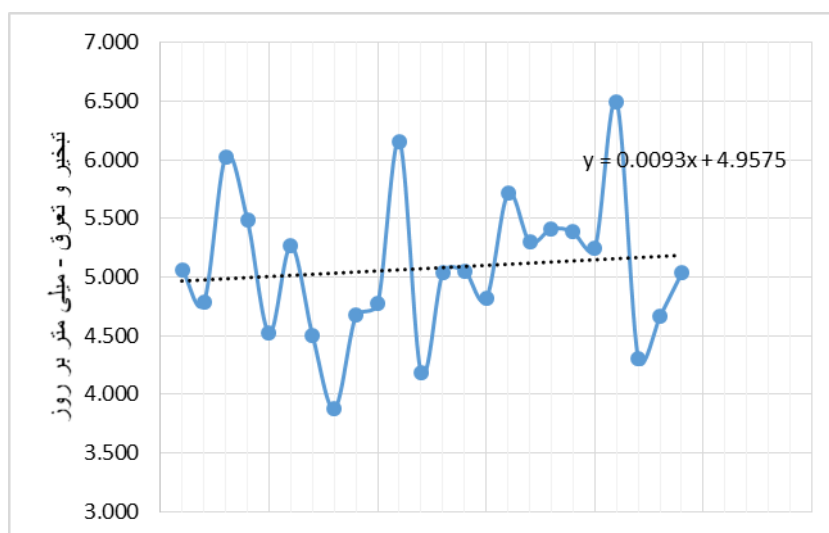
شکل ۲: نمودار هیستوگرام داده های تبخیر و تعرق مرجع

جدول ۲: نتایج آماری بررسی نرمال بودن داده ها

داده های تبخیر و تعرق مرجع ایستگاه های سینوپتیک						
حدافل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی	میانه
۳/۸۷۳	۶/۴۹۷	۵/۰۷۴	۰/۶۲۶	۰/۳۵	۲/۸۹	۵/۰۴۵



شکل ۳: نمودار q-qplot برای داده های تبخیر و تعرق



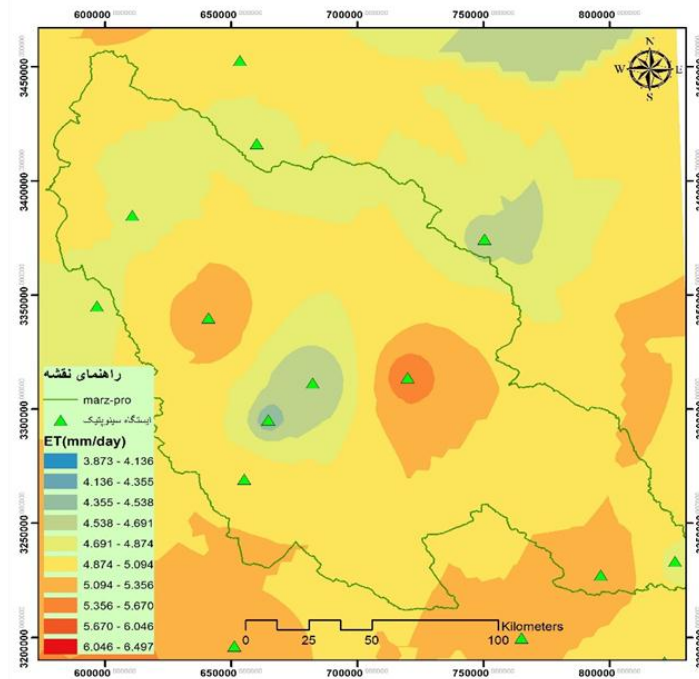
شکل ۴: نمودار بررسی روند در داده های تبخیر و تعرق مرجع در ایستگاه های سینوپتیک

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 $0/6880$ و با توجه به اعتبارسنجی تقاطعی مقادیر 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 $0/5368$ و $-0/0739$ می باشد. در جدول ۳ توان بهینه برابر یک می باشد. 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

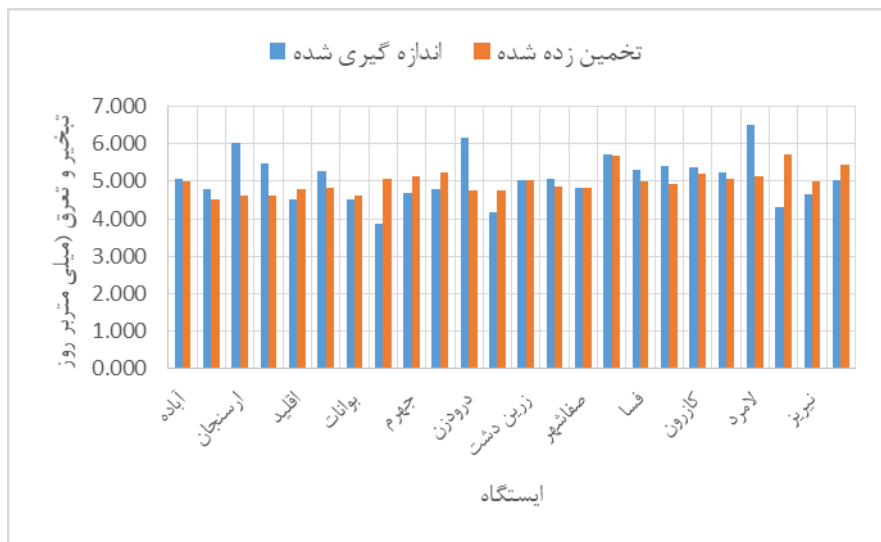
به همین صورت طبق نتایج به دست آمده از جدول ۴ کمترین مقدار ریشه میانگین مربعات خطا در روش کریجینگ و کوکریجینگ برای مدل واریوگرام نمایی به ترتیب $0/6637$ و $0/6973$ می باشد. هم چنین مقادیر معیار های میانگین خطای مطلق و خطای انحراف برای روش کریجینگ برابر با $0/5327$ ، $0/489$ - و در روش کوکریجینگ به ترتیب برابر با $0/5146$ و $0/799$ - می باشد.

