تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۴۶، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۴ (ص ۳۴۲-۳۳۱)

اثر ابعاد سلولی مدل‌های ارتفاعی رقومی بر متوسط شمارهٔ منحنی به‌دست‌آمده از روش مبتنی بر تئوری مازاد رطوبت اشباع (روش WI-CN)

اصغر عزیزیان[۱]، علی‌رضا شکوهی[۲]، ابراهیم امیری تکلدانی[*۳]

۱. دانشجوی دکتری سازه‌های آبی گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشکدهٔ مهندسی کشاورزی و فناوری دانشگاه تهران

۲. استاد گروه مهندسی آب دانشکدهٔ فنی و مهندسی دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) قزوین

۳. دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشکدهٔ مهندسی کشاورزی و فناوری دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۷/۲ـ تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۸/۲۷)

چکیده

هدف این تحقیق بررسی اثر توان تفکیک مدل‌های ارتفاعی رقومی (DEMs) بر مقادیر شمارهٔ منحنی به‌دست‌آمده از روش WI-CN بود. این روش نوین به علت استفاده از مفاهیم مازاد رطوبت مدل نیمه‌توزیعی TOPMODEL به شاخص توپوگرافی و متعاقب آن مقیاس DEM استفاده‌شده وابستگی زیادی دارد. نتایج کاربرد این روش در حوضهٔ آبریز کسیلیان به ازای ابعاد سلولی مختلف حاکی از آن بود که متوسط شمارهٔ منحنی حوضهٔ به‌دست‌آمده از روش مزبور در ابعاد سلولی ۵۰ متر در حدود ۵۹٫۸ و در ابعاد سلولی ۳۰۰ متر در حدود ۷۱٫۸ است و این بدان معناست که اختلاف بین روش WI-CN و روش‌های متداول در برآورد CN با کاهش توان تفکیک DEM (بزرگ‌شدن ابعاد سلولی) افزایش می‌یابد. مثلاً، حداکثر اختلاف بین روش WI-CN و روش‌های متداول در برآورد شمارهٔ منحنی حوضه با استفاده از DEM با ابعاد ۵۰ متر ۸٫۳ درصد و در صورت استفاده از DEM با ابعاد ۳۰۰ متر ۲۹٫۹ درصد است. بنابراین، با توجه به افزایش اختلاف بین روش‌های مذکور در اثر افزایش ابعاد سلولی باید هنگام استفاده از روش‌های مبتنی بر رطوبت مازاد اشباع برای استخراج نقشه‌های رستری CN، به‌خصوص در حوضه‌های فاقد آمار، دقت لازم به عمل آید و تعیین بهینهٔ آن بر اساس توان تفکیک داده‌ها صورت پذیرد.

کلیدواژگان: توان تفکیک مدل‌های رقومی ارتفاعی، روش WI-CN و مدل نیمه‌توزیعی TOPMODEL، شمارهٔ منحنی SCS.

مقدمه

با افزایش شهرها و جوامع انسانی، به‌ویژه در حاشیهٔ رودخانه‌ها، مدل‌سازی سیلاب و مدیریت و کنترل آن اهمیت و جایگاهی ویژه یافته است. با توجه به این موضوع، مدل‌های مفهومی و روابط تجربی متعددی ارائه شده است. تخمین صحیح و مناسب پارامترهای مدل برای کارکرد مناسب آن بسیار مهم است و نتایج به نحوهٔ تخمین پارامترها وابستگی بسیار دارد. یکی از روابط تجربی، که کاربرد آن در دنیا عمومیت یافته، روش شمارهٔ منحنی SCS است که محققان سازمان حفاظت خاک ایالات متحدهٔ آمریکا آن را ابداع کردند. روش شمارهٔ منحنی SCS نسبت به دیگر روش‌های برآورد رواناب چندین مزیت دارد. این روش یک روش مفهومی ساده برای تخمین مقدار رواناب مستقیم ناشی از یک رگبار است و در توسعهٔ آن داده‌های تجربی بسیار زیاد به کار رفته است. این روش وابسته به پارامتری به نام شمارهٔ منحنی (CN) است. پارامتر CN نیز خود تابعی از خصوصیات اصلی حوضه در تولید رواناب ـ مانند گروه‌های هیدرولوژیک خاک، کاربری اراضی حوضه (کشاورزی، جنگلی، شهری)، وضعیت هیدرولوژیکی، وضعیت رطوبت پیشین خاک ـ است (SCS, 1986). در حال حاضر بسیاری از مدل‌های حوضه‌ای، مانند AGNPS (Young *et al*., 1987) و EPIC (Williams, 1995) و SWAT (Arnold *et al*., 1996) و WMS از روش شمارهٔ منحنی SCS برای محاسبهٔ میزان رواناب حوضه در مقیاس روزانه استفاده می‌کنند. بررسی‌های به‌عمل‌آمده حاکی از آن است که امروزه برای برآورد مقادیر شمارهٔ منحنی حوضه به حجم وسیعی از داده‌های خاک‌شناسی، بازدیدهای میدانی وسیع، تصاویر ماهواره‌ای، و تحلیل‌های مختلف احتیاج است (Yaghobzade, 2008; Mishra and Singh, 1999; Woodward *et al*., 2003; Zhan and Huang, 2004). علاوه بر موارد فوق، دقت و مقیاس تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های موجود و نیز امکان دسترسی به اطلاعات مختلف می‌تواند مقادیر به‌دست‌آمده از این روش‌ها را با خطای معنادار روبه‌رو کند.

* نویسندهٔ مسئول: amiri@ut.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

محققان نشان داده‌اند روش شمارهٔ منحنی SCS را می‌توان با مفهوم مازاد رطوبت اشباع[1] مرتبط کرد (Hjelmfelt , 1980; Steenhuis *et al*., 1995; Steve *et al*., 2004; Azizian and Shokoohi, 2014). یکی از مدل‌های مهم، که از مفهوم مازاد رطوبت اشباع برای شبیه‌سازی فرایند بارش و رواناب استفاده می‌کند، مدل نیمه‌توزیعی TOPMODEL است (Beven, 1997). در این مدل شاخصه‌های فیزیوگرافی از منظر مدل‌سازی، یعنی TCA[2] و SCA[3] و شیب سطح‌الارض، اهمیت بسیار دارد و وضعیت توپوگرافیکی حوضه نقشی اساسی در شکل‌گیری رواناب در این مدل ایفا می‌کند. در مدل TOPMODEL اثر همهٔ پارامترهای مزبور در اندکسی به نام شاخص توپوگرافی تجلی می‌یابد.

تحقیقات نشان می‌دهد TOPMODEL به علت وابسته‌بودن به شاخص توپوگرافی تحت تأثیر ابعاد سلولی مدل‌های رقومی ارتفاعی (DEMs) است. Wolock and Price (1994) اثر مقیاس نقشهٔ DEM[4] و ابعاد سلولی مختلف را بر نتایج مدل‌سازی هیدرولوژیکی، با استفاده از TOPMODEL، بررسی کردند. نتایج نشان داد مقادیر کمبود رطوبت، نسبت مقدار دبی دامنه‌ای به دبی جریان رودخانه‌ای، حداکثر دبی، و دبی جریان رودخانه‌ای تحت تأثیر مقیاس نقشه و نیز ابعاد سلولی آن است. همچنین این محققان نشان دادند افزایش ابعاد سلول موجب کاهش شیب متوسط سلول‌ها و افزایش شاخص توپوگرافی به‌کاررفته در TOPMODEL می‌شود. Pradahan *et al* (2008) نیز در حوضهٔ آبریز کامیشیبای ژاپن اثر ابعاد سلول DEM را بر میزان رواناب شبیه‌سازی‌شده به کمک TOPMODEL بررسی کردند. نتایج نشان داد در صورت استفاده از سلول‌های با ابعاد ۵۰ متر فقط ۷ درصد حوضه در تولید رواناب مشارکت می‌کند؛ در حالی که در صورت استفاده از سلول‌های با ابعاد ۱۰۰۰ متر این رقم به ۵۹ درصد افزایش می‌یابد. Azizian *et al*. (2013) اثر ابعاد سلولی مدل‌های رقومی ارتفاعی را بر توزیع شاخص توپوگرافی و نیز شبیه‌سازی رواناب با استفاده از مدل نیمه‌توزیعی TOPMODEL در حوضهٔ آبریز کورکورسر در حاشیهٔ دریای مازندران بررسی کردند. نتایج نشان داد ابعاد سلولی مختلف DEM بر مشخصات آماری و توزیع مکانی شاخص توپوگرافی و نیز بر مقادیر شبیه‌سازی‌شده توسط مدل تأثیر می‌گذارد. افزایش ابعاد سلول DEM موجب افزایش دبی متوسط روزانه، حداکثر و حداقل دبی روزانه، واریانس داده‌های شبیه‌سازی‌شده و کاهش کارایی مدل (شاخص ناش‌ـ ساتکلیف)، متوسط فاصله تا تراز سطح ایستابی، و متوسط کمبود رطوبت حوضه می‌شود. همچنین، این محققان به این نتیجه رسیدند که مناسب‌ترین ابعاد سلولی برای مدل‌سازی دبی متوسط روزانه در حوضهٔ آبریز کورکورسر حدود ۱۴۰ متر است.

