

توسعه مدل تشخیص الگوی فازی به منظور ارزیابی پتانسیل فرسایش پذیری حوضه‌ها بر مبنای روش PSIAC

شاهین فتحی ملک کیان^۱ عباس افشار^۲ سید جمشید موسوی^۳

(دریافت ۸۴/۱۱/۱۰ پذیرش ۸۵/۲/۲۹)

چکیده

در کشورهای مختلف جهان روشهای تجربی و ریاضی متعددی جهت ارزیابی و برآورد شدت فرسایش خاک و تولید رسوب مورد استفاده قرار می‌گیرد. از میان این روشها می‌توان به روش PSIAC که بیشترین عوامل مؤثر را در محاسبه فرسایش خاک و تولید رسوب در نظر می‌گیرد اشاره نمود. در الگوی کمی سازی شاخصهای PSIAC، فضای متغیرهای ورودی به محدوده‌هایی با مرزهای مشخص تقسیم بندی شده است. بنابراین تابع شاخص PSIAC نسبت به متغیرهای ورودی پیوسته نبوده و ممکن است با تغییر پارامترهای ورودی در فضای این محدوده‌های صریح، شاخص نهایی خروجی سیستم نیز دچار ناپیوستگی شود. عدم قطعیت موجود در شناخت و به تبع آن تصمیم‌گیری در مورد میزان فرسایش‌پذیری، یک عدم قطعیت مبهم و به عبارتی دیگر فازی است. در این مطالعه به ارائه یک مدل تشخیص الگوی فازی بر مبنای پارامترهای PSIAC پرداخته شده است. این سیستم دارای طبیعت پیوسته بوده و نسبت به محدوده تغییرات پارامترهای کمی ورودی، دارای حساسیت مناسب می‌باشد و از لحاظ مفهومی قادر است تغییرات مذکور را در خروجی اعمال نماید. بر این اساس جهت تعیین پتانسیل فرسایش‌پذیری حوضه دریانچای از هر دو روش، PSIAC و تشخیص الگوی فازی بر مبنای روش (FPR-PSIAC)، استفاده شد و نتایج حاصل با هم مقایسه گردید. بررسیها نشان می‌دهند هرچند روند کلی پتانسیل فرسایش‌پذیری حوضه در هر دو روش فوق به نتایج نزدیکی منجر می‌شوند، به دلیل نوع محاسبات و هموارسازی و ایجاد پیوستگی بیشتر در روش تشخیص الگوی فازی، برخی اختلافات بین نتایج این دو روش دیده می‌شود.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی پتانسیل فرسایش پذیری، روش PSIAC، تشخیص الگوی فازی، حوضه دریانچای.

PSIAC Based Fuzzy Pattern Recognition Methodology for Watershed Erodibility Evaluation

Shahin Fathi Malek Kian¹, Abbas Afshar², Seyed Jamshid Moosavi³

(Received Jan. 30, 2006 Accepted May 19, 2006)

Abstract

Various experimental and mathematical methods have been developed to assess the soil erosion potential and sediment yield. Among these methods, the PSIAC method is one of the well known parametric and index methods. The uncertainty about recognition and decision of erodibility is an ambiguous uncertainty or on the other hand is a fuzzy problem. Furthermore, in PSIAC pattern, the space between input variables is divided into explicit and fixed sets so that the PSIAC indices of the input variables are not continuous. Hence, any variation of input parameter in this space and its effect will not be appeared at the final output PSIAC index. Due to the foregoing matters, in this study a fuzzy recognition approach is presented on the basis of PSIAC parameters. This method has a continuous form and is sensitive to the parameters variation in the discretized schemes. From conceptual point of view, the mentioned variations can be considered in the model output by fuzzy method. As a case study, both PSIAC and fuzzy pattern recognition were utilized to find the erodibility potential of Daryanchai watershed. The obtained results show, although the main trend of the erodibility potential in both methods is similar, some differences can be seen between the results of the two methods. These differences can be related to the computation schemes of the methods and continuous computational space of fuzzy approach in comparison with the PSIAC method.

Keywords: Assessing Erodibility Potential, PSIAC, Fuzzy Pattern Recognition, Daryanchai Watershed.

1- M.Sc. of Hydraulic Structures, Iran University of Science and Technology- shahin.fathi@gmail.com

2- Prof., Civil Eng. Dept., Iran University of Science and Technology

3- Associate Prof., Civil and Environmental Eng. Dept., Amirkabir University of Technology

۱- کارشناس ارشد سازه های هیدرولیکی، دانشگاه علم و صنعت ایران
shahin.fathi@gmail.com

۲- استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران

۳- دانشیار دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

بررسی ارتباط اثرات انسانی و پوشش گیاهی، ایتونگا^{۱۲} و داکستین^{۱۳} در آریزونای آمریکا برای مدل‌های بارندگی- رواناب (۲۰۰۰)، ترن و همکاران^{۱۴} در آمریکا برای اصلاح عملکرد معادله جهانی فرسایش خاک (RUSLE)، کشاورز بخشایش در ایران برای بررسی فرسایش پذیری حوضه آبخیز رودخانه اوجان چای در آذربایجان شرقی، رستمی و همکاران در ایران برای پیش‌بینی رسوب معلق حوضه‌های آبخیز فاقد آمار اشاره نمود [۲].

در این مطالعه، از روش PSIAC^{۱۵} که یکی از روشهای تجربی متداول برآورد شدت فرسایش و میزان رسوبدهی در حوضه هاست و در مقایسه با سایر روشهای تجربی موجود بیشترین عوامل مؤثر را در محاسبه فرسایش خاک و تولید رسوب در نظر می‌گیرد، استفاده شده است.

مطالعه حاضر بر مبنای پذیرش این واقعیت که عدم قطعیت موجود در شناخت و به تبع آن تصمیم‌گیری در مورد میزان فرسایش پذیری، یک عدم قطعیت مبهم و به عبارتی دیگر فازی است. همچنین بهتر است در الگوی کمی سازی شاخصهای PSIAC فضای ورودی متغیرهای کمی به محدوده‌هایی نرم، تقسیم بندی شوند. این نوع ایجاد پیوستگی از طریق فازی سازی متغیرهای دخیل در روش PSIAC، از لحاظ شهودی و مفهومی تناسب و سنخیت بیشتری با واقعیت خواهد داشت. در کنار این ایجاد پیوستگی، سیستم‌های فازی نسبت به تغییرات متغیرهای ورودی خود حساسیت لازم را نیز دارند و به لحاظ مفهومی قادرند تغییرات مذکور را در خروجی اعمال نمایند.

در انتها برای ارائه مقایسه عددی بین ارزیابی فرسایش پذیری حوضه‌ها بر مبنای روش PSIAC و روش تشخیص الگو و نشان دادن توانایی روش جدید ارائه شده در ارزیابی فرسایش حوضه‌ها، از اطلاعات مربوط به حوضه آبخیز دریانچای استفاده شده است.

