كمي كردن روش كيفي ژئومرفولوژي براى برآورد فرسايش آبي (مطالعه موردي: سه زيرحوزه آبخيز سد لتيان)

حسن احمدي[١]، محسن ملكي[٢*]، محمد جعفري[١]، جمال قدوسي[٣]، حسين آذرنيوند[٤] و مرضيه مسيبي[٥]

[١]استاد گروه احياء مناطق خشك و كوهستاني، دانشكده منابع طبيعي، دانشگاه تهران، ايران

[٢]دانش‌آموخته دانشگاه آزاد اسلامي، واحد علوم و تحقيقات و عضو هيأت علمي واحد خلخال، ايران

[٣] استاديار پژوهشي، مركز تحقيقات حفاظت خاك و آبخيزداري كشور، ايران

[٤] دانشيار گروه احياء مناطق خشك و كوهستاني، دانشكده منابع طبيعي، دانشگاه تهران، ايران

[٥]عضو هيأت علمي دانشگاه آزاد اسلامي، واحد اردبيل، ايران

(تاريخ دريافت: ٨٦/١١/٢٤، تاريخ تصويب: ٨٧/٣/١١)

چكيده

فرسايش خاك تهديدي جدي براي محيط زيست، سلامت و رفاه انسان‌ها بوده و پس از رشد جمعيت دومين چالش مهم زيست محيطي فرا روي جهان مي‌باشد (٢٠). بررسی فرسايش خاك در ايران قدمتي ٤٠ ساله داشته و به دليل تنگناهای موجود در زمينه حفاظت خاك و مبارزه با فرسايش آن در كشور و اقتباسي بودن بيشتر روش‌هاي مورد بهره‌گيری از ديگر كشورها، اين مدل‌ها تاكنون نتوانسته‌اند پاسخ مناسب، منطقي و مورد انتظار به دست دهند، از اين رو برای رفع اين معضل پايهي در كشور نياز به ابداع و ارائه يک روش كمي برآورد فرسايش و رسوب مبتني بر شرايط اقليمي متنوع آبخيزهاي ايران بسيار ضروري بوده است. نظر به اينكه روش كيفي ژئومرفولوژي (احمدي، ١٣٧٤)، براي برآورد وضعيت فرسايش و رسوب در طي سال‌هاي اخير در مناطق مختلف ايران به‌كار گرفته شده و نتايج قابل قبولي داشته است، اين پژوهش اولين تلاش برای كمي نمودن اين روش بشمار مي‌آيد. در اين پژوهش كه در حوزه آبخيز سد لتيان به انجام رسيده است، تعداد ٨١ شاخص در قالب ٩ معيار مؤثر در فرسايش خاك و توليد رسوب شامل رخساره‌هاي ژئومرفولوژي، سنگ‌شناسي، توپوگرافي، اقليم، هيدرولوژي، خاك، چگونگی بهره‌برداری از زمين، پوشش گياهي و اقتصادي- اجتماعي مورد بررسي قرار گرفت. با انجام آزمون‌هاي آماري، ١٩ شاخص مربوط به معيارهاي ياد شده، براي تعيين شدت فرسايش خاك در قالب مدل مفهومي مورد بهره‌گيری قرار گرفت. براي كمي كردن مدل مفهومي، از نظريه مجموعه‌هاي فازي بهره‌گيری و با به‌كارگيري هفت عملگر فازي نقشه‌هاي شدت فرسايش تهيه شد. بالاترين دقت مربوط به نقشه تهيه شده با بهره‌گيری از عملگر گاماي فازي ٠/٨ بوده كه در آن ضريب دقت كلي به ٩١ درصد رسيده است. همچنين بهترين معادله رگرسيوني برآورد رسوب، با بهره‌گيری از متغيرهاي ضريب شدت فرسايش و مساحت زيرحوزه به‌دست آمد كه ميزان ضريب همبستگي تعديل شده در مدل رگرسيوني نهايي به ٩٩/٠٩ درصد رسيد.

واژه‌هاي كليدي: فرسايش، معيارها و شاخص‌ها، نظريه مجموعه‌هاي فازي، نقشه فرسايش خاك

* نويسنده مسئول: تلفن: ٠٤٥١-٧٧١٥٠٦٣ فاكس: ٠٤٥١-٧٧١٥٠٦٣ E-mail: Orazan_e_sabz@Yahoo.com

مقدمه

فرسايش خاک، زمين و ساكنان آن را به طور مستقيم و غيرمستقيم تحت تاثير قرار مي‌دهد. در طول تاريخ نيز رشد و انحطاط بسياري از تمدن‌هاي بزرگ ممكن است تحت تأثير پديده فرسايش خاک بوده باشد (۲۲). در بررسي عوامل مؤثر در فرسايش خاك به‌طور ريشه‌ای نمي‌توان عامل مشخص و معيني را به عنوان عامل اصلي فرسايش آبي در يك منطقه معرفي نمود. بلكه شرايط فرسايش موجود در منطقه را بايد معلول تاثير متقابل مجموعه عوامل مؤثر در ايجاد فرسايش دانست (۱۸). با در نظر گرفتن نتايج بررسی‌های مختلف که عوامل بيشماري را به عنوان عوامل مؤثر در فرسايش خاک و توليد رسوب معرفي نموده‌اند، در يک تقسيم بندي كلي مي‌توان آنها را شامل عوامل مربوط به فيزيوگرافي و توپوگرافي، سنگ‌شناسي و خاک، اقليم و هيدرولوژي، ژئومرفولوژي، پوشش گياهي و پوشش سطح زمين و بهره‌گيری از زمين دانست.

به طور اصلی برآورد نزديك به واقعيت ميزان فرسايش و رسوب در يك ناحيه موضوع مهمي است كه همواره چگونگي برآورد آن مورد توجه پژوهش‌گران بوده است. در بيشتر كشورها نبود آمار دقيق از ميزان فرسايش و رسوب، بهره‌گيری از مدل‌هاي برآورد فرسايش و رسوب را گريز ناپذير مي‌كند. اما چنين مدل‌هايي اغلب منطقه‌اي بوده و در مناطقي به جز محل ابداع آنها پاسخ دقيقي نمي‌دهند (۳). از اين رو با توجه به اهميت و نقش برنامه‌ريزي در خصوص تهيه و اجراي طرح‌هاي حفاظت خاک و آبخيزداري، ضرورت دارد اقدام به سازگاري روش‌ها و مدل‌هاي كمي برآورد فرسايش و رسوب شده و يا روش‌هاي نوين و بومي كه سازگاري لازم با شرايط حاكم بر آبخيزهاي كشور داشته ابداع و ارائه شوند. در اين رابطه، از آنجا كه روش كيفي ژئومرفولوژي احمدي (۱۳۷٤) با توجه به بررسی های پژوهشي انجام شده درعمل داراي نتايج قابل قبولي در مقايسه با ديگر روش‌هاي كيفي تعيين وضعيت و شدت فرسايش بوده است (۵، ٤ و ۷)، به نظر مي‌رسد كمي نمودن اين روش مي‌تواند منجر به معرفي روش يا مدل كمي برآورد فرسايش و رسوب ابداعي در كشور شود. لذا اين پژوهش براي نخستين بار با هدف كمي كردن روش كيفي برآورد فرسايش ژئومرفولوژي در مقياس حوزه آبخيز و توسعه روشي جديد براي برآورد وضعيت فرسايش و رسوب در حوزه‌هاي آبخيز به انجام رسيده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی

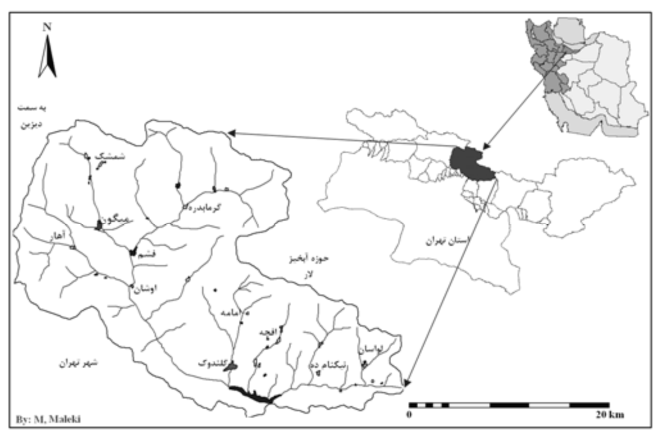
منطقه مورد بررسی، بخشي از حوزه آبخيز جاجرود است كه منتهي به درياچه سد لتيان مي‌باشد و از نظر جغرافيايي بين عرض‌هاي "۳۸ '۴۶ °۳۵ و "۰۶ '۰۳ °۳۶ شمالي و طول‌هاي "۴۱ '۲۳ °۵۱ تا "۲۹ '۴۹ °۵۱ شرقي قرار دارد (شكل ۱). زهكش اصلي حوزه، رودخانه جاجرود مي‌باشد كه از سرشاخه‌هاي اصلي آن گرمابدر، شمشك و آهار بوده و با پيوستن شاخه‌هاي فرعي به درياچه سد مي‌ريزد. حوزه آبخيز سد لتيان، منطقه‌اي كوهستاني است كه از ويژگي‌هاي آن ارتفاع و شيب زياد مي‌باشد. گستره كل حوزه برابر ۶۹۶۸۱ هكتار، ارتفاع ميانگين حوزه ۲۵۵۵ متر، شيب ميانگين حوزه ۴۴/۱۸ درصد و شيب خالص آبراهه اصلي حوزه ۱/۸۸ درصد مي‌باشد. ميانگين سالانه بارندگي حدود ۸۶۷/۶۴ ميليمتر، ميانگين دماي سالانه حوزه ۳/۹ درجه سلسيوس و اقليم غالب منطقه در ارتفاعات بيش از ۲۰۰۰ متر از سطح دريا مرطوب فراسرد و در مناطق با ارتفاع كمتر از ۲۰۰۰ متر نيمه مرطوب فرا سرد است.

از نظر چينه‌شناسي قسمت عمده حوزه مربوط به دوران سوم زمين شناسي بوده و سازندهاي باروت، زاگون، لالون، ميلا، جيرود، مبارك، درود، روته، نسن، اليكا، شمشك، دليچاي، لار، تيزكوه، آهک كرتاسه، فجن، زيارت، كرج، قرمز بالايي، هزار دره، كهريزک و آبرفت‌هاي كواترنر در منطقه وجود دارند. خاک‌هاي منطقه به طوركلي در دو رده

اصلي انتي سول و انسپتي سول‌ها قرار دارند.