برقراری ارتباط بین مفهوم مازاد رطوبت اشباع و شمارهٔ منحنی SCS تلاش جدید و کاربردی Azizian and Shokoohi (2014) است. این محققان در روشی که آن را WI-CN[5] خوانده‌اند، با استفاده از مفاهیم مازاد رطوبت اشباع به‌کاررفته در ساختار مدل نیمه‌توزیعی TOPMODEL، نقشه رستری شمارهٔ منحنی را در سطح حوضه برآورد کردند. این روش نسبت به روش‌های متداول از داده‌های کمتر و در عین حال ساده‌تر برای محاسبهٔ شمارهٔ منحنی در سطح حوضه استفاده می‌کند. برخلاف روش‌های متداول، که برای محدودهٔ وسیعی از حوضه فقط یک مقدار شمارهٔ منحنی به دست می‌دهند، رابطه‌ای که محققان یادشده توسعه داده‌اند توانایی لازم را برای محاسبهٔ شمارهٔ منحنی هر یک از سلول‌های تشکیل‌دهندهٔ حوضه دارد. رابطه‌ای که ایشان ارائه کرده‌اند به پارامترهایی وابسته است که نشان‌دهندهٔ وضعیت توپوگرافیکی حوضه و تراز سطح ایستابی‌اند. با توجه به اهمیت بسیار زیاد وضعیت توپوگرافی در روش WI-CN و نیز اثر آن بر فرایندهای مؤثر بر شکل‌گیری مناطق اشباع در سطح حوضه، در این تحقیق اثر تغییر ابعاد سلولی مدل‌های رقومی ارتفاعی بر شاخص توپوگرافی و متعاقب آن بر مقادیر شمارهٔ منحنی به‌دست‌آمده با روش یادشده بررسی شد.

مواد و روش‌ها

محدودهٔ مطالعاتی

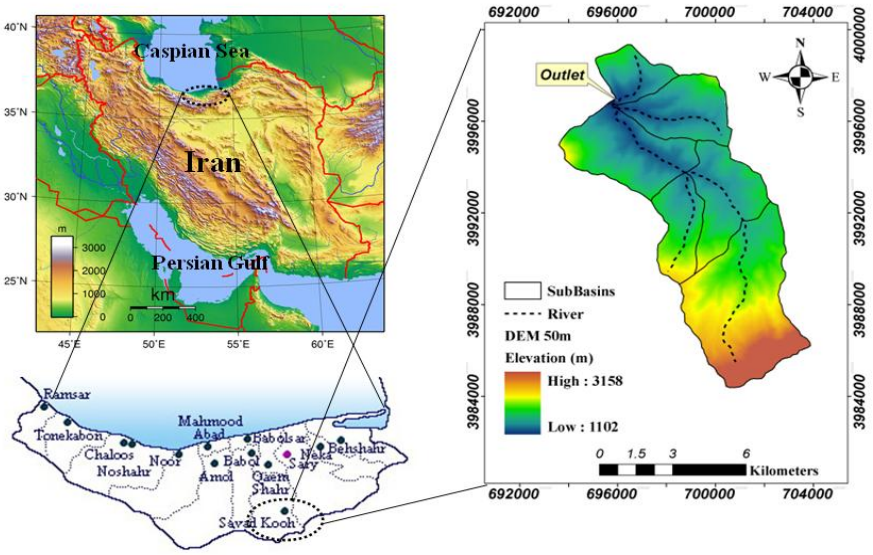
محدودهٔ مطالعه‌شده حوضهٔ آبریز کسیلیان بود که از زیرحوضه‌های رودخانهٔ تالار استان مازندران است. این حوضه، با توجه به وضعیت طبیعی آب‌وهوا و پوشش گیاهی، معرف مناطق کوهستانی و جنگلی در البرز میانی است. این حوضه در شرق راه‌آهن تهرانـ مازندران و در ۲۷ کیلومتری بخش پل سفید به مختصات ´۱۱ °۵۳ تا ´۱۷ °۵۳ طولی و ´۵۹ °۳۵ تا ´۰۷ °۳۶ عرضی قرار دارد. حوضهٔ آبریز کسیلیان به مساحت ۶۷ کیلومتر مربع و با محیط ۳۷٫۸ کیلومتر توسط رودخانهٔ کسیلیان، به طول

1. Saturation excess
2. Total Contributing Area
3. Specific Contributing Area
4. Data Resolution
5. Wetness Index Curve Number

Archive of SID

www.SID.ir

حدود ۱۷ کیلومتر، زهکشی می‌شود. متوسط شیب این حوضه ۱۶٫۴ درصد و محدودهٔ تغییرات ارتفاعی آن بین ۱۱۰۰ تا ۲۶۵۰ متر است. موقعیت حوضهٔ آبریز این رودخانه و مدل ارتفاعی رقومی (DEM) با ابعاد سلولی ۵۰ متر در شکل ۱ می‌آید.



شکل ۱. موقعیت و وضعیت شبکهٔ آبراهه‌ها و DEM حوضهٔ آبریز کسیلیان

روش شمارهٔ منحنی SCS و ارتباط آن با مفهوم مازاد رطوبت اشباع[1]

همان‌طور که گفته شد، روش شمارهٔ منحنی SCS وابسته به پارامتری به نام شمارهٔ منحنی (CN) است. پارامتر CN نیز، خود، تابعی از خصوصیات اصلی تولید رواناب حوضه ـ مانند گروه‌های هیدرولوژیک خاک، کاربری اراضی حوضه (کشاورزی، جنگلی، شهری)، وضعیت هیدرولوژیکی، رطوبت پیشین خاک ـ است (SCS, 1986). خصوصیات خاک بر تحول و پیدایش رواناب اثر می‌گذارد و در محاسبات شمارهٔ منحنی یکی از عوامل مهم به شمار می‌آید. در حال حاضر برای محاسبهٔ شمارهٔ منحنی حوضه و استخراج پارامترهای یادشده از تکنیک‌های GIS و علوم RS استفاده می‌شود. برای روشن‌شدن مزیت روش WI-CN نسبت به روش‌های متداول، نحوهٔ استخراج نقشهٔ شمارهٔ منحنی و داده‌های مورد نیاز آن، بر اساس روش‌های متداول و برای حوضهٔ آبریز کسیلیان در ادامه می‌آید.

در این تحقیق برای تهیهٔ نقشهٔ گروه‌های هیدرولوژیک خاک در حوضهٔ آبریز کسیلیان از نقشهٔ خاک با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ (تهیه‌شده در ادارهٔ کل منابع طبیعی استان مازندران) منطقه استفاده شد. نقشهٔ تهیه‌شده به کمک بازدیدهای صحرایی تدقیق شد. بعد از تحلیل نقشهٔ خاک منطقه در محیط ArcGIS گروه‌های هیدرولوژیک خاک حوضه در سه گروه A و B و C تعیین شدند. نتایج نشان داد عمدهٔ خاک‌های حوضه در گروه‌های A (۲۴٫۶ درصد) و B (۶۹٫۱ درصد) قرار دارند. برای تهیهٔ نقشهٔ کاربری اراضی حوضه از تصاویر ماهواره‌ای سنجندهٔ ETM^+ ماهوارهٔ لندست ۷، در سال ۲۰۰۱، استفاده شد و با انتقال تصاویر به محیط نرم‌افزار Geomatica و اعمال برخی تصحیحات (هندسی، رادیومتری، اتمسفری) و نیز اجرای عملیات تصحیح و پردازش تصاویر ماهواره‌ای، با استفاده از سی‌ویک نقطهٔ کنترل زمینی، نقشهٔ کاربری اراضی حوضه به دست آمد. نتایج حاکی از آن است که عمدهٔ کاربری حوضهٔ آبریز کسیلیان به ترتیب مربوط به اراضی جنگلی (۷۷٫۲ درصد)، اراضی زارعی دیم (۸٫۲ درصد)، و اراضی مرتعی (۷٫۳ درصد) است. پس از استخراج گروه‌های هیدرولوژیک خاک و نقشهٔ کاربری اراضی حوضه در محیط ArcGIS، با استفاده از تکنیک‌های Overlay و Crossing با نقشه‌های توپوگرافی، مناطقی که گروه‌های هیدرولوژیک خاک و شیب و کاربری اراضی یکسانی داشتند مشخص شد. در جدول ۱ و ۲ به ترتیب خلاصه‌ای از خصوصیات خاک و کاربری اراضی حوضهٔ آبریز کسیلیان می‌آید.