۲- روش تحقیق

۲-۱- تشخیص الگو

منظور از تشخیص یک الگو، دستیابی به یکی از طبقات از پیش تعیین شده است که بیشترین شباهت را با الگوی ورودی داشته باشد. تحقیقات در این زمینه با آشکار شدن قابلیت‌های کامپیوترهای دیجیتال در پردازش وسیع اطلاعات در سالهای ۱۹۵۰ شروع شد. روشهای مختلفی در تشخیص الگو به کار گرفته می‌شود که به دو

سالهای زیادی تلاش شده است تا اتلاف خاک در اراضی شیبدار برآورد شود و با تنظیم برنامه استفاده از زمین، حاصلخیزی آن را حفظ کنند. این امر موجب گردیده تا متخصصان در پی درک فرآیندهای مختلف فرسایش باشند. این روشها در ابتدا کیفی و مبتنی بر یک شاخص منفرد بودند. با افزایش تعداد داده‌ها، معادلاتی مبتنی بر چند شاخص به وجود آمدند. اولین بار ولنی^۱ در اواخر قرن نوزدهم درباره فرسایش مطالعاتی انجام داد. میلر^۲ در سال ۱۹۱۷ روی رواناب و فرسایش و ماسگری^۳ در خلال سالهای ۱۹۳۰ درباره فرسایش پاشمانی تحقیق کردند. اولین مطالعه تفصیلی درباره باران طبیعی توسط لاوز^۴ در سال ۱۹۴۰، مطالعات الیسون^۵ در سال ۱۹۴۴ روی عمل مکانیکی قطرات باران بر روی خاک و مطالعات ماسگری در سال ۱۹۴۷ بر روی عامل بارش در فرسایش خاک انجام گرفت [۱]. با مطالعات زیاد در این باره و بررسی پارامترهای متنوع و تعمیم دادن آن در حوضه‌های مختلف سرانجام در سال ۱۹۶۰ معادله فرسایش و تولید رسوب در حوضه‌های آبخیز توسط ویشمایر^۶ و اسمیت^۷ پیشنهاد شد که در حال حاضر به عنوان معادله جهانی تلفات خاک در بسیاری از کشورهای دنیا مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱]. از بین روشهای تجربی ارائه شده در دنیا، چندین روش از مقبولیت بیشتری برخوردار بوده و برای برآورد شدت فرسایش خاک و تولید رسوب در حوضه‌های آبخیز مورد استفاده قرار می‌گیرند. از جمله این روشهای متداول، می‌توان به EPM، PSIAC، USLE و روش FAO اشاره نمود.

تئوری‌های جدید در رابطه با مدل سازی عدم قطعیت، طی دهه‌های اخیر ارائه و در حوزه‌های مختلف مهندسی به خدمت گرفته شده است که تئوری فازی از آن جمله است. از کاربردهای تئوری فازی در زمینه مطالعات منابع طبیعی می‌توان به مطالعات آندراس^۸ در آلمان برای تشریح عناصر مؤثر در چرخه هیدرولوژی، میترا و همکاران^۹ در آمریکا برای پیش‌بینی فرسایش خاک در حوضه‌های آبخیز بزرگ، فیولی^{۱۰} و زریهان^{۱۱} در ایتویپی برای

¹Wollny

² Miller

³ Musgraye

⁴ Laws

⁵ Ellison

⁶ Wischmeier

⁷ Smith

⁸ Andras

⁹ Mitra et al.

¹⁰ Feoli

¹¹ Zrihan

¹² Ertunga

¹³ Duckstein

¹⁴ Tran et al.

¹⁵ Pacific Southwest Inter-Agency Committee (PSIAC)

گروه کلی، با راهنما^۱ و بدون راهنما^۲ تقسیم می‌گردند. روش با راهنما، هنگامی استفاده می‌شود که میزان تعلق الگوهای موجود به کلاسهای مختلف (الگوهای برچسب خورده) مشخص باشد. در این روش، قانون کلاسه‌کننده به کمک الگوهای برچسب خورده به دست می‌آید.

در روش بدون راهنما از الگوهای برچسب خورده استفاده نمی‌شود. از این جهت به آنها روش بدون راهنما گفته می‌شود. به وسیله این روش تعداد محدودی الگوی ناشناخته به چند گروه تقسیم می‌گردد. این کلاسها شامل الگوهایی می‌شوند که در یک فضای ویژگی خاص، نزدیک به هم قرار گرفته‌اند. به همین دلیل به روشهای بدون راهنما، روشهای خوشه‌بندی^۳ نیز می‌گویند.

در سالهای اخیر، تئوری مجموعه‌های فازی کارایی زیادی در تشخیص الگو پیدا نموده است و این از آن جهت است که به کمک مجموعه‌های فازی، می‌توان عدم قطعیت موجود در تشخیص الگوها را مدل‌سازی نمود و تا حد ممکن به شیوه تشخیص انسانی نزدیک شد. فازی بودن مربوط به پدیده‌هایی است که تبیین آنها به طور قطعی ممکن نیست. عدم قطعیت در این حالت به وسیله تابع عضویت^۴ اعضاء به مجموعه‌ای که ویژگی مورد نظر از طریق آن تعریف شده است، بیان می‌گردد.

۲-۲- روش PSIAC

روش PSIAC در سال ۱۹۶۸ میلادی توسط کمیته مدیریت آب در آمریکا برای محاسبه شدت فرسایش خاک و تولید رسوب

مناطق خشک و نیمه خشک غرب ایالات متحده آمریکا ارائه شد و در یک حوضه آبخیز تحقیقاتی به نام والنات گالش^۵ واقع در جنوب شرقی ایالت آریزونا آمریکا آزمایش شد [۳].

در این روش تأثیر و نقش نه پارامتر مهم و مؤثر زمین شناسی سطحی، خاک، آب و هوا، رواناب، پستی و بلندی، پوشش زمین، کاربری زمین، وضعیت فعلی فرسایش در سطح حوضه، فرسایش رودخانه‌ای و حمل رسوب، در فرسایش خاک و تولید رسوب در حوضه آبخیز ارزیابی می‌گردد. بسته به شدت و ضعف هر عامل، عددی به آن نسبت داده می‌شود و سرانجام با در نظر گرفتن مجموع اعداد به دست آمده برای عوامل مختلف، میزان رسوبدهی حوضه برآورد می‌شود [۳ و ۴]. با استفاده از رابطه ۱، مقدار کمی رسوبدهی در مدل PSIAC قابل محاسبه است:

$$Q_s = 38.77e^{0.0358R} \quad (1)$$

در این معادله Q_s میزان رسوبدهی ($m^3 / km^2 . yr$) و R جمع امتیازات عوامل نه گانه یا درجه رسوبدهی است. امتیاز عوامل مؤثر در فرسایش خاک و رسوبدهی در مدل PSIAC، در جدول ۱ و کلاس‌های شدت رسوبدهی در مدل PSIAC، در جدول ۲ ارائه شده است.

