

آنالیز حساسیت نقشه‌های استاندارد ایران جهت شبیه‌سازی چندجهتی جریان‌های سطحی در مناطق خشک - محدوده مطالعاتی استان بوشهر

هانی رضائیان*: استادیار گروه سنجش از دور دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
حمید رضا ریاحی بختیاری: استادیار گروه سنجش از دور دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
جواد سدیدی: استادیار گروه سنجش از دور دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
بهاره فولادلو: کارشناس نقشه‌برداری، مهندسان مشاور کاوش راه اندیشه، تهران، ایران

چکیده

زیان‌های مالی و انسانی ناشی از روان شدگی جریان‌های سطحی از جمله سیلاب‌ها و نشت مواد شیمیایی مضر لزوم مدل‌سازی و پیش‌بینی این مخاطرات را مطرح می‌نماید. در این راستا بررسی میزان صحت این قبیل مدل‌ها از نظر میزان شباهت با شرایط واقعی و همچنین ارزیابی ترکیبی دقت نتایج حاصله (ناشی از داده‌ها و الگوریتم استفاده شده در مدل) حائز اهمیت می‌باشد. این مقاله مدلی براساس یکی از الگوریتم‌های شبیه‌سازی چندجهتی جریان‌های سطحی موسوم به D-Infinity را ارائه نموده است که از سطح بالاتری از صحت و نزدیکی به واقعیت نسبت به سایر مدل‌های مطرح برخوردار می‌باشد. همچنین در این تحقیق، دقت مدل مزبور با بکارگیری روش MonteCarlo بمنظور آنالیز حساسیت مدل در نتیجه استفاده از داده‌های استاندارد موجود در ایران (بالاخص مدل رقومی ارتفاع زمین) مطالعه گردیده است. برای این منظور محدوده مناطق خشک و بیابانی که مستعد ایجاد جریان‌های سطحی ناشی از وقوع پدیده‌هایی چون بارش می‌باشند لحاظ شده است. در این راستا منطقه مطالعاتی استان بوشهر انتخاب شده است. نتایج حاصله مؤید وجود ارتباط مستقیم میان تغییرات ارتفاعی، شیب و انحنای جهت جریان است که در شرایط واقعی نیز چنین وضعیتی حاکم است که سطح حساسیت هر یک تعیین گردیده‌اند. در این میان پارامتر شیب با آماره‌های کشیدگی $0/8477$ و برجستگی $4/1936$ بعنوان مناسب‌ترین پارامتر، از لحاظ تمایل به سمت ثبات و مقاومت در برابر نویز، برای ارزیابی ثبات جریان معرفی شده است.

واژگان کلیدی

مخاطره، جریان سطحی چند جهتی، D-Infinity، آنالیز حساسیت، روش

MonteCarlo.

۱- مقدمه و تعاریف

حدود ۹۱ میلیون هکتار از اراضی ایران در زمره مناطق سیل خیز کشور می‌باشند. پدیده‌ی سیل اغلب در بازه زمانی کوتاه و به سرعت رخ می‌دهد که می‌تواند محدوده مکانی کوچک و محلی و یا حتی بزرگ و ملی را متأثر نموده و خسارات وسیع انسانی، طبیعی و مالی ایجاد کند (Garambois et al., 2014; US Army Corps of Engineers, 1996). این امر بر حساسیت عمومی نسبت به این مخاطره طبیعی می‌افزاید. پدیده سیل و سیلاب علیرغم همه پیچیدگی‌ها، از جمله مخاطرات قابل مدل‌سازی و شبیه‌سازی است. مدل‌های مناسب برآورد خطر سیلاب می‌تواند در زمینه پیش‌بینی، کاهش خسارت ناشی از سیل و دوری جستن از نتایج ناخواسته آن کمک کند. بصورت مشابه حوادث مختلف از جمله ترکیدن و شکستن لوله‌های انتقال سیالات، شکستگی مخازن و نشت تانکرها نیز باعث تخلیه ناگهانی مواد خطرناک به صورت سیلاب در محیط زیست می‌شود و برآورد خسارات ناشی از آن‌ها نیازمند مدلی برای شبیه‌سازی نحوه جریان یافتن مواد بر روی سطح زمین می‌باشد.

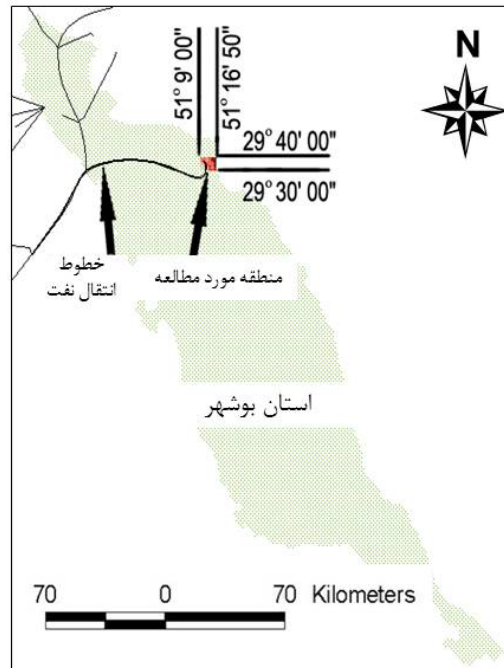
میزان انطباق خروجی‌های مدل شبیه‌سازی به دنیای واقعی تعیین کننده صحت مدل و برآوردهای حاصله است. بعلاوه کیفیت ترکیبی داده‌ها و الگوریتم‌های مورد استفاده در اجرای مدل، تعیین کننده دقت نتایج حاصله می‌باشد (Zhou and Liu, 2004; Hunter and Goodchild, 1997).

مدل‌های شناخته شده و رایج شبیه‌سازی جریان‌های سطحی از صحت مناسب برای انجام تحلیل‌های نزدیک به واقعیت برخوردار نیستند (Wilson, 2002; Tarboton and Ames, 2001; Tarboton et al., 1994; Tarboton et al., 1992). این امر ناشی از ساده‌سازی رفتار نسبتاً پیچیده حرکت جریان‌های سطحی و محدود کردن آن به حرکت در جهات حداکثر شیب، با هدف کاهش حجم محاسبات حجیم مورد نیاز در شبیه‌سازی جریان‌های سطحی، می‌باشد. الگوریتم موسوم به D8 نمونه شناخته شده حاصل از این رویکرد است که در اغلب محیط‌های نرم‌افزاری موجود مورد استفاده می‌باشد (Rivix, 2011). از این رو تحقیقاتی جهت بهبود این امر صورت گرفته است که به مطرح شدن الگوریتم‌های چندجهتی انجامیده است (Tarboton and Ames, 2001; Tarboton, 1997). در این راستا روش‌هایی چون D-Infinity (Tarboton, 1997) و D16 (Karim and Hashim, 2013) ارائه گردیده‌اند که نتایج حاصل از این روش‌ها مطابقت بیشتری با شرایط دنیای واقعی دارند.

