علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و دوم، شماره هفت، مهرماه ۹۹

ارزیابی نرم افزار های هیدرولوژیکی در استخراج پارامترهای فیزیوگرافی حوضه آبخیز

سمیه سلطانی گردفرامرزی[1*]

ssoltani@ardakan.ac.ir

مرتضی قیصوری[2]

عارف صابری[2]

محسن قاسمی[3]

تاریخ دریافت: ۹۵/۵/۴ **تاریخ پذیرش:۹۶/۲/۲۶**

چکیده

زمینه و هدف: امروزه بسیاری از تحلیل‌های مطالعات هیدرولوژیکی به کمک نرم‌افزارهای تحت ArcGIS به‌عنوان یک ابزار با ارزش برای تحلیل‌های مهندسی، قابل اجرا می‌باشد. تعیین هندسه حوضه آبخیز و استخراج شبکه جریان و پارامترهای فیزیوگرافی برای تجزیه و تحلیل‌های مورفومتری، از مهم‌ترین گام‌های محاسباتی در نرم‌افزارهای هیدرولوژیکی می‌باشد.

روش بررسی: با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی با پیکسل سایز ۱۰ متری در دو حوضه سرباز (حوضه نسبتاً بزرگ) و گچان (حوضه کوچک) پارامترهای فیزیوگرافی حوضه شامل محیط، مساحت، نسبت انشعاب و تراکم زهکشی با استفاده از نرم افزارهای WMS ,HEC-GEO HMS ,ARC SWAT و ARC HYDRO استخراج و با مرز واقعی حوضه (روش دستی) مقایسه گردید.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که پارامترهای خروجی حاصل از نرم افزارها از لحاظ عددی به هم نزدیک بود و بسته به دید کارشناسی و سهولت کار می توان از هرکدام از نرم افزارها جهت استخراج پارامترهای فیزیکی حوزه استفاده نمود. نتایج تحلیل‌های آماری نیز همه نرم افزارها را در یک گروه قرارداد به این معنی که از لحاظ آماری اختلاف معنی‌دار بین عملکرد نرم افزارها وجود ندارد. علاوه بر این، در حوضه نسبتاً بزرگ‌تر دامنه تغییرات پارامترها نسبت به روش دستی بیش‌تر است. در نتیجه در حوضه‌های بزرگ پارامترهای فیزیکی حوضه باید با دقت بیش‌تری برآورد و محاسبه گردد. همچنین در هر دو حوضه، هر سه نرم‌افزارARC HYDRO, HEC-GEO HMS و ARC SWAT عملکرد بهتری از نرم‌افزار WMS داشتند و نتایج آن‌ها به واقعیت نزدیک‌تر بود.

۱- استادیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، ایران. *(مسوول مکاتبات)

۲- کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، ایران

۳- دکتری علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، ایران

بحث و نتیجه گیری: هر چند در بیش‌تر موارد خروجی نرم‌افزارهای ARC HYDRO و HEC-GEO HMS در هر دو حوضه مورد مطالعه به هم نزدیک‌تر بود. از طرفی به دلیل پیش پردازش‌های مورد نیاز جهت آماده سازی DEM برای استفاده در نرم افزار WMS و دشواری و زمان‌بر بودن کار با این نرم افزار نسبت به سه نرم افزار دیگر، در مطالعات هیدرولوژی این نرم افزار کم‌تر مورد استفاده قرار می-گیرد، ولی در مطالعات هیدرولوژیکی مانند کنترل سیلاب و فرسایش و رسوب نتایج حاصل از نرم افزار WMS به دلیل در نظر گرفتن رتبه بالاتر آبراهه‌ها می‌تواند مناسب‌تر باشد.

واژه‌های کلیدی: مدل رقومی ارتفاعی، نرم افزار هیدرولوژیکی، شبکه زهکشی، نسبت انشعاب.

J. Env. Sci. Tech., Vol 22, No.7, October, 2020

Evaluation of Hydrological Softwares in Physiographic Parameters Extraction of Watershed

Somayeh Soltani-Gerdefaramarzi[1] *
ssoltani@ardakan.ac.ir
Morteza Gheisouri[2]
Aref Saberi [2]
Mohsen Ghasemi[3]

Admission Date:May 16, 2017 Date Received: July 24, 2016

Abstract

Background and Objective: Today, many analysis of hydrological studies are applicable using ArcGIS, as a valuable tool for engineering analyzes. Determination of the geometry of the watershed and stream network extraction and analysis of physiographic parameters for morphometric analysis, is the most important step for hydrological applications.