در حوزه آبخيز سد لتيان به‌طوركلي به دليل برداشت‌هـاي بيش از حد در گذشته در ارتفاعات پايين و مياني حوزه كه مراتع حريم و ميان‌بند را تشكيل مي‌دهند، وضعيت پوشش گياهي مطلوب نبوده و در برخي مناطق به طور كامل بدون پوشش مي‌باشد. چگونگی بهره‌برداری از اراضي هـم اكنـون در حوزه آبخيز سد لتيان شامل انـواع زراعـت آبـي و ديـم، مرتع، جنگل، مناطق مسكوني، مناطق توده‌سـنگي، اراضـي باير و يا تركيبي از آنها مي‌باشد. برای انجام بررسی‌ها، حوزه آبخيز لتيان به ١٣ زيرحوزه تقسيم شـد و زيـر حـوزه‌هـاي آهار، شمشك و كند به عنوان زيرحوزه‌هـاي همـسان بـرای انجام اين پژوهش گزينش شدند.

در اين بررسی از آمار و داده‌های ثبت شده منابع مختلـف مانند وزارت نيرو، سازمان هواشناسـي، سـازمان مـديريت و برنامه ريزي و مركز آمار ايران، منابع كتابخانه‌اي، نقشه‌هاي عوارض نگاری و زمين‌شناسي منطقـه، عكـس‌هـاي هـوايي سـال ١٣٨١، تـصاوير مـاهواره‌اي لندسـت *ETM*$^+$ و *IRS* سال٢٠٠٠ ميلادي و نرم‌افزارهـاي *Ilwis*، *Excel*، *Spss* و *Minitab* بهره‌گيری شده است.



شكل ١- موقعيت حوضه سد لتيان در بين ساير حوضه‌هاى استان تهران

روش پژوهش

اين پژوهش حاضر در سه مرحله مختلف با هدف كمي نمودن روش كيفي ژئومرفولوژي براي برآورد شدت فرسايش خاك انجام گرفته است كه عبارت‌اند از: الف- مرحله شناسايي‌منطقه، جمع‌آوري داده‌ها، انجام كنترل‌هاي لازم و ذخيره نقشه‌ها و داده های مختلف به صورت طبقه‌بندي شده در قالب بانك داده های با بهره‌گيری از سامانه اطلاعات جغرافيايي. ب- مرحله تجزيه و تحليل داده‌ها از راه تلفيق نقشه‌هاي مختلف و استخراج روابط بين عوامل مختلف تأثيرگذار در فرسايش خاك و انجام آزمون‌هاي مختلف آماري مانند آزمون همبستگي، تجزيه خوشه‌اي و آزمون آماري غيرمشخصه‌ای كروسكال- واليس براي كليه معيارها و شاخص‌هاي مورد بررسي. ج- مرحله مدل‌سازي فرسايش خاك به صورت مفهومي و كمي نمودن آن با بهره‌گيری از قواعد و روابط پايه و كاربرد قوانين مجموعه‌هاي فازي و محاسبه امتيازات كمي و ارائه مدل برآورد فرسايش و رسوب به روش رگرسيون چند متغيره.

تجزيه و تحليل داده‌ها

پيش از انجام مرحله مدل‌سازي فرسايش خاك، لازم است درآغاز معيارها و شاخص‌هاي مؤثر در فرسايش شناخته شود و سپس ارتباط آنها با وضعيت فرسايش از نظر آماري بررسي شده و پس از انجام بررسي‌هاي آماري درزمينه معني‌دار بودن تأثير آنها، سرانجام مؤثرترين عوامل برای وارد شدن در مدل گزينش شدند. در مدل‌سازي بايستي شاخص‌هايي گزينش شوند كه ارتباط بيشتري با فرسايش و رسوب داشته باشد، دارای داده‌های تكراري نبوده، از متغيرهاي ديگر به‌دست نيامده باشد و نيز محاسبه آنها ساده باشد. با توجه به تعداد زياد عوامل مورد بررسي در اين بررسی كه برپايه نتايج مرحله شناسايي منطقه گزينش شده و دركل شامل ٨١ شاخص در قالب ٩ معيار شامل فيزيوگرافي و عوارض نگاری، اقليم (بـارنـدگـي و روانـاب)،

سنگ‌شناسي، خاک‌شناسي، ژئومرفولوژي، پوشش گياهي، بهره‌گيری از زمين و اقتصادي- اجتماعي مي‌باشد، به منظور کاهش تعداد متغيرها، درآغاز شاخص‌هاي مربوط به هريك از معيارها، با بهره‌گيری از روش‌هاي آماري آزمون همبستگي و تجزيه خوشه‌بندي بررسي و معيارها و شاخص‌هاي مهم‌تر برای انجام آزمون معني‌داري گزينش شدند.

رابطه بين هريك از معيارها و شاخص‌ها با شکل های مختلف فرسايش و نيز رده‌هاي شدت فرسايش با هدف بررسي معني‌داري تأثير شاخص‌هاي برگزيده، از راه آزمون آماري بررسي شد. به همين منظور داده های مربوط به هريك از معيارها و شاخص‌هاي مربوط به صورت نقشه‌هاي رقومي در محيط *GIS* و نرم‌افزار *ILWIS* با نقشه رخساره‌هاي ژئومرفولوژي و نقشه شدت فرسايش بدست آمده از روش کيفي ژئومرفولوژي قطع داده شد و توزيع مکاني (فراواني) هر رخساره در طبقه ها يا کلاس‌هاي هر يك از شاخص‌هاي مورد نظر محاسبه شد. برای انجام تجزيه و تحليل آماري، با توجه به طبيعت و نوع داده‌هاي مورد بررسي که به صورت مقادير فراواني در طبقات شاخص‌هاي مورد بررسي مي‌باشد و نيز برقرار نبودن مفروضات مورد نياز براي انجام تجزيه واريانس (عدم توزيع نرمال در داده‌ها)، روش آماري غيرپارامتري کروسکال-واليس[۱] مورد بهره‌گيری قرار گرفت در نتايج مربوط به آزمون کروسکال- واليس، در صورتي که سطح معني‌داري کمتر از ۰/۰۵ باشد (*Asymp. Sig. <0.05*) فرض يکسان بودن گروه‌ها رد مي‌شود و مفهوم آن وجود اختلاف بين کمينه دو گروه از گروه‌هاي مورد بررسي مي‌باشد.

نتايج

بررسی های ژئومرفولوژي

برای تهيه نقشه شدت فرسايش به روش کيفي ژئومرفولوژي، درآغاز با بهره‌گيری از عکس‌هاي هوايي و تصويرهای ماهواره‌اي از راه تفسير نظري و مقايسه ترکيب‌هاي کاذب رنگي مختلف، نقشه رخساره‌هاي ژئومرفولوژي، تهيه شدکه در آن ۱۱ رخساره شامل فرسايش سطحي و شياري، فرسايش آبراهه‌اي ميانگين، فرسايش آبراهه‌اي شديد، فرسايش بدلند يا هزاردره، فرسايش خندقي، فرسايش رودخانه‌اي، حرکت‌های توده‌اي، دامنه منظم، بيرون‌زدگي‌سنگي و توده‌سنگي تشخيص داده شد. با برش دادن نقشه‌هاي حساسيت سنگ‌ها به فرسايش، رخساره‌هاي ژئومرفولوژي و شيب در محيط نرم‌افزار نقشه واحد کاري مشتمل بر ۱۵۰ واحد همگن ژئومرفولوژي تهيه شد. سپس در هر واحد کاري شدت فرسايش به طور کيفي تعيين و در نهايت نقشه شدت فرسايش حوضه از راه ادغام واحدهاي کاري داراي شدت فرسايش همسان به‌دست آمد.

بررسي معيارها و شاخص‌هاي مؤثر در فرسايش و رسوب

با توجه به توضيح‌های ارائه شده در زمينه چگونگی تجزيه و تحليل داده‌ها، هريك از معيارها و شاخص‌هاي مربوط به آن با روش‌هاي آماري ياد شده بررسي و مهم‌ترين عوامل برای مدل‌سازي مفهومي و کمي فرسايش خاك گزينش شدند. معيارها و شاخص‌هاي مورد بررسي به شرح زير مي‌باشند:

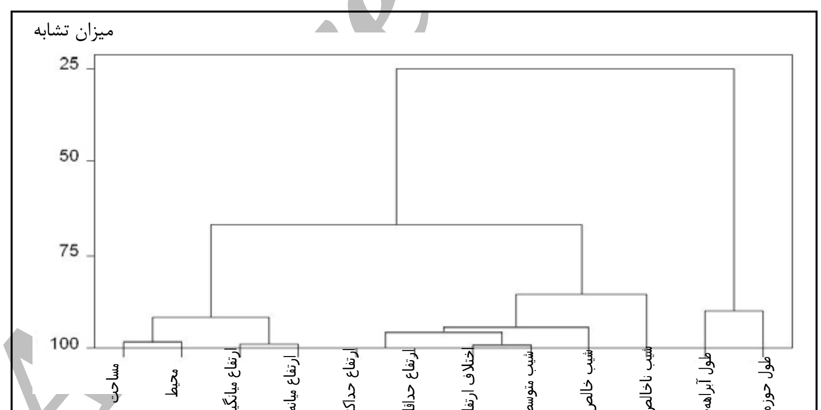
معيار فيزيوگرافي و عوارض نگاری

شاخص‌هاي مورد بررسي در اين بخش عبارت اند از: مساحت، محيط، ارتفاع ميانگين، ارتفاع ميانه، ارتفاع بيشينه، ارتفاع کمينه، اختلاف ارتفاع، شيب ميانگين حوزه،

۱- Kruskal-Wallis

شيب خالص آبراهه اصلي، شيب ناخالص آبراهه اصلي، براى دامنه، قطر دايره هم سطح حوزه، ضريب هورتون، ضريب گراوليس، ضريب ميلر، ضريب شيوم، ضريب شكل، عرض مستطيل معادل حوزه، طول مستطيل معادل حوزه، طول آبراهه اصلي، طول حوزه.

