مکان‌یابی بهینه پخش سیلاب با استفاده از مدل‌های بنیادی کمّی در منطق فازی (مطالعه‌ی موردی حوزه آبخیز گربایگان)

صدیقه ابرهیمیان[۱]، محمد نهتانی[۲*]، حسین صادقی مزیدی[۳] و اسماعیل سهیلی[۴]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۱۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۳/۲۹)

چکیده

اساس آمایش سرزمین پهنه‌بندی ژئومورفولوژیک سطح زمین است که بر مبنای خصوصیات ژئومورفولوژیک یکسان پهنه‌بندی تعیین می‌شود. پهنه‌هایی که از نظر ژئومورفولوژیک همگن هستند، می‌توانند با یک روش مدیریت شوند. پهنه‌بندی سطح زمین، تشخیص عوارض زمین به‌وسیله ویژگی‌های اساسی سطح مانند ارتفاع، شیب و جهت شیب است. در این مطالعه به‌منظور تشخیص محدوده‌های مناسب برای تغذیه مصنوعی در منطقه کوهستانی گهر و دشت گربایگان در استان فارس، از پهنه‌بندی کمّی سطح زمین با استفاده از ضرایب کمّی نسبت به سطح زمین استفاده گردیده است. پهنه‌بندی سطح زمین به روش کمّی با کمک ضرایب ایوانس- شری به دلیل تعیین و تفکیک دقیق تیپ‌ها، رخساره‌ها و عوارض سطحی زمین نقش مهمی در تعیین دقیق‌ترکاربری اراضی دارد. در این پژوهش از مدل‌های بنیادی شامل مدل‌های خطی، دایره‌ای و واگرا استفاده شده است که این مدل‌های بنیادی با ابعاد پنجره‌های نه‌تایی در رتبه درجه دو در نرم‌افزار متلب به سطح زمین برازش داده و به‌منظور تعیین میزان برازش این مدل‌ها از پارامتر مجموع اختلاف مربعات استفاده شده است. علاوه بر این، با استفاده از منطق فازی میزان مناسب‌بودن محدوده مورد مطالعه برای پخش سیلاب در پنج کلاس مختلف طبقه‌بندی شد که مناسب‌ترین و نامناسب‌ترین منطقه برای تغذیه به ترتیب امتیاز ۲۰ و ۰ دارا هستند. مناسب‌ترین مناطق برای تغذیه مصنوعی در پایین‌دست مخروط‌ها امتیاز ۲۰ دارد و کلاس نامناسب مربوط به دشت‌های پایینی مخروط افکنه‌ها حداقل امتیاز در منطق فازی که معادل صفر است را دارد.

واژه‌های کلیدی: پخش‌سیلاب، پهنه‌بندی کمّی، گربایگان، مدل بنیادی، منطق فازی، مکان‌یابی

۱. گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان
۲. گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل
۳. گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان
۴. گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: m.nohtani@uoz.ac.ir

مقدمه

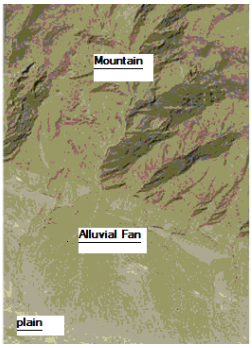
با توجه به شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک ایران و بروز مشکلات عدیده‌ای چون کم‌آبی در بسیاری از مناطق کشور، حفاظت خاک و آبخیزداری و درواقع مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز از سازنده‌ترین راهکارها برای مقابله با خشکسالی است (۱۳). راهبرد اساسی کنترل سیلاب به تغذیه سفره‌ای آب کمک می‌کند و موجب می‌شود که قنات‌ها، چشمه‌ها وچاه‌ها با تولید آب بیشتر، بستر مناسبی را فراهم آورند تا زمین‌های کشاورزی بیشتری به زیر کشت آبی رفته و تولید محصولات غذایی بیشتر شود. این شیوه به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک که معمولاً هرازگاهی با جاری شدن سیلاب‌های با دبی لحظه‌ای بالا مواجه هستند بسیار راهگشا است. یکی از روش‌های مناسب جهت استحصال آب در راستای کاهش مشکلات کمبود آب در کشور، اجرای پروژه‌های آبخوانداری با هدف کنترل سیلاب و تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی است. یکی از روش‌های استحصال آب، بهره‌برداری از سیلاب‌ها با استفاده از روش پخش سیلاب بر آبخوانهاست (۸). با شناسایی مناطق سیل‌خیز و پخش سیلاب در اراضی مستعد بالادست، علاوه بر کمک به تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها، موجب افزایش کیفیت و حاصل‌خیزی خاک هم می‌شود (۵). کشور ایران با عدم توازن توزیع زمانی و مکانی آب مواجه است. حدود نیمی از جمعیت کشور در مناطق مرکزی، شرقی و جنوبی زندگی می‌کنند که تنها به ۳۰ درصد منابع آبی دسترسی دارند. افزایش جمعیت طی چهل سال اخیر موجب کاهش سرانه‌ی منابع آبی تجدیدپذیر از ۷ هزار متر مکعب به ۲ هزار متر مکعب شده و پیش‌بینی می‌شود با ادامه‌ی روند رشد جمعیت، سرانه‌ی منابع آبی در ایران در سال ۱۴۰۰ به ۱۳۰۰ متر مکعب کاهش یابد که نشانگر ورود کشور به شرایط تنش آبی است (۶). برداشت اضافی از ذخیره‌ی ثابت آبخوان‌های آب زیرزمینی حدود ۶ میلیارد متر مکعب در سال است. در فارس، ۹۱درصد منابع آب شرب و ۸۳درصد منابع آب کشاورزی از منابع زیرزمینی تأمین می‌شود. بنابراین، به دلیل خشکسالی‌های طولانی مدت و عدم تعادل بین میزان تغذیه و برداشت از سفره‌های آب زیرزمینی، می‌توان گفت که موضوع آب و اهمیت توجه به آن در بیشتر استان‌های کشور از جمله استان فارس از اولویت بسیار زیادی برخوردار است (۷). در این راستا تشخیص دقیق عوارض سطح زمین اهمیت بسیار زیاد در شناسایی مناطق مناسب پخش سیلاب دارد. از جمله مناطق مناسب برای انجام پخش سیلاب، منطقه گربایگان در استان فارس است. از آنجایی‌که تعیین دقیق مناطق پخش سیلاب، امکان توزیع مناسب آب و کاهش تلفات را در مواقع سیلابی امکان‌پذیر می‌سازد، تشخیص دقیق عوارض سطحی ژئومورفولوژیک ضروری است (۷). رمستار (۱۲) سطح زمین را به‌طور پیوسته به واحدهای گسسته‌ای تقسیم‌بندی کرد. در این تقسیم‌بندی واحدهای ژئومورفولوژیک معنی‌داری ایجاد می‌شود. این واحدهای ژئومورفولوژیک نه تنها بیانگر فرایندهای تشکل خاصی هستند بلکه در تعامل با خاک، پوشش گیاهی، هیدرولوژی و رژیم‌های گرمایشی می‌باشند. ایشان در مقاله خود به توصیف یک روش جدید برای تقسیم‌بندی سطح زمین با استفاده از انحنای متوسط حوضه آبخیز MEC (Mean curvature of watershed) پرداخت. در روش پیشنهادی توسط مینار و ایوانس در سال ۲۰۰۸ ترکیبی از روش‌های ترسیمی و دسته‌بندی مورد استفاد قرار گرفته است. به این صورت که با به‌دست آوردن پهنه‌های اولیه و برازش روابط به پهنه‌ها و تعیین درجه برازش پهنه‌های با برازش مورد قبول پهنه‌ها دسته‌بندی می‌شوند (۹). تاکنون تشخیص عوارض ژئومورفولوژیک به‌صورت کیفی و بر اساس پارامترهای توصیفی زمین مانند ارتفاع، شیب، جنس سازند و وضعیت پوشش گیاهی انجام می‌گرفت که این نوع پهنه‌بندی سلیقه‌ای و کارشناسی بود و درنتیجه پهنه‌بندی‌های به‌دست آمده توسط اشخاص مختلف یکسان نبوده و تشخیص رخساره‌های با مرزهای دقیق را غیرممکن می‌ساخت همچنین پهنه‌های جداشده دارای پارامترهای شکلی مشخصی برای مقایسه با سایر مناطق نیستند که از میزان دقت کاسته می‌شود. بنابراین، استفاده از یک روش کمّی برای تعیین عوارض امری ضروری است (۹ و ۱۰).