Method: Using DEM with 10×10 meter pixel size of Sarbaz watershed, was extracted physiographic parameters such as environment, area, branching ratio and drainage density using software ARCSWAT, HEC-GEO HMS, WMS and ARC HYDRO and was compared with watershed border area.

Findings: The results of SPSS showed that they don't have statistically significant differences in the level of 95% between operations of software. So, the results of Duncan test represented that all softwares are placed in a group. Output parameters of the software in numerical terms was very close. Depending on the expert opinion and ease of use of any of the software can be used to derive physical parameters of watershed. Although the border area of extracted with ARCSWAT, HEC-GEO HMS and ARC HYDRO was closer than WMS with the truth visually.

Discussion and Conclusion: Because of pre-processing process required the preparation of DEM in WMS software and the difficulty with this software compared to other software, WMS software less frequently used in hydrological studies. But in hydrological studies such as flood control, sediment and erosion due to consideration of more ranks of stream the WMS software could be more appropriate.

Keywords: DEM, Hydrological Software, Drainage Network, Branching Ratio.

1- Assistant Professor, Department of Water Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resource, Ardakan University, Ardakan, Iran. *(Corresponding Authors)
2- M. Sc. of Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resource, Ardakan University, Ardakan, Iran.
3- PhD of Water Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resource, Ardakan University, Ardakan, Iran.

مقدمه

مدل رقومی ارتفاع (Digital Elevation Models) متشکل از شبکه منظم نقاط ارتفاعی است. گرچه یک DEM مبتنی بر نقاط ارتفاعی است لیکن می‌توان به‌آسانی و با قرار دادن هر نقطه ارتفاعی در مرکز یک سلول آن را به داده‌های رستری تبدیل نمود (۱). در این‌نوع داده‌های رستری، هرسلول یا پیکسل از این شبکه با یک کد رقمی که نشان‌دهنده ارتفاع واقعی آن نقطه می‌باشد، مشخص می‌گردد. مدل‌های رقومی ارتفاع معمولاً در یکی از سه ساختار شبکه‌ای منظم، نامنظم مثلثی و منحنی میزان ذخیره می‌گردند (۲). عاشورلو و همکاران (۱۳۸۷) معتقدند یکی از مهم‌ترین روش‌های تهیه مدل رقومی ارتفاع بر اساس به کارگیری توابع درون‌یابی موجود در نرم افزارهای GIS بر روی نقشه‌های رقومی خطوط تراز ارتفاعی می‌باشد. از جمله مهم‌ترین خطاها، انتخاب اندازه پیکسل سایز نامناسب در یک مقیاس خاص جهت تولید مدل-های رقومی ارتفاع می‌باشد. این نوع خطای ایجاد شده در مدل-های رقومی ارتفاع از موانع عمده در کاربرد مدل‌های هیدرولوژیکی به حساب می‌آید. زیرا انتخاب اندازه پیکسل سایز نامناسب باعث کاهش یا افزایش جزئیات مدل‌های رقومی ارتفاع شده و غالباً موجب بروز اختلالاتی در مراحل شبیه‌سازی توسط مدل‌ها می‌گردد (۳). نداف سنگانی و همکاران (۱۳۹۴) اثر روش‌های مختلف تهیه DEM بر خصوصیات موفومتری شبکه-های رودخانه‌ای را مقایسه کردند و به این نتیجه رسیدند که فراوانی آبراهه‌های مستخرج از مدل رقومی ارتفاع با تصویر ماهواره‌ای در کل حوزه درصد فراوانی بیش‌تری نسبت به فراوانی سلولی دارد و در واحدهای ژئومورفولوژی مناطق تپه ماهوری نسبت به سایر واحدها اختلاف کم‌تری دید شد (۴). شکوهی و عزیزیان (۱۳۹۳) از طریق مقایسه اثرات استفاده از مدل‌های رقومی ارتفاع راداری SRTM و مدل‌های رقومی ارتفاع حاصل از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ زمینی، عملکرد مدل ژئومورفولوژیکی KW-GIUH و پارامترهای ورودی آن را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که در صورت استفاده از مدل‌های رقومی ارتفاع راداری، مقادیر پارامترهای ژئومورفولوژیکی نظیر شیب متوسط زیر حوزه‌ها، شیب متوسط آبراهه‌ها و تعداد آبراهه‌ها همواره کم‌تر از مقادیر به دست آمده از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ می‌باشند (۵). چنج و همکاران (۱۹۹۱) در انجام مطالعات هیدرولوژیکی و نیز مدیریت حوضه‌های آبریز با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی، بیان کردند که دقت استخراج پارامترهای ژئومورفولوژیکی بستگی بسیار زیادی به ابعاد سلول دارد (۶). تامپسون و همکاران (۲۰۰۱) در پژوهشی به این نتیجه رسیدند که خطاهای بزرگ در شبیه سازی هیدرولوژیکی، اغلب به دلیل تخمین اشتباه ارتفاع عوارض و شیب اتفاق می افتد (۷). مک برانی (۲۰۰۳) اندازه سلول را تابع داده‌های مورد نیاز در GIS دانست. فرض او این است که ترجیح داده می‌شود از بیش‌ترین اندازه سلول در پروژه‌ها استفاده شود. بر این اساس رابطه ای را برای اندازه سلول و توانایی کامپیوتر ارایه نمود. درصورتی که نمی‌توان به راحتی از هر سلولی با توجه به قدرت کامپیوتر در ساخت مدل رقومی ارتفاعی استفاده نمود (۸). مداتیوس و سیگمونس (۲۰۰۵) بیان می‌کنند که دستیابی به یک مدل رقومی ارتفاع مناسب از طریق نقشه‌های توپوگرافی حاصل از برداشت‌های زمینی برای حوزه‌های آبخیز، به‌خصوص در کشورهای درحال توسعه به‌راحتی امکان‌پذیر نمی‌باشد و مشکلات اصلی شامل عدم‌کفایت، دقت و دسترسی به چنین منابعی است (۹). اگر چه استخراج خصوصیات فیزیوگرافی یک حوضه به روش های مختلف امکان‌پذیر است ولی انجام محاسبات به روش‌های دستی و یا ابزارهای محاسباتی متداول رایانه‌ای همواره از وقت-گیرترین و پرهزینه ترین بخش‌های مطالعات است. برای مثال الماسی نیا و شربی (۱۳۹۲) پارامترهای مورفومتری و هیدرولوژیکی را با روش های مختلف بررسی کردند و روش دستی را یکی از روش‌های مناسب جهت برآورد پارامترهای حوزه آبخیز معرفی کردند (۱۰). اگر چه سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و نرم‌افزارهای منابع آب در ابتدا به صورت جداگانه توسعه داده شده اند، اما ارتباط دادن سیستم اطلاعات جغرافیایی و نرم‌افزارهای منابع آب در سال‌های اخیر به عنوان راهی برای حل مشکلات مذکور شناخته شده است. یکی از فعالیت‌های انجام شده در این راستا توسعه برنامه HEC-