نتايج آزمون همبستگي و تجزيه خوشه‌بندي نشان مي‌دهد متغيرهاي محيط و مساحت حوزه، ارتفاع ميانه و ارتفاع ميانگين، ارتفاع كمينه و ارتفاع بيشينه، اختلاف ارتفاع و شيب ميانگين حوزه و نيز طول حوزه و طول آبراهه دو به دو در يك خوشه قرار گرفته‌اند و ميزان همانندی آنها بيش از ٩٠ درصد مي‌باشد (شكل ٢). همچنين شاخص‌هاي قطر دايره هم‌سطح حوزه، طول مستطيل معادل و عرض مستطيل معادل حوزه در يك خوشه و ضريب‌های هورتون و شيوم نيز در يك خوشه قرار گرفته‌اند. ماتريس همبستگي نيز ضريب همبستگي بالاي اين متغيرها را تأييد مي‌نمايد. همچنين نتايج آزمون همبستگي نشان مي‌دهد شاخص‌هاي مساحت حوزه، شيب ناخالص آبراهه اصلي و طول حوزه نيز تأثير معني‌داري داشته‌اند. لذا از بين شاخص‌هاي مورد بررسي، مساحت، شيب، براى، ارتفاع، شيب ناخالص آبراهه، طول حوزه گزينش شدند. نتايج آزمون كروسكال-واليس نشان مي‌دهد تأثير شاخص‌هاي شيب، براى و ارتفاع در شدت فرسايش معني‌دار بوده و لذا اين شاخص‌ها در مدل مفهومي به‌كار گرفته شدند. در مدل نهايي شاخص‌هاي شيب، براى و مساحت حوزه در نظر گرفته شدند. نمونه‌اي از نتايج آزمون كروسكال-واليس و نمودار باكس-ويشر براي شاخص شيب در شكل‌هاي ٣ و ٤ نشان داده است. اين مرحله ها براي كليه معيارها و شاخص‌ها انجام شده است.



شکل ٢- تجزيه خوشه‌بندی متغيرهای فيزيوگرافی (مساحت، ارتفاع و شيب)

معيار هوا و اقليم شناسي

شاخص‌هاي مورد بررسي در اين بخش عبارت اند از: ميانگين سالانه بارندگي، ميانگين دماي سالانه، ميزان بارندگي سالانه با دوره بازگشت ۲ تا ۱۰۰ ساله، مقدار بارندگي بيشينه ۲٤ ساعته با دوره بازگشت ۲ تا ۱۰۰ ساله، ميزان بارندگي ٦ ساعته با دوره بازگشت ۲ تا ۱۰۰ ساله، ميزان شاخص ويشماير با دوره بازگشت ۲ تا ۱۰۰ ساله و ميانگين بارندگي پرباران‌ترين ماه سال.

بررسي متغيرهاي مربوط به بارندگي حوزه از راه آزمون همبستگي نشان مي‌دهد ميزان بارندگي با دوره بازگشت‌هاي مختلف داراي ضريب همبستگي يك بوده كه دليل اين امر بهره‌گيری از توزيع‌هاي آماري و روابط رياضي براي محاسبه اين متغيرها مي‌باشند، لذا برای بررسي ميزان همانندی متغيرهاي بارندگي، ميزان هريك از متغيرها با دوره بازگشت دوساله به‌عنوان يك ميزان آستانه در ارتباط با فرسايش خاك در نظر گرفته شد و آزمون همبستگي و تجزيه خوشه‌بندي در مورد اين متغيرها انجام گرفت. نتايج آزمون همبستگي نشان مي‌دهد كه متغيرهاي ميانگين سالانه بارندگي، بارندگي سالانه با دوره بازگشت دوساله، شاخص ويشماير با دوره بازگشت دوساله و بارندگي بيشينه ۲٤ ساعته با دوره بازگشت دوساله با يكديگر و نيز با ارتفاع حوزه همبستگي بالايي داشته و نيز متغيرهاي ميانگين بارندگي پرباران‌ترين ماه سال و بارندگي ٦ ساعته با دوره بازگشت دوساله نيز با يكديگر همبستگي كامل دارند. لذا از بين متغيرهاي مربوط به بارندگي حوزه، بارندگي سالانه با دوره بازگشت دوساله، ميانگين بارندگي پرباران‌ترين ماه سال و شاخص فورنيه براي مرحله بعد برای بررسي معني‌داري تأثير آنها در فرسايش خاك گزينش شدند. همچنين شاخص دماي ميانگين نيز كه با ارتفاع حوزه همبستگي كامل دارد در اين مرحله حذف شد. پس از انجام آزمون كروسكال- واليس براي شاخص‌هاي برگزيده، در مدل مفهومي و مدل نهايي شاخص‌هاي بارندگي سالانه با دوره بازگشت دوساله و ميانگين بارندگي پرباران‌ترين ماه سال در نظر گرفته شدند.

معيار زمين‌شناسي و سنگ‌شناسي

شاخص‌هاي مورد بررسي در اين بخش شامل جنس سنگ و ميزان حساسيت سنگ‌ها به فرسايش مي‌باشد كه پس از تأييد معني‌داري اثر آنها در آزمون كروسكال واليس، هر دو شاخص در تبيين مدل مفهومي مورد بهره‌گيری قرار گرفته و شاخص حساسيت سنگ به فرسايش در مدل نهايي به‌كار گرفته شده است.

معيار خاک‌شناسي

شاخص‌هاي بررسي شده در اين بخش عبارت اند از گروه‌هاي بزرگ، بافت و عمق خاك كه پس از بررسي‌هاي آماري در مدل مفهومي و مدل نهايي مورد بهره‌گيری قرار گرفته‌اند.

معيار ژئومرفولوژي

در اين بخش شاخص‌هاي نوع رخساره‌هاي ژئومرفولوژي و نيز شكل زمين مورد بررسي قرار گرفته و پس از بررسي معني‌داري اين شاخص‌ها از نظر آماري، در مدل مفهومي و مدل كمي مورد بهره‌گيری قرار گرفتند.

معيار هيدرولوژي (رواناب)

در اين بخش شاخص‌هاي گروه هيدرولوژي خاك، شماره منحني (CN)، تلفات بارندگي، ارتفاع رواناب با دوره بازگشت ۲ تا ۱۰۰ ساله، حجم آب‌دهي سالانه، دبي اوج سيل، زمان تمركز حوزه با روش‌هاي كرپيچ، برانسي ويليامز و چاو، زمان تاخير و زمان تا اوج با روش ماكوس بررسي شدند.

نتايج نشان مي‌دهد متغيرهاي شماره منحني، ميزان تلفات بارندگي و ارتفاع رواناب با دوره بازگشت‌هاي مختلف با يكديگر همبستگي كامل داشته كه دليل آن ارتباط محاسباتي اين متغيرها با يكديگر مي‌باشد. همچنين متغيرهاي زمان تمركز، زمان تأخير و زمان تا اوج سيل نيز با يكديگر همبستگي بالايي داشته‌اند. با توجه به بررسي‌هاي انجام گرفته شاخص گروه هيدرولوژي خاك، شماره منحني، زمان تمركز حوزه، ارتفاع رواناب و دبي اوج سيل در اين بخش گزينش شده و آزمون‌هاي آماري در مورد آنها انجام شد و مشخص شد تأثير شاخص‌هاي گروه هيدرولوژيكي خاك، زمان تمركز حوزه و دبي اوج سيل در فرسايش معني‌دار بوده است. سرانجام شاخص گروه هيدرولوژي خاك در مدل مفهومي و دبي اوج سيل در مدل رگرسيوني لحاظ شدند.

معيار پوشش گياهي

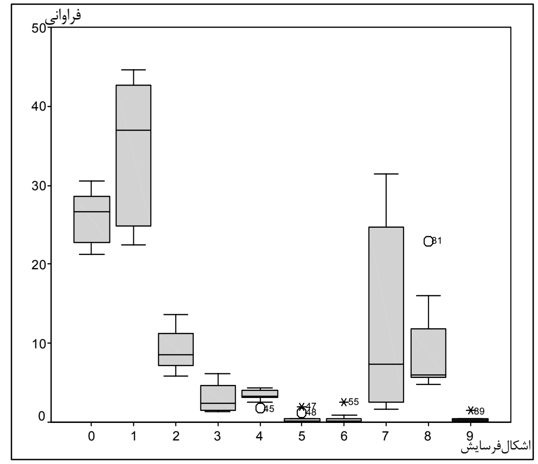
در اين بخش شاخص‌هاي نوع، وضعيت و گرايش جورهاي گياهي، درصد پوشش سطح زمين، درصد خاک لخت و چگونگی بهره‌برداری از زمين مورد بررسي قرار گرفته است. متغيرهاي درصد پوشش سطح زمين و درصد خاک لخت با يكديگر رابطه معكوس داشته و در واقع نتيجه بررسي هر دو يكسان مي‌باشد، اما با توجه به هدف اين پژوهش در خصوص مدل‌سازي فرسايش خاك شاخص درصد خاك لخت كه ارتباط بيشتري با موضوع داشته و تعيين آن ساده‌تر مي‌باشد، در مدل نهايي مورد بهره‌گيری قرار گرفت.

معيار چگونگی بهره‌گيری از زمين

در اين بخش شاخص چگونگی بهره‌گيری از زمين مورد بررسي قرار گرفت و در مدل مفهومي و كمي نهايي مورد بهره‌گيری قرار گرفت.

معيار اقتصادي - اجتماعي

با توجه به تنگناهای بررسي متغيرهاي اقتصادي- اجتماعي در بررسی های مختلف به‌دليل نبود آمار و داده های كافي و كيفي بودن بيشتر شاخص‌هاي مربوط به اين بخش، به طور معمول در بررسی های فرسايش و رسوب ويژگي‌هاي اقتصادي- اجتماعي حوزه مورد بررسي قرار نمي‌گيرند و از شاخص چگونگی بهره برداری از زمين كه به‌طور غير مستقيم در ارتباط با وضعيت اقتصادي- اجتماعي است، بهره‌گيری مي‌شود. نظر به اينكه در اين پژوهش سعي شده كه تا حد امكان متغيرهاي مهم در زمينه فرسايش و رسوب مورد بررسي قرار گيرند، لذا با در نظر گرفتن آمار و داده های ثبت شده در سطح حوزه، شاخص‌هاي جمعيت ساكن در حوزه، تراكم جمعيت ساكن در حوزه، شمار واحد دامي، تراكم واحد دامي، سطح زير كشت، نسبت سطح زير كشت به سطح حوزه در اين بخش مورد بررسي قرار گرفت. پس از انجام بررسي‌هاي آماري، شاخص‌هاي نسبت سطح زيركشت به سطح حوزه و تراكم واحد دامي داراي اثر معني‌دار در فرسايش حوزه شدند، اما در مدل رگرسيوني نهايي هيچ‌كدام از شاخص‌هاي اقتصادي- اجتماعي وارد نشدند.