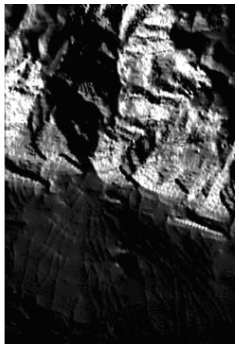
در مطالعات کیفی مشکلات اساسی وجود دارد. ۱- بیشتر خصوصیات شناخته شده از متغیرهای سطح زمین به‌طور ویژه توصیف شده که تفاوت‌های زیادی از نتایج به‌دست آمده در مراحل متفاوت مشاهده شده است. ۲- ایده‌های تشخیص اشکال و طبقه‌بندی کافی نبوده، ۳- سیستم خصوصیات سطح زمین به نظر می‌رسد که کاملاً استاندارد نبوده است. هدف عمده از این مطالعات این است که جزئیات مهم را برای متغیرها و اصول مهمی که چندین خصوصیات متفاوت که به ویژگی‌های سطح زمین بستگی دارد را توصیف می‌کند. نوع دوم، پهنه‌بندی کمّی یا روشی است که با استفاده از داده‌های انحنا و مشتقات مختلف ارتفاع و شیب و با به‌کارگیری نرم‌افزارها و روش‌های خودکار تعریف شده و بر اساس معیارهایی پهنه‌بندی انجام می‌گیرد (۲ و ۴). در زمینه مکان‌یابی بهینه پخش سیلاب به‌صورت کمّی بر اساس پارامترهای شیب، جهت و متغیرهای مورفومتریک مطالعات چندانی صورت نگرفته است. در این راستا مطالعات محدودی برای پهنه‌بندی کمّی با استفاده از منطق فازی در ایران صورت گرفته است. صادقی مزیدی در سال ۱۳۸۹ برای اولین بار در بخش جویم استان فارس با استفاده از فرم‌های بنیادی رخساره‌های ژئومورفولوژیک سطح زمین را از هم تشخیص داد و با استفاده از منطق فازی مکان‌یابی پخش سیلاب را انجام داد هدف از این پهنه‌بندی مکان‌یابی بهینه پخش‌سیلاب بود و خروجی فازی بر اساس امتیازهای محاسبه شده از پارامترهای ورودی در پنج کلاس خیلی مناسب، مناسب، قابل قبول، نامناسب و بسیارنامناسب تقسیم‌بندی شد که بر اساس کلاس‌های خروجی فازی در منطقه کوهستانی و بالادست محدوده مخروط افکنه مقادیر امتیاز مناسب‌بودن برای تغذیه مصنوعی نزدیک به صفر بوده، و مناسب‌ترین کلاس‌ها برای تغذیه بر روی مخروط افکنه‌ها و در قسمت‌های پایین مخروط افکنه می‌باشد (۱۴). مینار و ایوانس (۹) برای اولین بار به‌طور ساده با استفاده از منطق‌فازی سطح زمین را دسته‌بندی کردند و سطوحی را که دارای فرم‌های خطی، دایره‌ای و پله‌ای بودند را از هم تفکیک نمودند و درجه تعلق سطح به هر یک از فرم‌های بنیادی را مشخص کردند. مک میلان (۱۱) با استفاده از مدل رقومی ارتفاع پهنه‌بندی کمّی شکل سطح زمین را با استفاده از منطق‌فازی انجام داد و قانون‌های فازی را برای پهنه‌بندی فوق انجام داد. در هیچ یک از مطالعات انجام شده سطح زمین بر اساس پارامترهای مختلف ارتفاعی، به‌طور پیوسته و با استفاده از منطق فازی تقسیم‌بندی نشده است. هدف از انجام این مطالعه مکان‌یابی بهینه پخش‌سیلاب با استفاده از منطق فازی با استفاده از فرم‌های بنیادی است که بر اساس ضرایب کمّی و معیارهای حاصل روش‌های مینار و ایوانس (۹) انجام گرفته است.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه حوضه آبخیز گربایگان در ۱۹۰ کیلومتری جنوب شرق شیراز، در شهرستان فسا است که در بین طول جغرافیایی ′۵۳ °۵۳ تا ′۵۷ °۵۳ طول شرقی و عرض جغرافیایی ′۳۵ °۲۸ تا ′۴۱ °۲۸ شمالی واقع شده است. این منطقه دارای ارتفاع ۱۱۲۰ تا ۱۱۶۰ متر از سطح دریا می‌باشد که روی مخروط افکنه‌ای کم عمق به وجود آمده است. وسعت منطقه ۳۱/۳۶ کیلومتر مربع است (۱). منطقه دارای تابستان‌های گرم و خشک و بارش بهاره با تغییرات و نوسانات زیاد است. براساس طبقه‌بندی دومارتن، منطقه در اقلیم خشک قرار می‌گیرد. متوسط بارندگی سالانه ۲۱۱/۲ میلی‌متر است که کمینه آن در تیرماه برابر صفر و بیشینه‌آن در دی ماه برابر۵۳/۸ میلی‌متر می‌باشد و میانگین تبخیر سالانه ۲۹۳۴/۹ میلی‌متر می‌باشد (۶). سازند آغاجاری ۷۱/۶۲ درصد، کواترنر ۲۴/۵۳ درصد، جوش سنگ بختیاری ۱/۲۷ درصد، بخش چمپه از گچساران ۱/۰۴ درصد و آهک‌رس‌های سازند رزک ۱/۵۴ درصد از کل حوزهٔ آبخیز را می‌پوشانند (۱۰). منطقه مورد مطالعه به نحوی انتخاب گردیده که نماینده یک منطقه در واحد کوهستانی باشد. در شکل ۱ سمت چپ تصویر منطقه مورد مطالعه را در گوگل ارث نشان می‌دهد. بخش میانی تصویر نشان‌دهنده مخروط افکنه، بخش فوقانی