HMS و همراه نمودن با برنامه جانبی HEC-Geo HMS در محیط GIS می‌باشد. آلارکون و همکاران (۲۰۰۶) مطالعاتی بر روی سه حوزه در منطقه می‌سی‌سی‌پی انجام دادند که نشان داد کیفیت و وضوح مدل‌های رقومی ارتفاع بر روی طرح و تخمین جریان اثرگذار بوده به طوری که مدل‌های رقومی ارتفاع با سلول‌های کوچک‌تر باعث تقسیم‌بندی بیش‌تر حوزه می‌شوند (۱۱). مورفی و همکاران (۲۰۰۷) تأثیر کیفیت و قدرت تفکیک مکانی مدل ارتفاعی رقومی در استخراج شبکه‌های آبراهه‌های حوزه آبخیز بر روی مدل‌های تولیدی حاصل از روش‌های فتوگرامتری با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر و داده‌های لیدار با قدرت تفکیک مکانی یک متر را بررسی کرده و نتیجه‌گیری نمودند که شبکه آبراهه‌های حاصل از داده‌های لیدار دقیق‌تر بوده و انطباق بیش‌تری را با شبکه آبراهه واقعی در مقایسه با شبکه آبراهه‌های منتج از مدل ارتفاعی رقومی به روش فتوگرامتری نشان می‌دهد (۱۲). میشل (۲۰۰۸) در رابطه با تأثیر شیب، بر اندازه پیکسل سایز (سلول) پژوهشی انجام داد که نتایج نشان داد که طول آبراهه با شیب زمین دارای رابطه معنی‌داری است و مدلی نیز بر اساس تغییرات شیب ارایه کرد که در آن تعیین اندازه پیکسل مدل رقومی ارتفاع با مبنای هیدرولوژیکی بر اساس طول آبراهه و مساحت حوزه مدنظر قرار گرفته شد (۱۳). زورکفله (۲۰۰۹) ضمن بیان اینکه تغییرات کاربری اراضی می‌تواند تاثیر به‌سزایی بر روی خواص هیدرولوژیکی حوضه داشته باشد، به بررسی تاثیر کاربری اراضی بر اساس دبی حداکثر سیلاب با استفاده از نرم افزار HEC-Geo HMS پرداخت. نتایج حاکی از قابلیت بالای HEC-Geo HMSدر برآورد هیدروگراف سیل مطابق با داده‌های مشاهده‌ای و خصوصیات فیزیوگرافی با دقت قبول در منطقه می‌باشد (۱۴). چن و یو (۲۰۱۰) و چن و ویلسون (۲۰۱۲) پس از استخراج شبکه زهکشی از چند نوع مدل رقومی ارتفاعی توصیه کردند که باید الگوریتم جدیدی جایگزین الگوریتم ساده D8 (که اساس این روش در نظر گرفتن ارتفاع هر پیکسل و مقایسه‌ی آن با هشت پیکسل مجاور می‌باشد) شود، زیرا در هرکدام خطاهایی به وجود می‌آید (۱۵ و ۱۶). در تحقیق حاضر خصوصیات فیزیوگرافی حوزه آبخیز سرباز یکی از زیرحوضه‌های کارون به عنوان یک زیرحوضه نسبتاً بزرگ و زیرحوضه گچان در استان ایلام (زیر حوضه کوچک) با چهار روش نرم‌افزاری و یک روش دستی استخراج شده و در نهایت بهترین روش انتخاب می گردد.