۳- تعیین درجه عضویت مقادیر استاندارد پارامترهای روش PSIAC

در روش PSIAC هر پارامتر، خود به کلاس‌های مختلفی تقسیم شده است. کلاس‌های کلاسه‌بندی شده هر پارامتر در جدولهای ۳ تا ۱۱ ارائه شده است. با توجه به کلاسه‌بندی روش PSIAC، با یک

¹ Supervised

² Unsupervised

³ Clustering

⁴ Membership Function

⁵ Walnut Gulch

جدول ۱ - امتیاز عوامل مؤثر در فرسایش خاک و رسوبدهی در مدل PSIAC

عوامل	حدود امتیاز
زمین شناسی سطحی	۰ تا ۱۰
خاک	۰ تا ۱۰
آب و هوا	۰ تا ۱۰
رواناب	۰ تا ۱۰
پستی و بلندی	۰ تا ۲۰
پوشش زمین	۱۰+ تا ۱۰-
استفاده از زمین	۱۰+ تا ۱۰-
وضعیت فعلی فرسایش در سطح حوضه	۰ تا ۲۵
فرسایش رودخانه‌ای و حمل رسوب	۰ تا ۲۵

جدول ۲- کلاس‌های شدت رسوبدهی در مدل PSIAC

حدود امتیاز	رسوبدهی (m ³ /km ² .yr)	شدت رسوبدهی	کلاس
۰-۲۵	< ۹۵	خیلی کم	I
۲۵-۵۰	۹۵-۲۳۸	کم	II
۵۰-۷۵	۲۳۸-۴۷۶	متوسط	III
۷۵-۱۰۰	۴۷۶-۱۴۲۹	زیاد	IV
> ۱۰۰	> ۱۴۲۹	خیلی زیاد	V

بندی شده پارامترهای PSIAC را نرمال می‌کنیم. ماتریس الگوی استاندارد در زیر ارائه شده است:

$$Y = \begin{bmatrix} 0 & 2.5 & 5 & 7.5 & 10 \\ 0 & 2.5 & 5 & 7.5 & 10 \\ 0 & 2.5 & 5 & 7.5 & 10 \\ 0 & 2.5 & 5 & 7.5 & 10 \\ 0 & 5 & 10 & 15 & 20 \\ -10 & -5 & 0 & 5 & 10 \\ -10 & -5 & 0 & 5 & 10 \\ 0 & 5 & 10 & 17.5 & 25 \\ 0 & 5 & 10 & 17.5 & 25 \end{bmatrix} \quad i=1,2,\dots,9 \ \& \ h=1,2,\dots,5$$

الگوی سه کلاسه پارامترها مواجه هستیم، ولی خروجی این روش به یک الگوی پنج کلاسه فرسایش پذیری نگاشت می‌شود. برای حصول یک الگوی منطقی، خروجی روش PSIAC ثابت نگه داشته شده و متغیرهای ورودی این روش به پنج کلاس، کلاسه بندی می‌شوند، در این صورت یک تشخیص الگوی پنج کلاسه حاصل خواهد شد. چون پارامترهای به کار رفته در روش PSIAC دارای ماهیتی متفاوت با یکدیگرند، جهت استفاده مؤثر از کلیه عوامل در تجزیه و تحلیل و ایجاد ارتباط بین آنها، ارزشهای مربوط به الگوی پارامترها تحت قاعده خاصی نرمال شده‌اند. به این عملیات، استاندارد کردن داده‌های PSIAC اطلاق می‌شود. با در نظر گرفتن مفهوم فازی "فرسایش پذیری خیلی کم"، مقادیر الگوی کلاسه

جدول ۳- تعیین امتیاز عامل زمین شناسی سطحی در تولید رسوب

کم (۰)	متوسط (۵)	زیاد (۱۰)
- تشکیلات سخت و فشرده	- سنگهای با سختی متوسط و سنگهای دگرگونی	- مارن و شیل، ماسه سنگ با سیمان سست
- دولومیت ها	- سنگهای خرد شده یا هوا زده متوسط	- گچ و مارنهای انیدریددار
- لایه های بزرگ آبرفتی	- گسستگی متوسط و سنگ آهک با لایه های ضخیم	(خرد و تکه تکه شده)
	- گرانیت ها (آذرین)، کنگلومرا	- لایه سنگهای سخت و شیل

جدول ۴- نحوه تعیین امتیاز عامل خاک در تولید رسوب

کم (۰)	متوسط (۵)	زیاد (۱۰)
- دارای درصد زیادی از تخته سنگ	- بافت متوسط	- بافت ریز با پراکندگی زیاد ، شور ، قلیایی ، دارای قابلیت
- رس های با ساختمان محکم	- دارای قطعات تخته سنگی پراکنده	انبساط و انقباض زیاد
- بالا بودن مقدار مواد آلی خاک	- لایه های آهکی	- سیلت دانه ای و شن ریز
	- بافت قلوه سنگی	- بافت شنی ، لومی از جنس گرانیت

جدول ۵- تعیین امتیاز عامل آب و هوا در تولید رسوب

کم (۰)	متوسط (۵)	زیاد (۱۰)
- پایین بودن دبی حداکثر در واحد سطح	- وجود بارندگی با شدت و مدت متوسط	- بارانهای چند روزه همراه با دوره های کوتاهی از رگبار تند
- حجم کم جریان آب در واحد سطح	- رگبارهای متناوب	- وجود رگبارهای شدید به طور متناوب
- جریانهای سطحی نادر		- یخ بستن و ذوب شدن
- خاکهای گروه هیدرولوژیکی A		- وجود جریانهای حاصل از ذوب برف

جدول ۶- تعیین عامل رواناب در تولید رسوب

کم (۰)	متوسط (۵)	زیاد (۱۰)
- مناطق با شیب کمتر از ۵ درصد	- دبی حداکثر متوسط	- بالا بودن دبی حداکثر در واحد سطح
- دشت آبرفتی گسترده	- حجم متوسط جریان آب در واحد سطح	- حجم زیاد جریان آب در واحد سطح
- خاکهای گروه هیدرولوژیکی A	- خاکهای گروه هیدرولوژیکی B	- خاکهای گروه هیدرولوژیکی C و D

جدول ۷- تعیین عامل پستی و بلندی در فرسایش خاک و تولید رسوب

کم (۰)	متوسط (۱۰)	زیاد (۲۰)
- مناطق با شیب آرام (کمتر از ۵ درصد)	- فلاتهای با شیب متوسط (کمتر از ۲۰ درصد)	- مناطق با شیب تند (بیشتر از ۳۰ درصد)
- دشت آبرفتی گسترده	- گسترش متوسط مناطق سیل گیر با واحدهای فیزیوگرافی بادبزی شکل	- ارتفاع زیاد، بسترهای با شیب تند و در حال عمیق تر شدن پستی و بلندیها، سیل گیر بودن

جدول ۸- تعیین امتیاز عامل پوشش زمین در مدل PSIAC

کم (۱۰-)	متوسط (۰)	زیاد (۱۰)
- سطح زمین کاملاً پوشیده از نباتات و بقایای گیاهی و قلوه سنگ (بیش از ۷۰ درصد)	- پوشش گیاهی کمتر از ۴۰ درصد	- پوشش گیاهی کمتر از ۲۰ درصد
- احتمال رسیدن باران به مواد فرسایش پذیر کم است.	- وجود درخت به طور پراکنده و نامتراکم	- پوشش گیاهی پراکنده و بقایای گیاهی ناچیز یا فاقد بقایای گیاهی
		- عدم وجود قلوه سنگ در سطح خاک