شکل ۱. الف) تصویر منطقه در گوگل ارث (سمت چپ) و ب) نمایش شیب در جهت محورx (سمت راست)

کوهستان و عوارض فرسایشی و بخش پایین‌دست آن دشت را نمایش می‌دهد. شکل ۲) نمای سه بعدی محدوده مورد مطالعه حوزه آبخیز گربایگان را نشان می‌دهد.

روش انجام کار

در این مطالعه ضرایب مورفومتریک اوانس- شری برای هر قطعه از سطح به‌دست آمده که برای انجام برازش فوق از داده‌های رقومی ارتفاعی با دقت ۱۰ متر از سازمان نقشه‌برداری استفاده گردیده و با استفاده از ابزار برازش سطح در نرم‌افزار متلب رابطه مربوطه به هر فرم به قطعات محدود، یا پنجره‌های محدود، از سطح برازش گردیده است. این پنجره‌ها به نحوی انتخاب می‌شوند که حالت مربعی داشته و برای نمونه ابعاد آنها ۳×۳ و یا ۹×۹ باشد و با حرکت پنجره در کل محدوده هر یک از پهنه‌های ضرایب کمّی ژئومورفولوژیک حاصل می‌شود. درجه برازش و پارامترهای فرم برازش شده برای تعیین مناسب‌بودن قطعه برای پخش سیلاب اهمیت استفاده پارامتر مجموع اختلاف مربعات اختلافات سطح زیادی دارد. برای تصمیم‌گیری در این مورد که درجه برازش فرم کمّی به داده‌های ارتفاعی در هر پنجره از پارامتر RMSE استفاده شده است و از طریق این پارامتر مناطق مناسب برای پخش سیلاب نمایش داده شده است.

ضرایب اوانس- شری

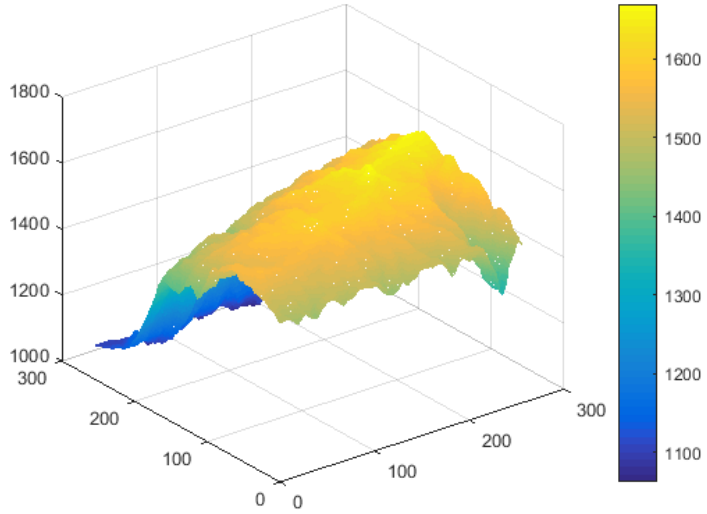
ضرایب اصلی اوانس و شری که به کمک آنها شیب و انحنای سطح در جهات اصلی تعیین می‌شود شامل گرادیان شیب، انحنای افقی و انحنای عمودی هستند. این ضرایب به‌ترتیب با G_s، kh_s، kv_s نمایش داده می‌شوند بر اساس روابط ارائه شده در جدول ۱ قابل محاسبه هستند. همان‌گونه که در جدول ۱ مشاهده می‌شود ضرایب اوانس و شری بر اساس مشتقات ارتفاع سطح در جهات مختلف، شامل p_s، q_s، r_s، s_s و t_s محاسبه می‌شوند که روابط مربوط به مشتق‌ها در جدول ۲ آورده شده است. برای محاسبه ی مشتق‌های سطح در جهات مختلف می‌بایست از داده‌های ارتفاعی موجود در هر پنجره استفاده شود. به‌عنوان مثال برای پنجره ی ۳×۳ اگر داده‌های ارتفاعی مانند ماتریس داده شده در شکل ۳ نشان داده شوند، مقادیر مشتق‌های ارائه شده در جدول ۲ بر اساس مقادیر ارتفاعی داده شده در این ۹ نقطه بر اساس روابط ارائه شده در ستون ۲ جدول ۲ قابل محاسبه هستند.

حد مجاز مجموع مربعات میانگین خطا

در واقع جذر میانگین مربع اختلاف‌های بین مقادیر ارتفاع مشاهده شده و محاسبه شده در هر پنجره می‌باشد. برای تعیین حد قابل قبول برای RMSE از رابطهٔ ارائه شده توسط مینار که در فرمول (۱) ارائه شده استفاده می‌شود (۹):

$$MF = 1 - 4\mu / (O * \tan\delta_c) \qquad (۱)$$

در این رابطه Mf مقدار تابع عضویت پنجرهٔ مورد نظر در مدل مربوطه، μ مقدار RMSE محاسبه شده از برازش انجام شده و O طول میانگین ابعاد فرم یا طول پنجره مورد نظر می‌باشد که مثلاً برای پنجرهٔ ۳×۳ برابر با ۲۰ متر می‌باشد. δ_c زاویه حدی



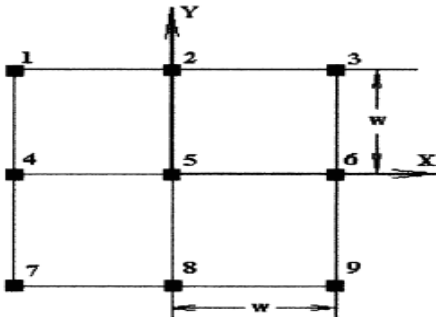
شکل ۲. موقعیت مکانی حوضه آبخیز گربایگان در ایران و استان فارس

