تهيه نقشه فرسايندگي باران براي حوضه درياچه نمک

شاهرخ حكيم‌خاني*[1]، محمدحسين مهديان[2] و محمود عرب‌خدري[3]
[1] استاديار دانشكده منابع طبيعی، دانشگاه ارومیه، ایران
[2] دانشيار پژوهشی مركز تحقيقات حفاظت خاك و آبخيزداري، ايران
[3] عضو هيات علمی مركز تحقيقات حفاظت خاك و آبخيزداري، ايران
(تاريخ دريافت: ٨٣/١١/٥، تاريخ تصويب: ٨۴/١٢/٢)

چكيده

قدرت فرسايندگي باران نقش زيادي در فرسايش خاک دارد و نشان‌دهنده قابليت فرسايش در مناطق مورد نظر است. اين عامل به‌طور معمول در قالب شاخص‌هاي فرسايندگي كه مبتني بر خصوصيات بارندگي هستند، بيان مي‌شود. شاخص‌هاي مختلفي وجود دارد كه در محل ايستگاه‌هاي هواشناسي قابل محاسبه‌اند و براي برآورد آن در نقاط ديگر بايد نقشه‌هاي فرسايندگي ترسيم شود. در اين تحقيق به‌منظور تهيه نقشه فرسايندگي باران براي حوضه درياچه نمک، ابتدا وضعيت ايستگاه‌ها از نظر پراكنش، كيفيت و نوع داده‌ها بررسي شد. با مرور مطالعات و تحقيقات انجام‌شده در سطح جهان و با توجه به محدود بودن ايستگاه‌هاي مجهز به باران‌نگار و برخي عوامل ديگر، شاخص فورنيه اصلاح‌شده كه بر اساس آمار بارندگي ماهانه قابل محاسبه است، مورد استفاده قرار گرفت. به اين منظور، شاخص مذكور در ١٨٢ ايستگاه داراي بيش از ٢٠ سال آمار بارندگي محاسبه شد. كمترين و بيشترين مقدار شاخص فورنيه اصلاح‌شده به ترتيب حدود ١۴ و ٩٥ ميليمتر با ميانگين ۴۴ ميليمتر به‌دست آمد. براي تهيه نقشه فرسايندگي از ميان روش‌هاي TPSS با توان‌هاي ٢، ٣، ۴ و ٥ و با و بدون متغير كمكي، ميانگين متحرک وزن‌دار (WMA) با توان‌هاي ١، ٢، ٣ و ۴، كريجينگ معمولي و كوكريجينگ، روش TPSS با توان دو مناسب‌ترين روش تشخيص داده شد. براي روش يادشده، معيارهاي MBE، MAE و RMSE به ترتيب برابر با ١/٢١- ، ۴/۴۶ و ۶/٢۴ ميليمتر به‌دست آمد. ضريب تعيين مقادير مشاهده‌اي و برآوردي (R^2) نيز، ٠/٨٥ است.

واژه‌هاي كليدي: حوضه درياچة نمك، فرسايندگي باران، TPSS، روش‌هاي ميان‌يابي و فورنيه اصلاح‌شده

نويسنده مسئول: تلفن: ٠٩١۴-۴١٧٢٠١٩ فاكس: ٠۴۴١-٢٧٧٠۴٨٩ Email: Hakimkhani@yahoo.com

مقدمه

فرسايندگي باران، نيروي محرکه يا توان عوامل فرسايش‌زا (مانند باران و رواناب ناشي از آن) در جداسازي و انتقال ذرات خاك است (۳۰). مفهوم عبارت فرسايندگي باران توسط ويشماير و اسميت در سال ۱۹۵۸ (۴۳) به‌منظور لحاظ کردن تأثير اقليم بر فرسايش ارائه شد. اين عامل نقش تعيين‌کننده‌اي در مقدار تلفات خاک دارد. اگر ساير خصوصيات مؤثر بر فرسايش ثابت در نظر گرفته شود، تلفات خاك به‌طور مستقيم متناسب با مقدار فرسايندگي باران خواهد بود. فرسايندگي باران را مي‌توان با استفاده از دو روش اندازه‌گيري مستقيم و استفاده از شاخص‌ها تعيين کرد. روش اندازه‌گيري مستقيم، روشي مناسب براي تعيين قدرت فرسايندگي باران است که از طريق اندازه‌گيري مقدار پاشمان صورت مي‌گيرد. اندازه‌گيري مستقيم در سطح وسيع و براي تمام بارندگي‌ها کاري سخت و دشوار است. ازاين‌رو محققان مختلف (۴۳، ۴۰،۲۹) با اندازه‌گيري همزمان مقدار پاشمان يا تلفات خاك و خصوصيات بارندگي و برقراري روابطي بين آنها، به شاخص‌هايي مبتني بر خصوصيات بارندگي دست يافته‌اند. با استفاده از اين شاخص‌ها و بدون نياز به اندازه‌گيري مستقيم، مي‌توان قدرت فرسايندگي باران را براي مناطق مختلف به‌دست آورد.

بسته به منطقه جغرافيايي، مقياس، شرايط محلي و نوع اندازه‌گيري، شاخص‌هاي مختلفي در دنيا ارائه شده است که ارجحيت يک روش نسبت به ديگري را به‌راحتي نمي‌توان تعيين کرد (۳۹). از معروف‌ترين شاخص‌هايي که تاکنون ارائه شده‌اند، مي‌توان به EI_{30} يا R (۴۳)، AI_m (۲۹)، KE>۱ (۱۲)، $\frac{p^2}{P}$ (۳۳)، $\frac{\sum_{i=1}^{12} p_i^2}{P}$ (۱۳ و۱۴) و $\frac{P}{\sqrt{t}}$ (۳۶) اشاره کرد.

با انتخاب شاخص مناسب و محاسبه مقادير آن به‌صورت نقطه‌اي در ايستگاه‌هاي هواشناسي، مي‌توان نقشه‌هاي فرسايندگي باران را به‌صورت ناحيه‌اي ترسيم کرد. با استفاده از نقشه‌هاي فرسايندگي، آبخيزداران و کارشناسان کشاورزي مي توانند در جهت ارائه طرح‌هاي حفاظت خاك، کنترل فرسايش و مديريت اراضي بهره‌برداري کنند. همچنين مهندسان عمران و سازه مي‌توانند از نقشه‌هاي يادشده به‌منظور طراحي، ساخت و تعيين محل مناسب سازه‌ها، جاده‌ها و خطوط لوله استفاده کنند.

براي تبديل داده‌هاي نقطه‌اي به اطلاعات ناحيه‌اي اغلب از روش‌هاي ميان‌يابي استفاده مي‌شود. روش‌هاي مختلفي براي ميان‌يابي داده‌ها وجود دارد که از جملة آنها مي‌توان به روش‌هاي اسپلاين (۳۷، ۲۳، ۲۴)، ميانگين متحرک وزن دار (۳۴، ۳۷)، روش‌هاي رگرسيوني(۳۴) و زمين آمار (۱۹، ۲۰، ۱۶، ۱۰) اشاره کرد. اين روش‌ها بسته به نوع متغير، تعداد و پراکنش داده‌ها و شرايط منطقه مورد بررسي دقت متفاوتي دارند و بايد قبل از اقدام به ميان‌يابي و تهيه نقشه، روش مناسب انتخاب شود.