Ranks

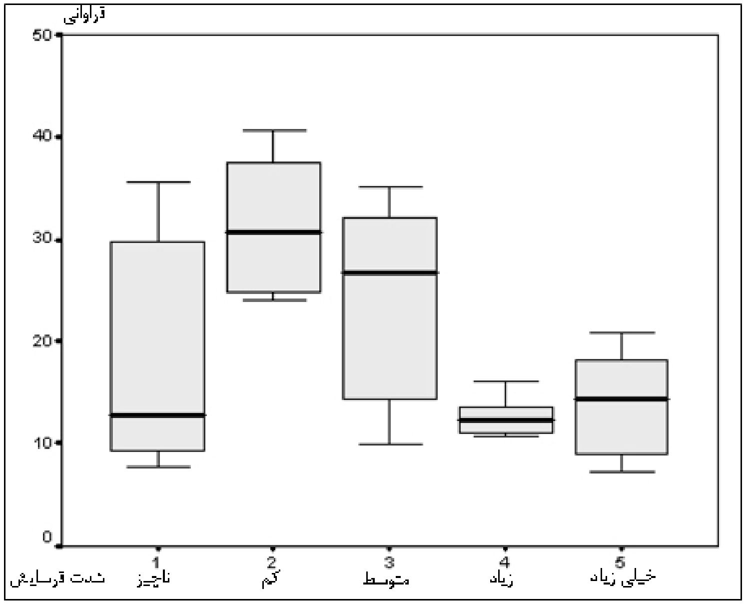
	اشکال فرسایش	N	Mean Rank
شیب دامنه	سطحی	۹	۷۵.۷۸
	آبراهه ای متوسط	۹	۸۱.۸۹
	آبراهه ای شدید	۹	۵۹.۰۶
	هزاردره	۹	۳۶.۳۹
	لغزش	۹	۳۹.۲۲
	فرسایش خندقی	۹	۱۲.۳۹
	فرسایش رودخانه ای	۹	۱۳.۸۳
	دامنه منظم	۹	۵۵.۰۰
	بیرون زدگی سنگی	۹	۵۶.۷۸
	توده سنگی	۸	۱۶.۵۰
	مجموع	۸۹	

Test Statistics[a,b]

	شیب دامنه
Chi-Square	۷۵.۶۲۶
df	۹
Asymp. Sig.	.۰۰۰

a. Kruskal Wallis Test
b. Grouping Variable: کال فرسایش

شکل ٤- نتایج آزمون کروسکال- والیس در مورد رابطه شیب دامنه
با اشکال فرسایش خاك و نمودار باکس- ویشر مربوط به آن



Ranks

	شدت فرسایش	N	Mean Rank
شیب دامنه	خیلی کم(ناچیز)	۹	۱۹.۶۷
	کم	۹	۳۶.۸۹
	متوسط	۹	۲۸.۱۱
	زیاد	۹	۱۴.۶۷
	خیلی زیاد	۹	۱۵.۶۷
	مجموع	۴۵	

Test Statistics(a,b)

	شیب دامنه
Chi-Square	۱۸.۴۳۶
df	۴
Asymp. Sig.	.۰۰۱

a Kruskal Wallis Test
b Grouping Variable: شدت فرسایش

شکل ٥- نتایج آزمون کروسکال- والیس در مورد رابطه شیب دامنه
با شدت فرسایش خاك و نمودار باکس- ویشر مربوط به آن

مدل‌سازي فرسايش خاك

تبيين مدل مفهومي[١]

با تكيه بر نتايج بررسي معيارها و شاخص‌هاي مؤثر در فرسايش، آزمون‌هاي آماري و داده ها، نقشه‌ها و جداول مربوط به هر شاخص، و نيز روابط استخراج شده برپايه بررسی فرآيند فرسايش خاك در رابطه با شاخص‌هاي مورد نظر، مي‌توان مدلي مفهومي براي توصيف شدت فرسايش خاك، مانند مدل‌هاي ارائه شده توسط قدوسي (١٣٨٢) براي فرسايش خندقي و متريج و گنزالس (٢٠٠٥) براي پهنه‌بندي فرسايش خاك به شرح زير ارائه نمود:

(اقتصادي-اجتماعي، خاك، f = شدت فرسايش خاك اقليم، چگونگی بهره‌گيری از زمين، پوشش گياهي، عوارض نگاری، ژئومرفولوژي، حساسيت سنگ)

كه به اختصار مي‌توان آن را به صورت زير نمايش داد:

$$GEO = f\,(G_f, E_f, T_f, V_f, Lu_f, C_f, S_f, Se_f) \qquad (١)$$

كه در آن:

GEO شدت فرسايش خاك، G_f[٢] عامل سنگ‌شناسي، E_f[٣] عامل رخساره‌هاي ژئومرفولوژي (اشكال فرسايشي)، T_f[٤] عامل توپوگرافي، V_f[٥] عامل پوشش گياهي، Lu_f[٦] عامل كاربري اراضي، C_f[٧] عامل اقليم (بارندگي و رواناب)، S_f[٨] عامل خاک و Se_f[٩] عامل اقتصادي-اجتماعي مي‌باشد. در مدل مفهومي داده های مربوط به هريك از معيارها و شاخص‌هاي منتخب، در قالب طبقه‌بندي توصيفي رده‌هاي شدت فرسايش در پنج رده خيلي‌كم (ناچيز)، كم، ميانگين، زياد و خيلي زياد و جدول‌های مربوط به هريك از معيارها ارائه شده است (جدول ١).

١- Conceptul model
٢-Geology factor
٣-Erosion features factor
٤-Topography factor
٥-Vegetation factor
٦-Land use factor
٧-Climate factor
٨-Soil factor
٩-Socio-economic factor

جدول ۱ – مدل مفهومي و امتيازهاى کمي تعيين شدت فرسايش با روش ژئومرفولوژي

رده کيفي شدت فرسايش	عامل (معيار) سنگ شناسي شاخص‌هاي مورد بررسي: جنس سنگ، سختي سنگ برپايه روش پرتو دياکونوف (۱۹۷۱)، ضريب حساسيت سنگ برپايه روش فيض‌نيا (۱۳۷٤)	امتياز کمي
ناچيز	– بيش از ۷۰ درصد سطح واحدکاري داراي سنگ هاي آذرين مستحکم، يا – بيش از ٦۰ درصد سطح واحدکاري داراي آبرفت‌هاي ضخيم واقع درکناره رودخانه‌ها، يا – واحدهاي سنگ‌شناسي و سازندهاي Ql و Cl بين ۳۰ تا ۵۰ درصد سطح واحدکاري را تشکيل دهند، يا – واحدهاي سنگ‌شناسي و سازندهاي Jd, Pd, Qs, Ekt بين ۱۰ تا ۲۰ درصد سطح واحدکاري را تشکيل دهند، يا – واحدهاي Ekm, Eksh, €m, PEz, Pefc, Pn, Cz, Jl, Cm, Kub, TRde, PlQ, Kt کمتر از ۱۰ درصد واحدکاري را تشکيل دهند، – رده سنگ‌هاي مقاوم به فرسايش برپايه روش فيض‌نيا (۱۳۷٤) با ضريب مقاومت بيشتر از ۱۳ ، يا – رده سنگ‌هاي سخت و بسيار سخت برپايه روش پرتو دياکونوف (۱۹۷۱) با ضريب سختي بيشتر از ۱۵	۰-۲
کم	– واحدهاي سنگ‌شناسي و سازندهاي Pr, Cdj, TRde, Cm, €m, PEz, Pn بيش از ٦۰ درصد سطح واحدکاري را تشکيل دهند، يا – واحدهاي سنگ‌شناسي و سازندهاي Pd, Cbt, Kt, PEv, Qs, Pefc, Cz بين 40 تا 60 درصد سطح واحدکاري را تشکيل دهند، يا – واحدهاي سنگ‌شناسي و سازندهاي Kub, TRJs, Jl, Cl, Jd, Ekt, Ts, PlQ بين ۲۰ تا ٤۰ درصد سطح واحدکاري را تشکيل دهند، يا – واحدهاي سنگ‌شناسي و سازندهايEksh, Ekm, Ql, Qal کمتر از ۲۰ درصد سطح واحدکاري را تشکيل دهند، يا – رده سنگ‌هاي مقاوم به فرسايش برپايه روش فيض‌نيا (۱۳۷٤) با ضريب مقاومت ۱۰ تا ۱۳ ، يا – رده سنگ‌هاي سخت و بسيار سخت برپايه روش پرتو دياکونوف (۱۹۷۱) با ضريب سختي ۸ تا ۱۵	۵۲/۱-
ميانگين	– واحدهاي سنگ‌شناسي و سازندهاي Cz, PEv, Kub, Ekt, Kt, Pefc, Jd, Jl بيش از 40 درصد سطح واحدکاري را تشکيل دهند، يا – واحدهاي سنگ‌شناسي و سازندهاي Cbt, Pn, PEz, Cl, €m, Pd, Cm بين ۲۰ تا ٤۰ درصد سطح واحدکاري را تشکيل دهند، يا – واحدهاي سنگ‌شناسي و سازندهاي Ekm, Q1, TRde, Ql, Tb, Qal, TRJs, Qs کمتر از ۲۰ درصد سطح واحدکاري را تشکيل دهند، – رده سنگ‌هاي مقاوم به فرسايش برپايه روش فيض‌نيا (۱۳۷٤) با ضريب مقاومت ۷ تا ۹ ، يا – رده سنگ‌هاي سخت و بسيار سخت برپايه روش پرتو دياکونوف (۱۹۷۱) با ضريب سختي ٤ تا ۸	۷۵/۱-