جدول ۱. پارامترهای معرفی شده توسط اوانس- شری به همراه تعریف و رابطه آن

متغیر	تعریف	فرمول
G_s	تانژانت زاویه بین نقاط موجود در یک سطح	$G_s = (p^2+q^2)^{1/2}$
kh_s	انحنای افقی یا انحنای خطوط کنتوری	$kh_s = -(q^2r-2pqs+p^2t)/\left[(p^2+q^2)(1+p^2+q^2)^{1/2}\right]$
kv_s	انحنای سطح در جهت عمود بر خط کنتوری	$kv_s = -(p^2r+2pqs+q^2t)/\left[(p^2+q^2)(1+p^2+q^2)^{3/2}\right]$

جدول ۲. ضرایب معرفی شده توسط اوانس- شری به همراه فرمول و رابطه آن

ضرایب	روابط	فرمول	کاربرد
p_s	$(Z_3+Z_6+Z_9\,Z_1\,Z_4Z_7)^{6w,}$	$p_s = \partial z/\partial x$	تغییرات شیب در جهت محور افقی
q_s	$(Z_1+Z_2+Z_3\,Z_7\,Z_8\,Z_9)^{6w,}$	$q_s = \partial z/\partial y$	مؤلفه شیب در جهت شمال
r_s	$\left[Z_1+Z_3+Z_4+Z_6+Z_7+Z_{9^2}(Z_2+Z_5+Z_8)\right]/3W^2,$	$r_s = \partial^2 z/\partial x^2$	تغییرات شیب در جهت شرق
s_s	$(Z_1+Z_3Z_7+Z_9)/4W^2$	$s_s = \partial^2 z/\partial x\partial y$	تغییرات شیب در جهت شمال شرقی.
t_s	$\left[Z_1+Z_2+Z_3+Z_7+Z_8+Z_{9^2}(Z_4+Z_5+Z_6)\right]/3W^2,$	$t_s = \partial^2 z/\partial y^2$	انحنا در جهت Y



شکل ۳. موقعیت و تعداد داده‌های ارتفاعی برای پنجره ۳×۳

بحرانی برای تشخیص سطح صاف از سطح شیبدار بوده که برای این مورد برابر با مقدار $\tan\delta$ برابر با ۰/۲ است (۳). براساس رابطهٔ (۱) برای پنجره‌ای با ابعاد ۳×۳ مقدار RMSE قابل قبول یک و کمتر از یک است. هر چه این عدد به صفر نزدیک‌تر باشد درجه برازش مدل به پنجره بیشتر بوده است.

اجرای فازی و ورود داده‌ها به منطق فازی و تعیین خروجی فازی

مدل خطی

مدل خطی: روابط این مدل به صورت رابطه (۲) است:

$$z = a + b(gx + hy) + c(gx + hy)^2 + d(gx + hy)^3 \qquad (۲)$$

در مدل خطی سطوح آنها به یک جهت قرار گرفته‌اند و پارامترهای مورفولوژیک مانند ارتفاع، شیب و تغییر شیب در امتداد خطوط موازی که نسبت به یک خط مبنا در فاصله‌های خاصی ثابت هستند و تغییر نمی‌کنند. z در مدل، ارتفاع نقاط می باشد. پارامتر b در مدل نماینده شیب است، پارامتر c در این مدل نماینده انحنای عمودی می‌باشد. با توجه به اینکه با فرض وجود این پارامتر در برازش مدل خطا ایجاد می‌کرد و میزان RMSE هر پهنه را به حد غیر قابل قبولی می‌رساند بنابراین، پارامترc در برازش مدل خطی حذف شد. پارامتر d در این مدل نیز نماینده تغییرات انحنا است که در مدل فیت شده وارد نمی‌شود و فقط عملیات فیت را به صورت سه‌جمله ای انجام می‌شود، این مدل بیان می‌کند که آب یا رسوب به صورت موازی در پهنه حرکت می‌کند.

مدل دایره‌ای

روابط این مدل به صورت رابطه (۳) است:

$$z = a + b\sqrt{(x-1)^2 + (y-J)^2} + c\left[(x-1)^2 + (y-J)^2\right] + d\left[(x-I)^2 + (y-J)^2\right] \qquad (۳)$$

در مدل دایره‌ای پارامترهای ژئومورفولوژیک مانند ارتفاع، شیب و جهت شیب در یک فاصله شعاعی از یک مرکز (I,J) ثابت هستند و مقادیر آنها با نرخ ثابتی نسبت به مبدأ تغییر می‌کند.

z در این مدل نیز همان ارتفاع نقاط است، پارامتر b در مدل نماینده شیب، پارامتر c نماینده انحنای عمودی، پارامتر d نیز نماینده تغییرات انحنا است که در مدل برازش شده وارد شده است و فقط عملیات فیت را به صورت سه جمله ای انجام شده است. I, J نشان‌دهنده مرکز انحنا و درجه انحنا هستند. این مدل بیان‌کننده این است که پهنه مورد نظر جمع‌آوری‌کننده آب است.

مدل واگرا

روابط این مدل به صورت رابطه‌ی (۴) می‌باشد.

$$z = a + b\arctan\frac{y-q}{x-p} + c\arctan\left(\frac{y-q}{x-p}\right)^2 + d\arctan\left(\frac{y-q}{x-p}\right)^3 \qquad (۴)$$

مدل‌های واگرا به مدل‌هایی گفته می‌شود که پارامترهای ژئومورفولوژیک در یک زاویه شعاعی ثابت هستند.

پارامتر z نیز همان ارتفاع نقاط است. پارامتر b در مدل نماینده شیب می‌باشد، زیرا در هر شعاعی یک شیب خاص وجود دارد به عبارت دیگر با افزایش شعاع یا فاصله از مرکز شیب کاهش می‌یابد. پارامتر c نماینده انحنای عمودی است و پارامتر d نیز نماینده تغییرات انحنا می‌باشد که در مدل فیت شده وارد شده است و فقط عملیات فیت را به صورت سه جمله‌ای انجام شده است. این مدل بیان‌کننده این است که حرکت آب در این مدل به صورت پیچشی است و فرسایش کناره‌ای در پهنه حاکم است. طبق جدول ۳ پارامترRD با توجه به مرز معرفی‌شده از دی‌کائو (۱) عدد۶۰۰ معرفی شده است و سایر پارامترهای این جدول نیز از الگوی همین کار نشأت گرفته است.