در بسياري از کشورها از جمله آمريکا (۴۳)، مالزي، کنيا، انگليس، آلمان، زيمباوه، غرب آفريقا (۳۳)، فرانسه، آفريقاي جنوبي، سريلانکا ، هند (۳۹)، غنا (۳۵)، هندوراس (۳۲)، برزيل (۴۱)، جنوب شرق استراليا و جنوب ايتاليا (۱۸) و کره جنوبي (۳۸)، نقشه‌هاي فرسايندگي ناحيه‌اي يا کشوري تهيه شده است. تحقيقات انجام‌شده در ايران نادر بوده و بيشتر آنها در قالب پايان‌نامه‌هاي دانشجويي انجام گرفته است. سپاسخواه (۴) با ارائه رابطه‌اي بين شاخص فورنيه اصلاح‌شده و EI_{30} سالانه در يک ايستگاه، نسبت به تهيه نقشه فرسايندگي براي کشور اقدام کرده است. محمدي (۸) براي تهيه نقشه فرسايندگي کشور از روش فورنيه فقط از ۹۰ ايستگاه استفاده کرده است. مختارزاده (۹)، EI_{30} را براي چند ايستگاه سينوپتيك محاسبه کرده و بر اساس آن کشور را به چند ناحيه فرسايندگي مختلف تقسيم کرده است. بهبهاني (۱۵) با استفاده از شاخص تغييريافته‌اي از شاخص‌هادسون (KE>۲۰) و ۵ ايستگاه باران‌نگار، نقشه فرسايندگي براي حوضه‌هاي مرکزي استان مازندران ارائه کرده است. سرخوش (۵) با استفاده از شاخص فورنيه اصلاح‌شده و حداکثر بارندگي روزانه و برآورد EI_{30}، براي سه استان فارس، بوشهر و کهگيلويه و بويراحمد، نقشه فرسايندگي ارائه داده است. پناهي (۱) و دادکرمي (۲) با استفاده از شاخص فورنيه اصلاح‌شده و برآورد EI_{30} به ترتيب براي کل کشور (به غير از استان‌هاي گيلان، آذربايجان شرقي و خوزستان) و حوضه درياچه

ارومیه نقشه فرسایندگی تهیه کرده‌اند. نبوي نامقي (١١) براي استان خراسان و با استفاده از بارندگي متوسط سالانه و برآورد EI_{30}، اقدام به تهيه نقشه فرسايندگي كرده است. به غير از سپاسخواه (۴)، محمدي (٨) و بهبهاني (١٥)، بقيه موارد در قالب پايان‌نامه دانشجويي انجام گرفته است. اين تحقيقات با توجه به تعداد كم ايستگاه‌هاي هواشناسي مورد استفاده و عدم توجه كافي به شاخص و روش‌هاي ميان‌يابي مناسب، از دقت چنداني برخوردار نيستند. هدف اين تحقيق تهيه نقشه فرسايندگي باران در سطح حوضه درياچه نمك و بررسي تغييرات ناحيه‌اي آن است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسي

حوضه درياچه نمک در داخل ارتفاعات واقع بين البرز مركزي و زاگرس قرار گرفته است. اين حوضه بين مختصات جغرافيايي ′٠٨ ، °٤٨ تا ′٠٨ ، °٥٢ طول شرقي و ′٠٠ ، °٣٣ تا ′٣٠ ، °٣٦ عرض شمالي واقع شده است. مساحت اين منطقه حدود ٩١٥٢٧ كيلومتر مربع است كه حدود ۴٠ درصد آن را مناطق كوهستاني و بقيه را دشت‌ها و كوهپايه‌ها تشكيل داده است. طيف ارتفاعي اين منطقه بين ٨٠٠ تا ٤٣٠٠ متر تغيير مي‌كند. متوسط بارندگي سالانه اين منطقه از حدود ٧٠٠ ميليمتر در مناطق مرتفع غربي يا شمالي تا كمتر از ١٠٠ ميليمتر در حاشيه كويري شرق و درياچه نمك تنزل دارد. ميانگين سالانه دماي هوا از كمتر از ٥ درجه سانتيگراد در مناطق مرتفع كوهستاني تا بالغ بر ١٧/٥ درجه در اطراف درياچه نمك متغير است. دو اقليم غالب منطقه در سيستم دومارتن اصلاح‌شده، خشك و نيمه‌خشک است.

منابع آماري

مجموع ايستگاه‌هاي هواشناسي سينوپتيك، كليماتولوژي، تبخيرسنجي، باران‌سنج معمولي و باران‌سنج ذخيره‌اي در حوزه درياچة نمك حدود ٤٠٠ ايستگاه است. در اين تحقيق از آمار ايستگاه‌هاي با بيش از ١٥ سال آمار براي برآورد شاخص فرسايندگي استفاده شده است. كيفيت آمار هر يك از ايستگاه‌هاي انتخابي با بررسي مقادير خيلي زياد و خيلي كم آمار بارندگي روزانه و مقايسه آنها با بعضي از ايستگاه‌هاي مجاور انجام گرفته است. در صورت مشاهده مقادير خيلي پرت، به تعديل يا حذف آنها اقدام شده است. بررسي همگني آمار با استفاده از روش‌هاي جرم مضاعف (٣١) و آزمون توالي[1] انجام گرفت. در روش جرم مضاعف، با انتخاب يك دوره آماري مشترك، بارندگي سالانه تجمعي ايستگاه مورد بررسي با متوسط بارندگي سالانه تجمعي چند ايستگاه مجاور در مقابل هم ترسيم شد. در صورت انحراف قابل توجه نقاط حاصل از خط مستقيم به مدت بيش از ٥ سال، آمار ايستگاه مربوط ناهمگن فرض شده و از فرايند محاسبه حذف شدند. براي بررسي بيشتر ايستگاه‌هايي كه همگن بودن آمار آنها به روش جرم مضاعف تأييد نمي‌شد، از آزمون توالي نيز استفاده شد.

انتخاب شاخص مناسب

با توجه به اينكه تحقيقات جامعي در ايران براي تعيين شاخص فرسايندگي مناسب انجام نگرفته، تصميم‌گيري در مورد انتخاب شاخص مناسب و تهيه نقشه فرسايندگي باران به‌راحتي امكان‌پذير نيست. به‌طوركلي، شاخص‌هاي فرسايندگي باران را مي‌توان در قالب دو گروه شاخص‌هاي مبتني بر انرژي جنبشي و شدت بارندگي و شاخص‌هاي مبتني بر آمار سهل‌الوصول بارندگي تقسيم‌بندي كرد. از معروف‌ترين شاخص‌هايي كه در گروه اول قرار مي‌گيرند، مي‌توان به EI_{30} يا R (۴٣)، AI_m (٢٩)، KE>١ (١٢) و $\frac{P}{\sqrt{t}}$ (٣۶) اشاره كرد. از اين ميان شاخص EI_{30} مقبوليت جهاني دارد. در اين گروه به نحوي از شدت بارندگي و انرژي جنبشي استفاده شده است. يكي از محدوديت‌هاي شاخص‌هاي مبتني بر انرژي جنبشي و شدت بارندگي، اين است كه به آمار شدت بارندگي (با فواصل زماني كوتاه‌مدت) ايستگاه‌هاي هواشناسي مجهز به باران‌نگار نياز دارند. چنين آماري در بيشتر نقاط دنيا بويژه براي دوره‌هاي زماني طولاني مدت وجود ندارد و فرآيند محاسبه آنها نيز وقت‌گير و مشكل است (٣٩، ٣٣، ۴١). از اين‌رو محققان مختلف با استفاده از آمار بارندگي روزانه و ماهانه كه در ايستگاه‌هاي

١- Run Test

باران‌سنجي قابل تهيه‌اند، توانسته‌اند شاخص‌هاي ساده‌تر و سهل‌الوصولي ارائه کنند. اين شاخص‌ها يا از راه تحليل منطقه‌اي توليد رسوب يا از با برقراري همبستگي و رابطه با شاخص EI_{30} به‌دست آمده‌اند. دو شاخص $\frac{p^2}{P}$ (۳۳) و $\frac{\sum_{i=1}^{12} p_i^2}{P}$ (۱۳ و ۱۴) معروف‌ترين شاخص‌هاي گروه اخير محسوب مي‌شوند.