مواد و روش ها

معرفی منطقه موردمطالعه

در این مطالعه دو زیر حوضه آبخیز سرباز واقع در استان اصفهان به عنوان یک حوضه بزرگ و کم ارتفاع با مساحت حدود ۳۵۰ کیلومترمربع و ارتفاع متوسط ۲۵۷۰ متر و زیر حوضه آبخیز گچان در استان ایلام به عنوان یک حوضه کوچک با مساحت حدود ۳۴ کیلومترمربع و ارتفاع متوسط ۲۰۸۸ متر مطالعه شده است. زیر حوضه آبخیز سرباز در طول جغرافیایی ′۳۲ °۵۱ و ′۵۱ °۵۱ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ′۵۹ °۳۰ و ′۳۰°۴۷ درجه شمالی قرار دارد. حوزه آبخیز گچان از نظر موقعیت جغرافیایی در ′۳۲ °۴۶ غربی تا ′۲۶ °۴۶ شرقی، ′۴۲ °۳۳ شمالی تا °۳۳ ′۳۸ جنوبی قرار دارد. این حوزه با بیش-ترین ارتفاع ۲۶۴۰ متر و کم‌ترین ارتفاع آن واقع در خروجی ۱۵۳۷ متر و ارتفاع متوسط حوزه نیز ۲۰۸۸ متر در شمال شرقی استان ایلام قرار دارد. مساحت حوزه آبخیز ۳۴/۳۵ کیلومتر مربع و محیط آن نیز ۲۷/۹۶ کیلومتر است. در شکل (۱) محدوده مورد مطالعه مشخص گردیده است. پس از جمع-آوری و تهیه داده‌ها، اقدام به کنترل نقشه‌ها گردید و در نهایت با واردکردن نقشه‌ها به عنوان ورودی نرم افزار سایر مراحل انجام شد. از میان DEM های موجود، DEM سازمان نقشه-برداری با اندازه سلول ۱۰ متری انتخاب شد و نرم‌افزارهای WMS، HEC-GEO HMS، ARCSWAT، ARC HYDROو روش دستی که در به‌دست آوردن پارامترهای فیزیکی حوزه در مهندسی علوم آب کاربرد بیش‌تری دارند، انتخاب شد. در ابتدا مدل رقومی ارتفاع در نرم‌افزار ARC HYDRO وارد کرده و با ابزارFILL SINK چاله‌های موجود در DEM که به علت خطاهای میان‌یابی در زمان تولید

به وجود می‌آیند تصحیح شد. سپس با ابزارهای موجود در اکستنشن اضافی نرم‌افزار پارامترهای مختلف حوزه ازجمله شبکه زهکشی، شبکه تجمعی جریان، شبکه جهت جریان در پیکسل‌ها، درجه‌بندی آبراهه‌ها، بستن مرز حوزه، تعیین شیب حوزه به دست آمد. سپس با پلی‌گون کردن حوزه مساحت و محیط حوزه به دست آمد. از میان پارامترهای به دست آمده سه پارامتر اصلی مساحت حوزه، محیط حوزه و طول آبراهه اصلی که در پنج روش مربوطه مشترک بود، جهت پژوهش مربوطه انتخاب شد و از طریق شبکه آبراهه‌ای، پارامتر تراکم زهکشی و نسبت انشعاب از طریق رابطه ۱ و ۲ به دست می آید.