جدول ۱. درصد و مساحت کاربری اراضی حوضهٔ آبریز کسیلیان

نوع کاربری	مساحت (km2)	درصد (٪)
اراضی بایر	٤٫١	٦٫١
اراضی زراعی دیم	٥٫٦	٨٫٢
اراضی جنگلی	٥٢٫٥	٧٧٫٢
اراضی مرتعی	٥٫٠	٧٫٣
اراضی مسکونی (روستایی)	٠٫٨	١٫٢

1. Saturation Excess

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۲. درصد و مساحت گروه‌های هیدرولوژیک خاک

گروه‌های هیدرولوژیک خاک	مساحت (km^2)	بافت خاک	ضریب هدایت هیدرولیکی (cm/day)	تخلخل خاک
A	۱۶٫۷	Sandy	۱۱٫۷۸	۰٫۴۳
B	۴۷٫۰	LoamySand	۳٫۰	۰٫۴۷
C	۴٫۳	Loam	۰٫۳۴	۰٫۴۹

رابطه‌ای که Azizian and Shokoohi (2014) بر مبنای مفاهیم مازاد رطوبت اشباع به‌کاررفته در ساختار مدل نیمه‌توزیعی TOPMODEL توسعه دادند از یک طرف از میزان داده‌های ورودی و حجم عملیات محاسباتی برای محاسبهٔ CN به‌شدت می‌کاهد و از طرف دیگر، به علت نوع داده‌های استفاده‌شده، باعث محدودشدن عوامل مؤثر در ایجاد عدم دقت یا عدم قطعیت می‌شود و اعمال نظر کارشناسی برای تعیین CN را به حداقل می‌رساند. TOPMODEL یک مدل نیمه‌توزیعی است که بر مبنای مفهوم مازاد رطوبت اشباع میزان رواناب خروجی از هر سلول و در نهایت حوضه را شبیه‌سازی می‌کند. TOPMODEL ابتدا برای کارهای تحقیقاتی ایجاد شده بود؛ اما، با توسعهٔ مدل، امکان استفاده از آن در کارهای عملی نیز به وجود آمد. این مدل، که با نام Topography Model شناخته می‌شود، مدلی بر مبنای توپوگرافی حوضه است که سطوح مشارکت‌کننده در رواناب نقش اصلی را در آن ایفا می‌کنند (Beven and Kirkby, 1979).

در این مدل از شاخصی به نام شاخص توپوگرافی برای برقراری تشابه هیدرولوژیکی[1] بین سلول‌های تشکیل‌دهندهٔ حوضه استفاده می‌شود. این شاخص، که مبین تمایل تجمع جریان و حرکت آن در جهت شیب پایین‌دست به وسیلهٔ نیروی ثقل است، با رابطهٔ ۱ به دست می‌آید:

$$\lambda_x = \mathrm{Ln}(a/\tan\beta)_x \qquad \text{(رابطهٔ ۱)}$$

λ_x شاخص توپوگرافیکی در موقعیت x، Ln لگاریتم طبیعی، a مساحت زهکشی محدودهٔ بالادست هر سلول در واحد عرض (متر)، و tanβ شیب موضعی سطح زمین است (Beven and Kirkby, 1979). بر اساس مفهوم مازاد رطوبت اشباع، جریان سطحی فقط در صورتی رخ می‌دهد که کل لایهٔ خاک اشباع شود. سپس، مازاد ظرفیت اشباع به رواناب تبدیل می‌شود. الگوی شکل‌گیری مناطق اشباع در این مدل به مقادیر شاخص توپوگرافی در هر یک از سلول‌های تشکیل‌دهندهٔ حوضه بسیار وابسته است. در شکل ۲ نمایی از نحوهٔ شکل‌گیری رواناب و فاصله تا تراز سطح ایستابی در این مدل (z_x) در موقعیت x (یا سلول x) می‌آید. نکتهٔ مهمی که از شکل ۲ برداشت می‌شود این است که در هر سلول محاسباتی هر چه مقدار فاصله تا تراز سطح ایستابی کمتر باشد تمایل آن سلول به اشباع‌شدن و تولید رواناب افزایش و پتانسیل نگهداشت آب در خاک کاهش می‌یابد. در این مدل برای محاسبهٔ فاصله تا تراز سطح ایستابی در موقعیت x از رابطهٔ ۲ استفاده می‌شود (Beven and Kirkby, 1979):

$$z_x = \bar{z} + \frac{m}{n_{drain}}\left(\bar{\lambda} - \ln\left(\frac{a_x}{\tan\beta_x}\right)\right) \qquad \text{(رابطهٔ ۲)}$$

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{A}\int \ln\left(\frac{a_x}{\tan\beta_x}\right).dA \qquad \text{(رابطهٔ ۳)}$$

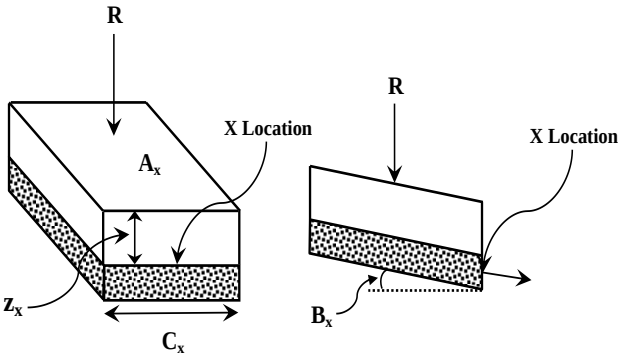
$\bar{z}$ مقدار متوسط مکانی پارامتر z_x در سطح حوضه، n_{drain} تخلخل خاک، m پارامتر مقیاس (کنترل‌کنندهٔ عمق مؤثر خاک اشباع)، $\bar{\lambda}$ متوسط شاخص توپوگرافی در سطح حوضه، و $\ln(a_x/\tan\beta_x)$ مقدار شاخص توپوگرافی در هر سلول است. فرضیات استفاده‌شده جهت استخراج رابطهٔ ۲ عبارت‌اند از الف) آب زیرزمینی در سراسر حوضهٔ آبریز در حالت شبه‌ماندگار و به صورت یکنواخت تغذیه می‌شود؛ ب) گرادیان هیدرولیکی موضعی تقریباً معادل شیب عمومی سطح زمین (tanβ) است؛ ج) رابطهٔ نمایی نزولی جهت محاسبهٔ هدایت هیدرولیکی (ظرفیت انتقال) در برابر عمق حاکم است؛ و د) سلول‌های دارای شاخص توپوگرافی یکسان از نظر هیدرولوژیکی مشابه‌اند (Beven, 1997). همان‌طور که ملاحظه می‌شود، رابطهٔ ۲ به پارامترهایی همچون تخلخل خاک، پارامتر مقیاس، و از همه مهم‌تر متوسط شاخص توپوگرافی متوسط حوضه و شاخص توپوگرافی در هر سلول وابسته است. همچنین رابطهٔ ۲ بیانگر این مطلب است که فاصله تا تراز سطح ایستابی در هر موقعیت وابسته به متوسط فاصله تا تراز سطح ایستابی حوضهٔ آبریز و تفاضل پارامتر $\bar{\lambda}$ (متوسط شاخص توپوگرافی) و λ_x (مقدار شاخص توپوگرافی در موقعیت x) است.

با تأمل در شکل ۲ می‌توان به این نتیجه رسید که برای شکل‌گیری رواناب لازم است در هر سلول مقدار z_x به صفر برسد. این موضوع به معنی اشباع‌شدن سلول مورد نظر است. بر این اساس، می‌توان گفت مقدار z_x نشان‌دهندهٔ میزان ظرفیت باقی‌مانده برای رسیدن به حالت اشباع و تولید رواناب در هر سلول است.

1. Hydrologic Similarity

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۲. نمایی از شکل‌گیری رواناب در TOPMODEL (Kansas, 1993)

در روش شمارهٔ منحنی SCS حجم رواناب به مقدار بارش و نگهداشت آب در سطح حوضه وابسته است. نگهداشت آب در سطح حوضه اختلاف بین حجم بارش ورودی و رواناب خروجی از حوضه است. معادلهٔ مورد نیاز برای محاسبهٔ رواناب به روش SCS به شرح زیر است (رابطهٔ ۴):

$$Q = \frac{P - ۰/۲S^{۲}}{P + ۰/۸S} \qquad \text{(رابطهٔ ۴)}$$

مقدار S (میلی‌متر) در رابطهٔ ۴ با نوع پوشش گیاهی و نحوهٔ بهره‌برداری از اراضی و وضعیت خاک حوضه از نظر نفوذپذیری ارتباط مستقیم دارد. این مقدار با رابطه‌ای نظیر رابطهٔ ۵، با عاملی بدون بعد به نام CN، ارتباط می‌یابد که از نظر تئوریک مقدار آن بین ۰ تا ۱۰۰ متغیر اما از نظر تجربی و نتایج به‌دست‌آمده بین ۴۰ تا ۹۵ متغیر است.