ادامه جدول ١ – مدل مفهومي و امتيازهای كمي تعيين شدت فرسايش با روش ژئومرفولوژي

رده كيفي شدت فرسايش	عامل (معيار) سنگ شناسي شاخص‌هاي مورد بررسي: جنس سنگ، سختي سنگ برپايه روش پرتو دياكونوف (١٩٧١)، ضريب حساسيت سنگ برپايه روش فيض‌نيا (١٣٧٤)	امتياز كمي
زياد	– واحدهاي سنگ‌شناسي و سازندهاي TRJs, Eksh بيش از 40 درصد سطح واحدكاري را تشكيل دهند، يا – واحدهاي سنگ‌شناسي و سازندهاي PlQ, Qs, M بين ٤٠ تا ٦٠ درصد سطح واحدكاري را تشكيل دهند، يا – واحدهاي سنگ‌شناسي و سازندهاي Ekt, Q_1, Qal, Cl, Pd كمتر از ١٠ درصد سطح واحدكاري را تشكيل دهند، يا – رده سنگ‌هاي مقاوم به فرسايش برپايه روش فيض‌نيا (١٣٧٤) با ضريب مقاومت ٥ تا ٦ ، يا – رده سنگ‌هاي سخت و بسيار سخت برپايه روش پرتو دياكونوف (١٩٧١) با ضريب سختي ٢ تا ٤	-١٠٧/١
خيلي زياد	– واحدهاي سنگ‌شناسي و سازندهاي PlQ, Ql, Qs, M بيش از ٦٠ درصد سطح واحدكاري را تشكيل دهند، يا – واحدهاي سنگ‌شناسي و سازندهاي Pefc, Cbt, Qs, Kub, TRJs, Pd, Pn, Jd, Q1, Ekt, Kt, Cm, PEz, TRde, Ts كمتر از ١٠ درصد سطح واحدكاري را تشكيل دهند، يا – رده سنگ‌هاي مقاوم به فرسايش برپايه روش فيض‌نيا (١٣٧٤) با ضريب مقاومت كمتر از ٤ ، يا – رده سنگ‌هاي سخت و بسيار سخت برپايه روش پرتو دياكونوف (١٩٧١) با ضريب سختي كمتر از ٢	-١٢١٠/١
ناچيز	– بيش از ٨٠ درصد سطح واحدكاري داراي رخساره توده سنگي مي‌باشد، يا – بيش از ٨٠ درصد سطح واحدكاري داراي رخساره دامنه منظم مي‌باشد، يا – بيش از ٧٥ درصد سطح واحدكاري داراي رخساره بيرون‌زدگي سنگي مي‌باشد، يا – كمتر از ٥ درصد سطح واحدكاري را رخساره هاي فرسايش سطحي و آبراهه‌اي تشكيل داده است.	٠-٢
كم	– بين ٥٠ تا ٨٠ درصد سطح واحدكاري داراي رخساره توده سنگي مي‌باشد، يا – بين ٥٠ تا ٨٠ درصد سطح واحدكاري داراي رخساره دامنه منظم مي‌باشد، يا – بيش از ٥٠ درصد سطح واحدكاري داراي رخساره بيرون‌زدگي سنگي مي‌باشد، يا – بيش از ٣٥ درصد سطح واحدكاري داراي رخساره فرسايش سطحي مي‌باشد، يا – كمتر از ١٠ درصد سطح واحدكاري را رخساره فرسايش آبراهه‌اي تشكيل داده است.	-٥٢/١
ميانگين	– بين ٣٠ تا ٥٠ درصد سطح واحدكاري داراي رخساره دامنه منظم مي‌باشد، يا – بيش از ٥٠ درصد سطح واحدكاري داراي رخساره فرسايش آبراهه‌اي مي‌باشد، يا – كمتر از ٣٠ درصد سطح واحدكاري داراي رخساره توده سنگي و بيرون‌زدگي سنگي مي‌باشد، يا – بين ١٠ تا ٢٠ درصد سطح واحدكاري را رخساره فرسايش سطحي تشكيل داده است.	-٧٥/١

ادامه جدول ۱ – مدل مفهومي و امتيازهاى کمي تعيين شدت فرسايش با روش ژئومرفولوژي

رده کيفي شدت فرسايش	عامل (معيار) سنگ شناسي شاخص‌هاي مورد بررسي: جنس سنگ، سختي سنگ برپايه روش پرتو دياکونوف (۱۹۷۱)، ضريب حساسيت سنگ برپايه روش فيض‌نيا (۱۳۷٤)	امتياز کمي
زياد	– بين ۵۰ تا ۷۰ درصد سطح واحدکاري داراي رخساره فرسايش بدلند مي‌باشد، يا – بين ۵۰ تا ۷۰ درصد سطح واحدکاري داراي رخساره فرسايش آبراهه‌اي مي‌باشد، يا – بين ۵۰ تا ۷۰ درصد سطح واحدکاري داراي رخساره فرسايش خندقي مي‌باشد، يا – بين ۵۰ تا ۷۰ درصد سطح واحدکاري داراي لغزش‌هاي فعال مي‌باشد.	۱۰۷/۱-
خيلي زياد	– بيش از ۷۰ درصد سطح واحدکاري داراي رخساره فرسايش بدلند مي‌باشد، يا – بيش از ۷۰ درصد سطح واحدکاري داراي رخساره فرسايش آبراهه‌اي شديد مي‌باشد، يا – بيش از ۷۰ درصد سطح واحدکاري داراي رخساره فرسايش خندقي مي‌باشد، يا – بيش از ۷۰ درصد سطح واحدکاري داراي لغزش‌هاي فعال مي‌باشد.	۱۲۱۰/۱-
ناچيز	– بيش از ۷۰ درصد سطح واحدکاري شيبي بين صفر تا ۱۰ درصد دارد، يا – بيش از ۷۰ درصد سطح واحدکاري شيبي بيش از ٤۰ درصد دارد.	۳-۰
کم	– ۵۰ تا ۷۰ درصد سطح واحدکاري داراي شيب بيش از ٤۰ درصد مي‌باشد، يا – ۵۰ تا ۷۰ درصد سطح واحدکاري داراي شيب بين صفر تا ۱۰ درصد مي‌باشد.	۵۳/۱-
ميانگين	– بيش از ۷۰ درصد سطح واحدکاري شيبي بين ۳۰ تا ٤۰ درصد دارد، يا – ۲۰ تا ۵۰ درصد سطح واحدکاري داراي شيب بين ۱۰ تا ۳۰ درصد مي‌باشد.	۸۵/۱-
زياد	– ۵۰ تا ۷۰ درصد سطح واحدکاري شيبي بين ۱۰ تا ۳۰ درصد دارد.	۱۰۸/۱-
خيلي زياد	– بيش از ۷۰ درصد سطح واحدکاري شيبي بين ۱۰ تا ۳۰ درصد دارد.	۱۳۱۰/۱-
ناچيز	– بيش از ۷۰ درصد سطح واحدکاري، هموار يا بدون براى مي‌باشد.	۲-۰
کم	– براى دامنه‌ها در بيش از ۷۰ درصد سطح واحدکاري، شمالي مي‌باشد.	۵۲/۱-
ميانگين	– براى دامنه‌ها در بيش از ۷۰ درصد سطح واحدکاري، غربي مي‌باشد..	۷۵/۱-
زياد	– براى دامنه‌ها در بيش از ۷۰ درصد سطح واحدکاري، شرقي مي‌باشد.	۱۰۷/۱-
خيلي زياد	– براى دامنه‌ها در بيش از ۷۰ درصد سطح واحدکاري، جنوبي مي‌باشد.	۱۲۱۰/۱-
ناچيز	– بيش از ۷۰ درصد سطح واحدکاري را مراتع قرق و بدون چراي دام، يا مناطق حفاظت شده تشکيل مي‌دهد، يا – بيش از ۷۰ درصد سطح واحدکاري را باغات و اراضي زراعي آبي همراه با اقدام‌هاى حفاظتي تشکيل مي‌دهد، يا – بيش از ۷۰ درصد سطح واحدکاري را مراتع با وضعيت خوب و داراي گونه‌هاي کلاس يك تشکيل مي‌دهد، يا – ميزان تاج پوشش گياهي بيش از ٦۰ درصد، پوشش سطح زمين بيش از ۷۵ درصد و يا ميزان خاك لخت کمتر از ۲۵ درصد مي‌باشد.	۲-۰

ادامه جدول ١ – مدل مفهومي و امتيازهای كمي تعيين شدت فرسايش با روش ژئومرفولوژي

رده كيفي شدت فرسايش	عامل (معيار) سنگ شناسي شاخص‌هاي مورد بررسي: جنس سنگ، سختي سنگ برپايه روش پرتو دياكونوف (١٩٧١)، ضريب حساسيت سنگ برپايه روش فيض‌نيا (١٣٧٤)	امتياز كمي
كم	– ٥٠ تا ٧٠ درصد سطح واحدكاري را مراتع قرق و بدون چراي دام، يا مناطق حفاظت شده تشكيل مي‌دهد، يا – ٥٠ تا ٧٠ درصد سطح واحدكاري را باغ‌ها و اراضي زراعي آبي همراه با اقدام‌هاي حفاظتي تشكيل مي‌دهد،يا – ٥٠ تا٧٠ درصد سطح واحدكاري را مراتع با وضعيت ميانگين تا خوب و داراي گونه‌هاي كلاس يك تشكيل مي‌دهد، يا – ميزان تاج پوشش گياهي ٤٠ تا ٦٠ درصد، پوشش سطح زمين ٥٠ تا ٧٥ درصد و يا ميزان خاك لخت ٢٥ تا ٥٠ درصد مي‌باشد.	-٥٢/١
ميانگين	– ٥٠ تا ٧٠ درصد سطح واحدكاري را مراتع با وضعيت ميانگين و داراي گونه‌هاي كلاس دو تشكيل مي‌دهد، يا – ميزان تاج پوشش گياهي ٢٠ تا ٤٠ درصد، پوشش سطح زمين ٥٠ تا ٧٥ درصد و يا ميزان خاك لخت ٢٥ تا ٥٠ درصد مي‌باشد، يا – ٢٠ تا ٥٠ درصد سطح واحدكاري را مراتع قرق و بدون چراي دام تشكيل مي‌دهد، يا – ٢٠ تا ٥٠ درصد سطح واحدكاري را باغ‌ها و اراضي زراعي آبي تشكيل مي‌دهد، يا – ٢٠ تا ٣٠ درصد سطح واحدكاري را مراتع با وضعيت فقير و خيلي‌فقير و اراضي ديم تشكيل مي‌دهند.	-٧٥/١
زياد	– ٥٠ تا ٧٠ درصد سطح واحدكاري را مراتع با وضعيت فقير و داراي گونه‌هاي كلاس سه تشكيل مي‌دهد، يا – ميزان تاج پوشش گياهي ١٠ تا ٢٠ درصد، پوشش سطح زمين ٢٥ تا ٥٠ درصد و يا ميزان خاك لخت ٥٠ تا ٧٥ درصد مي‌باشد، يا – ٣٠ تا ٥٠ درصد سطح واحدكاري را مراتع با وضعيت خيلي‌فقير و اراضي ديم تشكيل مي‌دهند، يا – ١٠ تا ٢٠ درصد سطح واحدكاري را مراتع قرق و بدون چراي دام تشكيل مي‌دهد، يا – ١٠ تا ٢٠ درصد سطح واحدكاري را باغ‌ها و اراضي زراعي آبي تشكيل مي‌دهد.	-١٠٧/١
خيلي زياد	– بيش از ٧٠ درصد سطح واحدكاري را مراتع خيلي‌فقير، تخريب شده و داراي گونه‌هاي و بي‌ارزش از نظر حفاظت خاك تشكيل مي‌دهد، يا – در بيش از ٧٠ درصد سطح واحدكاري، مراتع تبديل به اراضي ديم شده، و بدون گونه‌هاي با ارزش از نظر حفاظت خاك تشكيل مي‌باشد، يا – ميزان تاج پوشش گياهي كمتر از ١٠ درصد، پوشش سطح زمين كمتر از ٢٥ درصد و يا ميزان خاك لخت بيشتر از ٧٥ درصد مي‌باشد، يا – كمتر از ١٠ درصد سطح واحدكاري را مراتع قرق و مناطق حفاظت شده تشكيل مي‌دهد، يا – كمتر از ١٠ درصد سطح واحدكاري را باغ‌ها و اراضي زراعي آبي تشكيل مي‌دهد.	-١٢١٠/١