در این تحقیق مدلی برای شبیه‌سازی نزدیک به واقعیت یک مخاطره ناشی از وقوع جریان‌های سطحی مبتنی بر الگوریتم‌های D-Infinity ارائه گردیده است (Tarboton, 1997). انتخاب این الگوریتم با در نظر گرفتن کیفیت خروجی حاصله و همچنین حجم محاسباتی مورد نیاز برای پیاده‌سازی این الگوریتم در کاربردهای اجرایی و واقعی انجام شده است. به علاوه دقت مدل مزبور از طریق به کارگیری روش MonteCarlo برای آنالیز حساسیت مدل (Zhou and Liu, 2004; Wechsler, 2000; Hunter and Goodchild, 1997) در نتیجه استفاده از داده‌های استاندارد موجود در ایران، بالاخص داده مدل ارتفاعی رقومی زمین، مطالعه گردیده است. در این راستا و با توجه به این امر که وقوع سیلاب ناشی از جریان‌های سطحی در مناطق خشک و بیابانی بدلیل بستر مسطح و مستعد زمین در آن‌ها برای ایجاد جریان‌های سطحی، محتمل‌تر می‌باشد، و با در نظر گرفتن احتمال وقوع مخاطراتی که منجر به روان شدن و نشت سیالات بر روی سطح می‌شوند، الگوریتم ارائه شده در محدوده مکانی واقع در استان بوشهر به اجرا درآمده است.

۲- محدوده مطالعاتی

محدوده مطالعه این تحقیق بخشی از استان بوشهر به مساحت ۶۰ کیلومتر مربع می‌باشد که چهار شیت از اطلاعات پایگاه داده اطلاعات توپوگرافی سازمان نقشه‌برداری کشور (NE62493, NW62492, SE62493, SW62492) آن را پوشش می‌دهد. محدوده مزبور از لحاظ دارا بودن تغییرات ارتفاعی مناسب (بیش از ۸۰۰ متر)، وجود اطلاعات بارش کافی از منطقه، دارا بودن آب و هوای خشک که زمین را مستعد شکل‌گیری جریان‌های سطحی می‌نماید و وجود تأسیسات و لوله‌های نفتی بعنوان منابع مخاطره‌زا در این کاربری مناسب تشخیص داده شده‌اند (شکل ۱).



شکل (۱) محدوده مطالعاتی تحقیق

۳- الگوریتم شبیه‌سازی چندجهتی جریان سطحی D-Infinity

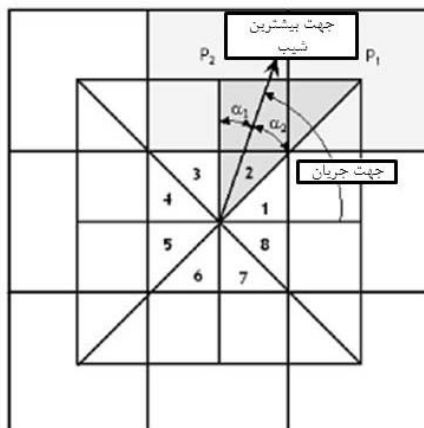
جهت شبیه‌سازی حرکت سیال بر روی سطح زمین در مدل از الگوریتم موسوم به D-Infinity در این تحقیق استفاده شده است (Tarboton, 1997). این الگوریتم از دسته الگوریتم‌هایی است که تحت عنوان جریان‌های چند جهتی^۱ شناخته می‌شوند که با هدف شبیه‌سازی حرکت جریان مطابق با واقعیت ایجاد شده‌اند (Tarboton, 1997; Pilesj and Qiming, 1996).

الگوریتم D-infinity مبتنی بر تعیین جریان براساس تقعر و تحدب زمین می‌باشد که برای این منظور از المان شیب و جهت شیب استفاده می‌نماید (شکل ۲). این الگوریتم، برخلاف سایر الگوریتم‌های مشابه از جمله الگوریتم D4 و D8 که تنها امکان حرکت سیال به یکی از سلول‌های همسایه چهارگانه یا هشت‌گانه را فراهم می‌آوردند، امکان توزیع جریان سیال به چند سلول مجاور را براساس زاویه خروج جریان تعریف می‌نماید. این امر به نزدیک شدن هرچه بیشتر نتایج به شرایط واقعی جریان سیالات بر روی سطح می‌انجامد. به

¹ Multiple Flow Direction

عنوان مثال در شکل ۲ جریان سطحی بر اساس جهت بزرگترین شیب ۸ سطح مثلثی شکل به دو پیکسل که به رنگ خاکستری نمایش داده شده اند تخصیص می‌یابد. نسبت تخصیص یافته به هر پیکسل بر اساس فرمول ۱ محاسبه می‌گردد.

$$p_1 = \frac{\alpha_1}{\alpha_1 + \alpha_2}, p_2 = \frac{\alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2} \quad \text{فرمول (۱)}$$



شکل (۲) تعیین جریان در روش D-infinity (Tarboton, 1997:311)

جریان بر اساس نسبت زوایای α_1 و α_2 تقسیم می‌شود.

الگوریتم D-Infinity همچنین منجر به کاهش فرآیندهای اضافی می‌شود که جهت اصلاح مدل‌های رقومی ارتفاع زمین برای استخراج جریانهای سطحی مورد نیاز می‌باشد. این امر سبب افزایش سرعت و دقت استخراج جریانهای سطحی با حفظ سادگی و جامعیت فرآیند می‌گردد (Tarboton, 1997).

۴- روش تحقیق

روش تحقیق اتخاذ شده در این مقاله دارای مراحل زیر است:

۱. طراحی و ایجاد مدلی برای شبیه‌سازی یک جریان سطحی بر اساس الگوریتم شبیه‌سازی

چندجهتی جریان سطحی D-Infinity

۲. ارزیابی دقت ترکیبی الگوریتم‌های محاسباتی مدل مزبور در شرایط اجرای آن برای محدوده

مطالعاتی و با استفاده از داده‌های نقشه‌ای استاندارد موجود در کشور.

در ادامه مراحل مذکور تشریح شده‌اند.

۴-۱- طراحی و ایجاد مدل

شکل ۳ شمایی از مدل طراحی شده در این مطالعه برای شبیه‌سازی جریان سطحی را نمایش می‌دهد.

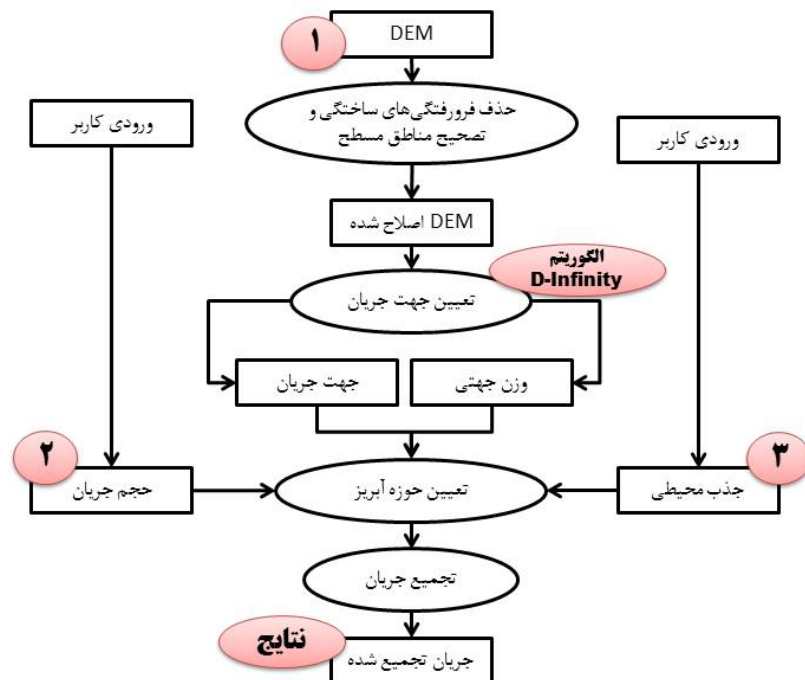
داده‌های ورودی این مدل به شرح زیر می‌باشند:

۱. مدل رقومی ارتفاع زمین^۱ که از لحاظ ساختاری قابلیت استخراج جریان‌ها و زهکش‌های واقعی

سطح زمین را دارا باشد (Liang and Mackay, 1999).