این رابطه در سیستم متریک به صورت رابطهٔ ۵ است:

$$S = \frac{۲۵۴۰}{CN} - ۲۵/۴ \qquad \text{(رابطهٔ ۵)}$$

فرض استفاده‌شده در روش WI-CN معادل‌پنداشتن پارامترهای S و z_x است. همان‌طور که گفته شد، مقدار z_x نشان‌دهندهٔ میزان ظرفیت باقی‌مانده برای رسیدن به حالت اشباع است. به عبارت دیگر z_x نشان‌دهندهٔ کمبود رطوبت و پتانسیل نگهداشت آب در خاک است. افزایش و کاهش مقدار z_x به ترتیب به معنای افزایش و کاهش پتانسیل نگهداشت آب در خاک است. با توجه به توضیحات فوق، رابطهٔ ۶ برای محاسبهٔ مقدار نگهداشت آب (S) و شمارهٔ منحنی در هر سلول به دست می‌آید (Azizian and Shokoohi, 2104):

$$S = z_x = \bar{z} + \frac{m}{n_{drain}} \left(\bar{\lambda} - \ln\left(\frac{a_x}{\tan\beta_x}\right)\right) \qquad \text{(رابطهٔ ۶)}$$

$$CN = \frac{۲۵/۴}{\bar{z} + \frac{m}{n_{drain}} \left(\bar{\lambda} - \ln\left(\frac{a_x}{\tan\beta_x}\right)\right) + ۰/۲۵۴} \qquad \text{(رابطهٔ ۷)}$$

در روابط ۶ و ۷ برای به‌دست‌آوردن مقدار S و نیز شمارهٔ منحنی به سه پارامتر m و $\bar{z}$ و n_{drain} احتیاج است. مؤلفه‌های $\bar{\lambda}$ و $\ln(a_x/\tan\beta_x)$ را می‌توان به‌راحتی از روی نقشه‌های توپوگرافی و مدل‌های ارتفاعی رقومی به دست آورد و برای پارامتر m نیز می‌توان از مقادیری که Beven (1997) پیشنهاد کرده استفاده کرد. در ادامه نحوهٔ تخمین پارامترها، مؤلفه‌های روش WI-CN، و اثر تغییر ابعاد سلولی مختلف بر متوسط شمارهٔ منحنی حوضه بررسی می‌شود.

به منظور تصمیم‌گیری در زمینهٔ پارامتر m از نظر انتخاب یک مقدار ثابت یا به‌دست‌آوردن آن در نتیجهٔ واسنجی مدل در حوضه، لازم است با آنالیز حساسیتْ اثر این پارامتر بر متوسط شمارهٔ منحنی حوضه برآورد شود. مقدار پارامتر $\bar{z}$ نیز به وضعیت توپوگرافی حوضه و تراز سطح ایستابی وابسته است؛ در نتیجه باید در هر حوضه واسنجی شود. همچنین، همان‌طور که در رابطهٔ ۶ نشان داده شده، یکی از مؤلفه‌های اصلی و بنیادی در روش پیشنهادی توزیع مکانی شاخص توپوگرافی (λ_x) و متوسط این شاخص ($\bar{\lambda}$) در سطح حوضه است. در تحقیق حاضر برای استخراج موارد یادشده از DEMهای با ابعاد سلولی ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰، و ۵۰۰ متر و از الگوریتم روندیابی D8 برای محاسبهٔ شبکهٔ انباشت جریان استفاده شد.

نحوهٔ استخراج شاخص توپوگرافی

قبل از مدل‌سازی هیدرولوژیکی لازم است برخی پیش‌پردازش‌ها به منظور برطرف‌کردن مشکلات و ایرادهای داده‌ها انجام گیرد. این مشکلات را، که اغلب در DEMهای خام دیده می‌شود، اصطلاحاً چاهک[1] می‌نامند. چاهک‌ها با گسستن ارتباط سلول‌های زهکشی DEMها موجب بروز مشکلات می‌شوند و برای ایجاد شبکهٔ پیوسته جهت جریان[2] باید حذف شوند. در این تحقیق از روشی که Tarboton (1991) ارائه کرده برای حذف چاهک‌ها و اصلاح DEM استفاده شد. پس از این مرحله، باید در زمینهٔ استخراج شبکه جهت جریان برای هر DEM اقدام کرد. با استفاده از شبکهٔ جهت جریان می‌توان شبکهٔ انباشت جریان[3] را برای هر سلول محاسبه کرد. در یک شبکهٔ انباشت مقدار هر سلول معرف تعداد کل سلول‌هایی است که داخل یک سلول منحصربه‌فرد می‌ریزند. سلول‌هایی که انباشت بالایی دارند نواحی با جریان متمرکزند و می‌توانند برای شناسایی شبکهٔ آبراهه‌ها استفاده شوند. در نهایت، با محاسبهٔ شبکهٔ شیب می‌توان طبق رابطهٔ ۱ شاخص توپوگرافی را محاسبه کرد. همچنین، برای محاسبهٔ مساحت زهکشی محدودهٔ بالادست هر

1. Sinks
2. Flow Direction
3. Flow Accumulation Grid

Archive of SID

www.SID.ir

سلول در واحد عرض (a) از رابطهٔ ۸ استفاده شد:

$$a = (\text{Flow accumulation grid} * \text{Pixel area}) / \text{Flow width} \quad (۸)$$

Flow accumulation grid شبکهٔ انباشت جریان، Pixel area مساحت هر سلول، و Flow width شبکهٔ عرض جریان است.

یافته‌ها و بحث

محاسبهٔ شمارهٔ منحنی به روش‌های متداول

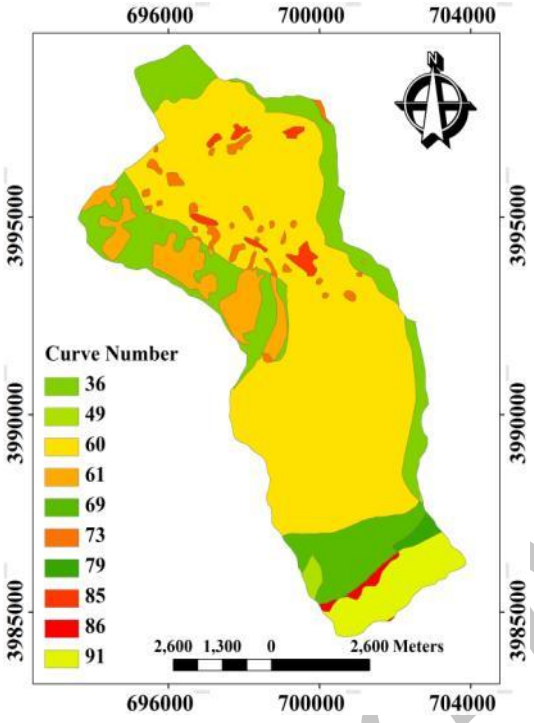
در شکل و جدول ۳ نتایج محاسبهٔ شمارهٔ منحنی در سطح حوضه و متوسط وزنی آن به روش‌های متداول می‌آید. همان‌طور که شکل و جدول ۱ نشان می‌دهد از ترکیب و ادغام لایه‌های مذکور ده ناحیه تشکیل می‌شود که هر یک شمارهٔ منحنی مختص خود را دارند. در نهایت، متوسط شمارهٔ منحنی حوضهٔ آبریز کسیلیان بر اساس روش وزنی معادل ۵۹٫۶ به دست آمد. همان‌طور که در شکل ۳ دیده می‌شود، یکی از ضعف‌های اساسی این روش تخمین یک شمارهٔ منحنی ثابت برای محدوده‌ای وسیع است. مثلاً، حدود ۵۹ درصد حوضه شمارهٔ منحنی معادل ۶۰ دارد. علاوه بر این، متفاوت‌بودن مقیاس نقشه‌های استفاده‌شده یکی از عوامل خطا و بروز عدم قطعیت در نتایج روش‌های متداول است. همان‌طور که مشاهده می‌شود برای تهیهٔ نقشهٔ شمارهٔ منحنی حوضه با استفاده از روش‌های متداول به داده‌های زیاد و نیز عملیات محاسباتی متعدد، که در نهایت به قضاوت‌های کارشناسی نیز وابسته است، نیاز است. علاوه بر آنچه آمد، تطابق دقت و مقیاس تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های موجود می‌تواند از دیگر مشکلات پیش روی محققان و کارشناسان برای استفاده از این روش‌ها باشد.