ادامه جدول ۱ – مدل مفهومي و امتيازهاى کمي تعيين شدت فرسايش با روش ژئومرفولوژي

رده کيفي شدت فرسايش	عامل (معيار) سنگ شناسي شاخص‌هاي مورد بررسي: جنس سنگ، سختي سنگ برپايه روش پرتو دياکونوف (۱۹۷۱)، ضريب حساسيت سنگ برپايه روش فيض‌نيا (۱۳۷٤)	امتياز کمي
ناچيز	– بيش از ۷۰ درصد سطح واحدکاري را مراتع دست نخورده، قرق و بدون چراي دام تشکيل مي‌دهد، يا – بيش از ۷۰ درصد سطح واحدکاري را باغ‌ها احداث شده روي خطوط تراز و پادگانه‌هاي آبرفتي تشکيل مي‌دهد، يا – بيش از ۷۰ درصد سطح واحدکاري را اراضي زراعي آبي همراه با اقدام‌هاى حفاظتي و مديريتي تشکيل مي‌دهد، يا – بيش از ۷۰ درصد سطح واحدکاري را مناطق صخره‌اي يا مناطق مسکوني با شبکه جاده‌اي مناسب تشکيل مي‌دهد، يا – کمتر از ۱۰ درصد سطح واحدکاري را اراضي ديم و رها شده تشکيل داده است.	۰-۳
کم	– بين ۵۰ تا ۷۰ درصد سطح واحدکاري را مراتع دست‌نخورده، قرق و بدون چراي دام تشکيل مي‌دهد، يا – بين ۵۰ تا ۷۰ درصد سطح واحدکاري را باغ‌هاى احداث شده روي خطوط تراز و پادگانه‌هاي آبرفتي تشکيل مي‌دهد، يا – بين ۵۰ تا ۷۰ درصد سطح واحدکاري را اراضي زراعي آبي همراه با اقدام‌هاى حفاظتي و مديريتي تشکيل مي‌دهد، يا – بين ٤۰ تا ۷۰ درصد سطح واحدکاري را مناطق صخره‌اي يا مسکوني با شبکه جاده‌اي مناسب تشکيل مي‌دهد، يا – بين ۱۰ تا ۲۰ درصد سطح واحدکاري را اراضي ديم و رها شده شده تشکيل داده است.	-۶۳/۱
ميانگين	– بين ۳۰ تا ۵۰ درصد سطح واحدکاري را مراتع دست‌نخورده، قرق و بدون چراي دام تشکيل مي‌دهد، يا – بين ۳۰ تا ۵۰ درصد سطح واحدکاري را باغ‌هاى احداث شده روي خطوط تراز و پادگانه‌هاي آبرفتي تشکيل مي‌دهد، يا – بين ۳۰ تا ۵۰ درصد سطح واحدکاري را اراضي زراعي آبي همراه با اقدام‌هاى حفاظتي و مديريتي تشکيل مي‌دهد، يا – بين ۲۰ تا ٤۰ درصد سطح واحدکاري را مناطق صخره‌اي يا مسکوني با شبکه جاده‌اي مناسب تشکيل مي‌دهد، يا – بين ۲۰ تا ٤۰ درصد سطح واحدکاري را اراضي ديم و تخريب شده تشکيل داده است.	-۸٦/۱
زياد	– بين ٤۰ تا ۷۰ درصد سطح واحدکاري را اراضي ديم و رها شده تشکيل داده است، يا – بين ۵۰ تا ۷۰ درصد سطح واحدکاري را مراتع فقير تشکيل مي‌دهد، يا – بين ۱۰ تا ۳۰ درصد سطح واحدکاري را باغ‌هاى احداث شده روي خطوط تراز و پادگانه‌هاي آبرفتي تشکيل مي‌دهد، يا – بين ۱۰ تا ۳۰ درصد سطح واحدکاري را اراضي زراعي آبي همراه با اقدام‌هاى حفاظتي و مديريتي تشکيل مي‌دهد، يا – بين ۱۰ تا ۲۰ درصد سطح واحدکاري را مناطق صخره‌اي يا مسکوني با شبکه جاده‌اي مناسب تشکيل مي‌دهد.	-۱۱۸/۱

ادامه جدول ١ – مدل مفهومي و امتيازهای کمي تعيين شدت فرسايش با روش ژئومرفولوژي

رده كيفي شدت فرسايش	عامل (معيار) سنگ شناسي شاخص‌هاي مورد بررسي: جنس سنگ، سختي سنگ برپايه روش پرتو دياكونوف (١٩٧١)، ضريب حساسيت سنگ برپايه روش فيض‌نيا (١٣٧٤)	امتياز كمي
خيلي زياد	– بيش از ٧٠ درصد سطح واحدكاري را اراضي ديم و رها شده تشكيل داده است، يا – بيش از ٧٠ درصد سطح واحدكاري را مراتع فقير و خيلي فقير تشكيل مي‌دهد، يا – بيش از ٧٠ درصد سطح واحدكاري را معادن و تشكيل مي‌دهد، يا – كمتر از ١٠ درصد سطح واحدكاري را باغ‌های احداث شده روي خطوط تراز و پادگانه‌هاي آبرفتي تشكيل مي‌دهد، يا – كمتر از ١٠ درصد سطح واحدكاري را اراضي زراعي آبي همراه با اقدام‌های حفاظتي و مديريتي تشكيل مي‌دهد، يا – كمتر از ١٠ درصد سطح واحدكاري را مناطق صخره‌اي يا مسكوني با شبكه جاده‌اي مناسب تشكيل مي‌دهد.	-۱۴۱۱/۱
ناچيز	– بارندگي ميانگين سالانه بيشتر از ١١٠٠ ميليمتر، يا ميانگين بارندگي پربارن‌ترين ماه بين ٢٠٠ تا ٢٢٥ ميليمتر.	۰-۲
كم	– بارندگي ميانگين سالانه ٨٠٠ تا ١١٠٠ ميليمتر، يا ميانگين بارندگي پربارن‌ترين ماه بين ١٧٥ تا ٢٠٠ ميليمتر.	-۵۲/۱
ميانگين	– بارندگي ميانگين سالانه بيشتر از ٦٥٠ تا ٨٠٠ ميليمتر، يا ميانگين بارندگي پربارن‌ترين ماه بين ٢٠٠ تا ٢٢٥ ميليمتر.	-۷۵/۱
زياد	– بارندگي ميانگين سالانه كمتر ٦٥٠ ميليمتر، يا ميانگين بارندگي پربارن‌ترين ماه بين ١٠٠ تا ١٢٥ ميليمتر.	-۱۰۷/۱
خيلي زياد	– بارندگي ميانگين سالانه كمتر از ٦٥٠ ميليمتر، يا ميانگين بارندگي پربارن‌ترين ماه بين ٧٥ تا ١٠٠ ميليمتر.	-۱۲۱۰/۱
ناچيز	– بيش از ٨٠ درصد واحدكاري داراي خاك‌هاي Typic xerochrepts با عمق بيش از ١٠٠ سانتيمتر و بافت لومي رسي باشد، يا – بيش از ٧٠ درصد واحدكاري داراي خاك‌هاي Typic calcixerepts با عمق بيش از ١٠٠ سانتيمتر و بافت لومي تا لومي رسي باشد، يا – كمتر از ١٠ درصد واحدكاري داراي خاك‌هاي Lithic xerorthents با عمق حدود ٢٠ سانتيمتر و بافت لومي، سيلت لوم و لوم رس شني باشد.	۰-۲
كم	– ٥٠ تا ٨٠ درصد سطح واحدكاري داراي خاك‌هاي Typic xerochrepts با عمق بيش از ١٠٠ سانتيمتر و بافت لومي رسي مي‌باشد، يا – ٤٠ تا ٧٠ درصد سطح واحدكاري داراي خاك‌هاي Typic calcixerepts با عمق بيش از ١٠٠ سانتيمتر و بافت لومي تا لومي رسي مي‌باشد، يا – ١٠ تا ٢٠ درصد واحدكاري داراي خاك‌هاي Lithic xerorthents با عمق حدود ٢٠ سانتيمتر و بافت لومي، سيلت لوم و لوم رس شني مي‌باشد.	-۴۲/۱

ادامه جدول ۱ – مدل مفهومي و امتيازهای کمي تعيين شدت فرسايش با روش زمين ريخت‌شناختی

رده کيفي شدت فرسايش	عامل (معيار) سنگ شناسي شاخص‌هاي مورد بررسي: جنس سنگ، سختي سنگ برپايه روش پرتو دياکونوف (۱۹۷۱)، ضريب حساسيت سنگ برپايه روش فيض‌نيا (۱۳۷٤)	امتياز کمي
متوسط	– ۳۰ تا ۵۰ درصد سطح واحدکاري داراي خاک‌هاي Typic xerochrepts با عمق بيش از ۱۰۰ سانتيمتر و بافت لومي رسي مي‌باشد، يا – ۲۰ تا ٤۰ درصد سطح واحدکاري داراي خاک‌هاي Typic calcixerepts با عمق بيش از ۱۰۰ سانتيمتر و بافت لومي تا لومي رسي مي‌باشد، يا – ۲۰ تا ۵۰ درصد واحدکاري داراي خاک‌هاي Lithic xerorthents با عمق حدود ۲۰ سانتيمتر و بافت لومي، سيلت لوم و لوم رس شني مي‌باشد.	۷٤/۱-
زياد	– ۵۰ تا ۷۰ درصد واحدکاري داراي خاک‌هاي Typic xerorthents با عمق حدود ۵۰ سانتيمتر و بافت لومي، سيلت لوم و لوم رس شني باشد، يا – ۵۰ تا ۷۰ درصد واحدکاري داراي خاک‌هاي Typic haploxerepts با عمق بيش از ۱۰۰ سانتيمتر و بافت لومي رسي تا لومي شني مي‌باشد، يا – ۱۰ تا ۱۵ درصد سطح واحدکاري داراي خاک‌هاي Typic xerochrepts با عمق بيش از ۱۰۰ سانتيمتر و بافت لومي رسي مي‌باشد.	۹۷/۱-
خيلي زياد	– بيش از ۷۰ درصد واحدکاري داراي خاک‌هاي Typic xerorthents با عمق حدود ۵۰ سانتيمتر و بافت لومي، سيلت لوم و لوم رس شني باشد، – بيش از ۷۰ درصد سطح واحدکاري داراي خاک‌هاي زراعي Typic haploxerepts با عمق بيش از ۱۰۰ سانتيمتر و بافت لومي شني مي‌باشد، يا – کمتر از ۱۰ درصد سطح واحدکاري داراي خاک‌هاي Typic xerochrepts با عمق بيش از ۱۰۰ سانتيمتر و بافت لومي رسي مي‌باشد.	۹/۱-۱۱