نتایج

دسته‌بندی خروجی‌های مکان‌یابی پخش سیلاب

برای بررسی درجه‌ی تناسب پهنه‌ی مورد نظر برای پخش سیلاب از مقادیر پنج پارامتر kv، cdiv، ccric، kh و RD استفاده شده است. برای نمونه بر اساس آنچه که در جدول ۳ بیان شده کلاس مناسب برای پخش سیلاب برای پارامترRD مقادیر کوچکتر از ۶۰۰ است که بر اساس دی‌کائو (۱) انحناهای افقی و عمودی سطح زمین را با تعریف شعاع انحنا بیان کرد و مرز انحنای با شعاعِ ۶۰۰ متری را به‌عنوان معیاری برایِ محدّب و یا مقعر بودن سطح تعیین کرد بر طبق جدول ۳ امتیاز بیشینه ۲۰ به آن داده شده است و به کلاس بزرگتر از ۶۰۰ امتیاز صفر داده شده است. دلیل آن این است که هر چه از این مقدار بزرگتر شود پیچش بیشتر شده و میزان فرسایش کناری بیشتر می‌شود برای تغذیه مصنوعی فرسایش کناری ایجاد می‌کند. نام سه کلاس انحنای افقی شامل محدب افقی، خط افقی و مقعر افقی بوده که به‌ترتیب کلاس محدب افقی دارای انحنای افقی با مرز مشخص بزرگتر از ۰/۰۰۱۸۷، کلاس خط افقی دارای انحنای افقی بین مرزهای مشخص ۰/۰۰۱۸۷ و ۰/۰۰۱۸۷- و کلاس مقعر افقی دارای انحنای افقی کوچکتر از ۰/۰۰۱۸۷-

است. بر اساس درجه اثر این پارامتر در پخش سیلاب امتیاز و کدی به هر کلاس از انحنای افقی داده می‌شود. به این ترتیب، برای کلاسه‌های مقعر افقی، خط افقی و محدب افقی به‌ترتیب کدهای ۰، ۰٫۵و۱ امتیازهای۰،۱۰،۲۰ در نظر گرفته شد. با افزایش کد و امتیاز درجه تأثیر مثبت پارامتر مربوطه در پخش سیلاب افزایش می‌یابد. برای نمونه، سطح محدب افقی به دلیل قابلیت پخش آب و جریان واگرا نسبت به سطح مقعر افقی که دارای جریان واگرا و دارای قابلیت جمع کردن آب می‌باشد برای پخش سیلاب مناسب‌تر است (۱۴). در جدول ۲ برای پارامترهای شیب، پیچش جریان، انحنای افقی، انحنای عمودی، نماینده انحناهای عمودی در مدل دایره‌ای و پله‌ای و کلاس‌های مختلف مربوط به مرزهای معین، محدوده‌های محدوده‌ی مرزی معادل با هر مرز تعیین شده، کد و امتیاز هر کلاس مشخص شد. در این جدول نشان داده شده که بهترین حالت‌ها برای مناسب بودن سطح برای پخش سیلاب کلاس‌هایی از پارامترهایی هستند که دارای بیشترین امتیازها هستند که شامل کلاس شیب بین ۰/۰۱۶ تا ۰/۰۷۵، کلاس شعاع پیچش جریان کمتر از ۶۰۰، کلاس انحنای افقی بزرگتر از ۰/۰۰۱۸۷، کلاس انحنای عمودی مقعر (کوچکتر از صفر)، کلاس انحنای عمودی مربوط به مدل دایره‌ای بزرگتر از ۰/۰۰۲۵-، کلاس انحنای عمودی مربوط به مدل پله‌ای بزرگتر از صفر است. تعیین مقادیر Cdiv، Ccirc، Kv و Kh و سایر پارامترهای‌فازی با توجه به اصل انطباق با طبیعت و حفظ تناسب در توابع عضویت‌ها اختصاص داده شده است. به پارامترهای ارائه شده در جدول ۳ ورودی‌های فازی گفته می‌شود که به صورت پارامترهای هستند که با استفاده از توابع فازی به کلاس‌های مختلف تقسیم‌بندی شده‌اند. به همین ترتیب بهترین کلاس Kh برای پخش‌سیلاب کلاس بزرگتر از۰/۰۰۱۸۷ است که امتیاز ۲۰ دارد و کمترین تناسب برای Kh کوچکتر از ۰/۰۰۸۷- و کلاس Kh بین ۰/۰۰۸۷- و ۰/۰۰۸۷ نیز دارای تناسب متوسط برای پخش

جدول ۳. طبقه‌بندی پارامترهای ورودی فازی

نام پارامتر	نام کلاس	بازه طبقه	محدوده	کد	امتیاز
شیب (G)	غیر قابل قبول	شیب <۰/۰۰۲	۰/۰۰۲:۰/۰۳	۰	۰
	قابل قبول	۰/۰۰۲< شیب <۰/۱		۱	۲۰
	غیر قابل قبول	۱/۰<شیب	۰/۰۵:۰/۱	۰	۰
پیچش جریان (RD)	غیر قابل قبول	۶۰۰>پیچش جریان	۲۰۰:۱۰۰۰	۱	۲۰
	قابل قبول	۶۰۰<پیچش جریان		۰	۰
انحنای افقی (Kh)	انحنای محدب افقی	۰/۰۰۱۸۷>انحنای افقی	۰/۰۰۲۵:۰/۰۰۱۲۵	۱	۲۰
	خط افقی	۰/۰۰۱۸۷> انحنای افقی >-۰/۰۰۱۸۷	-۰/۰۰۱۲۵	۰/۵	۲۰
	انحنای مقعر افقی	-۰/۰۰۱۸۷ >انحنای افقی	-۰/۰۰۲۵	۰	۰
انحنای عمودی (Kv)	انحنای عمودی منفی	۰>انحنای عمودی	-۰/۰۰۲۵:۰/۰۰۲۵	۱	۲۰
	انحنای عمودی مثبت	۰<انحنای عمودی		۰	۰
نماینده انحناهای عمودی در مدل دایره‌ای (ccric)	مدل دایره‌ای مثبت	Ccirc > -۰/۰۰۲۵	-۰/۰۰۵:۰	۱	۲۰
	مدل دایره‌ای منفی	Ccirc < -۰/۰۰۲۵		۰	۰
نماینده انحناهای عمودی در مدل واگرایی (cdiv)	واگرایی منفی	Cdiv> ۰	-۰/۰۰۲۵:۰/۰۰۲۵	۱	۲۰
	واگرایی مثبت	Cdiv< ۰		۰	۰
RMSE مدل دایره‌ای،خطی، واگرا	قابل قبول	Rmse<۴	۲ – ۶	۱	۲۰
	غیر قابل قبول	Rmse> ۴		۰	۰