در شرايط فقدان آمار مناسب براي شاخص‌هاي گروه اول، استفاده از شاخص‌هاي گروه دوم اجتناب‌ناپذير مي‌شود. بررسي منابع نشان مي‌دهد که دو شاخص فرسايندگي فورنيه ($\frac{p^2}{P}$) و فورنيه اصلاح‌شده ($\frac{\sum_{i=1}^{12} p_i^2}{P}$)؛ بيش از شاخص‌هاي ديگر در تعيين فرسايندگي باران و تهيه نقشه فرسايندگي بويژه براي مناطق فاقد آمار مورد توجه محققان قرار گرفته است. با استفاده از شاخص فورنيه نمي‌توان توزيع بارندگي در ماه‌هاي مختلف را نشان داد و ممکن است افزايش بارندگي‌هاي فرسايش‌زا در ماه‌هاي به غير از مرطوب‌ترين ماه، اثر کمتري روي آن داشته باشد، از اين‌رو آرنولدوس (۱۳، ۱۴) شاخص فورنيه را اصلاح کرده است. همبستگي زياد شاخص فورنيه اصلاح‌شده با EI_{30} در بيشتر تحقيقات انجام‌شده در دنيا و ايران مانند رنارد و فريموند (۳۹)، يو و روزول (۴۴)، فرو و همکاران (۱۷ و ۱۸)، حسين (۲۲)، شاهويي و رفاهي (۷)، سکوتي اسکوئي (۶)، سپاسخواه (۴)، سرخوش (۵)، دادکرمي (۲) و پناهي (۱) به اثبات رسيده است. لال و اليوت (۳۰) اين شاخص را تقريبي از شاخص EI_{30} براي مناطق فاقد ايستگاه‌هاي باران‌نگار يا داراي آمار کوتاه‌مدت از ايستگاه‌هاي يادشده مي‌دانند، از اين‌رو از آن مي‌توان براي تهيه نقشه فرسايندگي براي مناطق فاقد آمار استفاده کرد. شاخص فورنيه اصلاح‌شده (MF) از رابطه زير به‌دست مي‌آيد:

$$MF = \frac{\sum_{i=1}^{12} p_i^2}{P} \quad (۱)$$

که درآن:

p_i: متوسط بارندگي ماه iام و

P: متوسط بارندگي سالانه در طول دوره آماري است.

بعد از انتخاب ايستگاه‌هاي هواشناسي و بررسي صحت و همگني آمار آنها، بارندگي ماهانه و سالانه محاسبه شد. بعد از محاسبه مقدار بارندگي متوسط هر يك از ماه‌هاي دوازده‌گانه و مقدار متوسط سالانه براي دوره آماري، شاخص فرسايندگي يادشده با استفاده از رابطه ۱ براي هر يك از ايستگاه‌ها محاسبه شده است.

روش‌هاي ميان‌يابي

با استفاده از مراحل قبلي، مقادير فرسايندگي باران به‌صورت نقطه‌اي در ۱۸۳ ايستگاه هواشناسي با استفاده از شاخص فورنيه اصلاح‌شده برآورد شد. براي تبديل داده‌هاي مذکور به اطلاعات ناحيه‌اي از روش‌هاي ميان‌يابي استفاده شد. روش‌هاي مذکور شامل TPSS[1] با توان‌هاي دو تا پنج و با و بدون متغير کمکي، ميانگين متحرک وزن‌دار[2] (WMA) با توان‌هاي يک تا چهار، کريجينگ معمولي[3] (OK) و کوکريجينگ[4] (CoK) بوده است. براي بررسي بيشتر و آگاهي از تئوري اين روش‌ها مي‌توان به هاچينسون وگسلر (۲۵)، ايساکس و سريواستاوا (۲۷)، واخرناگل (۴۲) و مهديان و همکاران (۱۰) مراجعه کرد. براي انتخاب روش مناسب از روش ارزيابي متقابل[5] استفاده شد. در اين روش، در هر مرحله يك نقطه مشاهده‌اي حذف شده و با استفاده از بقيه نقاط مشاهده‌اي، آن نقطه برآورد مي‌شود. اين کار براي کليه نقاط مشاهده‌اي تکرار مي‌شود، به‌طوري‌که در آخر به تعداد نقاط مشاهده‌اي، برآورد وجود خواهد داشت. معيارهاي مختلفي نيز براي ارزيابي کارايي روش‌هاي ميان‌يابي وجود دارد که مي‌توان به ميانگين خطاي اريب يا انحراف[6] (MBE)، ميانگين خطاي مطلق[7](MAE)، ريشه دوم ميانگين مربع خطا[8](RMSE) و ضريب تعيين

۱- Thin Plate Smooting Spline
۲- Weighted Moving Average
۳- Ordinary Kriging
۴- Co-Kriging
۵- Cross Validation
۶- Mean Bias Error
۷- Mean Absolute Error
۸- Root Mean Squared Error

مقادير مشاهده‌اي و برآوردي (R^2) اشاره كرد. معادلات محاسبه آنها به قرار زير است:

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left[Z^*(x_i) - Z(x_i)\right]}{n} \quad (2)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left|Z^*(x_i) - Z(x_i)\right|}{n} \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left[Z^*(x_i) - Z(x_i)\right]^2}{n}} \quad (4)$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left[Z^*(x_i) - \overline{Z}(x_i)\right]^2}{\sum_{i=1}^{n}\left[Z(x_i) - \overline{Z}(x)\right]^2} \quad (5)$$

كه در آنها:

n = تعداد نقاط مشاهده‌اي؛

$Z^*(x_i)$ = مقدار برآوردي بر نقطه iام؛

$Z(x_i)$ = مقدار مشاهده اي براي نقطه iام؛

$\overline{Z}(x)$ = ميانگين مقادير مشاهده‌اي است.