جدول ۹- تعیین امتیاز عامل نحوه استفاده از اراضی در روش PSIAC

کم (۱۰-)	متوسط (۰)	زیاد (۱۰)
- زمین بایر	- کمتر از ۲۵ درصد کشت شده	- بیش از ۵۰ درصد تحت کشت
- میزان چرای محدود	- کمتر از ۵۰ درصد تحت چرای متوسط	- تقریباً تمام سطح تحت چرای متراکم
- اشجار به تازگی قطع نشده	- کمتر از ۵۰ درصد پوشش جنگلی به تازگی قطع شده	- بقایای گیاهی در تمام سطح به تازگی سوزانده شده
- بدون جاده یا معبر	- وجود جاده های معمول و دیگر ابنیه	- پوشش جنگلی به تازگی بریده شده
		- مشهود بودن بریدگیهای جاده

جدول ۱۰- تعیین امتیاز وضعیت فعلی فرسایش در تولید رسوب

کم (۰)	متوسط (۱۰)	زیاد (۲۵)
- عدم وجود فرسایش - فرسایش کم	- وجود انواع مختلف فرسایش در حدود ۲۵ درصد سطح اراضی - فرسایش بادی با رسوب گذاری در کانالهای آب	- وجود فرسایشهای خندقی، شیاری و توده‌ای در بیش از ۵۰ درصد سطح اراضی - بالا بودن میزان فرسایش
	- فرسایش متوسط	

جدول ۱۱- تعیین عامل فرسایش رودخانه ای در تولید رسوب

کم (۰)	متوسط (۱۰)	زیاد (۲۵)
- انهار و رودخانه های عریض با شیب هیدرولوژیکی خیلی مختلف یا جریانهای عمیق طولی المدت	- وجود فرسایش کناره ای اتفاقی با عمق و تداوم جریان آب به	- فرسایش کناره ای ممتد و یا تکراری در فواصل عمیق طولی المدت
- بستر رودخانه از سنگهای مقاوم و بزرگ و یا کاملاً پوشیده از گیاه می باشد و کانال ها و انهار کنترل شده	- تداوم جریان آب به طور متوسط	- فرسایش بالا رونده در انهار فرعی و کاهش ارتفاع آنها

(۵)

$X = (x_{i,j})_{9 \times n}$ $i = 1, 2, \dots, 9$ & $j = 1, 2, \dots, n$
در ماتریس فوق، $x_{i,j}$ مقادیر تخصیص داده شده به پارامترهای
نه گانه PSIAC در هر زیر حوضه و n تعداد زیر حوضه های مورد نظر
است.

برای این مقادیر درجه عضویت با مفهوم فازی "مقاوم در مقابل
فرسایش" به صورت زیر تعریف می شود [۵]
(۶)

$$r_{i,j} = \begin{cases} 0 & x_{i,j} \geq y_{i,5} \\ (x_{i,j} - y_{i,5}) / (y_{i,1} - y_{i,5}) & y_{i,1} \leq x_{i,j} \leq y_{i,5} \\ 1 & x_{i,j} \leq y_{i,1} \end{cases}$$

با استفاده از رابطه ۶، ماتریس ۵ به ماتریس درجه عضویت
پارامترها تبدیل می گردد

$$R = (r_{i,j})_{9 \times n} \quad (۷)$$

در ماتریس فوق هر ستون ماتریس، نه پارامتر مربوط به مدل
PSIAC در هر زیر حوضه را نشان می دهد.

درجه عضویت ماتریس هر زیر حوضه به هر کلاس نیز به
صورت رابطه ۸ قابل بیان است [۵]

$$U = (u_{h,j})_{5 \times n} \quad (۸)$$

که در آن $u_{h,j}$ نشان دهنده درجه عضویت زیر حوضه j به کلاس
 h است. h معرف کلاس های کلاسه بندی شده مدل PSIAC است.
بر اساس تئوری سیستم های فازی، آرایه های ماتریس U بایستی
شرط زیر را ارضاء نمایند [۵]

$$\sum_{h=1}^5 u_{h,j} = 1 \quad (۹)$$

برای تبدیل این ماتریس به ماتریس درجه عضویت مقادیر
استاندارد با مفهوم فازی "فرسایش پذیری خیلی کم" از رابطه ۳
استفاده می نمایم
(۳)

$$s_{i,h} = \begin{cases} 0 & y_{i,h} = y_{i,5} \\ (y_{i,h} - y_{i,5}) / (y_{i,1} - y_{i,5}) & y_{i,1} > y_{i,h} > y_{i,5} \text{ or } y_{i,1} < y_{i,h} < y_{i,5} \\ 1 & y_{i,h} = y_{i,1} \end{cases}$$

در رابطه بالا $y_{i,5}$ و $y_{i,1}$ به ترتیب مقادیر استاندارد کلاس های
اول و پنجم مربوط به هر پارامتر هستند. با استفاده از رابطه ۲
ماتریس مقادیر استاندارد نرمال شده به صورت زیر به دست می آید

$$S = \begin{bmatrix} 1 & 0.75 & 0.5 & 0.25 & 0 \\ 1 & 0.75 & 0.5 & 0.25 & 0 \\ 1 & 0.75 & 0.5 & 0.25 & 0 \\ 1 & 0.75 & 0.5 & 0.25 & 0 \\ 1 & 0.75 & 0.5 & 0.25 & 0 \\ 1 & 0.75 & 0.5 & 0.25 & 0 \\ 1 & 0.75 & 0.5 & 0.25 & 0 \\ 1 & 0.8 & 0.6 & 0.3 & 0 \\ 1 & 0.8 & 0.6 & 0.3 & 0 \end{bmatrix} = (s_{i,h}) \quad (۴)$$

۴- توسعه مدل

روش PSIAC روشی برای ارزیابی پتانسیل فرسایش پذیری
یک زیر حوضه بر اساس تعلق آن به کلاس مشخص و با استفاده از
مقایسه نه پارامتر شاخص با مقادیر استاندارد آن نه پارامتر است.
این کار را می توان با یک مسئله تشخیص الگو و به شکل زیر
انطباق داد [۵]

بر اساس رابطه ۱۹، ماتریس درجه عضویت که بیانگر تابع عضویت هر نمونه به هر کلاس است تعیین می گردد.

$$U^* = \begin{bmatrix} u_{1,1}^* & u_{1,2}^* & \cdots & u_{1,n}^* \\ u_{2,1}^* & u_{2,2}^* & \cdots & u_{2,n}^* \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ u_{5,1}^* & u_{5,2}^* & \cdots & u_{5,n}^* \end{bmatrix} = (u_{h,j}^*)_{5 \times n} \quad (20)$$