جدول ۴: نتایج روش مختلف میان یابی برای داده های تبخیر و تعرق مرجع ایستگاه های سینوپتیک

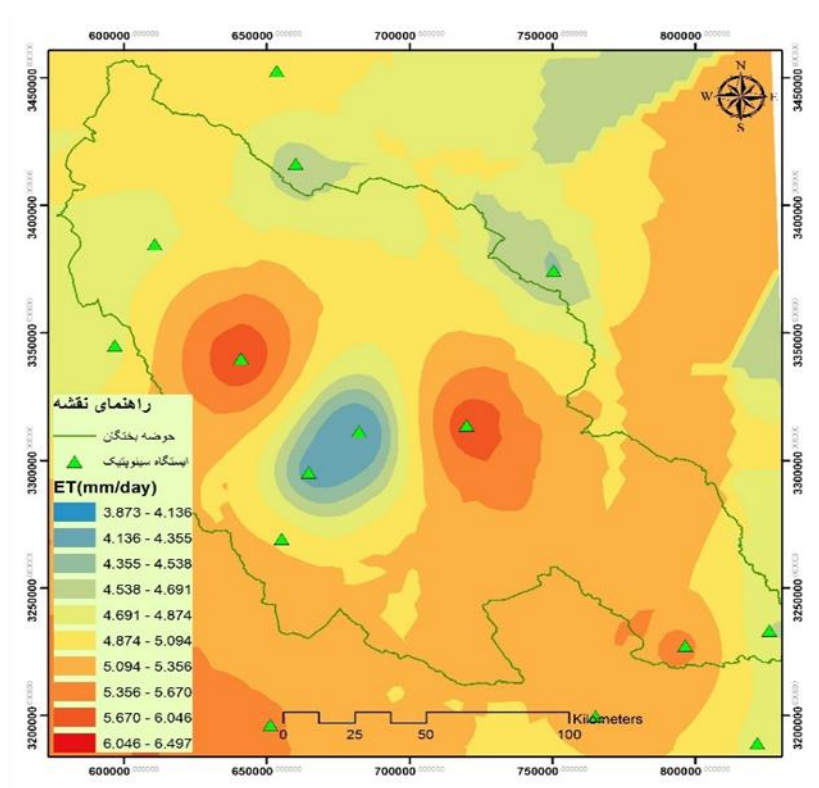
MBE	MAE (mm/day)	RMSE (mm/day)	تعداد نقاط همسایگی	تعداد گام ها	مدل واریوگرام	روش درون یابی
$-0/489$	$0/5327$	$0/6637$	۹	۷	کروی	کریجینگ معمولی
$-0/489$	$0/5327$	$0/6637$	۹	۱۵	نمایی	
$-0/353$	$0/5653$	$0/7116$	۶	۷	گوسی	
$-0/1112$	$0/5317$	$0/7158$	۹	۷	کروی	کوکریجینگ
$-0/799$	$0/5146$	$0/6973$	۹	۹	نمایی	
$-0/1155$	$0/4984$	$0/7091$	۱۵	۹	گوسی	

با توجه به نتایج، تخمین با روش کریجینگ و کوکریجینگ با مدل نمایی تفاوت زیادی با هم ندارند و تقریباً 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 نمودارهای 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 ۳ و 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 معیارهای خطا را دارد در شکل ۴ ارائه شده است.

نتیجه‌گیری

در تخمین داده‌های تبخیر و تعرق مرجع مکانیف روش وزن دهی عکس فاصله با ۹ همسایگی و توان بهینه برابر ۱ دارای کمترین معیار خطا می‌باشد هم چنین روش کریجینگ با مدل واریوگرامی نمایی و تعداد ۱۵ گام و ۹ همسایگی و روش کوکریجینگ با مدل واریوگرامی 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 روش‌ها داشته باشد پس در داده‌های تبخیر و تعرق 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 روش‌های زمین آماری و تیسن در برآورد تغییرات منطقه‌ای تبخیر و تعرق پتانسیل (مطالعه موردی: استان همدان). نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، کرمان: دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- 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 روش‌های زمین آمار در پهنه بندی شدت‌های 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 پژوهش‌های آبخیزداری. شماره ۳۰، ص ۳۸ و ۳۹.
- سرمردیان، ف. و تقی زاده مهرجردی، ر. (۱۳۸۸). مقایسه روش‌های درون یابی جهت نقشه‌های 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 روش‌های مختلف برآورد تبخیر تعرق گیاه مرجع و پهنه بندی آن در ایران، پژوهش‌های 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 شماره ۳۰. ص ۱۰۵-۱۲۰.
- کریمی جعفری، م. و اسلامیان، س. (۱۳۹۰). ارزیابی روش‌های زمین آمار در تخمین 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 روش‌های 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، شماره ۱، جلد ۹، 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-Vázquez, 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.