در محاسبات زمين آماري، روش TPSS با استفاده از نرم‌افزار ANUSPLINEA (٢٦) و روش‌هاي كريجينگ معمولي (OK)، كوكريجينگ (CoK) و ميانگين متحرك وزن‌دار (WMA) با استفاده از نرم‌افزار GS^+ تعيين شده است

نتايج

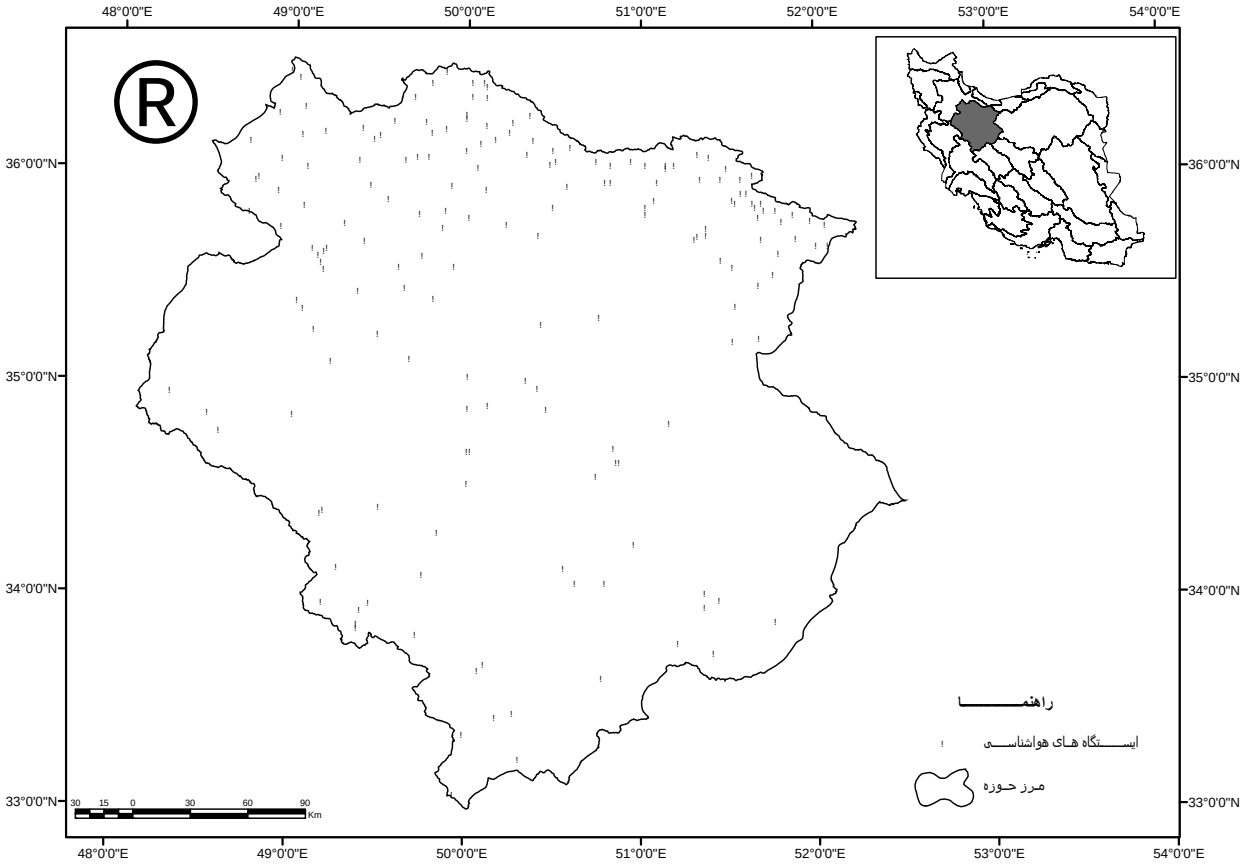
از مجموع ايستگاه‌هاي هواشناسي وزارت نيرو و سازمان هواشناسي در اين حوضه، در حدود ١٨٢ ايستگاه داراي آمار بيش از ١٥ سال بوده كه در تعيين فرسايندگي باران از آنها استفاده شد. شكل ١، موقعيت حوضه درياچه نمك و پراكنش ايستگاه‌هاي انتخابي را نشان مي‌دهد. جدول ١، آماره‌هاي توصيفي شاخص فورنيه اصلاح‌شده و لگاريتم آن و ارتفاع از سطح دريا را نشان مي‌دهد. كمترين و بيشترين شاخص يادشده به ترتيب برابر با ١٤/٢٧ و ٩٤/٩٢ ميليمتر و ميانگين آنها برابر با ٤٤/٠٣ ميليمتر است. نمودار فراواني شاخص فورنيه اصلاح‌شده (شكل ٢) مبين اين مطلب است كه مقادير ٣٠ تا ٤٠ ميليمتر؛ بيشترين فراواني ايستگاه‌ها را در حوضه دارند. همبستگي ارتفاع از سطح دريا با شاخص فورنيه اصلاح‌شده برابر با ٠/٦٧٦ محاسبه شده كه در سطح يك درصد معني‌دار است. بنابراين استفاده از متغير يادشده به‌عنوان متغير كمكي امكان افزايش دقت برآورد را ممكن مي‌سازد.

بررسي نتايج جدول ١ و نمودار فراواني (شكل ٢) و آزمون Kolmogorov-Smirnov، نشان مي‌دهد كه مقادير شاخص فورنيه اصلاح‌شده در حوضه درياچه نمك، از توزيع نرمال تبعيت نمي‌كند، از اين‌رو از تبديل لگاريتمي براي نرمال ساختن داده‌ها استفاده شد. شكل ٣ نمودار فراواني و منحني احتمال نرمال لگاريتم شاخص فورنيه اصلاح‌شده را در حوضه درياچه نمك نشان مي‌دهد. همچنين شكل ٤ نمودار فراواني و منحني احتمال نرمال ارتفاع از سطح دريا را در حوضه مذكور ارائه مي‌دهد كه بيانگر نرمال بودن آن است. واريوگرام تجربي و مدل برازش (كروي) داده‌شده بر آن براي حالت تبديل لگاريتمي شاخص فورنيه اصلاح‌شده در شكل ٥ نشان داده شده است كه شاخص‌هاي آن در جدول ٢ مشخص شده است. مدل برازش‌شده داراي اثر قطعه‌اي[1]، آستانه[2] و شعاع تأثير[3] به ترتيب برابر با ٠/٠٤، ٠/١٧ ميليمتر و ٢٢٠٠٠٠ متر است.

١- Nugget effect

٢- Sill

٣- Range of influence



شکل ۱- پراکنش ايستگاه‌هاي هواشناسي انتخابي درحوضه درياچه نمک

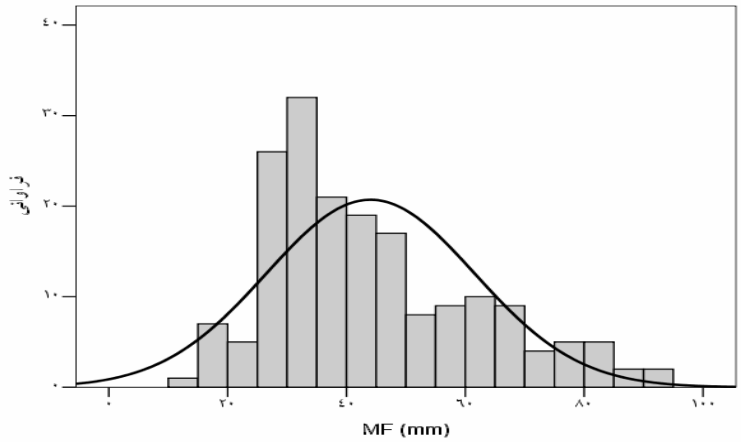
جدول ۱- آماره‌هاي توصيفي شاخص فورنيه اصلاح شده، لگاريتم آن و ارتفاع از سطح دريا در حوضه درياچه نمک

متغير / آماره	شاخص فورنيه اصلاح شده (ميليمتر)	لگاريتم شاخص فورنيه اصلاح شده	ارتفاع از سطح دريا (متر)
ميانگين	٤۴/٠٣	٣/٦٨	١٦٣٦/٤٩
ميانه	٣٩/٨	٣/٦٧	١٧١٤
واريانس	٣٠٧/١٥	٠/١٤	١٤١٨٢٠/٦٠
انحراف معيار	١٧/٥٢	٠/٣٧	٣٧٦/٥٩
ضريب تغييرات	٣٩/٨	١٠/٠٤	٢٣/٠١
حداقل	١٤/٢٧	٢/٦٦	٨٣٠
حداكثر	٩۴/٩٢	٤/٥١	٢٥٠٠
چولگي	٠/٨٢	-٠/١١	-٠/٢٣
كشيدگي	٠/٠٠۴	-٠/٢٩	-٠/٥٨