$$Dd = \frac{\sum L_i}{A} \qquad (۱)$$

Dd: تراکم زهکشی به کیلومتر بر کیلومترمربع

Li : طول آبراهه‌ها به کیلومتر

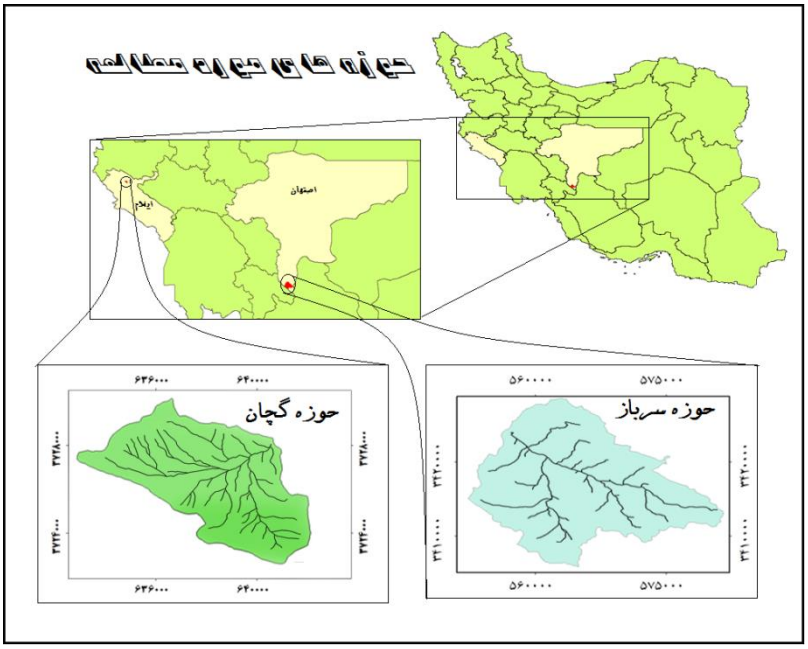
A: مساحت حوزه به کیلومترمربع

$$BR = \left(\frac{N}{n_2} + \frac{N_2}{n_3} + \ldots + \frac{N_{n-1}}{n}\right)\left(\frac{1}{n-1}\right) \qquad (۲)$$

BR : نسبت انشعاب

N : تعداد آبراهه در هر رده

n : شماره رده آخرین آبراهه



شکل۱- منطقه مورد مطالعه

Figure1. The study area

برای به دست آوردن نسبت انشعاب، آبراهه‌ها به روش استراهلر درجه‌بندی شدند. در مرحله بعد خروجی‌های به دست آمده از نرم‌افزار ARC HYDRO را در نرم‌افزار HEC-GEO HMS وارد کرده و پس از انجام مراحل مختلف نرم‌افزار مرز جدید حوزه بسته شد و پارامترهای فیزیوگرافی حوزه به دست آمد و سه پارامتر مورد مطالعه مذکور استخراج و از طریق روابط ۱ و ۲ دو پارامتر دیگر تراکم زهکشی و نسبت انشعاب نیز حاصل شد. در مرحله بعد برای کار با نرم‌افزار WMS پیش پردازش‌هایی بر روی DEM انجام شد، به‌این‌ترتیب که DEM مورد مطالعه، در نرم‌افزار ARC GIS تبدیل به نقشه نقطه‌ای شد و در نرم‌افزار WMS به عنوان ورودی وارد گردید و مرز جدید حوزه بر اساس این نقشه نقطه‌ای بسته شد و پارامترهای فیزیوگرافی حوزه به دست آمد. در ادامه همانند مراحل قبل پارامترهای مذکور استخراج شد. در روش دستی نیز با استفاده از نرم‌افزار GIS و نقشه‌های توپوگرافی سازمان جغرافیا و نقشه‌برداری، شبکه آبراهه‌ای و مرز حوزه و سایر پارامترهای مورد مطالعه استخراج شد. برای تحلیل آماری پارامترهای به دست آمده از نرم‌افزار SPSS استفاده گردید. در

این آزمون نرم‌افزار GIS به عنوان نرم‌افزار شاهد در نظر گرفته شد و پارامترهای به دست آمده از چهار روش دیگر نسبت به آن سنجیده شد.