$j = 1, 2, \dots, n$ & $h = 1, 2, \dots, 5$

با وجود این، حتی با به دست آوردن مقادیر فوق، کلاس تقریبی هر نمونه به صورت مستقیم در ماتریس ارائه شده تعیین نمی شود. بنابراین باید از یک مقدار مشخص برای تعریف جواب مسئله استفاده کنیم. در ماتریس فوق، $u_{h,j}$ توزیع درجه عضویت نمونه j در کلاس متغیر h را نشان می دهد. این توزیع مشابه توزیع واحد جرم در یک محور است. بنابراین

$$H_j = (1, 2, \dots, 5) \cdot u_j^* = \sum_{h=1}^5 u_{h,j}^* h \quad (21)$$

H_j مرکز شکل احاطه شده کلاس h و $u_{h,j}$ در صفحه مختصات $u_{h,j} \sim h$ را نشان می دهد. در واقع H_j به عنوان یک مقدار مشخصه برای بررسی نمونه زبه کار می رود. این مقدار مشخصه کلاس تقریبی هر نمونه در مقایسه با مقادیر استاندارد جدولهای ۳ تا ۱۱ را نشان می دهد. بر اساس جدول ۲، کوچک ترین مقدار مشخصه، بیشترین مقاومت در مقابل فرسایش را دارد. در حقیقت بیان مقدار مشخصه به صورت فوق به دلیل تعیین درجه عضویت مقادیر، نسبت به مفهوم فازی "مقاوم در برابر فرسایش" می باشد که همه موارد نسبت به آن مورد ارزیابی و کلاس مربوط به فرسایش پذیری یک نمونه به دست می آید.

۵- مطالعه موردی و نتایج و بحث

برای ارائه مقایسه عددی بین ارزیابی فرسایش پذیری در حوضه ها بر مبنای روش PSIAC و روش تشخیص الگو و نشان دادن توانایی روش جدید ارائه شده در ارزیابی فرسایش حوضه ها، از اطلاعات مربوط به حوزه آبخیز دریانچای استفاده گردیده است (شکل ۱). حوزه آبخیز دریانچای که دارای ۲۳ سال آمار رسوب سنجی می باشد در ۷۵ کیلومتری شمال غرب تبریز و ۱۳ کیلومتری شرق دریاچه ارومیه بین طولهای شرقی ۳۵°-۴۵° تا ۴۱°-۴۵° و عرضهای شمالی ۱۳°-۳۸° تا ۲۰°-۳۸° با حداکثر ارتفاع ۲۹۸۲ متر از سطح دریا و حداقل ارتفاع ۱۶۶۴ متر (محل ایستگاه هیدرومتری) در دامنه های جنوبی ارتفاعات میشو واقع شده است [۶]. طول شاخه اصلی دریانچای تا محل دارتنگ در حدود ۱۳/۸

در این صورت فاصله هر ناحیه از کلاس h به صورت رابطه ۱۰ تعریف می شود [۵]

$$d_{h,j} = \left\{ \sum_{i=1}^9 (r_{i,j} - s_{i,j})^p \right\}^{\frac{1}{p}} \quad (10)$$

که در اینجا، p پارامتر فاصله است. اگر p برابر ۱ باشد، فاصله هامینگ^۱ و اگر p برابر ۲ باشد، فاصله اقلیدسی^۲ را نشان می دهد. از دیدگاه تئوری سیستم های فازی، $u_{h,j}$ به عنوان وزنی برای فاصله $d_{h,j}$ در نظر گرفته می شود. فاصله وزنی ترکیبی می تواند تفاوت بین نمونه j با کلاس h را به نحوی بهتر به صورت زیر بیان کند [۵]

$$D_{h,j} = u_{h,j} d_{h,j} = u_{h,j} \left\{ \sum_{i=1}^9 (r_{i,j} - s_{i,j})^p \right\}^{\frac{1}{p}} \quad (11)$$

برای به دست آوردن $u_{h,j}$ تابع هدفی با محدودیت رابطه های ۹ و ۱۰ بنا می گردد [۵]

$$\min \left\{ F(u_{h,j}) = \sum_{h=1}^h D_{h,j}^2 \right\} \quad (12)$$

بنابراین تابع لاگرانژ مدل بهینه سازی مذکور به شکل زیر خواهد بود

$$L(u_{h,j}, \lambda_j) = \sum_{h=1}^5 u_{h,j}^2 d_{h,j}^2 - \lambda_j \left(\sum_{h=1}^5 u_{h,j} - 1 \right) \quad (13)$$

مقادیر λ_j اصطلاحاً ضریب لاگرانژ نامیده می شوند. شرایط بهینگی مرتبه اول ایجاب می نماید [۵]

$$\frac{\partial L(u_{h,j}, \lambda_j)}{\partial u_{h,j}} = 0 \quad (14)$$

$$\frac{\partial L(u_{h,j}, \lambda_j)}{\partial \lambda_j} = 0 \quad (15)$$

$$\frac{\partial L}{\partial u_{h,j}} = 2u_{h,j} d_{h,j}^2 - \lambda_j = 0 \rightarrow u_{h,j} = \frac{\lambda_j}{2d_{h,j}^2} \quad (16)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda_j} = \sum_{h=1}^h u_{h,j} - 1 = 0 \rightarrow \sum_{h=1}^h u_{h,j} = 1 \quad (17)$$

$$\sum_{h=1}^h \frac{\lambda_j}{2d_{h,j}^2} = 1 \rightarrow \lambda_j = \frac{2}{\sum_{h=1}^h \frac{1}{d_{h,j}^2}} \quad (18)$$

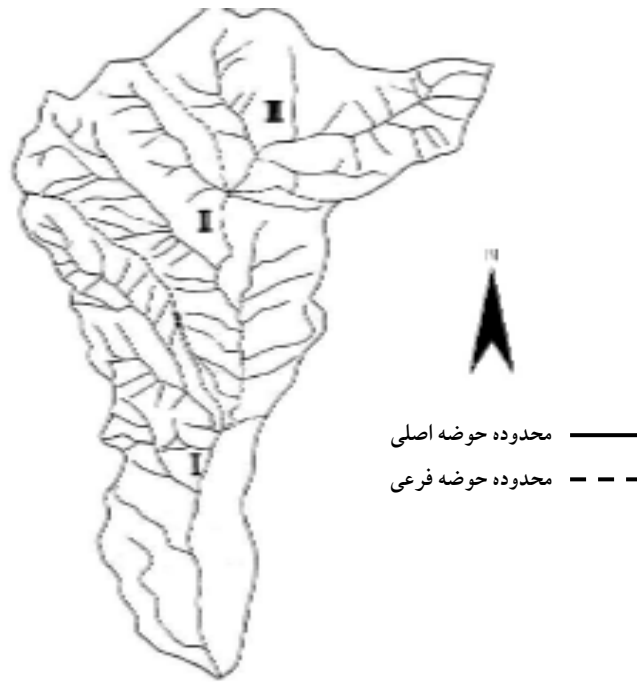
رابطه درجه عضویت نمونه [متعلق به کلاس h ، به صورت زیر به دست می آید [۵]

$$u_{h,j} = \left(d_{j,j}^2 \sum_{k=1}^5 d_{k,j}^{-2} \right)^{-1} \quad d_{h,j} \neq 0 \quad (19)$$

اگر $d_{hj} = 0$ باشد، در این صورت $r_{i,j} = s_{i,h}$ خواهد بود و این تعلق کامل نمونه زبه کلاس h را نشان می دهد و $u_{h,j}$ برابر یک خواهد شد. این معادله، یک مدل تشخیص الگوی فازی پنج کلاسه است.