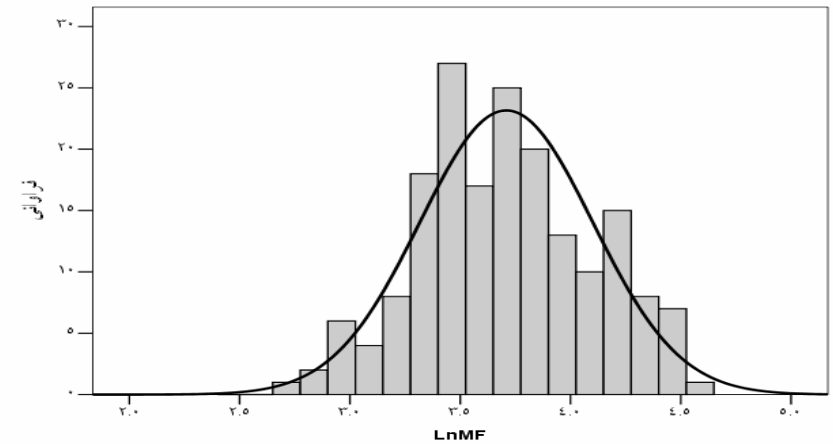
جدول ٢- آماره‌هاي واريوگرام هاي لگاريتم شاخص فورنيه اصلاح شده و ارتفاع و واريوگرام متقابل آنها درحوضه درياچه نمک

واريوگرام / شاخص	واريوگرام لگاريتم شاخص فورنيه اصلاح شده	واريوگرام ارتفاع از سطح دريا	واريوگرام متقابل
اثر قطعه اي	٠/٠٥	٥٠٢٠٠	٣٢/٢
آستانه	٠/١٨	١٧٠١٠٠	١١۴
دامنه (متر)	٢٠۶٠٠٠	١٥۴٣٠٠	١٥٣٣٠٠

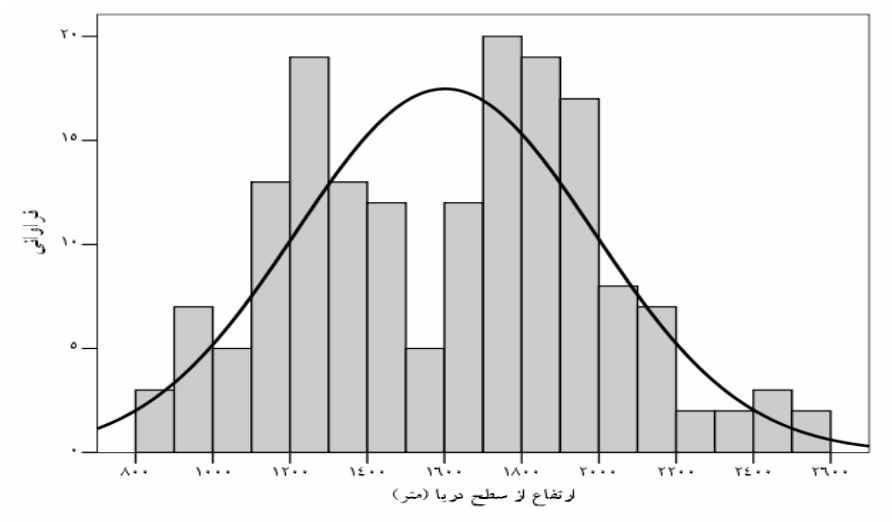
شكل ۶ واريوگرام تجربي و مدل برازش‌داده‌شده را براي ارتفاع از سطح دريا در منطقه مورد بررسي نشان مي‌دهد. با توجه به اينكه ضريب همبستگي بين شاخص فورنيه و ارتفاع از سطح دريا بيشتر از ٠/٥ بود، از اين‌رو واريوگرام متقابل لگاريتم شاخص اصلاح‌شده فورنيه و ارتفاع از سطح دريا نيز تهيه شد كه نتيجه آن در شكل ٧ ارائه شده است. ذكر اين نكته ضروري است كه از نتايج شكل مذكور در روش كوكريجينگ بهره‌برداري شده است.



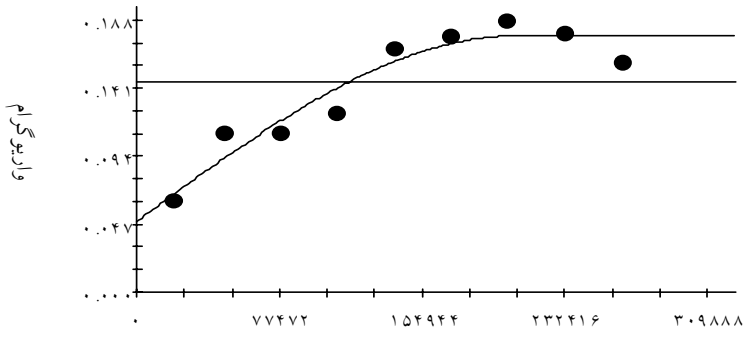
شكل ٢- نمودار فراواني و منحني احتمال شاخص فورنيه اصلاح شده درحوضه درياچه نمک



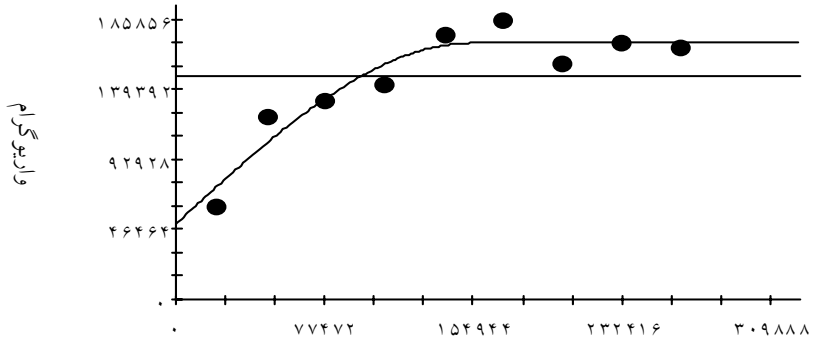
شكل ٣- نمودار فراواني و منحني احتمال نرمال لگاريتم شاخص فورنيه اصلاح شده درحوضه درياچه نمک



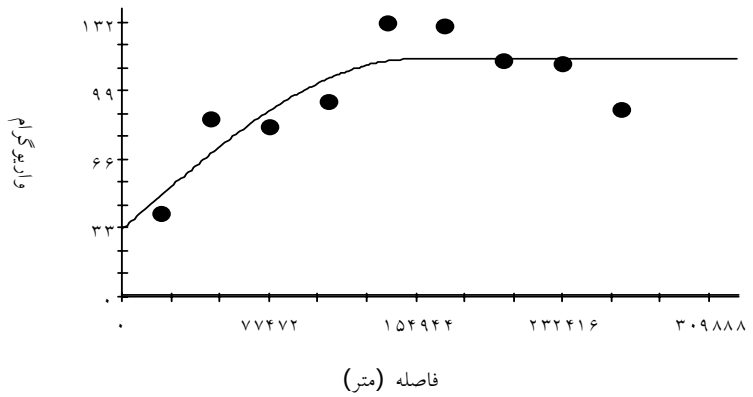
شکل ۴- نمودار فراواني و منحني احتمال نرمال ارتفاع از سطح دريا درحوضه درياچه نمک