¹ Digital Elevation Model - DEM

۲. داده‌های مربوط به منبع تولید جریان‌های سطحی از جمله بارش و نشت سیالات می‌باشد.
۳. داده‌های مربوط به مشخصات سطحی زمین که بر روی میزان جذب و نفوذ جریان به لایه‌های مختلف تأثیر می‌گذارند از جمله جنس خاک و درجه اشباع آن در سطوح مختلف.



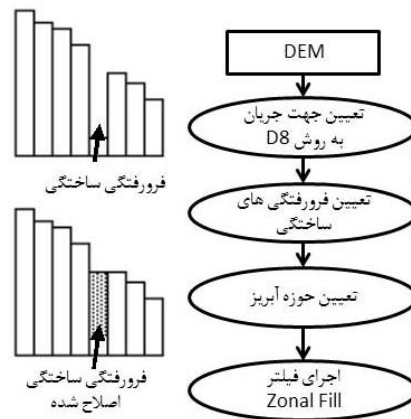
شکل (۳) مدل اجرا شده و جریان داده‌ها در مدل

در مدل ارائه شده، DEM نقش اصلی را ایفا می‌کند. وجود سایر داده‌ها و فاکتورها اختیاری است و تنها سبب افزایش سطح صحت مدل و نزدیکی بیشتر آن به شرایط واقعی می‌گردند. خروجی مدل نقشه حجم / عمق جریان تجمیع شده می‌باشد که محدوده حوزه آبریز و مسیر مسیر زهکش‌های هادی جریان نیز قابل استخراج از آن می‌باشند.

با وجود بهبودهایی که در کیفیت الگوریتم D-Infinity لحاظ گردیده که در بخش قبل تشریح شد، در مدل ارائه شده (شکل ۳) الگوریتم‌های تکمیلی اصلاحی مدل رقومی زمین نیز جهت اطمینان لحاظ گردیده‌اند. این الگوریتم‌ها عبارتند از:

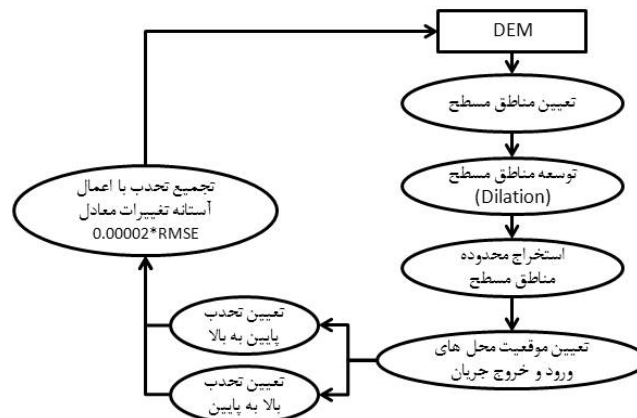
- الگوریتم حذف فرورفتگی‌های ساختگی^۱ در مدل‌های رقومی ارتفاع زمین که در نتیجه نمونه‌برداری‌های مجدد از مدل‌های رقومی ارتفاع زمین با ابعاد بزرگ (بیشتر از ۱۰ متر) ایجاد می‌گردند و در عمل امکان شبیه‌سازی حرکت مستمر جریان و استخراج اتوماتیک مسیرهای مربوطه را از بین می‌برند (شکل ۴) (Wechsler, 2000; Srivastava, 2000).

¹ Fill Sinks



شکل (۴) روش تصحیح فرورفتگی‌های ساختگی در مدل‌های رقومی زمین

- الگوریتم تصحیح حرکت روی سطوح مسطح^۱ که مبتنی بر اصل لزوم خروج جریان‌های ورودی به مناطق مسطح اعمال گردیده است. برای این منظور نقاط ورود و خروج جریان به مناطق مسطح استخراج شده و با افزودن مقادیر مشخصی به ارتفاعات ($0.00002 * RMSE$) سطوح محدب و مقعر ایجاد می‌گردد. این فرآیند به صورت تکراری (معمولاً با دوبار تکرار) انجام می‌شود (شکل ۵) (Garbrecht and Martz, 1997; Srivastava, 2000).



شکل (۵) الگوریتم تصحیح مناطق مسطح برای استخراج جریان

۴-۲- ارزیابی دقت ترکیبی الگوریتم‌های محاسباتی مدل

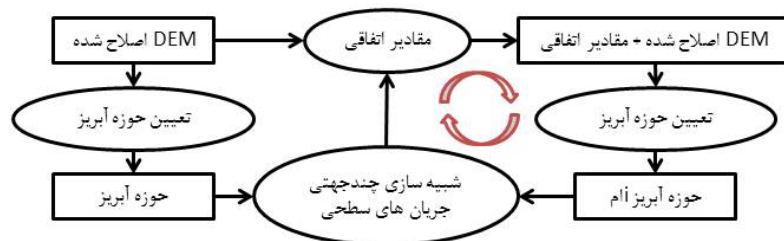
دقت یک مدل حاصل ترکیب الگوریتم محاسباتی و داده‌های ورودی به مدل است (Hunter and Goodchild, 1997; Croatto and Tarantola, 2001). بر این اساس جهت ارزیابی دقت مدل ارائه شده، اجرای مدل مزبور با استفاده از داده‌های نقشه‌ای استاندارد موجود در سطح ملی مطالعه می‌شود. در این راستا و در جریان بررسی داده‌های نقشه‌ای موجود، منابع داده ارائه شده در جدول (۱) شناسایی شدند.

¹ Remove Flats

جدول (۱) فهرست داده‌های استاندارد در سطح ملی قابل استفاده

نام مجموعه داده	سازمان مربوطه	مقیاس	بیضوی	سیستم تصویر
پایگاه داده اطلاعات توپوگرافی	سازمان نقشه‌برداری	۱:۲۵۰۰۰	WGS84	Geographic
مرزهای مدیریتی شهری	مرکز آمار	۱:۱۰۰۰۰۰	WGS84	UTM 39N
اطلاعات ایستگاههای بارش سنجی	سازمان هواشناسی	-----	WGS84	Geographic
نقشه‌های زمین‌شناسی	سازمان زمین‌شناسی	۱:۱۰۰۰۰۰	WGS84	UTM 39N
تأسیسات نفتی	شرکت ملی نفت	۱:۱۶۰۰۰۰۰	WGS84	Geographic

جهت تحلیل دقت اجرای مدل از روش تجزیه و تحلیل حساسیت موسوم به Monte Carlo استفاده شده است (Zhou and Liu, 2004; Wechsler, 2000; Hunter and Goodchild, 1997). برای این منظور خطای مدل رقومی زمین به عنوان منبع خطای ورودی به مدل لحاظ می‌شود و تحلیل‌های زیر صورت می‌گیرند (شکل ۶):