سیلاب است. به این دلیل که هر چه سطح بیشتر می‌شود که این عملکرد برای پخش‌سیلاب بسیار مناسب خواهد بود. بهترین کلاس Kv برای پخش سیلاب کلاس کوچکتر از صفر است که امتیاز ۲۰ دارد و علت آن این است که سطح آب را در این حالت پخش می‌کند و کمترین تناسب برای کلاس Kv بزرگتر از صفر برای پخش سیلاب است. بهترین کلاس Ccirc برای پخش سیلاب کلاس بزرگتر از ۰/۰۰۲۵- است که امتیاز ۲۰ دارد و کمترین امتیاز این پارامتر برای کلاس کوچکتر از ۰/۰۰۲۵- برای پخش‌سیلاب می‌باشد. بهترین کلاس Cdiv برای پخش-سیلاب کلاس بزرگتر از صفر است که امتیاز ۲۰ دارد و کمترین تناسب برای کلاس کوچکتر از صفر برای پخش‌سیلاب می‌باشد. علاوه بر پارامترهای گفته شده در جدول فوق مقادیر

کلاس‌های شیب نیز آورده شده که مناسب‌ترین کلاس با امتیاز بیشینه ۲۰ مربوط به شیب ۰/۰۰۲ تا ۰/۱ بوده و برای مقادیر غیر از این شیب امتیاز برابر با صفر می‌باشد. اینکه چرا امتیاز حداکثر برای کلاس‌های مناسب برای تغذیه در پنج پارامتر کلیدی۲۰ است. به این دلیل است که فرض شده این پارامترها در مناسب بودن سطح برای پخش سیلاب سهم مساوی و هر یک برابر با ۲۰٪ کل امتیاز سهم دارند. به عبارت دیگر اگر هر پنج پارامتر مقدار مناسب داشته باشند امتیاز ۱۰۰ از مجموع بیشینه امتیازها برای هر گروه به‌دست می‌آید. هنگامی‌که برای پخش‌سیلاب نامناسب باشند امتیاز همه‌ی آنها صفر بوده و مجموع آنها صفر می‌شود. برای اعمال اثر شیب این‌گونه عمل شده است که در صورتی که شیب مناسب نباشد یعنی اگر شیب از ۰/۰۰۲ بزرگتر و از ۰/۱ کوچکتر باشد آن‌گاه هیچ یک از پارامترهای پنج‌گانه هیچ امتیازی نخواهد داشت. برای اثردادن پارامترهایRMSE به این‌گونه عمل شده است که در صورتی پارامترهای RD و cdiv برای کلاس‌های مناسب‌شان برای پخش‌سیلاب حداکثر امتیاز را می‌گیرند که پارامتر RMSE مدل پله‌ای قابل قبول باشد یعنی کوچکتر از ۴ باشند و در غیر این‌صورت یعنی درصورتی که RMSE پارامتر پله‌های بزرگتر از ۴ باشد آن‌گاه در صورت مناسب بودن کلاس‌های پارامتر RD و Cdiv امتیاز آن یک چهارم برابر یا برابر ۵ خواهد شد. در صورتی پارامترهای ccirc برای کلاس‌های مناسب‌شان برای پخش‌سیلاب حداکثر امتیاز ۲۰ را می‌گیرند که پارامتر RMSE مدل دایره‌ای قابل قبول باشد یعنی کوچکتر از ۴ باشند و در غیر این صورت یعنی در صورتی که RMSE دایره‌ای بزرگتر از ۴ باشد آن‌گاه در صورت مناسب بودن کلاس‌های پارامترCcirc امتیاز آن یک چهارم برابر یا برابر با ۵ خواهد شد. در صورتی پارامترهای kh برای کلاس‌های مناسب‌شان برای پخش سیلاب حداکثر امتیاز یا امتیاز۲۰ را می‌گیرند که پارامتر RMSE مدل دایره‌ای قابل قبول باشد یعنی کوچکتر از ۴ باشند و در غیر این صورت یعنی در صورتی که RMSE دایره‌ای بزرگتر از ۴ باشد آن‌گاه در صورت مناسب بودن کلاس‌های پارامتر Kh امتیاز آن یک چهارم برابر خواهد شد. در صورتی پارامترهای Kv برای کلاس‌های مناسب‌شان برای پخش‌سیلاب حداکثر امتیاز یا امتیاز ۲۰ را می‌گیرند که پارامتر RMSE مدل خطی قابل قبول باشد یعنی یا کوچکتر از ۴ باشند. و در غیر این صورت یعنی در صورتی که RMSE خطی بزرگتر از ۴ باشد آن‌گاه در صورت مناسب بودن کلاس‌های پارامتر Kv امتیاز آن یک چهارم برابر خواهد شد.

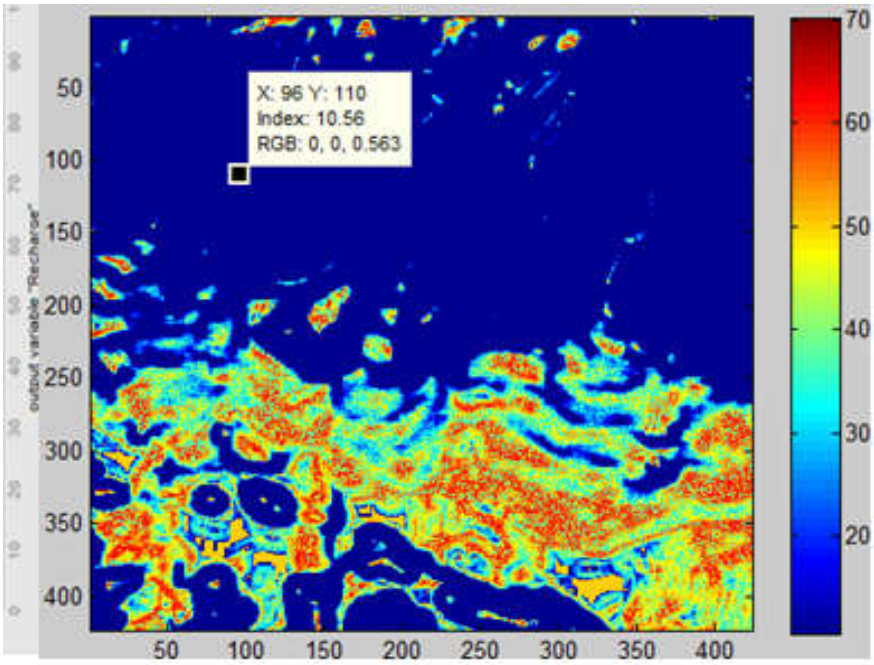
برای محاسبه امتیاز حالت‌های مختلف جداول ارائه شده است. هر یک از این جدول‌ها برای یکی از حالات ۶ گانه‌ی RMSEها ترتیب داده شده است. حال از ترکیب کلاس‌های مختلف پارامترهای پنج‌گانه kv، cdiv، ccric، kh و RD به همراه امتیازهای مربوطه و حاصل جمع امتیازها برای دسته-بندی جهت تعیین تناسب برای پخش‌سیلاب ارائه شده است. چنان‌که در جدول ۴ مشخص شده برای هر دسته از حالت‌های پنج‌گانه یا هر سطر برای پخش سیلاب تعیین می-شود. به‌طور ساده می‌توان این‌گونه بیان کرد که به‌ترتیب از امتیاز۰ تا ۲۰، ۲۰ تا ۴۰، ۴۰ تا ۶۰، ۶۰ تا ۸۰ و ۸۰ تا ۱۰۰ به‌ترتیب خیلی بد، بد، قابل قبول، مناسب و خیلی مناسب هستند. به این ترتیب برای درجه مناسب بودن برای پخش سیلاب پنج کلاس تعریف می‌شود که دارای مرزهای مشخص۸۰،۶۰،۴۰،۲۰ بوده و دارای باندهای مرزی با پهناهای۷۰ تا ۹۰، ۵۰تا ۷۰، ۳۰ تا ۵۰ و ۱۰ تا ۳۰ هستند.