شکل ۵- واريوگرام تجربي و مدل برازشي براي لگاريتم شاخص فورنيه اصلاح‌شده درحوضه درياچه نمک



شکل ۶- واريوگرام تجربي و مدل برازشي براي ارتفاع از سطح دريا درحوضه درياچه نمک



شكل ٧- واريوگرام متقابل تجربي و مدل برازشي براي لگاريتم شاخص فورينه اصلاح شده و ارتفاع درحوضه درياچه نمک

جدول ٣، نتايج ارزيابي روش‌هاي مختلف زمين آماري را نشان مي‌دهد. با مراجعه به اين جدول، ملاحظه مي‌شود كه دو روش TPSS با توان دو و TPSS با توان دو و متغير كمكي (Co-TPSS٢) خطاي كمتري نسبت به بقيه روش‌ها دارند. TPSS٢ داراي RMSE كمتر و R^2 بيشتر نسبت به روش Co-TPSS٢ است و در عوض روش اخير MBE و MAE كمتري دارد. بنابراين در مجموع TPSS٢ در مقايسه با Co-TPSS٢ وضعيت به‌نسبت بهتري دارد، زيرا RMSE كمتر و R^2 بيشتري نسبت به Co-TPSS٢ دارد و تنها MAE آن كمي بيشتر است. با اين حال اختلاف آنها معني‌دار نيست. با توجه به مطالب ذكرشده، روش TPSS٢ به عنوان روش ميان‌يابي مناسب براي تهيه نقشه فرسايندگي حوضه درياچه نمك انتخاب شد. بعد از انتخاب روش ميان‌يابي مناسب، به تهيه نقشه فرسايندگي اقدام شد. شكل ٨، نقشه فرسايندگي را برحسب ميليمتر نشان مي‌دهد.

بحث

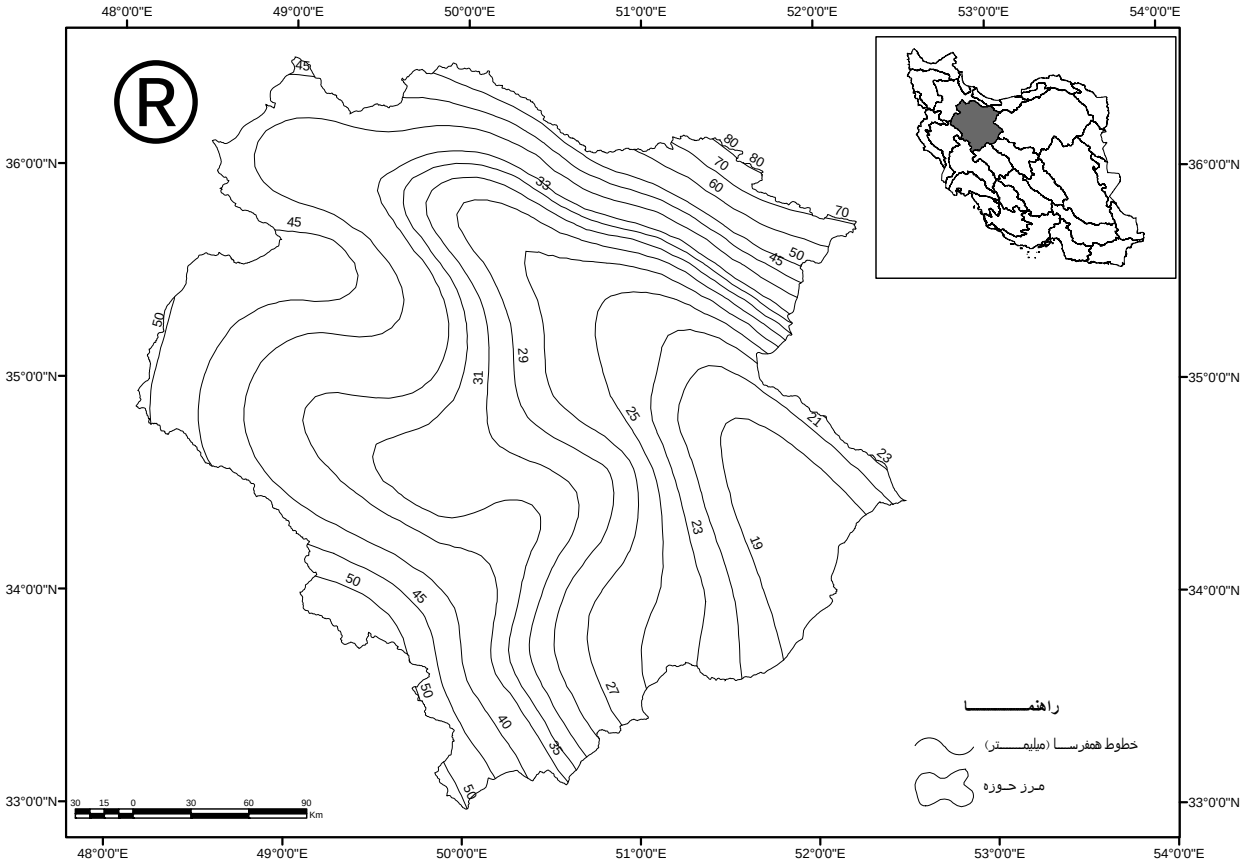
شعاع تاثير واريوگرام شاخص فورنيه اصلاح‌شده (شكل ٥)، نشان مي‌دهد كه شاخص يادشده تا شعاع ٢٢٠ كيلومتري داراي همبستگي مكاني است. واريوگرام ارتفاع از سطح دريا (شكل ٦) و واريوگرام متقابل (شكل ٧) نيز بيانگر اين هستند كه ارتفاع از سطح دريا و دو متغير ارتفاع از سطح دريا و شاخص با هم به ترتيب تا شعاع ١٧٩/٤ و ١٨٨/٨ كيلومتر داراي همبستگي مكاني‌اند. با توجه به جدول ٣، روش‌هاي زمين آماري (كريجينگ معمولي يا OK و كوكريجينگ يا CoK)، از نظر مقدار خطا به ترتيب در رديف‌هاي هفتم و هشتم قرار دارند. با اينكه ضريب همبستگي ارتفاع از سطح دريا با شاخص فورنيه اصلاح‌شده حدود ٠/٦٧٦ است، ليكن استفاده از متغير كمكي يادشده، برآورد فرسايندگي باران را بهبود نبخشيده است. روش‌هاي ميانگين متحرك وزن‌دار، در رديف‌هاي يازدهم تا چهاردهم قرار مي‌گيرند و وضعيت مناسبي ندارند. از بين روش‌هاي ميانگين متحرك وزن‌دار، روش WMA با توان ٣ وضعيت بهتري دارد. شش روش اول كه خطاي كمتري دارند، جزء روش‌هاي TPSS قرار مي‌گيرند.