نتایج پژوهش

در این بررسی برای رسیدن به نتیجه مطلوب و مناسب از اطلاعات فیزیوگرافی دو حوزه آبخیز در ایلام و اصفهان استفاده شده است (جدول ۱). از نظر ظاهری و برای مطالعات اولیه، نتایج مربوط به برداشت‌های دستی مطلوب‌تر به نظر می‌رسد زیرا شکل واقعی‌تر از آبراهه‌ها و مرز حوزه به دست می‌دهد ولی در مورد مطالعات تخصصی ژئومورفولوژی و هیدرولوژی مانند مطالعات سیل‌خیزی و فرسایش و رسوب و مدل‌سازی به نتایج دقیق‌تری نیاز است. در مورد پارامتر مساحت می توان گفت مساحت حاصله از نرم‌افزارهای ARC SWAT ARC HEC-GEO HMS،HYDRO، در حوضه سرباز به واقعیت نزدیک‌تر می‌باشد و میزان اختلاف آن‌ها با عدد حاصل از روش دستی ناچیز و در حد ۴ تا ۵ کیلومترمربع بیش‌تر تجاوز نمی‌کند، ولی عدد به دست آمده در نرم افزار WMS دارای تفاوت قابل توجهی با روش دستی می‌باشد و این تفاوت به دلیل بستن مرز حوزه بزرگ‌تر از مرز واقعی به وسیله این نرم‌افزار است. درحالی‌که در مورد حوضه گچان تفاوت قابل ملاحظه‌ای در پارامتر مساحت حوضه در خروجی نرم‌افزارها مشاهده نمی‌شود. در مورد محیط نیز در حوضه سرباز با وجود آن‌که اعداد به دست آمده از سه نرم‌افزار ARC SWAT، ARC HYDRO، HEC-GEO HMS از میزان واقعی بیش‌تر است و این نشان دهنده این است که مرز حاصله در GIS در بیش‌تر نقاط به صورت دستی و به صورت خط صاف دیجیت شده است ولی در سه نرم‌افزار ARC SWAT، ARC HYDRO، HEC-GEO HMS به صورت دقیق‌تر و از خطالاراس‌ها و خط القعرها با دقت بیشتری بسته شده است و به همین دلیل مرز به صورت دندانه‌دار است و محیط حاصله بیش‌تر از میزان به دست آمده در نرم‌افزار GIS و روش دستی است. درحالی‌که نتیجه نرم‌افزار WMS در محاسبه محیط حوضه در حوضه سرباز بسیار متفاوت و حدود ۲۴۴ برابر بیش‌تر از روش دستی آن را برآورد می‌کند. در حوضه گچان نیز محاسبه محیط حوضه با هر چهار نرم افزار بیش‌تر از روش دستی است ولی بیش‌ترین افزایش برآورد محیط حوضه (۳۳٪) در نرم‌افزار ARC HYDRO مشاهده گردید. نتایج جدول (۱) به طور کلی نشان می‌دهد که خروجی نرم‌افزارهای ARC HYDRO و HEC-GEO HMS در هر دو حوضه مورد مطالعه به هم نزدیک بوده و در بیشتر موارد به واقعیت نزدیک‌تر است.