تبيين مدل کمي

برپايه‌ي طبقه‌بندي انجام شده در مدل مفهومي و درنظر گرفتن اصول نظريه مجموعه‌هاي مرحله اي[۱] نسبت به وزن‌دهي[۲] و تعيين امتيازهای کمي غير مرحله ای شده هريك از معيارها و شاخص‌ها اقدام شد (جدول ۱) و با بهره گيری از توابع و عملگرهاي مجموعه‌هاي مرحله‌اي[۳]، نقشه پهنه‌بندي شدت فرسايش خاك تهيه و نتايج با نقشه تهيه شده به روش کيفي زمين ريخت‌شناختی (که برپايه روش ارائه شده توسط احمدي (۱۳۷٤) در مرحله شناسايي منطقه تهيه شد) مقايسه شد. برای بررسي ميزان دقت نقشه‌ها از ماتريس درهمي[٤] و محاسبه ضريب صحت کلي[۵] بهره گيری شد. با بهره گيری از تجزيه رگرسيون چند متغيره به روش گام به گام[٦] و در نظر گرفتن ميزان رسوب ديده شده (آمار رسوب) به عنوان متغير وابسته و ويژگي‌هاي حوزه به عنوان متغير مستقل بهترين معادله

۱-Fuzzy sets theory

۲- Weight

۳- Fuzzy operators

۴- Confusion matrix

۵- Overall accuracy coefficient

٦- Stepwise

براي برآورد ميزان رسوب ويژه حوزه‌ها به صورت زير محاسبه شد:

(٢)

= ضريب شدت فرسايش
$۰/۰۳۷۷e^{۰/۰۳۰۴ (\text{جمع امتيازهای هشت عامل})}$

(٣)

= ميزان رسوب ويژه (تن در كيلومتر مربع در سال)
(مساحت حوزه)١٢/٧۵+ (ضريب شدت فرسايش)٨۶٢٢ +
-١٧٨۴/٧

لازم به يادآوری است ميزان ضريب همبستگي معادله رگرسيوني چندمتغيره با بهره‌گيری از ميزان فرسايش ويژه هر زيرحوزه به‌عنوان متغير وابسته و ويژگي‌هاي حوزه به عنوان متغير مستقل كمتر از معادله محاسبه شده با ميزان رسوب ويژه بوده است.

روش بهره‌گيری از مدل

برای بهره‌گيری از مدل بايستي درآغاز نقشه‌هاي مربوط به هريك از عوامل را تهيه و با توجه به جدول های مدل مفهومي نسبت به امتيازدهي به عوامل مختلف در هر واحدكاري اقدام نمود. سپس برپايه طبقه‌بندي ارائه شده در جدول ٣ نقشه شدت فرسايش را تهيه نمود و با بهره‌گيری از معادله‌های ٢ و ٣ ميزان رسوب ويژه حوضه تعيين نمود.

جدول ٢- امتيازهای مربوط به هريك از عوامل مدل كمي تعيين شدت فرسايش خاك به صورت پيوسته

عوامل (معيارها)	ارزش كيفي / دامنه امتياز	خيلي كم	كم	متوسط	زياد	خيلي‌زياد
سنگ‌شناسي	١٢-٠	٢-٠	٢/١-۵	۵/١-٧	٧/١-١٠	١٠/١-١٢
رخساره‌هاي زمين ريخت‌شناختی	١٢-٠	٢-٠	٢/١-۵	۵/١-٧	٧/١-١٠	١٠/١-١٢
عوارض نگاری (شيب)	١٣-٠	٣-٠	٣/١-۵	۵/١-٨	٨/١-١٠	١٠/١-١٣
عوارض نگاری (برای)	١٢-٠	٢-٠	٢/١-۵	۵/١-٧	٧/١-١٠	١٠/١-١٢
پوشش گياهي	١٢-٠	٢-٠	٢/١-۵	۵/١-٧	٧/١-١٠	١٠/١-١٢
بهره‌برداری از زمين	١٤-٠	٣-٠	٣/١-۶	۶/١-٨	٨/١-١١	١١/١-١۴
اقليم (بارندگي)	١٢-٠	٢-٠	٢/١-۵	۵/١-٧	٧/١-١٠	١٠/١-١٢
خاک	١١-٠	٢-٠	٢/١-۴	٤/١-٧	٧/١-٩	٩/١-١١
جمع امتيازها	٠-١٠٠	٠-١٨	١٨/١-٤٠	٤٠/١-۵٨	۵٨/١-٨٠	٨٠/١-١٠٠

جدول ٣- طبقه بندي شدت فرسايش خاك در مدل كمي زمين ريخت‌شناختی

رده شدت فرسايش	طبقه بندي كيفي	حدود امتياز	ميزان توليد رسوب ويژه (تن دركيلومترمربع در سال)	ميزان توليد رسوب ويژه (تن در هكتار در سال)
١	خيلي كم	٠-١٨	٤٩٩ - ٠	٤/٩٩ - ٠
٢	كم	١٨/١-٤٠	۵٠٠ – ١٤٩٩	۵ – ١٤/٩٩
٣	متوسط	٤٠/١-۵٨	١۵٠٠ - ٢٩٩٩	١۵ - ٢٩/٩٩
٤	زياد	۵٨/١-٨٠	٣٠٠٠ – ٤٤٩٩	٣٠ – ٤٤/٩٩
۵	خيلي زياد	٨٠/١-١٠٠	بيشتر از ٤۵٠٠	بيشتر از ٤۵

بحث

در منطقه مورد بررسی شاخص چگونگی بهره‌گیری از زمین مهم‌ترين عامل تأثيرگذار در وضعيت فرسايش خاك حوزه بوده و ارزش وزني اين عامل ۰/۴۹ مي‌باشد. اين شاخص در ارتباط مستقيم با فعاليت انسان و مديريت اراضي مي‌باشد و شديدترين اشكال فرسايش در مراتع تبديل شده به اراضي ديم ديده مي‌شود. تأثير چگونگی بهره‌گیری از زمين در بررسی های جانسن و گيبرت (۱۹۸۲)، راجرز و شيوم (۱۹۹۱)، توي و همكاران (۲۰۰۲) مورد بررسي و تأييد قرار گرفته است.

دومين عامل مؤثر در فرسايش خاك، شاخص شيب مي‌باشد و ارزش وزني آن برابر ۰/۴۶ محاسبه شده است. نتايج نشان مي‌دهد شديدترين فرسايش‌ها در منطقه در شيب‌هاي ۱۰ تا ۳۰ درصد به رخداد پيوسته كه دليل آن از يك سو افزايش قدرت فرسايندگي رواناب‌ها با افزايش شيب و از سوي ديگر تغيير نامناسب كاربري در اين شيب‌ها مي‌باشد. تأثير عامل شيب در فرسايش خاك در بررسی‌های و منابع مختلف از جمله متريچ و گنزالس (۲۰۰۵)، ددكف و ماژرين (۱۹۹۲) و توي و همكاران (۲۰۰۲) مورد تأييد قرار گرفته است.

شاخص پوشش گياهي سومين عامل مؤثر در فرسايش در منطقه بوده و ارزش وزني اين عامل برابر ۰/۴۴ مي‌باشد. عوامل پوشش گياهي و چگونگی بهره‌برداری از زمين تا حدود زيادي بايكديگر مرتبط هستند. به‌طوري كه دخالت و فعاليت‌هاي انسان در طبيعت و تغيير در كاربري اراضي به طور مستقيم روي پوشش گياهي تأثيرگذار مي‌باشد. تأثير عامل پوشش گياهي در منابع مختلف و بررسی های بيشمار از جمله جانسن و گيبرت (۱۹۸۲)، مورگان (۱۹۹۵) و لوپز و همكاران (۲۰۰۱) مورد بررسي و تأييد قرار گرفته است.

عامل ديگر مؤثر در فرسايش، رخساره‌هاي زمين ريخت شناختی است و ارزش وزني اين عامل ۰/۴۳ محاسبه شده است. وضعيت فعلي فرسايش خاك تصويري از چگونگی عمل رخداد فرسايش در گذشته مي‌باشد، لذا در نظر گرفتن آن مي‌تواند در تعيين شدت فرسايش حوضه و پيش‌بيني وضعيت آينده آن و همچنين برنامه‌ريزي براي كنترل فرسايش و مقابله با آن سودمند باشد، چنانچه در بسياري از مدل‌هاي تجربي مانند FAO, PSIAC, MPSIAC, EPM عامل وضعيت فعلي فرسايش خاك در نظر گرفته شده است. همچنين تأثير عامل شكل فرسايش در بررسی های جانسن و گيبرت (۱۹۸۲) و متريچ و گنزالس (۲۰۰۵) به تأييد رسيده است.

ديگر عامل مؤثر در فرسايش، جنس سنگ و حساسيت آن به فرسايش مي‌باشد و ارزش وزني آن برابر ۰/۴۳ محاسبه شد. حساس‌ترين سنگ‌ها در ايران اغلب مربوط به دوران سوم و دوره ميوسن مي‌باشد كه مارن‌هاي سازند قرمز به اين دوره تعلق دارند. در حوضه لتيان نيز در بخش‌هايي سازند قرمز وجود دارد كه شديدترين اشكال فرسايش مانند هزاردره و لغزش در آن ديده مي‌شود. يافته‌هاي پژوهشی فرارسي (۱۹۹۰) و رواني (۱۳۸۰) تأثير جنس سنگ در فرسايش خاك و توليد رسوب را تأييد مي‌نمايد.