شکل (۶) مراحل انجام تجزیه و تحلیل حساسیت به روش MonteCarlo

- ایجاد سطوح ارتفاعی اتفاقی (DEM Random Field) که دارای توزیع نرمال با میانگین صفر و انحراف معیار RMSE مدل رقومی زمین استفاده شده می‌باشند (Zhou and Liu, 2004; Hunter and Goodchild, 1997). برای این منظور دو مرحله انجام می‌شود و در ابتدا خطاهای مستقل با مشخصات توزیعی عنوان شده $(N[0, RMSE])$ برای تمام سلولها ایجاد می‌گردد. سپس با استفاده از یک فیلتر پایین‌گذر^۱ میانگین ۳×۳ ، همبستگی مکانی میان آنها ایجاد می‌شوند.
- با توجه به ماهیت تکراری روش MonteCarlo، تعیین تعداد تکرارهایی که بر این اساس می‌توانند از لحاظ آماری نتیجه مناسب را ارائه دهند، الزامی است. برای این منظور می‌بایست متناسب با کاربری مورد نظر، مدلی آماری را ارائه نمود که دارای ماهیت همگرایی با افزایش تکرارها باشد. در این شرایط با استفاده از قاعده روند تضعیف شوندرگی^۲ (Wechsler, 2000) مقدار مناسب برای تکرار انتخاب می‌شود. در این تحقیق معیار مورد نظر سطح تغییراتی است که در آبریز یک جریان سطحی در نتیجه وجود خطاها در داده‌ها و محاسبات ایجاد می‌گردد. این معیار بصورت تجمعی در هر تکرار از فرمول ۲ تعیین می‌گردد:

$$C(n) = \prod_{i=1}^n \text{Watershed}(i) \quad \text{فرمول (۲)}$$

^۱ Low-Pass Filter^۲ Law of Diminishing Returns

که n ، تعداد تکرار؛ Watershed(i)، حوزه آبریز استخراج شده برای سطح ارتفاعی اتفاقی شماره i و $C(n)$ ، نتیجه همپوشانی حوزه‌های آبریز می‌باشد.

جهت تعیین فاکتوری که بتواند ارتباطی مناسب را با فاکتور ثبات جریان بعنوان پارامتر مبنا ارائه دهد و بمنظور بررسی حساسیت جریان نسبت به سایر پارامترهای مرتبط با تغییرات ارتفاعی زمین، در مقایسه با تغییرات نرمال که بعنوان پیش فرض مورد استفاده قرار گرفته است، سه پارامتر مهم ارتفاع، شیب و انحنای زمین مورد بررسی قرار گرفتند. بعلاوه از میان معیارهای آماری تفسیر کننده یک توزیع، معیارهای کشیدگی^۱ و برجستگی^۲ برای تفسیر روند کلی توزیع و همچنین نويز موجود در آنها به کار گرفته شده است. عدم انتخاب آماره‌های میانگین و انحراف معیار بدلیل تأثیرپذیری آنها از توزیع داده‌ها می‌باشد (Wechsler, 2000). برای رفع این امر از آماره‌های نرمال شده مانند نسبت میانگین به انحراف معیار برای تشریح تغییرات استفاده می‌شود. آماره‌های کشیدگی و برجستگی که در این تحقیق استفاده شده‌اند نیز نمونه‌ای از این آماره‌های نرمال شده مبتنی بر میانگین و انحراف معیار می‌باشند.

آماره‌های کشیدگی و برجستگی به ترتیب به تقارن توزیع نسبت به میانه (فرمول ۳) و میزان برجستگی و همواری تغییرات (شکل ۴) در مقایسه با توزیع نرمال می‌پردازند (Lee and Wu, 1982; Wechsler, 2000; Montgomery and Runger, 2003).

$$\text{Skewness} = \frac{E(x - \mu)^3}{\sigma^3} \quad \text{فرمول (۳)}$$

$$\text{Kurtosis} = \frac{E(x - \mu)^4}{\sigma^4} \quad \text{فرمول (۴)}$$

که در آنها x ، مقادیر توزیع؛ μ ، میانگین و σ ، انحراف معیار توزیع می‌باشند. مقدار آماره کشیدگی کوچکتر از صفر تمایل نمونه‌برداری‌ها به سمت راست میانه، کشیدگی برابر با صفر تقارن نمونه‌برداری‌ها در اطراف میانه و کشیدگی بزرگتر از صفر تمایل نمونه‌برداری‌ها به سمت چپ میانه را نمایش می‌دهد. بعلاوه مقدار آماره برجستگی کوچکتر از ۳ وجود تغییرات ناگهانی (نويز) در نمونه‌برداری‌ها، برجستگی برابر با ۳ وجود تغییرات ناگهانی (نويز) در نمونه‌برداری‌ها را در سطح نرمال و برجستگی بزرگتر از ۳ کاهش تغییرات ناگهانی (نويز) در نمونه‌برداری‌ها را نشان می‌دهد.

براساس موارد فوق و با توجه به بررسی تغییرات در حالت مسطحاتی و دوبعدی، پارامتری از درجه بالاتر اعتمادپذیری برخوردار خواهد بود که دارای کشیدگی و برجستگی بزرگتر باشد. برای این منظور، مقایسه بین آماره‌های استخراج شده از بررسی سه عامل تغییرات ارتفاع، شیب و انحنا انجام می‌شود.

۵- اجرای مدل و ارزیابی حساسیت

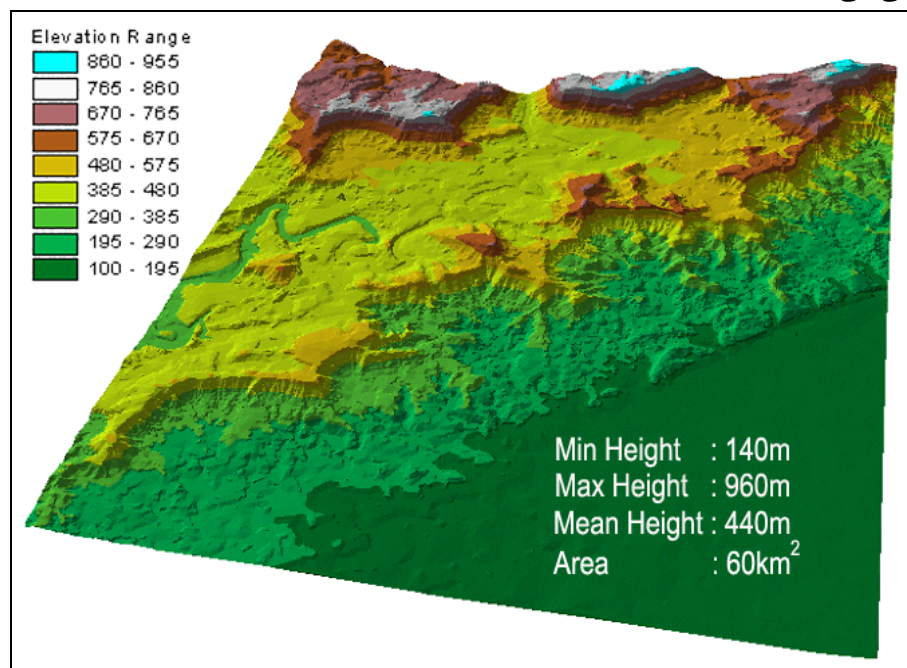
اطلاعات مورد نیاز برای اجرای مدل مطابق با جدول ۱ اخذ گردیده‌اند. در این میان امکان اخذ اطلاعات زمین‌شناسی محدوده مطالعاتی بدلیل برخی ملاحظات دسترسی به داده‌ها در مناطق نفت‌خیز فراهم نگردید. مدل رقمی ارتفاع زمین (شکل ۷) مورد نیاز با ایجاد TIN^۳ از نقاط ارتفاعی، منحنی میزان‌ها ۲۰ متری و آبراهه‌ها بعنوان خطوط طبیعی شکست سطح زمین حاصل از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور

¹ Skewness

² Kurtosis

³ Triangulated Irregular Network - TIN

در محدوده مرز استان بوشهر تهیه گردید. دقت مسطحاتی مدل رقومی ارتفاع زمین استخراج شده از داده‌های ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور معادل ۱۰ متر و دقت ارتفاعی آن به صورت متغیر بین ۵ (با لحاظ نمودن نقاط ارتفاعی و منحنی میزان‌ها) تا ۱۰ (بدون لحاظ نمودن نقاط ارتفاعی) متر توسط تهیه کننده برآورد شده است. بر این اساس در این تحقیق ابعاد سلولی ۱۰ متری جهت ایجاد مدل شبکه‌ای از TIN با استفاده از درون‌یابی به روش مثلث بندی لحاظ گردید. همچنین مجذور متوسط مربع اختلافات ارتفاعی^۱ مدل ارتفاعی مورد استفاده در این تحقیق در مقایسه با نقاط کنترل ارتفاعی موجود، ۴/۶۵۷۸ متر محاسبه گردید. بهبود نسبی دقت ارتفاعی این مدل نسبت ناشی از بکارگیری زهکش‌ها در ایجاد TIN علاوه بر منحنی میزان و نقاط ارتفاعی می‌باشد.

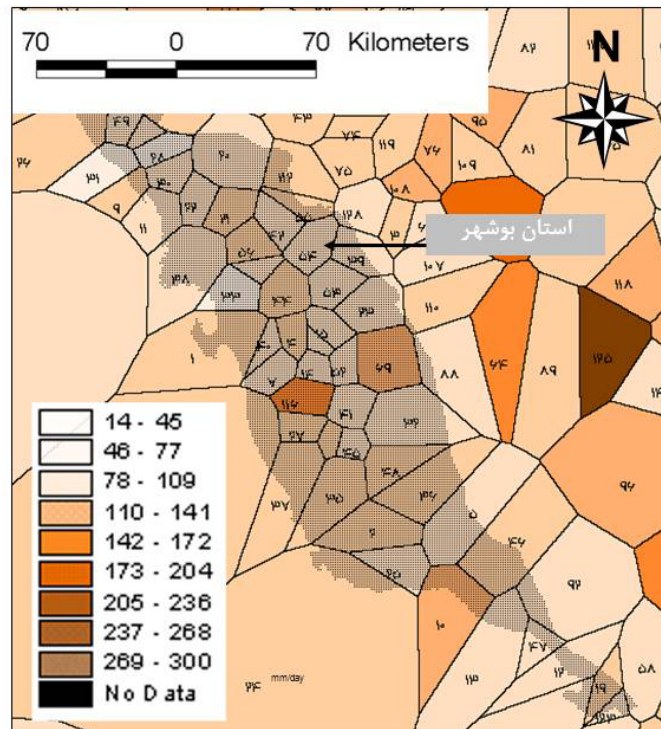


شکل (۷) مدل TIN ایجاد شده در ناحیه‌ای از استان بوشهر

آماده‌سازی اطلاعات بارش که در قالب گزارشات جدولی از میزان بارش ثبت شده در ۳۰۰ ایستگاه اندازه‌گیری واقع در استانهای بوشهر، فارس، لرستان، خوزستان، کهگیلویه و بویراحمد و هرمزگان در روزهای مختلف سال (از سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۲) از سایت سازمان هواشناسی کشوری اخذ گردید. با استخراج مختصات ایستگاه‌های اندازه‌گیری، اختصاص مقادیر ثبت شده به آنها و سپس تخصیص فضا با استفاده از دیاگرام ورونی^۲ انجام شد (US Army Corps of Engineers, 1994). نقشه نهایی، شبکه‌ای از میزان بارش برحسب میلی‌متر در ثانیه با ابعاد مشابه مدل رقومی تولید شده (۱۰×۱۰ متر) است. با در نظر گرفتن هدف استفاده از این مجموعه داده اطلاعات بارش که پیش‌بینی جریان‌های سطحی ناشی از بارش و سیلاب‌ها بوده است، حداکثر مقدار بارش ثبت شده در هر ایستگاه مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۸).

^۱ Root Mean Square Error - RMSE

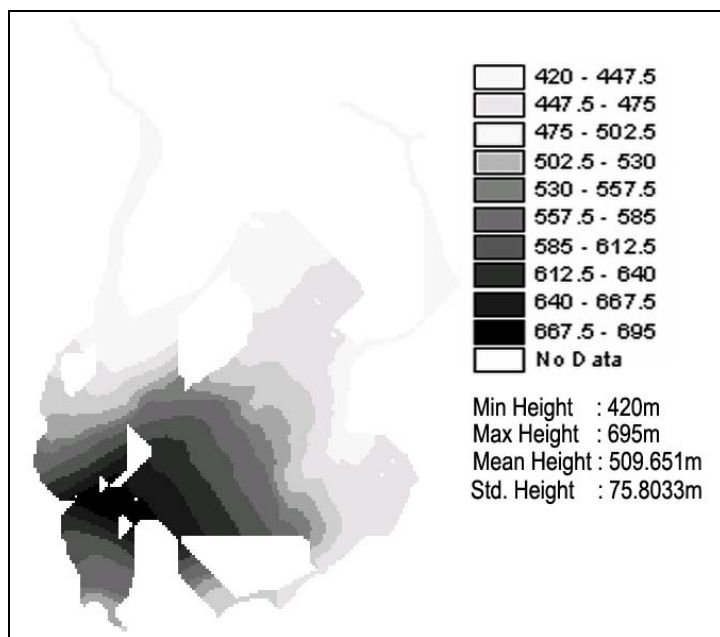
^۲ Voronoi Diagram



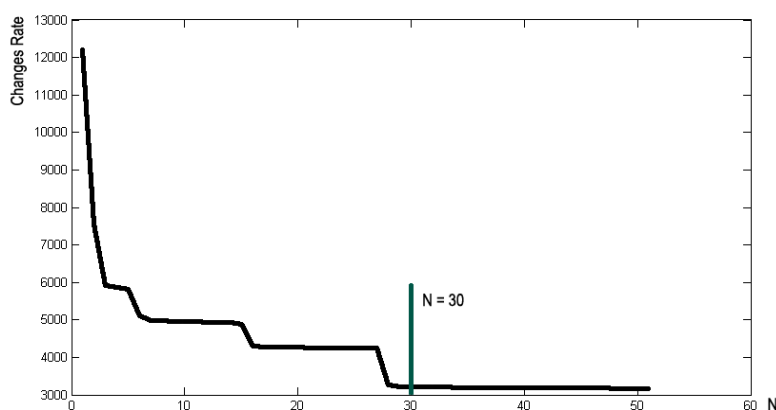
شکل (۸) نتیجه فرآیند آماده‌سازی اطلاعات بارش (حداکثر بارش‌های روزانه روی شکل مشخص شده‌اند)

آماده‌سازی داده‌های مربوط به تأسیسات نفتی نیز در قالب هماهنگ‌سازی بیضوی و سیستم تصویر آنها برای ایجاد امکان همپوشانی با سایر مجموعه‌های داده انجام گردید (شکل ۱). جهت حفظ جامعیت کاربری مزبور و با توجه به عدم در اختیار بودن اطلاعات زمین‌شناسی، تمهیدات لازم برای ایجاد زمینه مناسب برای استفاده از این اطلاعات در آینده لحاظ گردید. با این وجود برای نمایش قابلیت‌های کاربری مزبور و در جهت اخذ نتایج نمایشی در این تحقیق این اطلاعات شبیه‌سازی گردید.