تخمین پارامترهای n_{drain} و $\bar{z}$

بررسی مطالعات در زمینهٔ وضعیت خاک‌ها از منظر بافت خاک، میزان نفوذپذیری، تخلخل و پوکی، و ... حاکی از آن است که مقدار n_{drain} در خاک‌ها در محدوده‌ای بین ۰٫۴۰ تا ۰٫۵۲ متغیر است (Cosby *et al.*, 1993; Rawls *et al.*, 1993). با توجه به وضعیت خاک‌شناسی محدودهٔ مطالعاتی و از آنجا که گروه‌های هیدرولوژیکی خاک حوضهٔ آبریز کسیلیان عمدتاً A یا B است، در تحقیق حاضر مقدار متوسط این پارامتر ۰٫۴۴ در نظر گرفته شد. همچنین، بررسی تحقیقات نشان می‌دهد مقدار پارامتر m در محدوده‌ای بین ۰٫۰۰۷ تا ۰٫۱ متغیر است (Beven, 1997). در این پژوهش با استفاده از سیلاب‌های ثبت‌شده در ایستگاه هیدرومتری ولیک بن و اجرای TOPMODEL مقدار متوسط پارامتر $\bar{z}$ در سطح حوضه معادل ۰٫۴۲ متر به دست آمد.

محاسبهٔ شاخص توپوگرافی

در ابعاد سلولی مختلف (۵۰ تا ۵۰۰ متر) توزیع مکانی، توزیع فراوانی تجمعی، و متوسط شاخص توپوگرافی محاسبه شد که در شکل‌های ۴ و ۵ می‌آید. همچنین، در جدول ۴ مشخصات آماری شاخص توپوگرافی در ابعاد سلولی مختلف ارائه می‌شود. شاخص توپوگرافی، به علت وجود لگاریتم طبیعی (Ln) در آن ($TI=\ln(a/\tan\beta)$)، شاخصی بدون بعد است. به همین سبب واحد ندارد.



شکل ۳. نقشهٔ شمارهٔ منحنی حوضه

جدول ۳. مقدار و مساحت شماره‌های منحنی‌ها

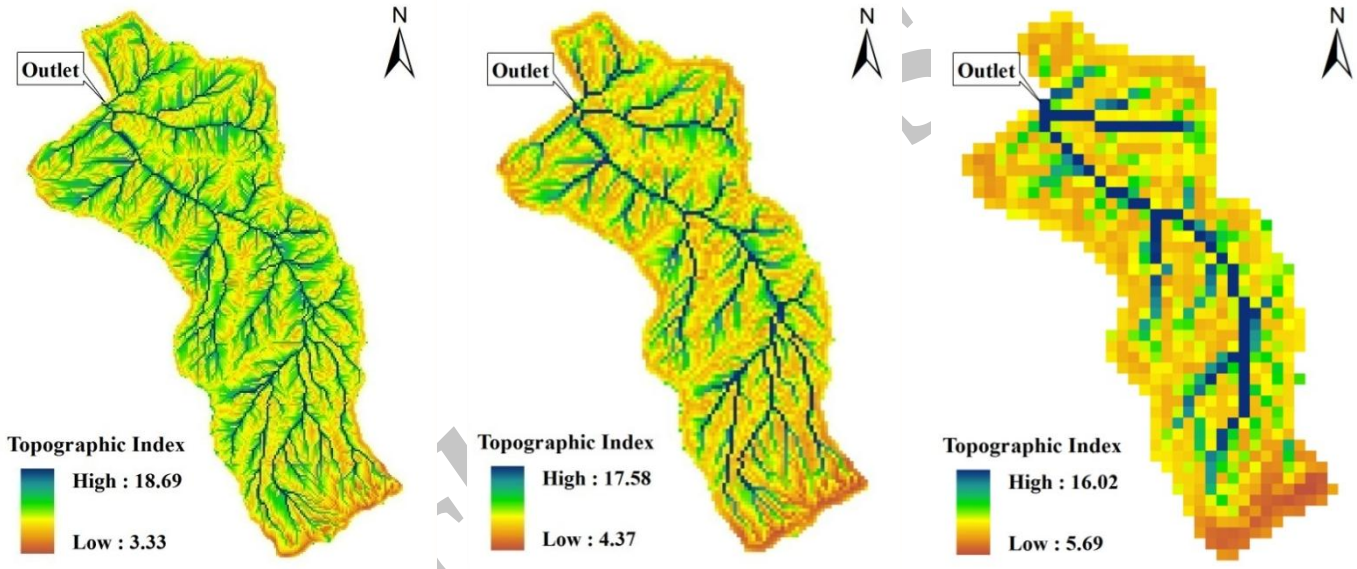
شمارهٔ منحنی	مساحت (km^2)	شمارهٔ منحنی × مساحت
۴۰	۱۱٫۹	۴۷۶
۴۹	۰٫۴	۱۹٫۶
۶۰	۴۰٫۴	۲۴۲۴
۶۱	۴٫۴	۲۶۸٫۴
۶۹	۴٫۱	۲۸۲٫۹
۷۳	۱٫۳	۹۴٫۹
۷۹	۰٫۵	۳۹٫۵
۸۵	۰٫۸	۶۸
۸۶	۰٫۴	۳۴٫۴
۹۱	۳٫۸	۳۴۵٫۸
جمع	۶۸٫۰	۴۰۳۵٫۵
مقدار متوسط وزنی شمارهٔ منحنی حوضه = ۵۹٫۶		

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۴. پارامترهای آماری شاخص توپوگرافی (TopoIndex)

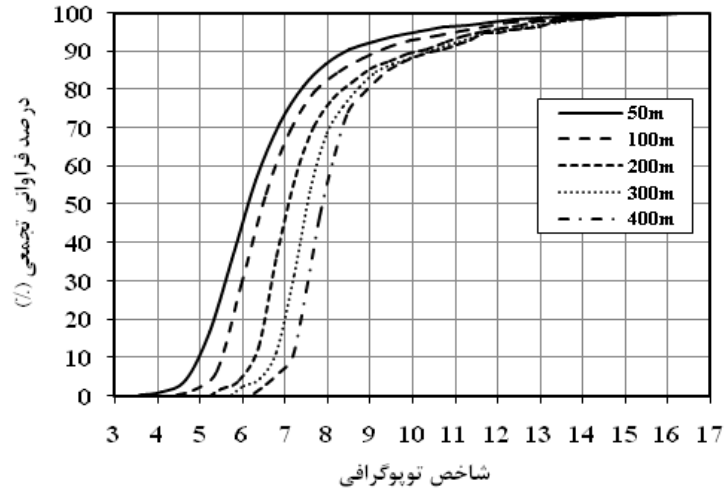
ابعاد DEM	پارامترهای آماری شاخص توپوگرافی			
	انحراف از معیار	حداکثر	متوسط	حداقل
۵۰	۱٫۷۷	۱۸٫۶۹	۶٫۸۳	۳٫۳۳
۱۰۰	۱٫۷۷	۱۷٫۵۸	۷٫۱۱	۴٫۳۷
۲۰۰	۱٫۷۶	۱۷٫۰۳	۷٫۸۸	۵٫۲۲
۳۰۰	۱٫۶۸	۱۶٫۰۲	۸٫۲۵	۵٫۷۰
۴۰۰	۱٫۵۵	۱۴٫۸۰	۸٫۵۲	۶٫۲۰
۵۰۰	۱٫۵۵	۱۴٫۶۴	۸٫۸۲	۶٫۵۰

همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، کاهش ابعاد سلول DEM موجب استخراج بیشتر شبکهٔ آبراهه‌ها و افزایش جزئیات نقشه از این نظر می‌شود. بررسی متوسط شاخص توپوگرافی (جدول ۴) روند افزایشی اندکس توپوگرافی را در مقابل ابعاد سلولی DEM نشان می‌دهد که با مطالعات Wolock and Price (1994) و Quinn *et al.* (1995) مطابقت دارد. در شکل ۵ نیز نمودار فراوانی تجمعی شاخص توپوگرافی در DEMهای با ابعاد مختلف می‌آید. همان‌طور که در شکل ۵ دیده می‌شود، با افزایش ابعاد سلولی DEMها دامنهٔ تغییرات شاخص توپوگرافی (فاصلهٔ بین مقادیر حداقل و حداکثر) کاهش می‌یابد و با کاهش ابعاد سلول DEM، علاوه بر افزایش دامنهٔ تغییرات، تمایل نمودار به سمت مقادیر کمتر شاخص توپوگرافی بیشتر می‌شود.