جدول ۳- نتايج ارزيابي روش‌هاي ميان‌يابي

معيار خطا / روش ميان‌يابي	MBE	MAE	RMSE	R^2	رتبه
	(ميليمتر)				
TPSS۲	-۱/۲۱	٤/٤٦	٦/۲٤	۰/۸۵	۱
TPSS۳	۰/٦۸	۵/٦۰	۷/۵۰	۰/۸۰	۴
TPSS۴	۰/۹۰	۵/۸۰	۷/۷۷	۰/۷۸	۶
TPSS۵	۱/۱۹	۵/۹۷	۸/۰۷	۰/۷٦	۷
Co-TPSS۲	۰/۱۷	٤/٤۱	٦/۲۵	۰/۸٤	۲
Co-TPSS۳	۰/٤۸	۵/۲۳	۷/٦۲	۰/۸۳	۳
Co-TPSS۴	۰/۹۲	۵/٦۰	۹/۲۹	۰/۷۱	۵
Co-TPSS۵	۱/۹۸	٦/۰۱	۱۳/۷۷	۰/۵۱	۸
Cok	-۰/۳۲	٦/۱٤	۸/۲۷	۰/۷۲	۹
Ok	-۱/۰۳	٦/۲۷	۸/۰۹	۰/۷۵	۱۰
WMA۱	-۰/۵۹	۷/۹۱	۹/۹۷	۰/٦۲	۱۴
WMA۲	-۰/۲۸	۷/۳۳	۹/۲۰	۰/٦٦	۱۳
WMA۳	-۰/۸۰	۷/۱٤	۹/۰٦	۰/٦۷	۱۱
WMA۴	۰/٤۰	۷/۱۹	۹/۱۷	۰/٦٦	۱۲

که بيانگر توانايي آن در برآورد فرسايندگي باران است. تحقيقات زيادي مانند پرايس و همکاران (۳۷)، هاچينسون (۲۳ و ۲۴)، جفري و همکاران (۲۸) و گوني و هاچينسون (۲۱) به نتايج مشابه اين تحقيق رسيده و از TPSS براي تهيه نقشه خصوصيت بارندگي مورد نظر استفاده کرده‌اند.

براساس نقشه فرسايندگي (شکل ۸)، مناطق شمال شرق و جنوب غرب حوضه، فرسايندگي زياد و مناطق مرکزي، غربي و جنوب شرقي بويژه اطراف درياچه نمک، فرسايندگي کمي دارند. مقادير فرسايندگي مناطق يادشده با ارتفاع از سطح دريا همخواني دارد، به‌طوري‌که مناطق با ارتفاع از سطح دريا زياد و ارتفاع از سطح دريا کم به ترتيب فرسايندگي زياد و کم دارند. معيارهاي خطا يعني MBE، MAE و RMSE به ترتيب برابر با ۱/۲۱- ، ۴/۴۶ و ۶/۲۴ ميليمترند که بيانگر خطاي کمتري هستند. ضريب تعيين مقادير مشاهده‌اي و برآوردي (R^2)، ۰/۸۵ است. شايان يادآوري است که نقشه يادشده تنها نشان‌دهنده قابليت فرسايش ناشي از فرسايندگي باران است و علاوه بر عامل يادشده، عوامل زياد ديگري از جمله نحوه استفاده از اراضي، پوشش گياهي، توپوگرافي و فرسايش‌پذيري خاک و سنگ در به فعليت رسيدن فرسايش در يک منطقه دخيل‌اند. بنابراين در مناطق با فرسايندگي زياد بايد مديريت بيشتري در جهت حفظ و بهبود عوامل مقاومت‌کننده در مقابل فرسايش از جمله پوشش گياهي صورت گيرد. نتايج اين تحقيق علاوه بر استفاده در طرح‌هاي آبخيزداري، مي‌توان به عنوان مبنايي براي تهيه نقشه فرسايندگي کشور نيز استفاده کرد.



شكل ٨- نقشه فرسايندگي حوضه درياچه نمک

همان‌طوركه گفته شد، تحقيقات جامعي در ايران براي تعيين شاخص فرسايندگي مناسب كه مبتني بر يكي از شاخص‌هاي انرژي جنبشي يا شدت بارندگي يا هر دو آنها خواهد بود، انجام نگرفته است، از اين‌رو تصميم‌گيري در مورد انتخاب شاخص مناسب و تهيه نقشه فرسايندگي باران به‌راحتي امكان‌پذير نيست. توصيه مي‌شود با انجام چند طرح تحقيقاتي در مناطق مختلف كشور نسبت به انتخاب شاخص مناسب اقدام شود. اين كار با محاسبه شاخص‌هاي موجود و استفاده از كاسه‌هاي پاشمان و پلات‌هاي كوچك امكان‌پذير است.

منابع

١- پناهي، ج.، ١٣٧٧. تعيين شاخص فرسايش‌زايي باران در جمهوري اسلامي ايران، پايان‌نامه كارشناسي‌ارشد، دانشگاه شيراز، دانشكده تحصيلات تكميلي، ٢٢١ ص.

٢- دادكرمي، ع.، ١٣٧٦. تعيين شاخص فرسايش‌زايي باران در حوضه درياچه اروميه، پايان‌نامه كارشناسي‌ارشد، دانشگاه تبريز، دانشكده كشاورزي، ٣٣٨ ص.

٣- رفاهي، ح. و شاهويي، ص.، ١٣٧٣. تهيه خطوط همفرساينده باران در غرب كشور، طرح پژوهشي دانشگاه تهران.

٤- سپاسخواه، ع. ر.، ١٣٧٣. تخمين ضريب فرسايش‌زايي باران در ايران، چهارمين كنگره علوم خاك ايران، ٩-٦ شهريور، دانشگاه صنعتي اصفهان، ص ١١٩.

٥- سرخوش، پ.، ١٣٧٤. تعيين شاخص فرسايش‌زايي باران در استان‌هاي فارس ، بوشهر و كهگيلويه و بويراحمد. پايان‌نامه كارشناسي‌ارشد، دانشگاه شيراز، ١٨٩ ص.

٦- سكوتي اسكويي، ر.، ١٣٧٨. محاسبه شاخص فرسايندگي باران (R) در مناطق مركزي استان آذربايجان غربي، پژوهش و سازندگي، شماره ٤٣، ١٧-١١.

٧- شاهويي، ص. و رفاهي، ح.، ١٣٧٥. استفاده از جداول شدت، مدت و دوره برگشت براي محاسبه شاخص فرسايندگي باران و مقايسه آن با ساير روش‌هاي موجود، اولين سمينار ملي فرسايش و رسوب، نور، ٢٧٣-٢٦٥.

٨- محمدي، ج.، ١٣٧٧. تهيه نقشه فرسايندگي باران در ايران با استفاده از شاخص فورنيه و روش آماري كريجينگ، علوم كشاورزي و منابع طبيعي، شماره‌هاي سوم و چهارم، ٤٤-٣٥.

٩- مختارزاده، م.، ١٣٦٧. تعيين فاكتور فرسايندگي (R) فرمول ويشماير براي ايران، پايان‌نامه كارشناسي‌ارشد، دانشگاه تربيت مدرس.

١٠- مهديان، م.، شريفي، ف.، حسيني چگيني، ا. ، فاتحي مرج، ا.، و وهابي، ج.، ١٣٨١. تعيين روش ميانيابي مناسب براي برآورد بارندگي و درجه حرارت در سه اقليم خشک، نيمه‌خشک و مرطوب، پژوهشكده حفاظت خاک و آبخيزداري.

١١- نبوي‌نامقي، غ.، ١٣٧٧. تعيين شاخص فرسايندگي باران در استان خراسان. پايان‌نامه كارشناسي‌ارشد، دانشگاه تربيت مدرس، ٩٦ ص.