بر اساس پارامترهای ارائه شده در خروجی‌های فازی در کلاس‌ها با محدوده‌های مشخص در محدوده‌ی مطالعاتی کلاس‌های مختلف خروجی فازی برای نشان دادن درجه تناسب برای پخش سیلاب نشان داده شده است. که در ۵ کلاس خیلی مناسب، مناسب، قابل قبول، نامناسب و بسیار نامناسب تقسیم شده‌اند. که بر اساس درجه‌ی برازش آنها با هر یک از مدل‌های خطی، دایره‌ای و پله‌ای و بر اساس بزرگی

جدول ۴. جدول خروجی فازی

محدوده	مرز محدوده	محدوده کلاس	نام کلاس	نام خروجی
		۸۰–۱۰۰	خیلی خوب	
۷۰ : ۹۰	۸۰	۶۰–۸۰	خوب	
۵۰ : ۷۰	۶۰	۴۰–۶۰	قابل قبول	کیفیت
۳۰ : ۵۰	۴۰	۲۰–۴۰	بد	
۱۰ : ۳۰	۲۰	۰–۲۰	خیلی بد	
۵۰ : ۵۰–	۰	۰>	غیر خطی	مدل خطی
		۰<	خطی	
۵۰ : ۵۰–	۰	۰>	غیر واگرا	مدل واگرا
		۰<	واگرا	
۰ : ۵۰	۲۵	۲۵ ≤	دایره‌ای مثبت	مدل دایره‌ای
		۲۵ > تا > ۲۵–	دایره‌ای منفی	
۰ : ۵۰–	۲۵–	۲۵–>	دایره‌ای منفی	

شعاع انحنای واگرایی و عدم چرخش جریان، خطی بودن و یا انحنای محدب افقی در سطح و مناسب بودن سطح برای پخش کردن جریان، وجود تقعر در جهت بیشترین شیب در مدل‌های خطی، دایره‌ای و واگرا که نشان‌دهنده تمایل به کاهش سرعت جریان در طول مسیر جریان می‌باشد تعیین شده است. بر اساس سطوح برازش شده از منطق فازی برای سطوح دایره‌ای فقط مخروط‌افکنه و دشت را شامل می‌شود به این خاطر در منطقه کوهستان وجود ندارد زیرا شرط شیب که برای پخش سیلاب در نظر گرفته شده باعث این عامل شده است. سطوح پله‌ای نیز در کف دشت و استپ‌های پایین مخروط افکنه وجود دارد که علت آن هم همان علت ذکر شده برای سطوح دایره‌ای است. انحنای طولی در روی مخروط‌ها مثبت و مقادیر منفی بسیار کم می‌باشد. مناسب ترین کلاس‌ها برای تغذیه بر روی مخروط افکنه‌ها و در قسمت‌های پایین دست مخروط افکنه مشاهده می‌شود که به صورت پهنه‌های نواری شکل و کمانی مشاهده می‌شوند، مرکز کمان‌ها تقریبا نوک مخروط است. الگوی قرارگیری کلاس‌ها به این صورت است که لکه‌های قرمز رنگ که نشان‌دهنده کلاس خیلی مناسب هستند در وسط و کلاس‌های دیگر به‌ترتیب به صورت هاله‌ها یا نوارهایی که به موازات مرز کلاس قرمز رنگ هستند در اطراف قرار گرفته‌اند. چنان‌که در شکل ۴ مشاهده می‌شوند مناسب‌ترین مناطق برای پخش سیلاب در پایین‌دست مخروط‌ها واقع شده‌اند. مناطق دشت مانند پایین‌دست مخروط افکنه‌ها در کلاس بسیار نامناسب هستند که دلیل آن شاید افقی بودن این مناطق باشد. با توجه به شکل مشخص می‌شود که در سطح داخلی مخروط افکنه‌ها نیز مناطقی هستند که در کلاس نامناسب قرار دارند. این سطوح در



شکل ۴. نقشه‌ی مقادیر فازی مربوط به مکان‌یابی برای پنجره نه‌تایی (رنگی در نسخه الکترونیکی)

واقع به صورت بیرون‌زدگی بوده و دارای سطح محدب هستند و در بعضی موارد نیز این سطوح فاقد شرط شیب باشند.

بحث و نتیجه‌گیری

از مهمترین موارد در احداث سامانه پخش سیلاب مکان‌یابی بهینه آن است که در این مطالعه به پهنه‌بندی کمّی سطح زمین با استفاده از فرم بنیادی با کلاس‌های مختلف خروجی فازی برای نشان دادن درجه تناسب برای پخش سیلاب انجام شد. طبق خروجی فازی در شکل ۴ در منطقه کوهستانی در بالادست محدوده‌ی مخروط‌افکنه مقادیر امتیاز مناسب‌بودن نزدیک به صفر بوده که این مناطق به دلیل شیب زیاد و فرسایندگی بالا نشان‌دهنده کلاس بسیار نامناسب برای پخش سیلاب می‌باشد و با رنگ قرمز نمایش داده شده است. مناسب‌ترین کلاس‌ها برای تغذیه بر روی مخروط‌افکنه‌ها و در قسمت‌های پایین‌دست مخروط-افکنه مشاهده می‌شود. مناطق دشت‌مانند پایین‌دست مخروط‌افکنه‌ها در کلاس بسیار نامناسب هستند که دلیل آن افقی‌بودن این مناطق و نداشتن شیب مناسب برای پخش سیلاب می‌باشد. نتایج این تحقیق با یافته‌های صادقی مزیدی (۱۴) که برای اولین بار در ایران به پهنه‌بندی کمّی سطح زمین با استفاده از مدل‌های بنیادی در بخش جویم پرداخت مطابقت دارد طبق یافته‌های این پژوهشگر در منطقه کوهستانی و بالادست محدوده مخروط‌افکنه، مقادیر امتیاز مناسب بودن برای تغذیه مصنوعی نزدیک به صفر بوده و مناسب‌ترین کلاس‌ها برای تغذیه روی مخروط افکنه‌ها و در قسمت‌های پایین دست مخروط‌افکنه است. شری در سال ۲۰۰۲ پارامترهایِ کمّی مرتبط با مورفولوژیِ سطح زمین را از داده‌های رقومی ارتفاع سطح زمین وبا استفاده از روش‌های عددی و بدون استفاده از خصوصیات منطقه تعیین کردند (۱۵). در این روش‌ها با انتخاب داده‌های رقومی ارتفاع مربوط به یک پیکسل انتخاب شده با ابعاد ۳×۳ مقدارکمی حدود بیست پارامتر برای آن