از ميان مشخصه هاي بارندگي، شاخص ميانگين بارندگي پرباران‌ترين ماه سال رابطه معني‌دارتري با فرسايش خاك داشته و ارزش وزني آن برابر ۰/۴۳ مي‌باشد. ميزان بارندگي با ارتفاع، افزايش مي‌يابد، با افزايش بارندگي رطوبت خاك بيشتر شده و در نتيجه پوشش گياهي و حفاظ مناسب‌تري روي خاك تشكيل مي‌شود و سرانجام منجر به كاهش فرسايش خاك مي‌شود. مورگان (۱۹۹۵)، حكيم‌خاني و همكاران (۱۳۷۹) و قدوسي (۱۳۸۲) تأثير عامل بارندگي روي فرسايش خاك را مورد تأييد قرار مي‌دهند.

برای دامنه، عامل ديگر تأثيرگذار در فرسايش مي‌باشد و ارزش وزني آن برابر ۰/۴۳ مي‌باشد. در دامنه‌هاي جنوبي و شرقي به دليل رطوبت كمتر خاك و كاهش پوشش گياهي فرسايش بيشتر و در دامنه‌هاي شمالي و غربي به دليل وجود رطوبت مناسب در خاك و استقرار پوشش گياهي مناسب به طور معمول ميزان فرسايش خاك كمتر است. نتايج بدست آمده در زمينه تأثير عوامل برای دامنه در فرسايش خاك در تطابق با نتايج جانسن و پنتر (۱۹۷۴)، توي و همكاران (۲۰۰۲)، متريچ و گنزالس (۲۰۰۵) مي‌باشد.

خاك به عنوان عامل فرسايش‌پذير، از عوامل مهم در فرسايش بوده و ارزش وزني آن برابر ۰/۳۹ محاسبه شده است. شدت فرسايش خاك در ارتباط با ميزان تكامل، بافت و عمق خاك مي‌باشد، اما به‌طور گريز ناپذيري با چگونگی بهره‌برداری از زمين و پوشش گياهي رابطه دارد. تأثير عامل خاك در فرسايش در

بررسی های الیوت و همکاران (۱۹۹۳)، بارزیگر و همکاران (۱۹۹۸) مورد تأکید قرار گرفته است.

یافته‌هاي پژوهشی جتن و همکاران (۲۰۰۳)، متریچ و گنزالس (۲۰۰۵)، قدوسي (۱۳۸۲) بهره گیری از نظریه مجموعه‌هاي مرحلهي را مورد تأیید قرار داده است. نتایج بررسي دقت نقشه‌ها نشان مي‌دهد نقشه شدت فرسایش تهیه شده با بهره‌گیری از عملگر گاماي مرحلهي ۰/۸ بالاترین دقت کلي را به میزان ۹۱ درصد داشته و پس از آن به ترتیب نقشه‌هاي تهیه شده با بهره گیری از عملگرهاي گاماي ۰/۵، ۰/۹ و ۰/۲ به ترتیب با دقت کلي ۸۳ ، ۷۹ و ۷۲ درصد قرار دارند. نتایج تجزیه و تحلیل رگرسیون چند متغیره نشان مي‌دهد در نظر گرفتن زیرحوزه‌هاي همگن در مدل‌سازي رگرسیوني به طور محسوسي منجر به افزایش ضریب همبستگي تعدیل شده شده است به طوري که میزان این ضریب براي معادله برآورد رسوب ویژه ۹۹/۰۹ درصد و براي فرسایش ویژه ۹۸/۸٤ درصد محاسبه شده است.

منابع

۱- احمدي، حسن، ۱۳۷۴. ژئومورفولوژي كاربردي، جلد۱ (فرسایش آبي)، انتشارات دانشگاه تهران، شماره ۱۹۵۴، تهران، ص ۶۸۸.

۲- حكیم‌خاني، شاهرخ، محمود عرب‌خدري، مهدي مهدوي و علي‌ولي خوجیني، ۱۳۷۹. تحلیل منطقه‌اي رسوب معلق در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه، دومین همایش ملي رسوب و فرسایش، ۱۰-۱.

۳- رفاهي، حسینقلي، ۱۳۷۸. فرسایش آبي و كنترل آن، چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ص۵۵۱.

۴- شهبازي، خسرو، ۱۳۷۹. بررسي فرسایش و رسوب‌زایي حوزه آبخیز بردكل با كاربرد EPM و سزیم۱۳۷، پایان‌نامه كارشناسي ارشد آبخیزداري، دانشكده منابع طبیعي، دانشگاه تربیت مدرس، ص۱۳۱.

۵- كوپایي، عبد الحمید، ۱۳۷۶. بررسي فرسایش و رسوب به روش EPM و ژئومرفولوژي در حوزه‌هاي دركه و سولقان، پایان‌نامه كارشناسي ارشد آبخیزداري، دانشكده منابع طبیعي، دانشگاه تهران. ص۱۱۳.

۶- قدوسي، جمال، ۱۳۸۲. مدل سازي مرفولوژي فرسایش خندقي و پهنه بندي خطر آن (مطالعه موردي در آبخیز زنجانرود)، پایان نامه دكتري آبخیزداري، دانشگاه تهران، ص ۳۲۶.

۷- ملكي، محسن، ۱۳۸۲. بررسي فرسایش آبي با دو روش ژئومرفولوژي و EPM در آبخیز طالقان‌رود، پایان‌نامه كارشناسي ارشد آبخیزداري، دانشكده منابع طبیعي، دانشگاه تهران. ص۱۲۶.

۸- ورواني، جواد، ۱۳۸۰. تجزیه ناحیه‌اي رسوب معلق در حوزة آبخیز گرگانرود و بررسي وضعیت رسوبدهي سرشاخه‌هاي اصلي سد وشمگیر، پایان‌نامه كارشناسي ارشد آبخیزداري، دانشگاه تهران، ص۱۴۵.

9- Barzegar, A. R., Rengasamy, P. and Oades, J. M., 1998. “Strength and erodibility of salt-affected soils”. Soil and water conservation: Challenge and opportunities, pp. 248-262, Rotterdam, Netherlands.

10- Dedkov,A.P. and V.I.Moszherin,1992.Erosion and sediment yield in mountain regions of the world,in :Erosion,debris flow and enviroment in mountain regions(Pro.The chengdu symposium,ju ,1992,IAHS,No.209:29-36.

11- Elliot, W. J., Laflen, J. M. and Foster, G. R., 1993. Soil erodibility nomographs for the WEPP model. Paper No. 932046, Presented at the 1993Int. summer meeting of ASAE and CSAE, Spokane, Washington.

12- Ferraresi, M., 1990. The regionalization of fluvial sediment yield in Emilia-Romagna (northern Italy), in: Regionalization in Hydrology (proc of The ljubljana Symposium, April 1990), IAHS Public, 191: 253-260.

13- G. Metternicht, S. Gonzalez, 2005. FUERO: foundations of a fuzzy exploratory model for soil erosion hazard prediction. Environmental Modelling & Software, 20: 715-728.

14- Jansen, J. M. L., and R. B. Painter, 1974. Prediction sediment yield from climate and topography, Journal of Hydrology,21: 371-380.

15- Jetten, V., Govers, G., Hessel, R., 2003. Erosion models: quality of spatial predictions. Hydrological Processes 17: 887-900.

16- Johnson, C. W., and K. A. Gebhardt, 1982. Predicting sediment yields from sagebrugsh rangelands, Proceeding of the Workshop on Estimating Erosion and Sediment Yield on Rangelands, Tucson, Arizona, U.S. Department of Agriculture ARM-W,29: 145-156.

17- Lopes, VL., PF. Folliott and MB. Baker, 2001. Impacts of vegetative practices on suspended sediment from watershed of Arizona, Journal of Water Recourses Planning and Management,121:41-47.

18- Morgan, R.P.C., 1995. Soil Erosion and Conservation. John Willey and Sons. New York., 198pp.

19- Nisar Ahamed, T.R., Gopal Rao, K., Murthy, J.S.R., 2000. Fuzzy class membership approach to soil erosion modeling. Agricultural Systems, 63: 97-110.

20- Pimentel, D., Harvey, C., Resosudarmo, P., Sinclair, K., Kurz, D., McNair, M., Crist, S., Shpritz, L., Fitton, L., Saffouri, R., Blair, R., 1995. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. Science, 267: 1117-1123.

21- Rogers, R.D., S.A. Schumm, 1991. The effect of sparse vegetative cover on erosion and sediment yield, Journal of Hydrology, 123: 19-24.

22- Toy, T. J., Foster, G. R. and Renard, K. G., 2002. Soil erosion process, prediction, measurement and control. John Wiley and sons, Inc, New York., 338pp.

Quantification of qualitative geomorphology method for water erosion estimation (Case Study: Three sub-watersheds of Latian Dam basin)

H. Ahmadi[1], M. Maleki*[2], M. Jafari[1], J. Ghodusi[3], H. Azarnivand[4] and M.Mosayebi[5]

[1] Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I.R.Iran

[2] Ph. D. Graduate, Science & Research Branch and Instructor of Khalkhal, Islamic Azad University, I.R.Iran

[3]Assistant Prof, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, I.R.Iran

[4] Associate Prof, Faculty Natural resources, University of Tehran, I.R.Iran

[5] Instructor, Islamic Azad University, Ardabil Branch, I.R.Iran

(Received: 13 February 2008, Accepted: 31 May 2008)

Abstract

Soil erosion by water is considered as one of the major threats for sustainable land management. In Iran, soil erosion studies has begun since 40 years ago, but there is no native model to evaluate soil erosion yet. This research is the first attempt to develop a new erosion model, based on the fuzzy logic approach. The study is took place in Latian Dam basin, Iran. Using GI Systems some effective factors on soil erosion including geomorphologic, lithology, topographic, climatic, hydrologic, vegetation, land use and soil properties factors that contain 81 indices, were analyzed using correlation matrix, cluster analysis and Kruskal-Wallis test. The effects of 19 factors were significant which used to develop conceptual model. To quantify conceptual model, a fuzzy modeling approach was used. Seven fuzzy operators were used within a GI System for determining erosion hazard. The results show that the erosion map derived from fuzzy Gamma operator ($\gamma_{=}0.8$), has the best prediction of soil erosion hazard over the study area and its overall accuracy is up to 92%. Predicting the amount of specific sediment yield of the 3 sub-watersheds of the study area was done using multivariate regression analysis with stepwise method using a data set of eight input parameters. The results indicated that the equation that included variables of erosion coefficient and area of sub-watershed stated adjusted square correlation coefficients (R^2_{adj}=99.09%). The results suggest that fuzzy approach is very useful to predict soil erosion and sediment yield over the study area.

Keywords: Erosion, Effective factors, Fuzzy sets theory, GI systems, Soil erosion map

*Corresponding author: Tel: +98 451 7715063 , Fax: +98 451 7715063 , E-mail: Orazan_e_sabz@yahoo.com