¹ Hamming

² Euclidean



شکل ۱- حوضه دریانچای و حوضه‌بندی آن

یا به عبارت دیگر تأیید آن، مقایسه‌ای تحلیلی و سپس گرافیکی از نتایج خروجی این سیستم و روش PSIAC انجام گردید. در این مقایسه، روند تغییرات شدت فرسایش نسبت به تغییرات تمام پارامترهای ورودی روش PSIAC با ثابت نگه داشتن دیگر پارامترها در شرایط تغییر یکی از پارامترها در محدوده تغییراتی خود، بررسی گردید.

نتایج حاصل نشان می‌دهد که در بررسی روند تغییرات هر یک از پارامترهای زمین‌شناسی سطحی، خاک، آب و هوا و رواناب، مقدار شاخص فرسایش در روش تشخیص فازی بیشتر از شاخص

کیلومتر می‌باشد که بعد از آن با طی مسیری در حدود ۱۵/۵ کیلومتر در دشت پخش شده و مازاد جریانات سطحی وارد دریاچه ارومیه می‌شود [۶]. سطح حوضه آبخیز دریانچای بر اساس نقشه های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ سازمان جغرافیایی ارتش، ۴۰/۵۵ کیلومتر مربع اندازه گیری شده است [۶]. مشخصات زیرحوضه ها به همراه نتایج برآورد پتانسیل فرسایش پذیری حاصل از دو روش فوق در جدولهای ۱۲ تا ۱۴ ارائه گردیده است. اساس روش تشخیص الگوی فازی بر مبنای آگاهیهای افراد خبره، تنظیم کننده روش PSIAC، تنظیم شده است. لذا برای نشان دادن این توانایی و

جدول ۱۲- مشخصات زیر حوضه ۱

پارامترهای ورودی	زمین شناسی سطحی	خاک	آب و هوا	رواناب	پستی و بلندی	پوشش زمین	استفاده از زمین	وضعیت فعلی فرسایش در سطح حوزه	فرسایش رودخانه ای و حمل رسوب
محدوده تغییرات	۰ ~ ۱۰	۰ ~ ۱۰	۰ ~ ۱۰	۰ ~ ۱۰	۰ ~ ۲۰	۰ ~ ۱۰	۰ ~ ۱۰	۰ ~ ۲۵	۰ ~ ۲۵
مقادیر پارامترها	۶/۷۱	۶/۹۶	۶	۷/۵	۱۳/۳	-۶/۶	۶/۷۳	۱۷/۴۲	۱۴
	شاخص پتانسیل فرسایش پذیری بر اساس روش PSIAC = ۷۲/۰۲								
	شاخص پتانسیل فرسایش پذیری بر اساس روش تشخیص الگوی فازی = ۳/۴۴								
	کلاس شاخص فرسایش پذیری								
	کلاس شاخص فرسایش پذیری								

جدول ۱۳- مشخصات زیر حوضه ۲

پارامترهای ورودی	زمین شناسی سطحی	خاک	آب و هوا	رواناب	پستی و بلندی	پوشش زمین	استفاده از زمین	وضعیت فعلی فرسایش در سطح حوزه	فرسایش رودخانه ای و حمل رسوب
محدوده تغییرات	۰ ~ ۱۰	۰ ~ ۱۰	۰ ~ ۱۰	۰ ~ ۱۰	۰ ~ ۲۰	-۱۰ ~ ۱۰	-۱۰ ~ ۱۰	۰ ~ ۲۵	۰ ~ ۲۵
مقادیر پارامترها	۵/۶۳	۶/۷۹	۷	۷	۱۷/۶	-۸/۳۲	۷/۹۸	۱۰	۸/۵
شاخص پتانسیل فرسایش پذیری بر اساس روش PSIAC = ۶۲/۱۸									
شاخص پتانسیل فرسایش پذیری بر اساس روش تشخیص الگوی فازی = ۳/۲۵									
کلاس شاخص فرسایش									
کلاس شاخص فرسایش									

جدول ۱۴- مشخصات زیر حوضه ۳

پارامترهای ورودی	زمین شناسی سطحی	خاک	آب و هوا	رواناب	پستی و بلندی	پوشش زمین	استفاده از زمین	وضعیت فعلی فرسایش در سطح حوزه	فرسایش رودخانه ای و حمل رسوب
محدوده تغییرات	۰ ~ ۱۰	۰ ~ ۱۰	۰ ~ ۱۰	۰ ~ ۱۰	۰ ~ ۲۰	-۱۰ ~ ۱۰	-۱۰ ~ ۱۰	۰ ~ ۲۵	۰ ~ ۲۵
مقادیر پارامترها	۵/۳	۶/۹۸	۷/۵	۶/۵	۱۸/۵۹	-۹/۲	۸/۱۵	۸	۷
شاخص پتانسیل فرسایش پذیری بر اساس روش PSIAC = ۵۸/۸۵									
شاخص پتانسیل فرسایش پذیری بر اساس روش تشخیص الگوی فازی = ۳/۱۹									
کلاس شاخص فرسایش									
کلاس شاخص فرسایش									

حوضه با استفاده از یک پایگاه عمومی می باشند (شکل ۲). البته میزان توانایی چنین سیستمی با کیفیت پایگاه قواعد آن رابطه مستقیم دارد. مشاهدات نشان می دهد علی رغم وجود تفاوتی بین شاخص فازی و شاخص PSIAC، در نهایت هر دو شاخص به یک مجموعه خروجی فازی نگاشت می شوند.

مقایسه نتایج تجربی با نتایج اندازه گیری شده و مشاهده شده، جزء معتبرترین روشهای اعتبار بخشی به مدل های عددی و آماری است. چون هدف در این مطالعه نشان دادن رفتار مدل ارائه شده است، مقایسه نتایج خروجی روش جدید ارائه شده و روش PSIAC به لحاظ آماری، فرآیندی مناسب به نظر می رسد. برای این منظور در ۲۹ حالت مختلف، خروجی دو سیستم با یکدیگر مقایسه گردید. حالت های مورد بررسی، حاصل ترکیب ورودیهای جدول ۱۵ بوده است. در نهایت توزیع فراوانی، توابع تعلق خروجیهای این دو

PSIAC می باشد. در مورد پارامترهای دیگر روش PSIAC که شامل پستی و بلندی، پوشش زمین، کاربری زمین، وضعیت فعلی فرسایش در سطح حوضه و فرسایش رودخانه ای و حمل رسوب می باشند، با اینکه همانند پارامترهای گذشته مقدار شاخص فرسایش، روش تشخیص الگوی فازی بیشتر از شاخص روش PSIAC است. ولی در دیگر پارامترها میزان تغییرات شاخص فرسایش پذیری، می تواند کمتر از روش PSIAC گردد و این مسئله بیشتر در پارامترهایی دیده می شود که محدوده تغییراتی گسترده ای دارند. این مورد در پارامترهای، وضعیت فعلی فرسایش در سطح حوضه و فرسایش رودخانه ای و حمل رسوب به راحتی قابل مشاهده می باشد.