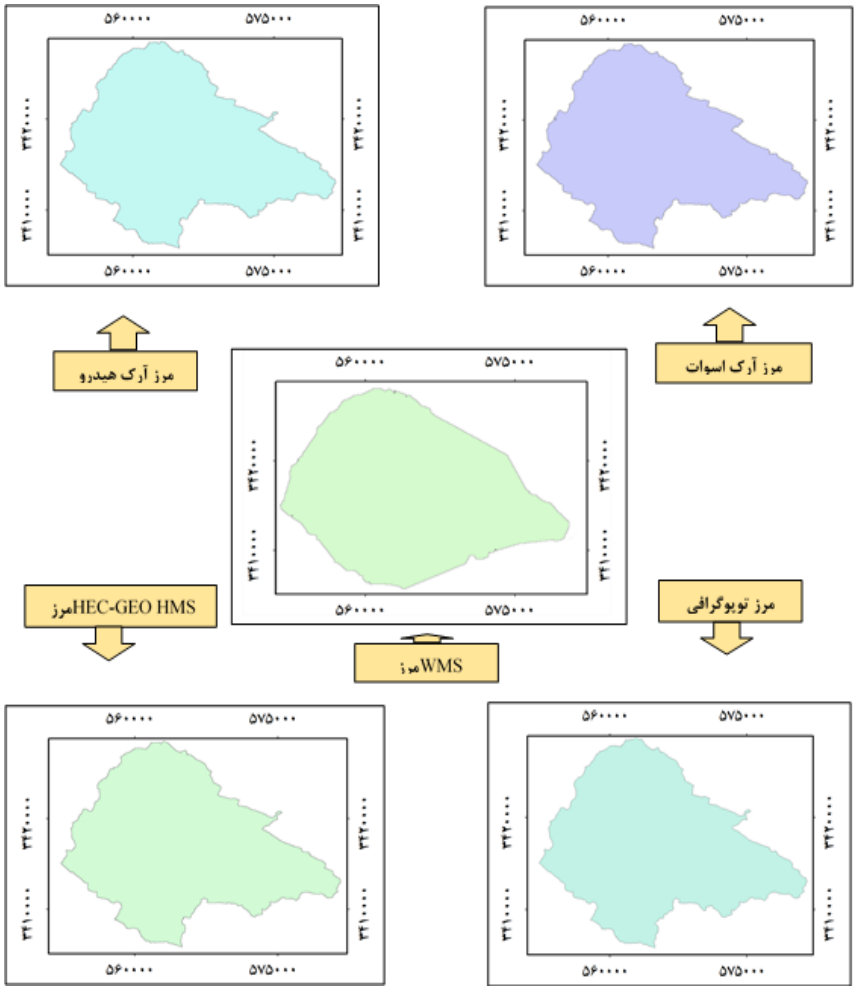
مرزهای به دست آمده از هر چهار نرم افزار مورد مطالعه به کمک نرم افزار GIS در یک فریم مرتب شد و جهت بررسی بصری و تفاوت در شکل و حدود بستن مرز حوزه در نرم افزارهای مورد بحث برای نمونه برای حوضه سرباز در شکل (۲) نشان داده شده است. در مورد تراکم زهکشی در حوضه سرباز اعداد به دست آمده از هر چهار نرم‌افزار با روش دستی دارای تفاوت هستند و تراکم زهکشی را بیش‌تر از روش دستی برآورد می‌کنند. این پارامتر در روش دستی ۰/۲ محاسبه شده است درحالی‌که در نرم‌افزارهای ARC SWAT و WMS به ترتیب ۰/۶۹ و ۰/۶۸ برآورد شده است و عدد بدست آمده در دو نرم‌افزار دیگر حدود ۰/۴ محاسبه شده است. در مورد حوضه گچان نتایج تراکم زهکشی متفاوت از حوضه سرباز بوده است به‌طوری‌که عدد تراکم زهکشی با هر چها روش مذکور در این حوضه کم‌تر از روش دستی بوده است و کم‌ترین برآورد (۰/۶۲) متعلق به نرم‌افزار WMS بوده است. اختلاف تراکم زهکشی به این دلیل است که نرم‌افزارها در ایجاد شبکه زهکشی با دستور STREAM DEFINITION بر اساس دستور کاربر و یا مساحت پیشنهادی که خود نرم‌افزارها پیشنهاد می‌کند، اقدام به ترسیم خطوط آبراهه‌ها کرده و آبراهه‌های کوچک‌تر را حذف می‌کنند. نسبت انشعاب به دست آمده از چهار نرم‌افزار مذکور در حوضه سرباز دارای اختلاف با مقدار به دست آمده از روش دستی است و میزان بدست آمده کم‌تر از عدد حاصل از روش دستی می‌باشد. درحالی‌که در حوضه گچان به عنوان حوضه‌ای با مساحت کوچک‌تر، نرم‌افزار ARC HYDRO و

ARC SWAT نسبت انشعاب را بیش‌تر از روش دستی محاسبه کرده‌اند و دو روش دیگر کم‌تر از روش شاهد نسبت انشعاب را برآورد کرده‌اند. این موضوع نیز همانند تراکم زهکشی به دلیل آستانه انتخابی توسط نرم‌افزار است که در تراکم زهکشی توضیح مربوط به آن ارایه شد. این امر باعث کاهش رتبه آبراهه‌ها و در نتیجه کاهش نسبت انشعاب می‌شود. شبکه زهکشی حاصل از روش‌های مورد مقایسه در حوضه سرباز برای نمونه در شکل (۳) نشان داده شده است. همچنین برای مقایسه بهتر نتایج بدست آمده از روش‌های مختلف، شکل (۴) ترسیم شده است. در مرحله بعد با استفاده از نرم‌افزار SPSS و نتایج بدست آمده از هر چهار روش مذکور آزمون‌های همگنی واریانس و تجزیه واریانس انجام شد. بر اساس نتایج حاصل از تحلیل‌های آماری، می‌توان مشاهده نمود که فرض همگنی بین واریانس گروه‌ها (نرم افزارها و مقادیر شاهد) بر اساس آزمون لون برقرار است چون مقدار p-value بزرگ‌تر از ۰/۰۵ شده است. در نتیجه داده‌ها همگن است (جدول ۲). همچنین نتایج حاصل از آزمون ANOVA (جدول ۳) نشان داد که تفاوت معنی‌دار بین نتایج حاصل از نرم‌افزارها از نظر آماری وجود ندارد چون سطح معنی‌داری بیشتر از ۰/۰۵ حاصل شده است. پس از تعیین وجود یا عدم وجود اختلاف بین گروه‌های آزمون (بررسی معنی داری آزمون در جدول آنالیز واریانس)، این سوال مطرح می شود که تفاوت میانگین بین کدام دوگروه معنی دار می باشد؟ دراین‌راستا آزمون دانکن در ادامه تجزیه واریانس انجام شد و با توجه به دسته‌بندی پارامترها و واریانس به‌دست‌آمده (۰/۹۶۶ که بزرگ‌تر از ۰/۰۵ است) همه نرم‌افزارها در یک گروه قرار گرفت که نشان‌دهنده نزدیک بودن عملکرد نرم‌افزارها به مقادیر شاهد می‌باشد (جدول۴) هرچند تفاوت عددی در هر پارامتر در روش‌های مذکور در جدول (۱) مشاهده گردید ولی این اختلاف‌ها از نظر آماری معنی‌دار نبوده است.