۵۰ متر ۱۰۰ متر ۳۰۰ متر

شکل ۴. توزیع مکانی شاخص توپوگرافی در DEMهای با ابعاد سلولی مختلف



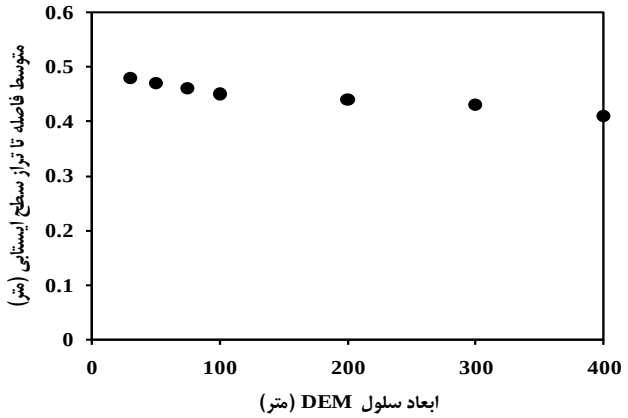
شکل ۵. نمودار تجمعی شاخص توپوگرافی در DEMهای با ابعاد مختلف

www.SID.ir

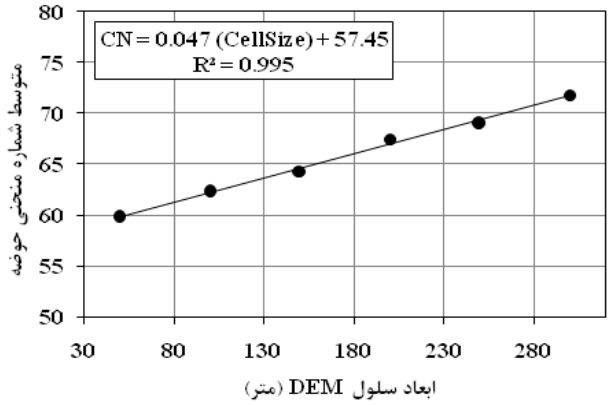
با توجه به ساختار روش WI-CN و نیز توضیحات یادشده، می‌توان استنتباط کرد که تغییر ابعاد سلول DEM می‌تواند مقادیر CN حاصل از روش مزبور را دستخوش تغییر کند. همان‌طور که در بخش‌های قبل نیز گفته شد، از میان پارامترهای روش پیشنهادی پارامتر m و نیز شاخص توپوگرافی از اجزای اصلی است و تغییر آن‌ها می‌تواند مقادیر محاسباتی را تغییر دهد. بنابراین، در این بخش، علاوه بر اثر ابعاد سلولی مختلف، اثر تغییر پارامتر m بر مقدار متوسط شمارهٔ منحنی حوضه نیز بررسی شد. همچنین، گفتنی است متوسط فاصله تا تراز سطح ایستابی وابسته به ابعاد سلول DEM است؛ اما نتایج به‌دست‌آمده از بررسی اثر ابعاد سلولی بر متوسط فاصله تا تراز سطح ایستابی (پارامتر $\bar{z}$) حاکی از آن است که اثر ابعاد سلولی بر این پارامتر ناچیز است. همچنین، جایگاه این پارامتر در روش WI-CN به گونه‌ای است که اثر چندان قابل توجهی بر متوسط شمارهٔ منحنی حوضه ندارد. در شکل ۶ اثر تغییر ابعاد سلول DEM بر متوسط فاصله تا تراز سطح ایستابی می‌آید. در این تحقیق اثر تغییر ابعاد سلول DEM بر متوسط فاصله تا تراز سطح ایستابی لحاظ نشد. حالت‌هایی که در این تحقیق در نظر گرفته شد عبارت‌اند از ۱. تغییر ابعاد سلول DEM و مقدار ثابت پارامتر m؛ ۲. تغییر مقدار پارامتر m در محدودهٔ پیشنهادیِ Beven (1997) و مقدار ثابت ابعاد سلولی؛ و ۳. تغییر توأم ابعاد سلول DEM و پارامتر m.

اثر تغییر ابعاد سلول DEM بر متوسط شمارهٔ منحنی حوضه در یک m ثابت

با توجه به وابستگی روش WI-CN (رابطهٔ ۶) به شاخص توپوگرافی و وابستگی شاخص توپوگرافی به ابعاد سلولی DEM استفاده‌شده، می‌توان انتظار داشت که مقادیر CN به‌دست‌آمده از ابعاد سلولی مختلف با یک‌دیگر متفاوت باشد. در این بخش برای نشان‌دادن اثر تغییر ابعاد سلولی از DEMهای با ابعاد سلولی ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰، و ۳۰۰ متر استفاده شد. همچنین، در این حالت مقدار پارامتر m معادل ۰/۰۵ در نظر گرفته شد. این عدد متوسط محدودهٔ پیشنهادیِ Beven (1997) برای m است. در شکل ۷ اثر تغییر ابعاد سلول DEM بر متوسط شمارهٔ منحنی به‌دست‌آمده به روش WI-CN می‌آید. همان‌طور که شکل ۷ نشان می‌دهد، با افزایش ابعاد سلول DEM شمارهٔ منحنی حوضه نیز افزایش می‌یابد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، متوسط شمارهٔ منحنی حوضه در ابعاد سلولی ۵۰ متر در حدود ۵۹/۸ و در ابعاد سلولی ۳۰۰ متر در حدود ۷۱/۸ است. این بدان معنی است که اختلاف نتایج حاصل از روش WI-CN و روش‌های متداول در برآورد CN با مقدار متوسط ۵۹/۶ با کاهش توان تفکیک DEM و بزرگ‌شدن ابعاد سلولی افزایش می‌یابد. مثلاً، این اختلاف برای ابعاد سلولی ۵۰ متر در حدود ۰/۳ درصد و برای ابعاد سلولی ۳۰۰ متر ۲۰/۵ درصد به دست آمد. همچنین، نتایج حاکی از آن است که این اختلاف در صورت استفاده از DEM با ابعاد سلولی ۱۰۰ متر به کمتر از ۵ درصد خواهد رسید.



شکل ۶. اثر تغییر ابعاد سلول DEM بر متوسط فاصله تا تراز سطح ایستابی



شکل ۷. اثر تغییر ابعاد سلول DEM بر متوسط شمارهٔ منحنی حوضه

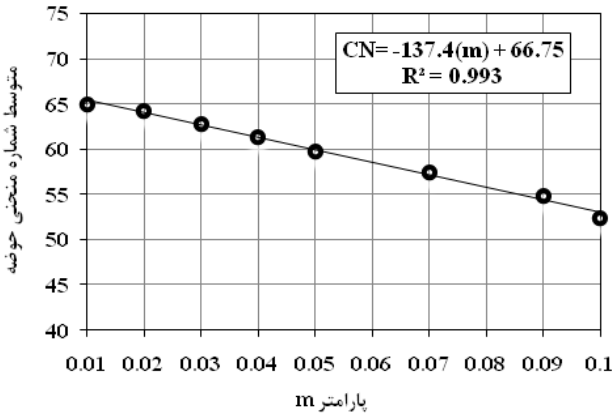
اثر تغییر پارامتر m بر متوسط شمارهٔ منحنی حوضه در ابعاد سلولی ثابت

در این بخش با ثابت نگه‌داشتن ابعاد سلول DEM (۵۰ متر) و تغییر مقدار پارامتر m بین ۰/۰۱ تا ۰/۱ (Beven, 1997) مقدار متوسط شمارهٔ منحنی حوضه به دست آمد. نتایج حاکی از آن است که حداکثر و حداقل اختلاف بین روش WI-CN و روش‌های متداول به ترتیب در حدود ۸/۹ و ۱۲- درصد است. همچنین، در m معادل ۰/۰۵ نتایج به‌دست‌آمده از دو روش مذکور بیشترین تطابق را با هم داشتند و اختلاف آن‌ها در حدود ۰/۳ درصد بود. در شکل ۸ اثر تغییر پارامتر m بر متوسط شمارهٔ منحنی حوضه می‌آید. همچنین، در شکل ۹ اثر تغییر پارامتر m بر توزیع مکانی شمارهٔ منحنی در DEM با ابعاد سلولی ۵۰ متر

Archive of SID

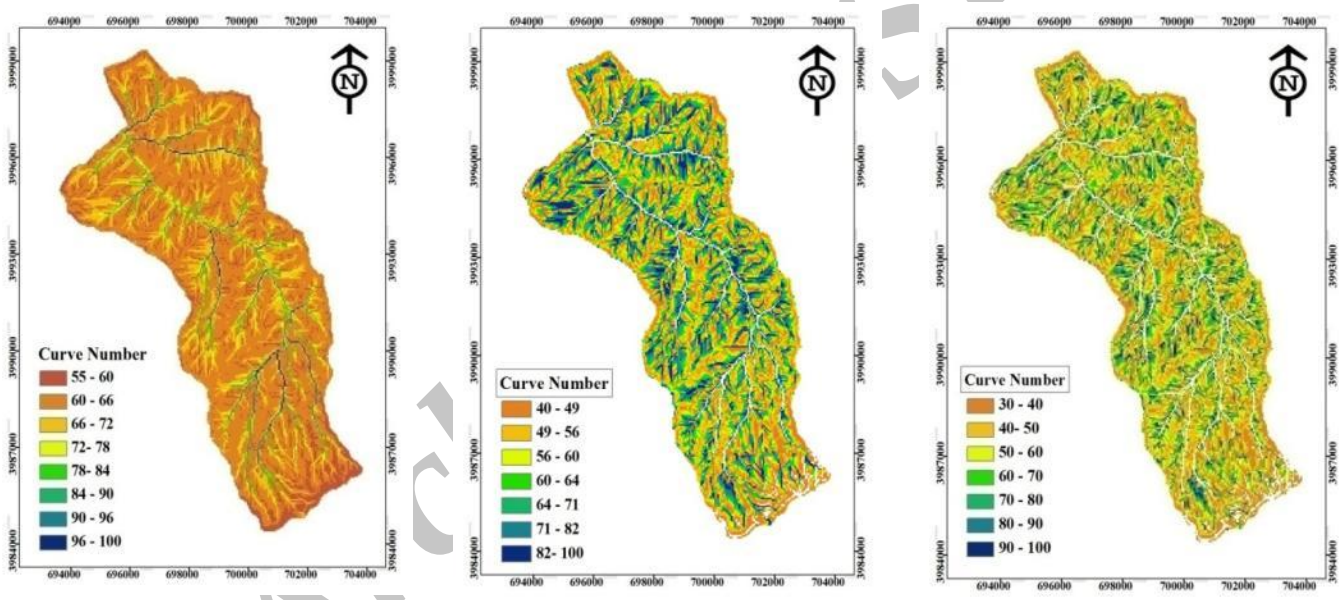
www.SID.ir

می‌آید. در این شکل تغییر مقدار و همچنین توزیع مکانی مقادیر کمینهٔ CN قابل ملاحظه است.