نتایج روش تشخیص الگوی فازی در مقایسه با روش PSIAC نشان می دهد که هر دو روش قادر به تشریح فرسایش در سطح

جدول ۱۵- مقادیر فرضی برای پارامترهای PSIAC

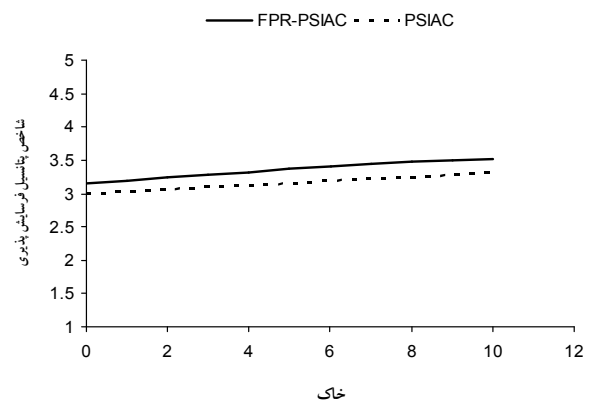
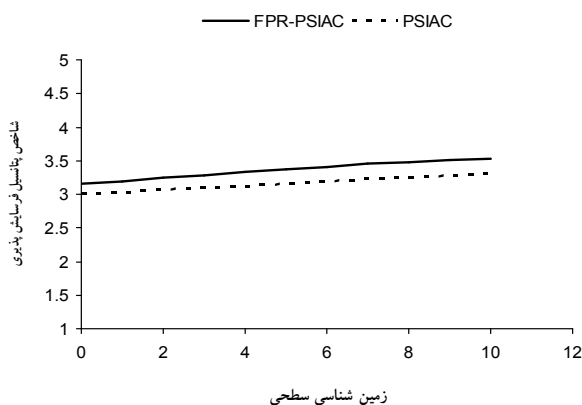
حالت اول	حالت دوم	پارامترهای PSIAC
۳	۶	زمین شناسی سطحی
۷	۹	خاک
۶	۵	آب و هوا
۸	۷	رواناب
۱۸	۱۲	پستی و بلندی
-۷	-۸	پوشش زمین
۸	-۹	استفاده از زمین
۱۸	۱۲	وضعیت فعلی فرسایش در سطح حوزه
۲۲	۸	فرسایش رودخانه ای و حمل رسوب

می‌تواند تأییدی بر رفتار مدل باشد. از طرف دیگر دلیل تفاوت‌های موجود را باید در رفتار سیستم فازی جستجو کرد، چرا که سیستم فازی دارای طبیعت پیوسته بوده و نسبت به دامنه تغییرات پارامترهای کمی پیوسته ورودی، از خود حساسیت نشان می‌دهد و تغییرات مذکور را به نوعی در خروجی خود لحاظ می‌کند.

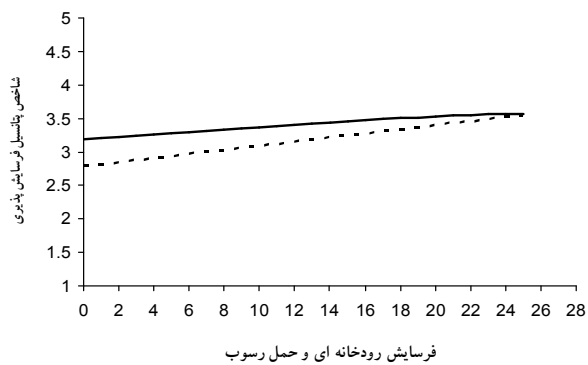
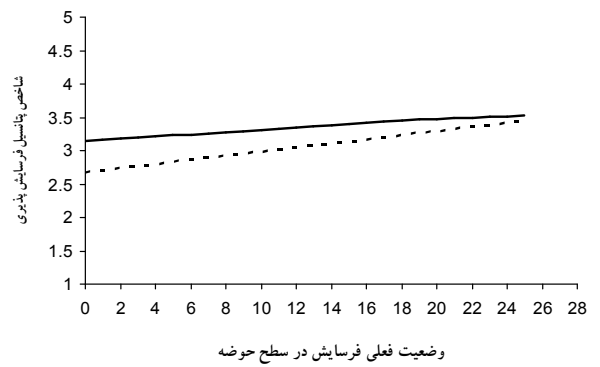
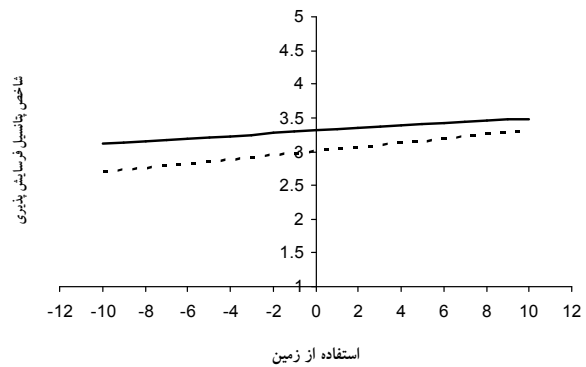
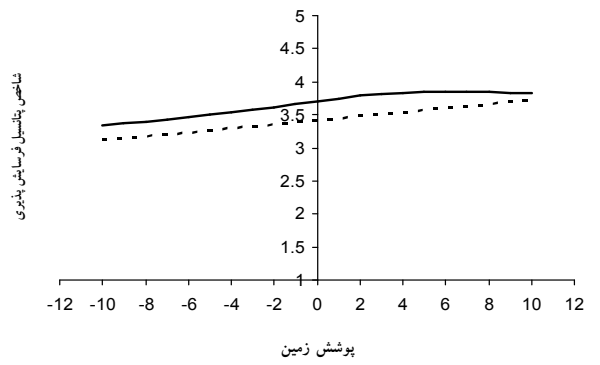
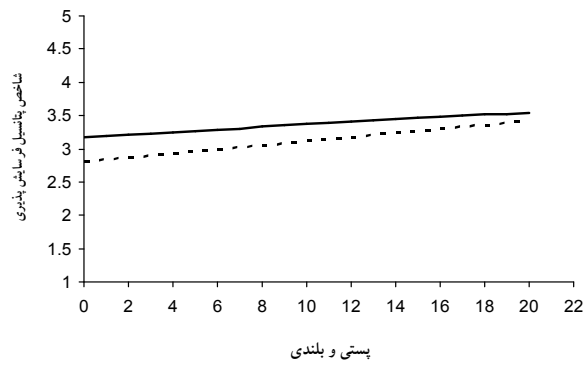
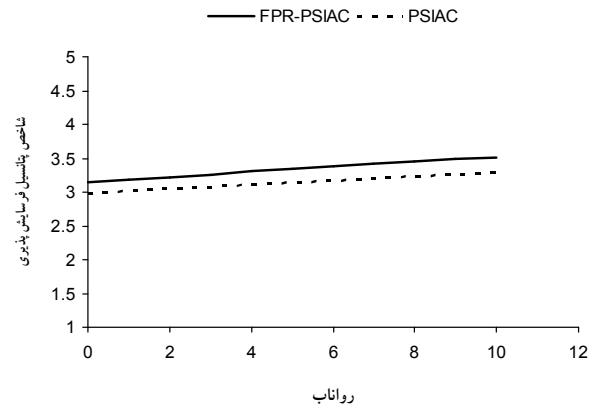
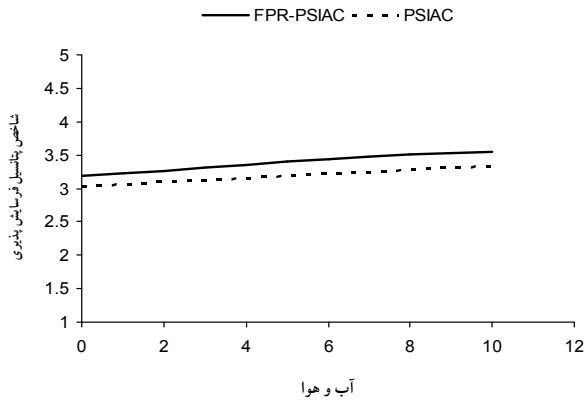
۶- نتیجه گیری