بمنظور اجرای مدل یکی از حوزه‌های آبریز دارای گستردگی و تغییرات ارتفاعی مناسب در حوزه مورد مطالعه انتخاب گردید (شکل ۹). سپس ۵۰ سطح اتفاقی ایجاد گردید و حوزه آبریز عنوان شده از آنها استخراج گردید. با توجه به نتایج حاصل از مقایسه تجمعی جهت یافتن نرخ تغییرات حوزه (شکل ۱۰) و همگرایی ایجاد شده، تعداد تکرارها و سطوح مورد نیاز ۳۰ عدد تعیین گردید.

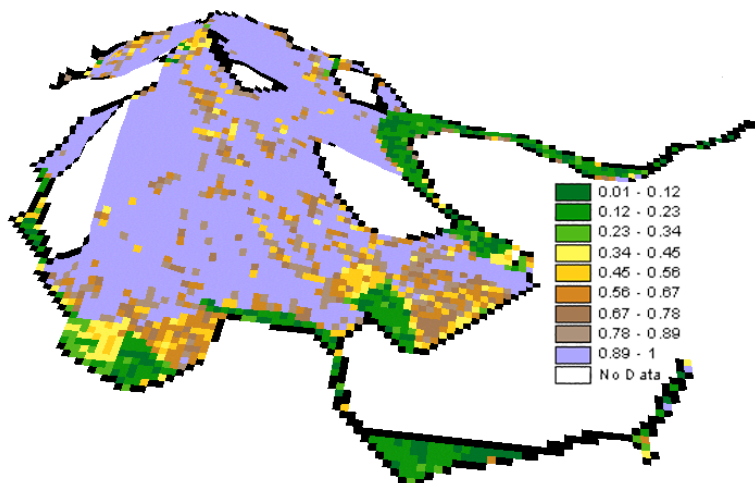


شکل (۹) حوزه آبریز انتخاب شده



شکل (۱۰) تعیین تعداد سطوح اتفاقی مورد نیاز روش MonteCarlo که معادل ۳۰ سطح تعیین گردید

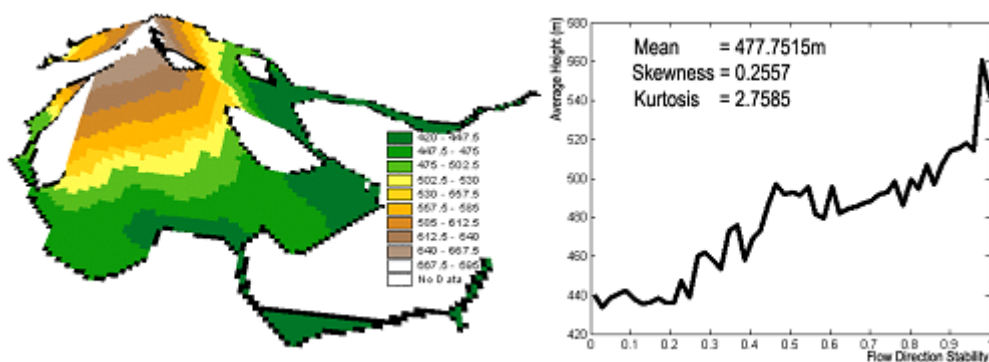
در این مرحله به منظور تعیین حساسیت جریان در حوزه مورد نظر و با استفاده از ۳۰ سطح ارتفاعی اتفاقی، خطای حاصله در قالب درجه ثبات جریان و با بررسی تغییراتی که در هر تکرار در جریان‌ها رخ می‌دهد، محاسبه گردید. هر یک از سلول‌های حوزه آبریز نشان داده شده در شکل ۱۱، بیان‌کننده درجه اطمینان به جهت‌های تعیین شده برای جریان می‌باشد.



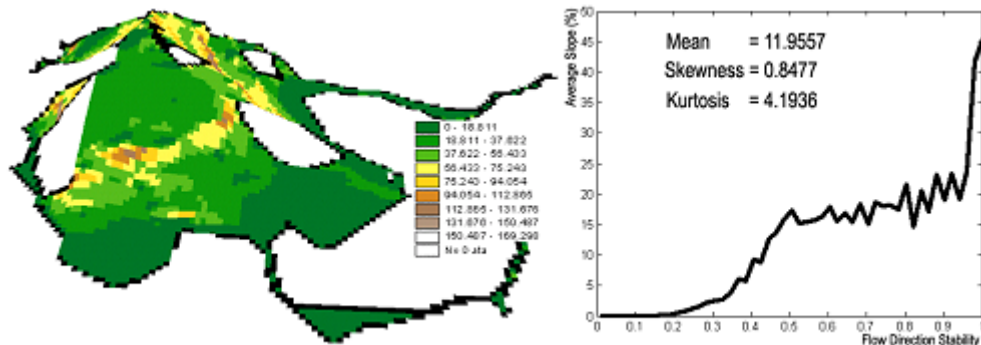
شکل (۱۱) درجه ثبات جریان در حوزه آبریز مورد مطالعه در نمای سه بعدی

۶- نتایج و بحث

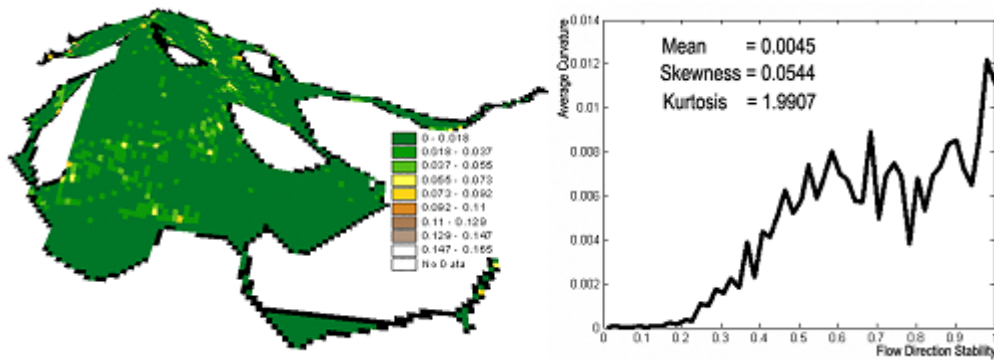
ارتباط میان میزان حساسیت جریان‌های سطحی با پارامترهای ارتفاع، شیب و انحنا به ترتیب در شکل‌های ۱۲، ۱۳ و ۱۴ ارائه گردیده است. در این اشکال نقشه سه‌بعدی تغییرات هر پارامتر به همراه نمودارهای همبستگی ثبات جریان و پارامتر مزبور نمایش داده شده‌اند.



شکل (۱۲) تغییرات ارتفاعی نسبت به تغییرات درجه ثبات جریان در نمای سه بعدی



شکل (۱۳) تغییرات شیب زمین نسبت به تغییرات درجه ثبات جریان در نمای سه بعدی



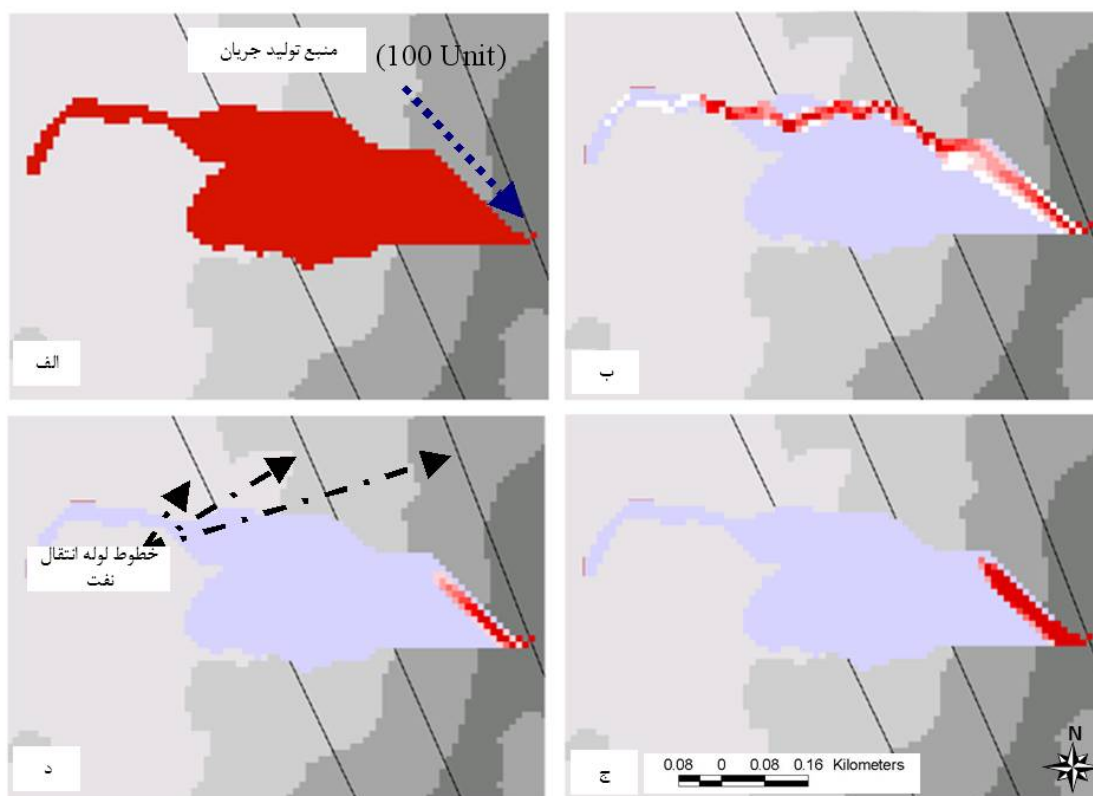
شکل (۱۴) تغییرات انحنای زمین نسبت به تغییرات درجه ثبات جریان در نمای سه بعدی

نتایج حاصله مؤید برقراری ارتباطی مستقیم میان تغییرات ارتفاعی، شیب و انحنای جهت جریان است که در واقعیت نیز چنین شرایطی حاکم است. این امر ناشی از بکارگیری جهت شیب به عنوان عامل تعیین کننده جهت جریان می باشد.

بررسی مقایسه‌ای پارامتر کشیدگی در نمودارهای اشکال ۱۲، ۱۳ و ۱۴ (ارتفاع، شیب و انحنای)، بیان کننده تمایل توزیع هر سه پارامتر به سمت ثبات جریان در ارتفاعات بالای حوزه آبریز ($Skewness > 0$) می باشد که در این میان پارامتر شیب تمایل بیشتری را ($Skewness = 0.8477$) نمایش می دهد. بعلاوه بررسی پارامتر برجستگی در این نمودارها نشان می دهد که پارامترهای انحنای، ارتفاع و شیب به ترتیب از احتمال بالاتری برای آلوده بودن به نوبت در نمونه برداری های توزیع مربوطه ($Kurtosis < 3$) برخوردار می باشند. بررسی دیداری نمودارهای مزبور و تغییرات ناگهانی حاصل شده در توزیع نیز مؤید این امر می باشد. در کل نتایج حاصل از بررسی دو پارامتر کشیدگی و برجستگی در میان تغییرات ارتفاع، شیب و انحنای در قبال تغییرات ثبات جریان، نمایش دهنده بالاتر بودن درجه اعتماد به نتایجی است که از نمودار ثبات جریان و شیب نتیجه شده است.

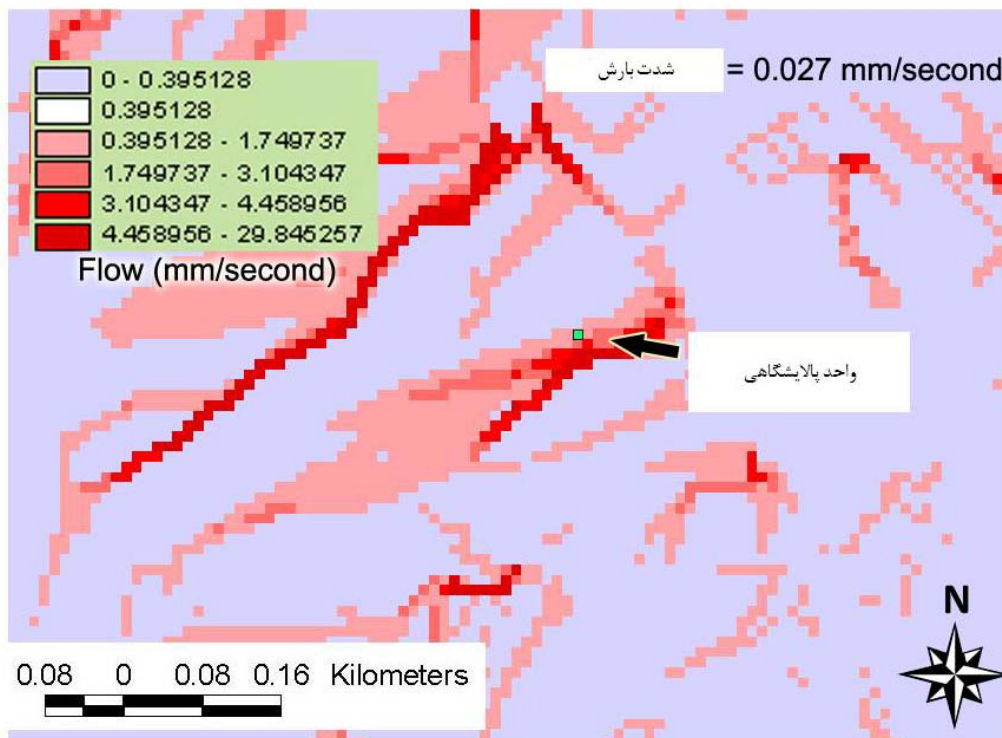
همچنین با بررسی وضعیت مکانی ثبات و حساسیت جریان، مشخص می شود که این حساسیت در مناطق مرزی حوزه که پارامترهای ارتفاع، شیب و انحنای در آنها کاهش می یابند، تشدید می شود. در این کاربری مناطقی که از درجه ثبات کمتر از ۰/۵ برخوردار می باشند حدود ۱۵ درصد حوزه را تشکیل می دهند. بخش قابل توجهی از این مناطق را مناطق مسطح تشکیل می دهند که در مراحل قبلی شناسایی و تحت فرآیند تعیین جریان در این مناطق تصحیح شده اند. این حساسیت ناشی از استراتژی بکار گرفته شده در ایجاد حداقل تغییرات ارتفاعی برای حذف نقاط مسطح بوده است. پیش بینی می شود که حساسیت بالا در این مناطق را بتوان با ایجاد تغییرات لازم در روش مزبور و یا استفاده از سایر روش های دارای حساسیت کمتر کاهش داد.

شکل ۱۵ نمایش دهنده شبیه سازی است که در نتیجه تعریف یک منبع نشست مواد نفتی از لوله های موجود در منطقه ایجاد شده است. در این شبیه سازی یک منبع جریان نقطه ای (شکل ۱۵-الف) تعیین گردیده و در ادامه حوزه حرکت جریان (شکل ۱۵-الف) استخراج شده است و جریان مورد نظر در قالب جریان پیوسته (شکل ۱۵-ب)، جریان کاهنده و گسسته که در نتیجه تعامل جریان با پدیده جذب سطحی جریان ایجاد می شود (شکل ۱۵-ج) و همچنین نتیجه مکمل آن که میزان اشباع شدگی خاک در نتیجه حرکت جریان است (شکل ۱۵-د) تعیین و ارائه شده است.



شکل (۱۵) الف) حوزه آبریز؛ ب) جریان پیوسته؛ ج) جریان گسسته؛ د) سطح جذب

شکل ۱۶ نمایش دهنده شبیه‌سازی است که در آن با استفاده از اطلاعات مربوط به بارش، جریان‌های سطحی بوجود آمده در یکی از مناطق که در آن تأسیسات نفتی وجود دارد، استخراج شده است. با وجود قرار گرفتن محل مزبور در منطقه‌ای تقریباً مسطح و سطح بارش کم در منطقه، بررسی وضعیت بوجود آمده نمایش دهنده عبور جریانی با پهنای حدود ۵۰ متر می‌باشد که در قدرتمندترین بخش خود حدود ۱۰ میلیمتر آب باران را در ثانیه منتقل می‌نماید.



شکل (۱۶) جریانهای سطحی ناشی از بارش و تأثیر آن روی یکی از تأسیسات نفتی

۷- جمع‌بندی

نتایج حاصله از جنبه انطباق بیشتر خروجی‌ها با واقعیت رخداد یک جریان سطحی، صحت بالاتری را در تحلیل‌های مختلف مرتبط با مدیریت مخاطرات به همراه می‌آورند. نتایج بررسی‌های کیفی نیز، خطا و ابهام در اجزای مختلف تصمیم‌گیری، دسترسی و آماده‌سازی مجموعه‌های داده پایه و الگوریتم محاسباتی را ارائه کرده است. فرآیند تصویرسازی دقت الگوریتم محاسباتی به کار گرفته شده (D-infinity) به روش MonteCarlo نیز حساسیت فرآیند اجرا شده در مواجهه با مناطق مسطح روی سطح زمین و همچنین معرفی پارامتر شیب با آماره‌های کشیدگی ۰/۸۴۷۷ و برجستگی ۴/۱۹۳۶ بعنوان مناسبترین پارامتر جهت برآورد ثبات جریان شبیه‌سازی شده در برابر نویز را نتیجه داده است.

بعلاوه فرآیندهای اخذ، آماده‌سازی مجموعه‌های اطلاعاتی لازم و به کارگیری آنها در الگوریتم پیاده‌سازی شده، نمایش دهنده کارایی اطلاعات پایگاه ملی داده توپوگرافی ایران در جهت اعمال مدل‌های هیدرولوژیک بوده است. در این راستا تحقیقات تکمیلی جهت بهبود زمان اجرا از طریق ترکیب روش‌های اصلاحی دیگر در این روش، ساختارهای تعیین جهت مختلف و الگوریتم‌های محاسباتی مؤثرتر پیشنهاد می‌گردد.

۸- فهرست منابع

1. Croaetto, M. and S. Tarantola, 2001. *Uncertainty and sensitivity analysis: tools for GIS-based model implementation*. *International Journal of Geographical Information Systems* 15(5): 415-437.
2. Garbrecht, J. and L. W. Martz, 1997. *The Assignment of Drainage Direction over Flat Surfaces in Raster Digital Elevation Models*. *Journal of Hydrology*, Volume 193, pp. 204-213.
3. Garambois, P. A., et al., 2014. *Analysis of flash flood-triggering rainfall for a process-oriented hydrological model*. *Atmospheric Research* 137(0): 10.
4. Hunter, G. J. and M.F. Goodchild, 1997. *Modeling the Uncertainty of Slope and Aspect Estimates Derived from Spatial Databases*. *Geographical Analysis*, Volume 29, pp. 35-40.
5. Karim, W. and M. G. Hashim, 2013. *Development of A New D16 Algorithm for Single Flow Direction Model*. *International Symposium & Exhibition on Geoinformation(ISG)*. Kuala Lumpur, Malaysia.
6. John P. Wilson, 2002. *Terrain Analysis Tools for Routing Flow and Calculating Upslope Contributing Areas*. *Terrain Analysis for Water Resources Applications Symposium 2002*.
7. Lee, C. F. and C. Wu, 1982. *The impacts of skewness and kurtosis on the risk estimation and determination*. *College of Commerce and Business Administration, Bureau of Economic and Business Research, University of Illinois at Urbana-Champaign*.
8. Liang C. and D.S. Mackay, 1999. *A General Model of Watershed Extraction and Representation Using Globally Optimal Flow Paths and Upslope Contributing Areas*. *International Journal Geographical Information Science*, 2000, Volume 14, No. 4, pp.337 - 358.
9. Montgomery, D. and G. Runger, 2003. *Applied statistics and probability for engineers*. *United States of America, John Wiley & Sons*.
10. Pilesj, P. and Z. Qiming, 1996. *A Multiple Flow Direction Algorithm and its Use for Hydrological Modeling*. *Proceedings of Geoinformatics'96 Conference, West Palm Beach, Florida, USA, April 26-28, 1996*, pp 366-376.
11. Rivix LLC, 2011. *D8 and D-Infinity Algorithms*. [http:// www.rivix.com/D8_vs_Dinf.htm](http://www.rivix.com/D8_vs_Dinf.htm)
12. Srivastava, A., 2000 *Comparison of Two Algorithms for Removing Depressions and Delineating Flow Networks from Grid Digital Elevation Models*. *MSc Thesis, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute, USA*.
13. Tarboton, D. G., R. L. Bras and I. Rodriguez-Iturbe, 1991. *On the extraction of channel networks from Digital Elevation Data*. *Hydrologic Processes*, 5(1), 81-100
14. Tarboton, D. G., R. L. Bras and I. Rodriguez-Iturbe, 1992. *A Physical Basis for Drainage Density*. *Geomorphology*, 5(1/2), 59-76
15. Tarboton, D.G., 1997. *A New Method for the Determination of Flow Directions and Upslope Areas in Grid Digital Elevation Models*. *Utah Water Research Laboratory, Utah State University, Logan, UT 84322-4110, USA*.
16. Tarboton, D. G. and Ames, D. P., 2001. *Advances in the mapping of flow networks from digital elevation data*. *World water and environmental resources congress, Orlando, Florida*.
17. Zhou, Q. and X. Liu, 2004. *Analysis of errors of derived slope and aspect related to DEM data properties*. *Computers & Geosciences* 30: 369-378.

18. US Army Corps of Engineers, 1994. *Rainfall Analysis. Manual No. 1110-2-1417, Washington, USA.*
19. US Army Corps of Engineers, 1996. *Risk-Based Analysis for Flood Damage Reduction Studies. Manual No. 1110-2-1619, Washington, USA.*
20. Wechsler, S. P., 2000. *Effect of DEM Uncertainty on Topographic Parameters. Ph.D. Dissertation, State University of New York, College of Environmental Science and Forestry, USA.*