شکل ۸. اثر تغییر پارامتر m بر متوسط شمارهٔ منحنی حوضه در DEM با ابعاد سلولی ۵۰ متر

در زمینهٔ اثر معکوس تغییرات m بر عدد منحنی می‌توان، علاوه بر توجه به فرم رابطهٔ استفاده‌شده برای تعیین CN (رابطهٔ ۶)، که در آن m در مخرج کسر قرار می‌گیرد، از مفهوم فیزیکی این پارامتر نیز برای توجیه مسئله استفاده کرد. همان‌طور در متن مقاله آمد، این پارامتر عملاً معرف متوسط عمق مؤثر خاک قابل اشباع است (Beven, 1997). بنابراین، افزایش آن به مفهوم افزایش پتانسیل خاک برای نگه‌داری آب و به تبع آن کاهش مقدار CN خواهد بود. همچنین، همان‌طور که در شکل ۹ مشاهده می‌شود، برخلاف روش‌های متداول، که برای محدوده‌ای وسیع فقط یک مقدار ثابت CN به دست می‌دهند، روش WI-CN برآوردی رستری از شمارهٔ منحنی برای همهٔ سلول‌های تشکیل‌دهندهٔ حوضه ایجاد می‌کند.



m=0.01 **m=0.05** **m=0.1**

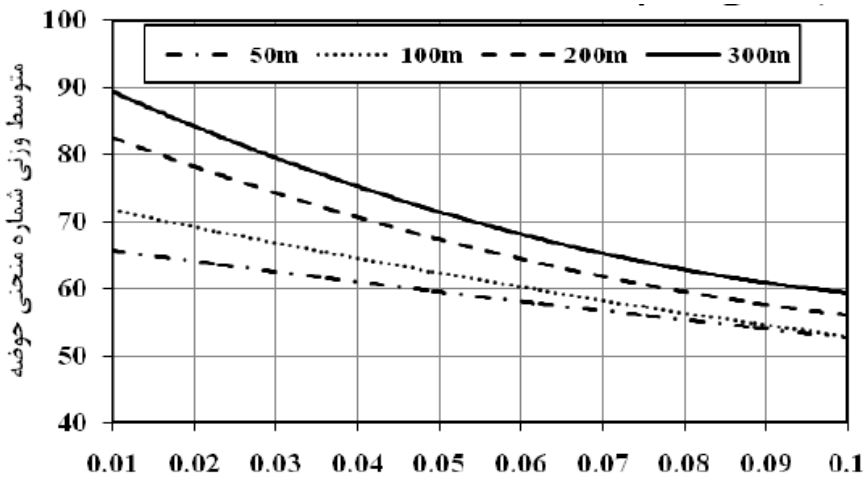
شکل ۹. اثر تغییر پارامتر m بر توزیع مکانی شمارهٔ منحنی حوضه (در DEM با ابعاد سلولی ۵۰ متر)

اثر هم‌زمان تغییر پارامتر m و ابعاد سلول DEM

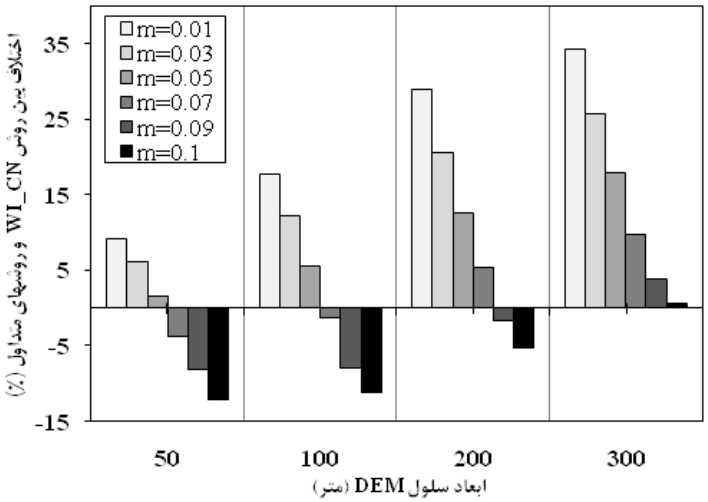
با توجه به اثبات اثر تغییرات m بر عدد منحنی به‌دست‌آمده با روش WI-CN و ملاحظهٔ تفاوت حساسیت رابطهٔ ۶ به تغییرات دو عامل توان تفکیک DEM و m، در این بخش با تغییر هم‌زمان پارامتر m و ابعاد سلول DEM متوسط شمارهٔ منحنی حوضه محاسبه می‌شود. در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ اثر توأم تغییر ابعاد سلول DEM و پارامتر m بر متوسط شمارهٔ منحنی حوضه و میزان اختلاف نسبی در هر حالت می‌آید. نتایج نشان می‌دهد در این حالت نیز با افزایش ابعاد سلول DEM متوسط شمارهٔ منحنی حوضه افزایش چشمگیری پیدا می‌کند. این وضعیت به بروز اختلاف معنادار بین متوسط شمارهٔ منحنی حوضه حاصل از روش WI-CN و روش‌های متداول می‌انجامد. اگر مبنای قضاوت در زمینهٔ اختلافات حاصله متوسطِ محدودهٔ پذیرفتنی پارامتر m (Beven, 1997)، یعنی ۰٫۰۵، در نظر گرفته شود، حداکثر اختلاف بین روش WI-CN و روش‌های متداول در برآورد شمارهٔ منحنی حوضه، با استفاده از DEM ۵۰ متری ۸٫۳ درصد و در صورت استفاده از DEM ۳۰۰ متری ۲۹٫۹ درصد خواهد بود. توصیه می‌شود در صورت نبودِ آمار برای واسنجی TOPMODEL، به منظور به‌دست‌آوردن مقدار مناسب m از مقدار متوسط ۰٫۰۵ به مثابهٔ تقریب مناسب استفاده شود. همان‌طور که شکل ۱۱ نشان می‌دهد، با درنظرگرفتن این مقدار

www.SID.ir

و استفاده از DEM ۵۰ متری حداکثر میزان اختلاف بین دو روش در برآورد شمارهٔ منحنی ۱٫۵ درصد خواهد بود. در این حالت و در صورت استفاده از رقم متوسط پیشنهادی برای m، با درنظرگرفتن اختلافی کمتر از ۱۰ درصد، استفاده از DEM با ابعاد ۱۶۰ متر نیز مناسب خواهد بود. با توجه به نتایج، چنین استنباط می‌شود که در محاسبات مرتبط با مطالعات هیدرولوژی می‌توان با قبول مقداری خطا به جای DEMهای با ابعاد کوچک‌تر از DEMهای با ابعاد بزرگ‌تر استفاده کرد.