١٢- هادسون، ن.، ١٩٧١. حفاظت خاك. ترجمه حسين قديري، انتشارات دانشگاه شهيد چمران، ١٣٧٢.

13- Arnoldus, H. M. J., 1977. Methodology used to determine the maximum potential average annual soils loss due to sheet and rill erosion in Morocco. FAO Soils Bulletin 34, pp. 39–51.

14- Arnoldus, H. M. J., 1980. An approximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation. In: De Boodt, M., Gabriels, D. Eds. , Assessment of Erosion. Chichester, New York, pp. 127–132.

15- Behbahani. M. R., 1997 .Rainfall erosion indices of Mazandaran central watersheds (North of Iran). In: Proceedings of The 8th international conference on rainwater catchment systems, 25-29 April, Tehran, Iran, 877-887.

16- Boer, E. P. J., de Beurs, K. M., and Hartkampz, A. D., 2001. Kriging and thin plate splines for mapping climate Variables. JAG 3, 146-154.

17- Ferro,V., Giordano, G., and Iovino, M., 1991. Isoerosivity and erosion risk map for Sicily. Hydrological sciences J. 36, 549-564.

18- Ferro,V., Porto, P., and Yu, B., 1999. A comparative study of rainfall erosivity estimation for southern Italy and southeastern Australia. Hydrological sciences J. 44(1), 3-24.

19- Goovaerts, P., 1999. Using elevation to aid the geostatistical mapping of rainfall erosivity. Catena 34, 227–242.

20- Goovaerts, P., 2000. Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall. Journal of Hydrology 228, 113-129.

21- Guenni, L., and Hutchinson, M. F., 1998. Spatial interpolation of the parameters of a rainfall model from ground-based data. Journal of Hydrology 212–213, 335–347.

22- Hosein, M. H., 1986. Rainfall erosivity in Iraq. J. Soil Water Conserv. 41, 336– 338.

23- Hutchinson, M. F., 1998a. Interpolation of rainfall data with thin plate smoothing splines: I two dimensional smoothing of data with short range correlation. Journal of Geographic Information and Decision Analysis 2(2), 152-167.

24- Hutchinson, M. F., 1998b. Interpolation of rainfall data with thin plate smoothing splines: II analysis of topographic dependence. Journal of Geographic Information and Decision Analysis 2(2), 168-185.

25- Hutchinson, M. F., and Gessler, P. E., 1994. Splines˜ more than just a smooth interpolator. Geoderma 62, 45-67.

26- Hutchinson, M.F., 1999. ANUSPLIN Version 4.0. http://cres.anu.edu.au/software /anusplin.html

27- Isaaks, E.H., and Srivastava, R.M., 1989. An Introduction to Applied Geostatistics. Oxford University Press, New York.

28- Jeffrey, S. J., Carter, J. O., Moodie, K. B., and Beswick, A. L., 2001. Using spatial interpolation to construct a comprehensive archive Australian climate data. Environmental Modelling & Software 16, 309–330.

29- Lal, R., 1976. Soil erosion on alfisols in Western Nigeria, . Effects of rainfall characteristics. Geoderma 16, 389-401.

30- Lal, R., and Elliot, W., 1994. Erodibility and erosivity. In Lal, R. (ed.), Soil erosion research methods, Soil and Water Conservation Society, Ankeny, 181-208.

31- McCuen, R.H., 1996. Hydrological analysis and design. Prentice – Hall, INC., Englewood Cliffs, New Jersey.

32- Mikhailova, E.A., Bryant, R.B., Schwager, S.J., and Smith, S.D., 1997. Predicting rainfall erosivity in Honduras. Soil Science Society of America Journal 61 (1), 273–279.

33- Morgan, R.P.C.,1995. Soil Erosion and Conservation. Addison-Wesley, London,198 pp.

34- Naoum, S., and Tsanis, I. K., 2003. Temporal and spatial variation of annual rainfall on the island of Crete, Greece. Hydrol. Process. 17, 1899–1922.

35- Oduro-Afriyie, K., 1996. Rainfall erosivity map for Ghana. Geoderma 74, 161–166.

36- Onchev, N.G., 1985. Universal index for calculating rainfall erosivity. In: El-Swaify, S.A., Moldenhauer, W.C. and Lo, A. (eds), Soil erosion and conservation, Soil Conservation Society of America, Ankeny, IO, pp. 424–431.

37- Price, T. D., McKenney, D. W., Nalderc, I. A., Hutchinson, M. F., and Kesteven, J. F., 2000. A comparison of two statistical methods for spatial interpolation of Canadian monthly mean climate data. Agricultural and Forest Meteorology 101, 81–94.

38- Qi, H., Gantzer, C.J., Jung, P.K., and Lee, B.L., 2000. Rainfall erosivity in the Republic of Korea. J. Soil Water Conserv. 55, 115– 120.

39- Renard, K.G., and Freimund, J.R., 1994. Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE. Journal of Hydrology 157, pp. 287–306.

40- Salles, C., and Poesen, J., 2000. Rain properties controlling soil splash detachment. Hydrol. Process. 14, 271-282.

41- Silva, A.M., 2004. Rainfall erosivity map for Brazil. Catena 57, 251–259.

42- Wackernagel, H., 1995. Multivariate Geostatistics. Springer, Berlin.

43- Wichmeier, W.H., and Smith, D.D., 1978. Predicting rainfall losses: a guide to conservation planning. Agriculture Handbook No. 537, US Department of Agriculture, Washington, DC.

44- Yu, B., and Rosewell, C. J., 1996. An assessment of a daily rainfall erosivity model for New South Wales. Aust. J. Soil Res. 34, 139-152.

Mapping rainfall erosivity for Namak lake basin

Sh. Hakimkhani[*1], M. H. Mahdian[2] and M. Arabkhedri[3]
[1] Assistant professor, University of Uromiya, I. R. Iran
[2] Associate professor of Soil and Water Conservation Research Center, I. R. Iran
[3] Researchers of Soil and Water Conservation Research Center, I. R. Iran
(Received 2005 Janu24, Accepted 2006 Feb 21)

Abstract

Rainfall erosivity is one of the most important factors determining soil erosion. This factor is usually expressed as erosion indices that are based on rainfall characteristics. There are various indices that may be determined in weather stations but determining these indices in other places requires development erosion maps. This research was aimed at developing the rainfall erosion map for the Namak Lake basin. In the first step, weather stations were examined in term of their locations and the quality and type of the data provided by them. Reviewing studies and researches conducted in the world and regarding the limited number of the weather stations equipped with recording rain gauges and other instruments, the modified Fournier index that may be derived from statistics of monthly precipitation was used. For this purpose, the index was computed in 182 the weather stations having records of precipitation over the last 20 years. Minimum, Medium and maximum values of modified Fournier index were obtained 14, 44 and 95 millimeters, respectively. The interpolation methods under consideration consist of TPSS (thin plate smoothing spline) with powers of 2, 3, 4 and 5 and with and without secondary variable; WMA (weighted moving average) with powers of 1, 2, 3 and 4; and ordinary Kriging, and Cokriging. The method of TPSS with power of 2 was found the most suitable. MBE, MAE, RMSE and R^2 (determination coefficient of observed and estimated data based on the TPSS method) were -1.21, 4.46, 6.24 millimeters and 0.85, respectively.

Key words: Modified Fournier index, TPSS, Erosivity index, Interpolation methods, Namak lake basin

* Corresponding author: Tel: 0914-4172019 , Fax: 0441-2770489 Email: Hakimkhani@yahoo.com