محدوده تعیین شده است. در این کار با حرکت پنجره بر روی تمامِ نقاط شبکه به صورت خودکار مقادیر این پارامترها برای نقاط مختلف شبکه به‌طور پیوسته تعیین شد. مینار در سال ۲۰۰۸ برای اولین بار با استفاده از منطق فازی سطح زمین را به سه دسته‌ی خطی، دایره‌ای و پله‌ای دسته بندی کرد وی در مطالعه خود به دلیل پیچیدگی سطح زمین هیچ یک از فرم‌ها به‌طور کامل به سطح زمین برازش نشد (۱۰).

منابع مورد استفاده

1. Dikau, R. 1989. The application of a digital relief model to landform analysis in geomorphology. PP. 51-77. *In*: J. Raper (ed.), Three-dimensional Applications in Geographical I nformation System, Taylor and Francis, New York.
2. Ebrahimi, H., A. Nasr Azadani, B. Ramadan and A. JediMustafa Lu. 2009. Watershed management and its role in reducing floods. Iran. *In:* proceeding of Fifth National Conference on Watershed Management Science and Engineering of Iran (Sustainable Management of Natural Disasters) .Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran (In Farsi).
3. Evans, L.S. and N. J. Cox. 1999. Relations between land surface properties: altitude, slop and curvature. PP. 13-45. *In*: Hergarten, S., and H. J. Neugebauer (Eds.), Process Modelling and Landform Evolution, Springer, Berlin.
4. Giles, P.T. and S. E. Franklin. 1998. An automated approach to the classification of slope units using digital data. *Geomorphology* 21: 251-264.
5. Ghahari, G. and M. Pakpervar. 2007. Investigation of the effect of flood extraction and distribution on groundwater resources in Gorbayegan plain. *Iranian Journal of Range and Desert Research* 14(3): 390- 368 (In Farsi).
6. Kadkhodapour, M., A. Mirjalili, and M. Mirjalili. 2009. The role of flood spreading on soil permeability in Yazd Miankuh aquifer. *In*: Fifth National Conference on Watershed Management Science and Engineering of Iran (Sustainable Natural Disaster Management), Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran (In Farsi).
7. Kosar, S. A. 1993. Desertification with Flood Spread: A Coordinated Effort. Publications of Fars Natural Resources and Livestock Affairs Research Center, Shiraz, Iran (In Farsi).
8. Mahdavi, M. 2005. Applied Hydrology. University of Tehran Press, Tehran, Iran (In Farsi).
9. Minar, J. and I. Evans. 2008. Elementary forms for land surface segmentation: The theoretical basis analysis and geomorphologicalmapping. *Geomorphology* 95: 236-259.
10. Minár, J. 2008. The principles of the elementary geomorphological regionalization. Acta Facultatis Rerum Naturalium Universitatis Comenianae. *Geographica* 33: 185-198.
11. MacMilan, R. A. and P. A. Shary. 2009. Landforms and Landform Elements in Geomorphometry. *Geomorphology* 227(3):12-25.
12. Romstard, J. 2012. Two-plus-one-dimensional differential geometry. *Pattern Recognition Letters* 15: 439-443.
13. Shafaqati, M., M. Shojaei, S. Hosseini and P. Garshasbi. 1383. Evaluation of flood distribution plan of Minab Hashtbandi basin. *In:* Fifth National Conference on Watershed Management Science and Engineering of Iran (Sustainable Natural Disaster Management), Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran (In Farsi).
14. Sadeghi Mazidi, H. 1389. Quantitative superficial zoning of the earth using basic forms (case study of Joym section). Master Thesis, Shiraz University of Agriculture and Natural Resources. Shiraz, I.R. Iran (In Farsi).
15. Shary, P. A. 2002. Quantitative and Numerical Methods in Soil Classification and Survey. Oxford University Press.

Journal of Water and Soil Science
Vol. 26, No. 1, Spring 2022, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Optimal Location of Flood Dispersion Using Quantitative Fundamental Models in Fuzzy Logic (Case Study: Gorbayegan Watershed)

S. Ebrahimian[1], M. Nohtani[*2], H. Sadeghi Mazidi [3] and E. Soheili [4]

(Received: February 6-2021; Accepted: June 19-2021)

Abstract

The basis of land management is the geomorphological zoning of the land surface, which is determined based on the same geomorphological characteristics of the zoning. Ground zoning detect land features by basic surface features such as height, slope, and slope direction. In this study, quantitative zoning of the land surface with small coefficients to the surface has been used to identify suitable areas for artificial feeding in the mountainous region of Gohar and Dasht-e Gorbayegan in Fars province. Quantitative zoning of the land surface has been performed by Evans-Shri coefficients due to the accurate determination and separation of types, faces, and surface features of the land has an important role in determining the exact land use. In this research basic models included linear, circular, and divergent models. These basic models with the dimensions of the final windows are ranked second in the MATLAB software to the level the ground is fitted to determine the fit of these models, the parameter of total squared difference has been used. In addition, the suitability of the study area for flood distribution in five different classes was determined using fuzzy logic. The most suitable areas for feeding downstream of the cones had five parameters with a maximum score of 20. The inappropriate class related to the lower plains of alluvial fans have a minimum score of five input classes in fuzzy logic, which is equal to zero.

Keywords: Flood spreading, Quantitative zoning, Garbaygan, Fundamental model, Fuzzy logic, Location

1. Department of Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, Iran.
2. Department of Range and Watershed Management, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran.
3-Department of Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.
4. Department of Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University, Shiraz, Iran.
*: Corresponding author, Email: m.nohtani@uoz.ac.ir