شکل ۱۰. اثر تغییر ابعاد سلول‌های DEM و پارامتر m بر متوسط شمارهٔ منحنی حوضه



شکل ۱۱. میزان اختلاف بین روش WI-CN و روش‌های متداول (تغییر توأم ابعاد سلولی و پارامتر m)

نتیجه‌گیری

در این تحقیق اثر توان تفکیک نقشه‌های ارتفاعی رقومی بر مقادیر CN به‌دست‌آمده با روش جدید WI-CN بررسی شد. هدف اصلی این روش غلبه بر مشکلاتی همچون هزینه‌بربودن تهیهٔ داده‌ها ـ همچون نقشهٔ کاربری اراضی، نقشهٔ خاک، نقشهٔ شیب، همراه بازدیدهای میدانی ـ و ارائهٔ روشی نوین و کارا برای تخمین شمارهٔ منحنی حوضه بر اساس خصوصیات ژئومورفولوژیکی حوضه و مفهوم مازاد رطوبت اشباع است. در حال حاضر یکی از مدل‌های متداول که از این مفهوم برای شبیه‌سازی رواناب در سطح حوضه استفاده می‌کند مدل نیمه‌توزیعی TOPMODEL است که در آن شاخصه‌های فیزیوگرافی از منظر مدل‌سازی، یعنی TCA و SCA و شیب سطح‌الارض زمین، اهمیت بسیار دارد و وضعیت توپوگرافیکی حوضه نقشی اساسی در شکل‌گیری رواناب در این مدل ایفا می‌کند. تحقیقات نشان می‌دهد این مدل به علت وابسته‌بودن به شاخص توپوگرافی تحت تأثیر مقیاس مدل‌های رقومی ارتفاعی (هم مقیاس داده‌ها و هم ابعاد سلولی) است. به همین منظور در این تحقیق اثر تغییر ابعاد سلولی مدل‌های رقومی ارتفاعی و متعاقب آن شاخص توپوگرافی بر مقادیر شمارهٔ منحنی حاصل از روش WI-CN ارزیابی شد. در معادلهٔ توسعه‌یافته برای تعیین CN، علاوه بر شاخص توپوگرافی، پارامتری به نام m، که معرف عمق مؤثر خاک برای نگهداشت جریان است، نیز وجود دارد که

www.SID.ir

حساسیت مدل به این پارامتر نیز بررسی شد. بر اساس نتایج، با افزایش ابعاد سلول DEM در یک m ثابت مقدار شمارهٔ منحنی حوضه نیز افزایش می‌یابد. علت افزایش شمارهٔ منحنی در برابر افزایش ابعاد سلولی می‌تواند کاهش کمبود رطوبت حوضهٔ مرتبط باشد. با افزایش ابعاد سلولی، شیب سلول‌ها کاهش می‌یابد و متعاقب آن شاخص توپوگرافی افزایش پیدا می‌کند. افزایش این شاخص به معنای افزایش مناطق اشباع و افزایش تولید رواناب است. بنابراین، با توجه به رابطهٔ SCS، کاهش کمبود رطوبت موجب کاهش پتانسیل نگهداشت آب در خاک می‌شود. اختلاف روش WI-CN و روش‌های متداول برای تخمین شمارهٔ منحنی حوضه در m معادل ۰٫۰۵ و ابعاد سلولی ۵۰ متر در حدود ۰٫۳ درصد است. همچنین، با کاهش مقدار پارامتر m اثر تغییر ابعاد سلول بر متوسط شمارهٔ منحنی حوضه و نیز اختلاف بین روش WI-CN و روش‌های متداول افزایش چشمگیری می‌یابد. مثلاً، در m معادل ۰٫۰۱ اختلاف بین دو روش در ابعاد سلولی مختلف بین ۹٫۲ تا ۳۴٫۳ درصد و در m معادل ۰٫۱ اختلاف مزبور بین ۱۱٫۱- تا ۰٫۷ درصد است. مطابق نتایج، در صورتی که مطالعات بارش رواناب در یک حوضه برای مرحلهٔ شناخت صورت گیرد یا اینکه حوضهٔ مطالعه‌شده فاقد داده باشد، می‌توان از روش جدید WI-CN با داشتن m= ۰٫۰۵ و ابعاد سلولی کمتر از ۱۰۰ متر بدون واسنجی، با دقتی در حدود ۹۵ درصد، برای تعیین CN استفاده کرد.

با توجه به نتایج این تحقیق می‌توان گفت استفاده از مفاهیم مازاد رطوبت اشباع می‌تواند، علاوه بر شناسایی مناطق اشباع در سطح حوضه، مقادیر شمارهٔ منحنی را نیز با دقت مناسب برآورد کند. روش WI-CN، علاوه بر داشتن دقت کافی، از عملیات اجرایی بسیار کمتری نسبت به روش‌های متداول (تلفیق نقشهٔ کاربری اراضی، خاک‌شناسی، زمین‌شناسی، گروه‌های هیدرولوژیک، و ...) برخوردار است و شمارهٔ منحنی را در هر سلول محاسبه می‌کند. خروجی این تحقیق می‌تواند به مثابهٔ ورودی به مدل‌های توزیعی و نیمه‌توزیعی، که نیازمند توزیع مکانی و سلول به سلول عدد منحنی‌اند، استفاده شود.

REFERENCES

Arnold, J. G., Williams, J. R., Srinivasan, R., and King, K. W. (1996). *"SWAT: Soil and Water Assessment Tool"*, USDA-ARS. Soil and Water Research Laboratory. Temple. TX.

Azizian, A., Amiri, E., and Shokoohi, A. R. (2013). "Effect of DEM Resolution on Topographic Index and Runoff Simulation in Semi Distributed Model: Topmodel", *Water Research Journal*, 1(1), 17-26. (In Farsi)

Azizian, A. and Shokoohi, A. R. (2014). "Development of a new method for estimation of curve number based on Saturation Excess Concept", *Iran-Water Resources Research*, 11(1), 20-43. (In Farsi)

Beven, K. J. (1997). "TOPMODEL: a critique", *Hydrological Processes*, 11, 1069-1085.

Beven, K. J. and Kirkby, M. J. (1979). "A physically based, variable contributing area model of basin hydrology", *Hydrological Sciences Bulletin*, 24, 43-69.

Cosby, B. J., Hornberger, G. M., Clapp, R. B., and Ginn, T. R. (1984). "A statistical exploration of the relationships of soil mixture characteristics to the physical properties of soils", *Water Resources. Research*, 20, 682-690.

Hjelmfelt, A. T. (1980). "Curve number procedure as infiltration method", *Journal of Hydrology*, 106, 1107-1111.

Kansas, L. (1993). "Simulating the Variable Source Area Concept of Stream flow Generation with the Watershed Model TOPMODEL", U.S. Geological Survey, *Water Resources Investigations Report*, 36.

Mishra, K. S. and Singh, P. V. (1999). "Another look at SCS-CN Method", *Journal of Hydrologic Engineering, ASCE*, 4(3), 257-264.

Pradahan, N. R., Ogden, F. R., Tachikawa, Y., and Takara, K. (2008). "Scaling of slope, upslope area, and soil water deficit: Implications for transferability and regionalization in topographic index modeling", *Water Resources Research*, 44, 12-21.

Quinn, P. F., Beven, K. J., and Lamb, R. (1995). "The ln[a_i/tan β] index :How to calculate it and how to use it within the TOPMODEL framework", *Hydrological Processes*, 9, 161-182.

Rawls, W. J., Ahuja, L. R., Brakensiek, D. L., and Shirmohammadi, A. (1993). Infiltration and soil water movement. Handbook of Hydrology. (ed. by D. R. Maidment). New York: McGraw-Hill.

Soil Conservation Service (SCS). (1986). "Urban hydrology for small watersheds", Technical Release55, Springfield, USDA.

Steenhuis, T. S., Winchell, M., Rossing, J., Zollweg, J. A., and Walter, M. F. (1995). "SCS Runoff Equation Revisited for Variable-Source Runoff Areas", *ASCE Journal of Irrigation and Drainage. Engineering*, 121(3), 234-238.

Steve, W., Lyon, M., Todd, W., Pierre, G. M., and Tammo, S. S. (2004). "Using a Topographic Index to Distribute Variable Source Area Runoff Predicted with the SCS Curve-number Equation", *Hydrological Processes*, 18 (15), 2757-2771.

Tarboton, D. G. (1991). "On the extraction of channel networks from digital elevation data", *Hydrological Processes*, 5(1), 81-100.

Archive of SID

www.SID.ir

American Society of Civil Engineering, Washington DC.

Yaghobzade, M. (2008). ″Determination of SCS curve number using GIS and RS techniques″, Msc. thesis, Bahonar University, Kerman. (In Farsi)

Young, R. A., Onstad, C. A., Bosch, D. D., and Anderson, W. P. (1987). ″AGNPS, Agricultural Non-Point Source Pollution Model: A Watershed Analysis Tool″, USDA Conservation Report 35.USDA-ARS, Washington DC.

Zhan, X. and Huang, M. (2004). ″ArcCN-Runoff: an ArcGIS tool for generating curve number and runoff maps″, *Environmental Modelling & Software*, 19(10), 875-879.

Williams, J. R. (1995). ″The EPIC model. In: Singh, V.P. (Ed.), Computer Models of Watershed Hydrology″, *Water Resources Publications* (909-1000).

Wolock, D. M. and Price, C. V. (1994). ″Effects of digital Elevation model map scale and data resolution on a topography-based watershed model″, *Water Resources Research*, 30, 3041-3052.

Woodward, D. E., Hawkins, R. H., Jiang, R., Hjelmfelt, A. T., Mullem, J. A., and Quan, Q. D. (2003). ″Runoff Curve Number Method: Examination of the Initial Abstraction ratio″, In: Proc of *the World Water & Environmental Resources Congress and Related Symposia*.

Archive of SID

www.SID.ir