در جمع بندی نتایج، بایستی ذکر شود که سیستم فازی در بررسی فرسایش پذیری، سیستمی با جوابهای منطقی ارزیابی می‌شود. توانایی این سیستم‌ها بیشتر در شرایط فقدان و یا کمبود داده‌های کافی نمود می‌یابد. مقایسه عددی ارزیابی فرسایش پذیری حوزه دریاچه‌ای بر مبنای روش PSIAC و روش تشخیص الگوی فازی، توانایی روش ارائه شده در ارائه جواب و ارزیابی

سیستم در تمامی حالات ممکن از ترکیب ورودیها، در شکل ۳ ارائه شده است. ملاحظه می‌شود که هر دو مدل، نتایج نسبتاً مشابهی دارند. گرچه تفاوت‌هایی مشاهده می‌گردد ولی همخوانی روش جدید با نتایج PSIAC بیانگر توانایی آن در ارزیابی شدت فرسایش پذیری حوضه‌ها می‌باشد. در انتها برای نشان دادن قابلیت مدل ارائه شده با استفاده از برنامه ای که به زبان Visual Basic نوشته شده است شاخص فرسایش پذیری با استفاده از روش تشخیص الگوی فازی در یک حوضه با مشخصات فرضی محاسبه شد و نقشه فرسایش پذیری بر اساس روش PSIAC (شکل ۴) و روش تشخیص الگو تهیه گردید (شکل ۵). سپس نقشه حاصل با نقشه فرسایش پذیری بر مبنای روش PSIAC مقایسه گردید (شکل ۶). ملاحظه می‌شود که خروجی روش تشخیص الگوی فازی شباهت زیادی با خروجی مدل PSIAC دارد. با توجه به این که روش تشخیص الگوی فازی از پایگاه دانش مدل PSIAC استفاده می‌کند، وجود چنین شباهتی



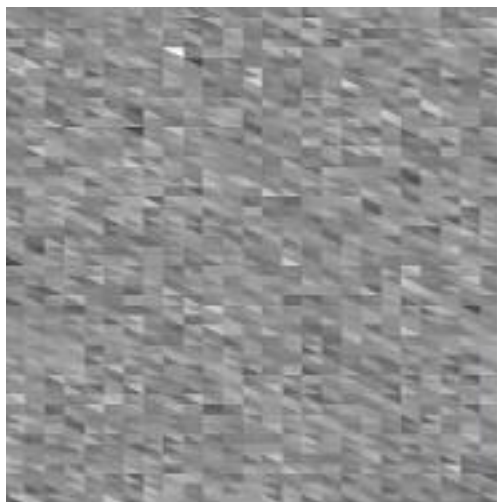
شکل ۲- روند تغییرات شاخص شدت فرسایش



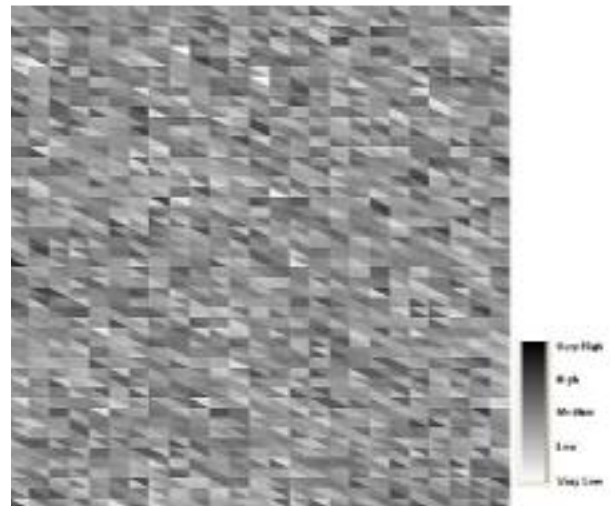
شکل ۲ (ادامه) - روند تغییرات شاخص شدت فرسایش



شکل ۳- توزیع فراوانی توابع تعلق خروجی شاخص پتانسیل فرسایش پذیری



شکل ۵- نقشه فرسایش پذیری با استفاده از روش تشخیص الگوی فازی



شکل ۴- نقشه فرسایش پذیری با استفاده از روش PSIAC



شکل ۶- تفاوت روش تشخیص الگوی فازی با روش PSIAC

مذکور نسبت به آن با هم مقایسه شوند و هم به لحاظ نیاز به انجام مطالعات جزئی میدانی، کاری دشوار است که باید در ادامه مطالعات مد نظر قرار گیرد.

منطقی از پتانسیل فرسایش حوضه ها را نشان می دهد. علی رغم آن، ارزیابی دقیق این مسئله که نتایج کدام روش به واقعیت نزدیک تر است، هم به لحاظ نبود یک مبنای ثابت که دو روش

۷-مراجع

- ۱- شیخ حسینی، ح. (۱۳۷۴). "تولید رسوب در واحدهای فرسایشی حوضه آبخیز سد مخزنی طالقان." پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم انسانی.
- ۲- خدروی تاژان، ب. (۱۳۸۲). "کاربرد منطق فازی در اولویت بندی عملیات آبخیزداری در حوزه آبخیز شهرستان کرج." پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی.
- 3- Pacific Southwest Inter-Agency Committee (1968). *Report on factors affecting sediment yield in the Pacific Southwest area and selection and evaluation of measures for the reduction of erosion and sediment yield*, Water Management Subcommittee, Sedimentation Task Force.
- 4- PSIAC Report (2000). *Sediment assessment and evaluation study for Lake Louise and Cottonwood Lake Hand, Hyde, Faulk, and Spink Counties South Dakota*, United States Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service South Dakota in Cooperation with South Dakota. Department of Environment and Natural Resources and Hand County Conservation District.
- 5- Shouyu, C., and Guangtao, F. (2003). "A DRASTIC-based Fuzzy Pattern Recognition Methodology for Groundwater Vulnerability Evaluation." *Hydrological Sciences*, 48(2), 200-211.
- ۶- نیکجو، م.ر. (۱۳۷۴). "ارزیابی کاربرد مدل PSIAC در برآورد فرسایش و رسوب حوزه آبخیز دریانچای." پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی.