

Title:  
The effects of DEM resolution in extraction of physiographic and hydrological characteristics of Karde-Dam Watershed

Authors: Samira Alizadeh, Abdolhamid Dehviri, Abolghasem Akbari

(paper published in Persian)

## نقش قدرت تفکیک DEM در استخراج خصوصیات فیزیوگرافی و هیدرولوژیکی حوضه سد کارده در خراسان رضوی

سمیرا علیزاده<sup>۱\*</sup>، عبدالحمید دهواری<sup>۲</sup>، ابوالقاسم اکبری<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری دانشگاه زابل

۲- استادیار گروه آب و خاک دانشگاه زابل

۳- استادیار گروه عمران دانشگاه UMP مالزی

Samira21.alizadeh@gmail.com

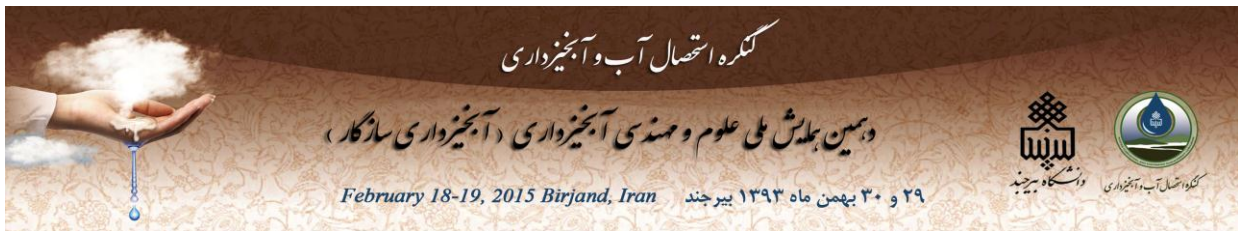
### چکیده

خصوصیات فیزیوگرافی نظیر ارتفاع از سطح دریا از جمله شاخص‌های مهم در مطالعه حوضه‌های آبخیز می‌باشد که از آن می‌توان در برآورد و اندازه‌گیری مقادیر متوسط رواناب، شبکه آبراهه‌ها (طول آبراهه، تعداد آبراهه‌ها) و زمان تمرکز در بخش‌های مختلف هر آبخیز، استفاده نمود. همچنین این شاخص‌ها اثر تعیین‌کننده‌ای بر کمیت و کیفیت شاخص‌های هیدرولوژیکی دارد که در این تحقیق از نرم افزار جانبی HEC-GeoHMS 5.0 در محیط نرم افزار ArcGIS Desktop 9.3 به منظور تهیه خصوصیات فیزیکی حوضه استفاده شد. به این منظور ابتدا از نقشه‌های توپوگرافی سازمان نقشه‌برداری کشور با استفاده از روش نزدیکترین همسایه‌ها مدل‌های رقمی ارتفاع با قدرت تفکیک‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰، ۹۰ و ۱۰۰ متری تهیه شد. و از طریق آن مرز حوضه، مرز زیر حوضه‌ها و مسیر آبراهه‌ها تعیین گردید. و سپس خصوصیات فیزیکی حوضه‌ها و آبراهه‌ها برای تمامی مدل‌های رقمی ارتفاع استخراج شد. نتایج بدست آمده نشان داد که با کاهش قدرت تفکیک مدل رقمی ارتفاع از ۱۰ متر به ۱۰۰ متر، ارتفاع و شیب متوسط، ارتفاع حداکثر، مجموع طول زیر حوضه‌ها (منطبق بر طولانی‌ترین مسیر آبراهه اصلی)، مجموع طول آبراهه اصلی و شیب متوسط آبراهه اصلی کاهش می‌یابد. همچنین تغییر در قدرت تفکیک مدل‌های رقمی ارتفاع منجر به تغییر در مساحت زهکشی، ارتفاع حداقل زیر حوضه‌ها و ارتفاع حداقل و حداکثر آبراهه اصلی و ایجاد تغییر در مختصات نقطه ثقل آنها می‌شود که نتیجه آن، تغییر در ارتفاع نقطه ثقل آنها است. با این وجود روند خاصی (کاهش یا افزایش) در این دسته از پارامترها مشاهده نگردید.

واژه‌های کلیدی: حوضه کارده، خصوصیات فیزیوگرافی، قدرت تفکیک، DEM، HEC-GeoHMS

### الف-مقدمه

سیستم اطلاعات مکانی بستری برای ذخیره و نگهداری، مدیریت و تجزیه و تحلیل اطلاعات جغرافیایی می‌باشد و امکان



استخراج خصوصیات مورفومتری<sup>۱</sup> و کارتوگرافی حوضه‌های بزرگ را با سهولت و سرعت بیشتری میسر می‌نماید. (پریشانی و همکاران، ۱۳۸۱). مدل رقومی ارتفاع (DEM<sup>۲</sup>) یکی از داده‌های مهم جهت شبیه‌سازی حوضه در مطالعات منابع خاک و آب و مدیریت حوضه‌های آبخیز می‌باشد و شاخص‌های متعددی مانند شیب، جهت شیب، طول جریان، مساحت آبخیز و شبکه آبراهه‌ها به آسانی از مدل رقومی ارتفاع زمین قابل استخراج هستند و برآورد دقیق شاخص‌ها به توان تفکیک (Resolution) مدل رقومی ارتفاع بستگی دارد (Chang and Tasi, 1991).

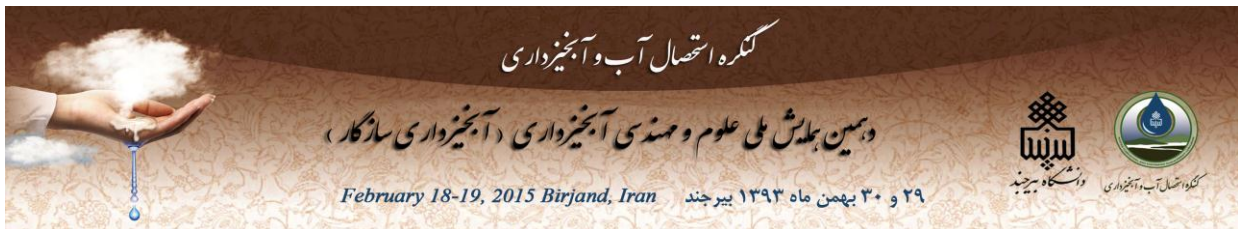
دقت بالای نقشه رقومی ارتفاع مسلماً تخمین‌های دقیق‌تری از مشخصات فیزیوگرافی حوضه را به همراه دارد، اما تهیه چنین نقشه‌هایی بسیار پرهزینه است (Chaplot, 2005) و انتظار می‌رود هر چه ابعاد شبکه سلولی مدل‌های رقومی ارتفاع کوچکتر باشد دقت DEM افزایش یابد، اما با این وجود تاثیر DEM با ابعاد سلولی کوچکتر در تمامی تحقیقات و بر تمام پاسخ‌های حوضه یکسان نیست و به بررسی بیشتری نیاز است. همچنین با افزایش توان تفکیک DEM حجم اطلاعات به شدت افزایش یافته و محدودیت در حافظه و مدیریت داده بوجود می‌آید. به طور کلی استخراج کامل و بهینه اطلاعات از داده‌های رقومی به هر شکل و فرمت که باشند به عوامل زیادی به ویژه به نوع داده، موضوع مورد مطالعه، منطقه مورد مطالعه و امکانات تفسیر بستگی دارد. به این ترتیب نتایج حاصل از این تکنیک همواره دارای دقت و صحت بالا و یکسان نخواهد بود و نیاز به بررسی انتخاب بهترین ورودی‌ها جهت رسیدن به نتایج مطلوب دارد. (روحانی فرد، ۱۳۸۲).

Callow و همکاران در سال ۲۰۰۷، روش‌های افزایش میزان دقت مدل رقومی ارتفاع را جهت آنالیز عوارض زمینی و متعاقب آن تعیین خصوصیات هیدرولوژیکی در حوضه‌ای در استرالیا مورد بررسی قرار داده و نتیجه گرفتند که با افزایش دقت مدل، خصوصیاتمانند شیب حوضه، طول رودخانه اصلی، مرز حوضه و رده‌بندی رودخانه تغییر یافته واز این رو پیشنهاد نمودند که جهت تعیین بهتر خصوصیات هیدرولوژیکی حوضه بهتر است که با استفاده از روش‌های معمول دقت مدل رقومی ارتفاع افزایش یابد.

Wu و Huang در سال ۲۰۰۷، تاثیر قدرت تفکیک مدل رقومی ارتفاع را بر شبیه‌سازی خصوصیات توپوگرافی (مانند شیب، مساحت تجمع‌ی بالادست و طول مسیر جریان) و اثر آن را بر میزان رواناب حوضه‌ای در کانادا مورد بررسی قرار دادند به طوری که در مطالعه خود از مدل‌های رقومی ارتفاع با وضوح متفاوت (۱۰ تا ۲۰۰ متر) استفاده کرده اند. نتایج حاصله آنها نشان داد

<sup>۱</sup> Morphometry

<sup>۲</sup> Digital Elevation Model



که وضوح DEM ها تاثیر قابل توجهی بر خصوصیات مورفولوژی، دبی رواناب و رسوب شبیه‌سازی شده در حوضه آبخیز دارد و با افزایش اندازه شبکه سلولی DEM، شیب و طول مسیر جریان به صورت قابل توجهی کاهش می‌یابد و مقدار رواناب و رسوب برآوردی حوضه را نیز کاهش می‌دهد.

Chen و همکاران در سال ۲۰۱۰، در دو حوضه در چین، با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱/۱۰۰۰۰، مدل‌های رقومی با قدرت تفکیک ۲/۵، ۵، ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۸۰، ۱۶۰ و ۳۲۰ متری تهیه و اثر این مدل‌ها را بر شاخص‌های توپوگرافیک حاصله همچون طول آبراهه و تراکم زهکشی مورد بررسی قرار دادند و نتیجه‌گیری کردند که DEM ۴۰ متری آستانه تاثیرگذاری تغییر، در قدرت تفکیک مدل‌های رقومی مورد استفاده بر دو پارامتر فوق در این دو آبخیز می‌باشد.

Lin و همکاران در سال ۲۰۱۰، در حوضه‌ای در استان زیجیانگ چین، تاثیر مدل‌های رقومی ارتفاع مختلف را با قدرت تفکیک های ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۹۰، ۱۰۰، ۱۲۰ و ۱۴۰ متری که از سه DEM مختلف و با قدرت تفکیک ۵، ۳۰ و ۹۰ متری ساخته شده بودند را بر روی تغییر خصوصیات مورفولوژیکی حوضه مورد بررسی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که با کاهش قدرت تفکیک مدل رقومی ارتفاع مقدار شیب حوضه کاهش، طول شیب افزایش و طول رودخانه تغییر می‌کند.

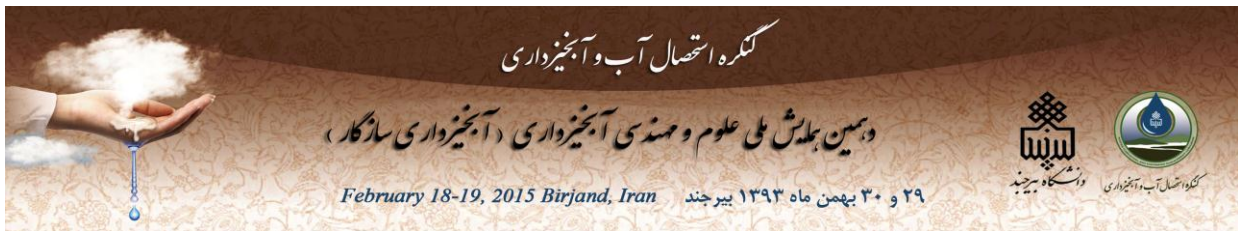
Liu و همکاران در سال ۲۰۱۱ در مطالعه‌ی خود به بررسی اثرات قدرت تفکیک راستای افقی سلولهای DEM و همچنین روش‌هایی در محاسبه عامل طول شیب در تغییرات تدریجی عوارض پرداختند و به این نتیجه رسیدند که دقت تفکیک افقی DEM در محاسبه عامل طول شیب در مناظر تپه ماهوری بسیار مهم است و علاوه بر آن مقدار عامل طول شیب به روش محاسبه نیز بستگی دارد.

انجام این مطالعه می‌تواند هم انتخاب قدرت تفکیک آستانه را تسهیل نماید و هم درصد است نشان دهد در صورتی که اختلافی بین پارامترهای بدست آمده توسط مدل‌های رقومی مورد مطالعه حاصل نشود، دیگر ممکن است لزومی برای تهیه و خرید مدل‌های رقومی با قدرت تفکیک بهتر از ۳۰ متر (مثلاً ۱۰ متر) در مطالعات فیزیوگرافی حوضه احساس نشود. زیرا مدل‌های رقومی ۳۰ متر و درشت‌تر در فضای مجازی و بدون پرداخت هزینه قابل دانلود و تهیه می‌باشند.

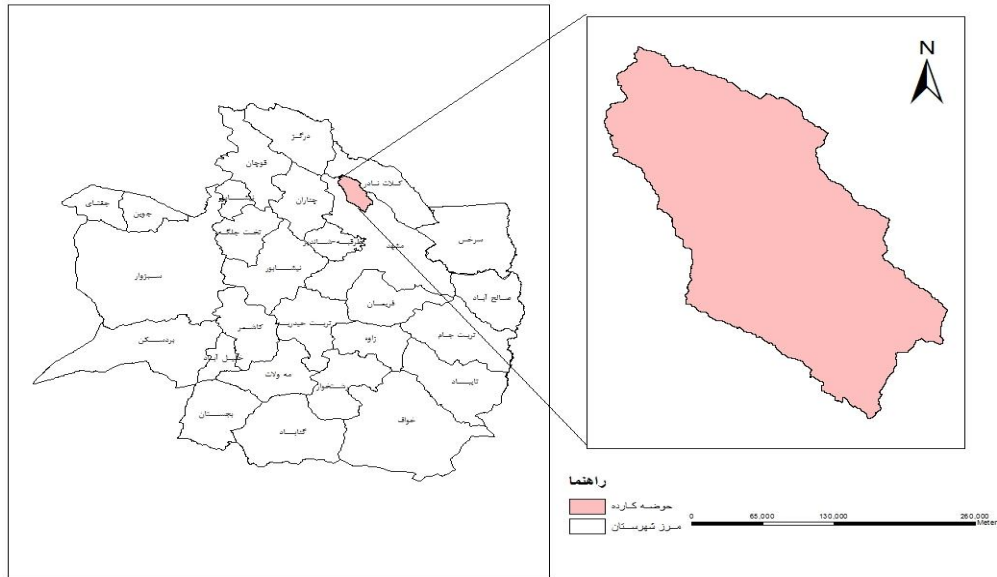
## ب- مواد و روش‌ها

### ۱- منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز سد کارده واقع در استان خراسان رضوی، در ۴۷ کیلومتری شمال شهرستان مشهد و در بین عرض‌های



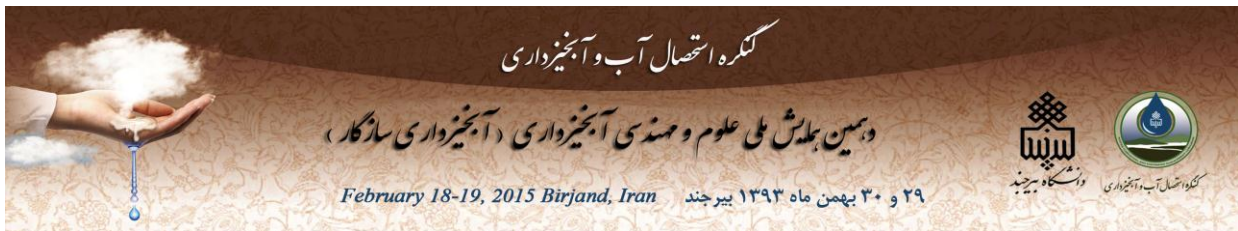
جغرافیایی "۳۶° ۴۰' ۱۰" تا "۳۶° ۵۶' ۰۵" شمالی و طول‌های جغرافیایی "۴۸' ۲۸' ۵۹" تا "۴۰' ۴۴' ۵۹" شرقی قرار دارد. مساحت حوضه حدود ۴۵۷ کیلومتر مربع است. حداکثر و حداقل ارتفاع حوضه به ترتیب ۱۳۰۰ و ۲۹۵۰ متر از سطح دریا می‌باشد. شکل ۱ محدوده حوضه مورد مطالعه را در استان خراسان رضوی نشان می‌دهد.



شکل (۱) محدوده حوضه کارده در خراسان رضوی

## ۲- تعیین شبکه آبراهه‌ها و مرز حوضه

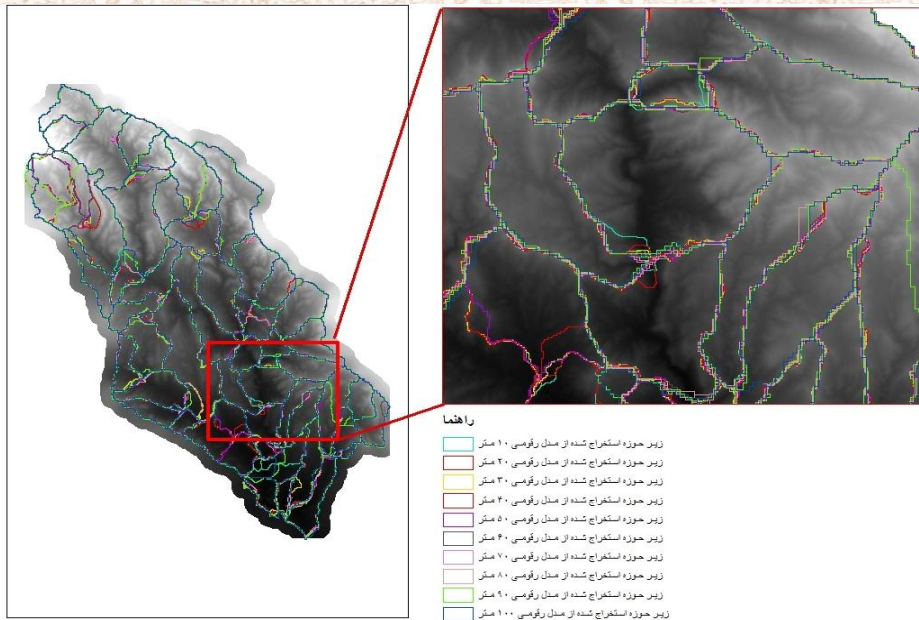
در این تحقیق از نرم افزار جانبی HEC-GEO HMS5.0 در محیط نرم افزار Arc GIS Desktop 9.3 به منظور تهیه پارامترهای فیزیکی و هیدرولوژیکی استفاده شده است. در ابتدا نقشه رقومی خطوط تراز ارتفاعی منطقه با اختلاف ارتفاع ۲۰ متر از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری خراسان رضوی تهیه شد. با استفاده از این نقشه، لایه DEM منطقه تهیه گردید. با توجه به اهمیت دقیق بودن DEM (Vanderschaeghe et al. (Krysanova, Müller-Wohlfeil et al. 1998) (2003), منطقه با اندازه سلولی ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰، ۹۰ و ۱۰۰ متر در محیط Arc GIS با استفاده از روش نزدیکترین همسایه‌ها تولید شد و سپس فرورفتگی‌های نابجای موجود در DEM های موجود تصحیح شدند. در ادامه با استفاده از نرم‌افزار جانبی HEC-GEO HMS شبکه آبراهه‌های حوضه و مرز حوضه تعیین گردید. به این منظور ابتدا با



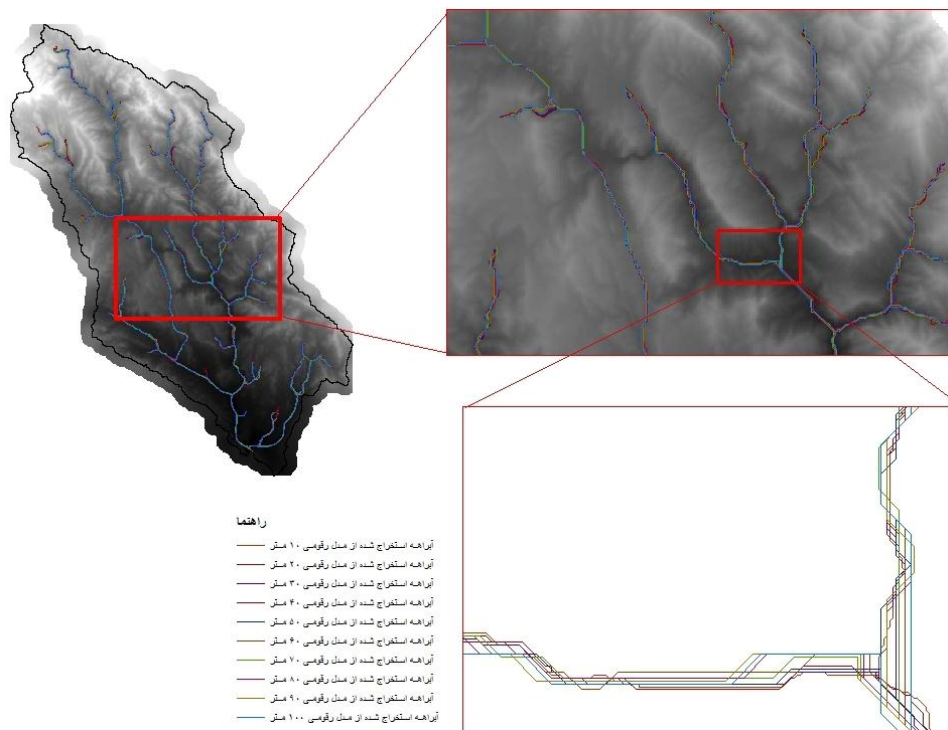
اعمال الگوریتم ریزش هشت نقطه‌ای<sup>۳</sup> بر روی DEM های اصلاح شده، نقشه جهت جریان بدست آمد. بر طبق این الگوریتم، جریان از سلول موجود به یکی از هشت سلول مجاور که بیشترین اختلاف ارتفاع را با آن دارد، جریان پیدا می‌کند (USACE, 2010). سپس نقشه تجمع جریان برای تمام مدل‌های رقومی ساخته شد. در این نقشه مقدار اختصاص یافته به هر سلول نشان‌دهنده تعداد سلول‌هایی است که جریانشان وارد این سلول می‌شود. مرحله بعد تعیین آبراهه می‌باشد. برای تعیین خودکار شبکه آبراهه‌ها در حوضه آبخیز یک عدد آستانه وجود دارد، که با معرفی عدد آستانه کلیه سلول‌هایی که مقادیر آنها در نقشه تجمع جریان بزرگتر از عدد آستانه باشد به عنوان شبکه رودخانه در نظر گرفته می‌شوند. هر چه عدد آستانه کوچکتر باشد، تراکم شبکه رودخانه ای بیشتر خواهد بود. تعیین عدد آستانه برای استخراج شبکه آبراهه‌ها به قدرت تفکیک مدل رقومی ارتفاعی، اطمینان از انطباق آنها با محیط طبیعی حوضه و بالاخره به میزان نقشی که تعداد آبراهه‌ها در مطالعه مورد نظر، بستگی دارد. بعنوان مثال هرچه شبکه زهکشی مترکم تر و تعداد آبراهه‌ها بیشتر باشد حوضه را می‌توان به زیر حوضه‌های کوچکتر تقسیم کرد (سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، ۱۳۸۱). بنابراین با توجه به نقشه تجمع جریان و عدد آستانه شبکه آبراهه ترسیم می‌شود. محل ایستگاه کارده به عنوان نقطه خروجی حوضه به نرم‌افزار معرفی شد. با معرفی خروجی به نرم‌افزار، مرز حوضه مورد مطالعه، همچنین مرز زیر حوضه‌ها و مسیر آبراهه‌ها برای تمام مدل‌های رقومی تعیین گردید.

### ۳- تعیین خصوصیات فیزیکی زیرحوضه‌ها و آبراهه‌ها

با تعیین محل ایستگاه هیدرومتری کارده به عنوان خروجی حوضه، محدوده زیرحوضه‌های بالادست ایستگاه کارده تعیین شد. شکل (۲) و شکل (۳) به ترتیب محدوده زیرحوضه‌ها و مسیر آبراهه‌های استخراج شده از هر DEM را نشان می‌دهد.

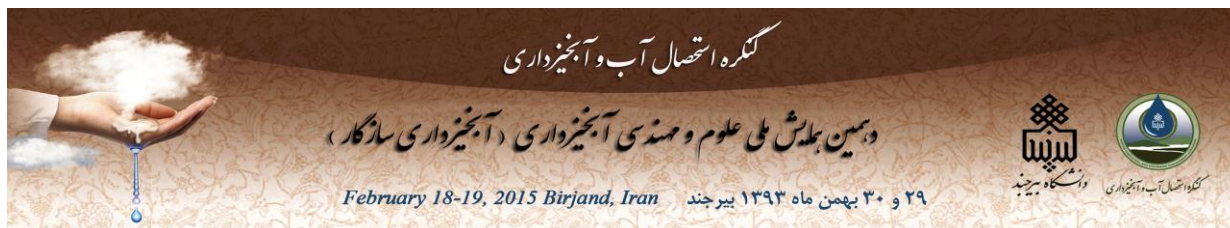


شکل (۲) زیر حوزه های استخراج شده از مدل رقمی ارتفاع در پیکسل سایزهای مختلف



شکل (۳) آبراهه های استخراج شده از مدل رقمی ارتفاع در پیکسل سایزهای مختلف

با توجه به لحاظ شش پارامتر مربوط خصوصیات زیرحوضه ها در مدل، شامل مساحت زهکشی، ارتفاع حداقل، ارتفاع حداکثر و



متوسط، ارتفاع در مرکز ثقل، متوسط شیب و چهار پارامتر دیگر مربوط به خصوصیات آبراهه اصلی، شامل ارتفاع حداقل و حداکثر، طول، شیب، خصوصیات مربوط به هر زیر حوضه به صورت جداگانه استخراج و سپس مجموع و یا متوسط پارامترها برای هر حالت بدست آمد. جدول ۱ و ۲ به ترتیب مقادیر مختلف پارامترهای مورفولوژی و آبراهه‌های اصلی به ازای مدل‌های رقومی ارتفاع مختلف را نشان می‌دهد.

جدول (۱) مقادیر پارامترهای مختلف مورفولوژی زیرحوضه‌ها بر اساس مدل‌های رقومی مختلف

| ارتفاع        | مجموع طول      | ارتفاع | ارتفاع | ارتفاع | مجموع    | قدرت         |     |
|---------------|----------------|--------|--------|--------|----------|--------------|-----|
| ارتفاع        | زیر            | ارتفاع | ارتفاع | متوسط  | مساحت    | تفکیک مدل    |     |
| متوسط در مرکز | آبخیز (کیلومتر | حداکثر | حداقل  | حوضه   | (کیلومتر | رقومی ارتفاع |     |
| ثقل (متر)     | )              | (متر)  | (متر)  | (متر)  | مربع)    | (متر)        |     |
| 1839          | 305            | 48/49  | 2311   | 1636   | 1924     | 451/55       | 10  |
| 1811          | 299            | 46/6   | 2308   | 1638   | 1924     | 448/64       | 20  |
| 1811          | 305            | 44/4   | 2299   | 1639   | 1923     | 449/10       | 30  |
| 1813          | 284            | 41/73  | 2299   | 1640   | 1924     | 449/07       | 40  |
| 1812          | 281            | 39/75  | 2293   | 1642   | 1923     | 449/37       | 50  |
| 1835          | 279            | 37/40  | 2290   | 1644   | 1923     | 449/92       | 60  |
| 1809          | 277            | 36/31  | 2283   | 1645   | 1923     | 450/23       | 70  |
| 1814          | 272            | 34/86  | 2280   | 1650   | ۲192     | 443/64       | 80  |
| 1813          | 270            | 33/5   | 2279   | 1654   | ۲192     | 443/35       | 90  |
| 1815          | 266            | 32/21  | 2273   | 1653   | ۱192     | 444/04       | 100 |



جدول (۲) مقادیر مختلف پارامترهای مورفولوژی آبراهه‌های اصلی بر اساس مدل‌های رقومی مختلف

| شیب آبراهه<br>اصلی (درصد) | مجموع طول آبراهه<br>های اصلی (کیلومتر) | ارتفاع<br>حداکثر (متر) | ارتفاع<br>حداقل (متر) | قدرت تفکیک مدل<br>رقومی ارتفاع (متر) |
|---------------------------|--|------------------------|-----------------------|--------------------------------------|
| 0/18                      | ۱۴۷                                    | ۱۵۸۹                   | ۱۲۴۹                  | 10                                   |
| 0/17                      | 145                                    | 1590                   | 1251                  | 20                                   |
| 0/17                      | 145                                    | 1592                   | 1252                  | 30                                   |
| 0/16                      | 144                                    | 1594                   | 1254                  | 40                                   |
| 0/16                      | 140                                    | 1591                   | 1255                  | 50                                   |
| 0/15                      | 139                                    | 1595                   | 1258                  | 60                                   |
| 0/14                      | 139                                    | 1598                   | 1261                  | 70                                   |
| 0/13                      | 135                                    | 1595                   | 1263                  | 80                                   |
| 0/13                      | 133                                    | 1637                   | 1304                  | 90                                   |
| 0/12                      | 132                                    | 1601                   | 1267                  | 100                                  |

### ج- نتایج و بحث

نتایج بررسی بین قدرت تفکیک مدل رقومی ارتفاع با ۱۱ پارامتر مورد بررسی، شش پارامتر شامل ارتفاع و شیب متوسط، ارتفاع حداکثر، مجموع طول زیرحوضه‌ها (منطبق بر طولانی ترین مسیر آبراهه اصلی)، مجموع طول آبراهه اصلی و شیب متوسط آبراهه اصلی کاهش یافته است. دلیل این کاهش را می‌توان مسطح شدن زمین و کاهش پستی و بلندی‌های حوضه با کاهش قدرت تفکیک مدل رقومی ارتفاع دانست که در نتیجه آن شیب، عمق و تعداد آبراهه‌ها و در نتیجه تراکم زهکشی حوضه کاهش می‌یابد. نتایج این تحقیق در بخش اثر کاهش قدرت تفکیک مدل رقومی بر کاهش ارتفاع، شیب حوضه و آبراهه‌ها با نتایج اکثر تحقیقات انجام شده در این مورد همخوانی دارد. (Lin و همکاران ۲۰۱۰، Kim و همکاران ۲۰۰۹). همچنین تغییر در قدرت تفکیک مدل رقومی ارتفاع منجر به تغییر در پنج پارامتر دیگر شامل مساحت زهکشی، ارتفاع حداقل زیر حوضه‌ها و ارتفاع حداقل و حداکثر آبراهه اصلی و ایجاد تغییر در ارتفاع نقطه ثقل آنها می‌شود. با این وجود روند خاصی (کاهش یا افزایش) در این دسته پارامترها مشاهده نگردید. که دلیل آن تاثیرات متفاوت تغییر در دقت مدل رقومی ارتفاع بر پارامترهای ذکر شده می‌باشد به عنوان مثال با تغییر قدرت تفکیک مدل رقومی ارتفاع، تغییرات جزئی در مناطق مرزی و نحوه بسته شدن حاشیه خارجی حوضه بوجود می‌آید که همین امر منجر به تغییر در مساحت زهکشی حوضه می‌گردد. و یا ارتفاع نقطه ثقل حوضه به دلیل تغییرات جزئی مختصات این نقطه در مدل‌های رقومی مختلف متغیر شده است. به طور کلی این نتایج در تطبیق با نتایج انجام شده





توسط (Wu) و همکاران ۲۰۰۷، Callow و همکاران (۲۰۰۷) می‌باشد که بیان نمودند، کاهش قدرت تفکیک مدل رقومی ارتفاع منجر به تغییر پارامترهای مورفولوژی برآوردی می‌شود. به طور کلی به دلیل تنوع پارامترهای مورفومتری مورد مطالعه، اختلاف در مساحت حوضه و تعداد متفاوت زیر حوضه‌ها در تحقیقات مختلف، نتایج این بخش از تحقیق ممکن است در تمامی حوضه‌ها ثابت نبوده و قابل تعمیم نباشد.

#### د- منابع

پیشانی، س؛ برهان داریان، ع؛ فاتحی، ا. ۱۳۸۱. استخراج اتوماتیک هیدروگراف و سیل حوضه‌ای در GIS. مجموعه مقالات ششمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی رودخانه. دانشگاه شهید چمران اهواز  
روحانی فرد، ن. ۱۳۸۲. کاربرد فن‌آوری‌های سنجش از دور در پایش اثرات زیست محیطی تغییرات کاربری اراضی بر تالاب انزلی. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده علوم محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات.  
سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور ۱۳۸۰. راهنمای پهنه بندی سیل و تعیین حد بستر و حریم رودخانه. نشریه شماره ۸۵۰. صفحه ۳۵۰.

Chang, K. T., and tasi, b, w. 1991. The Effect Of Dem Resolution On Slope And Aspect Mapping. *Cartography and Geographic Information Systems*, 18(1): 69-77.

Chaplot, V. 2005. Impact of DEM mesh size and soil map scale on SWAT runoff, sediment. *Journal of Hydrology*, 312(1-4): 207-222

Callow, J. N., Van Niel, K. P., and Boggs, G. S. 2007. How does modifying a DEM to reflect hydrology affect subsequent terrain analysis. *Journal of Hydrology*, 332(1-2), 30-39.

Wu, S., Li, J., and Huang, G. H. 2007. Modeling the effects of elevation data resolution on the performance of topography-based watershed runoff simulation. *Environmental Modelling & Software*, 22(9): 1250-1260.

Chen, j., lin, g., yang, z., and chen, h. 2010. The relationship between DEM resolution, accumulation area threshold and drainage network indices *18th International Conference on Geoinformatics*. June 18-20, 2010. Beijing, China.

Lin, S., Jing, C., Chaplot, V., Yu, X., Zhang, Z., Moore, N., and Wu, J. 2010. Effect Of Dem Resolution On Swat Outputs Of Runoff, Sediment And Nutrients. *Hydrology and Earth System Sciences*, 7: 4411-4435 .

Liu, H., Kiesel, J., Hörmann, G., and Fohrer, N. 2011. Effects of DEM horizontal resolution and methods on calculating the slope length factor in gently rolling landscapes. *Catena*, 87(3): 368-375.

Krysanova, V., et al. 1998. "Development and test of a spatially distributed hydrological/water quality model for mesoscale watersheds." *Ecological Modelling* 106(2-3): 261-289.

Vanacker, V., et al. 2003. "Linking hydrological, infinite slope stability and land-use change models through GIS for assessing the impact of deforestation on slope stability in high Andean watersheds." *Geomorphology* 52(3-4): 299-315.

USACE, 2010. HEC-GEOHMS Geospatial Hydrologic Modeling Extension User's Manual, 5. 0