جدول ۱- نتایج بررسی خصوصیات فیزیوگرافی در دو حوضه گچان و سرباز

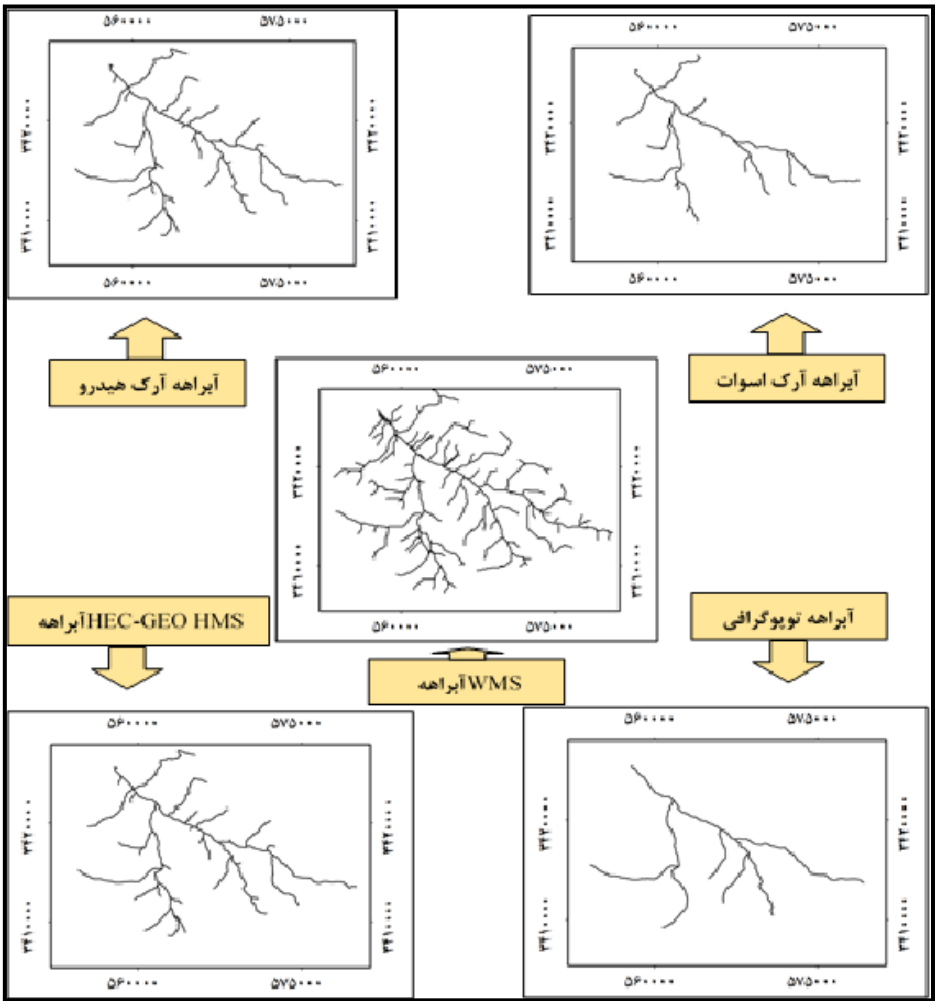
Table 1. The results of physiographic characteristics investigation in Gachan and Sarbaz basins

حوزه مورد بررسی	ابزار مورد استفاده	پارامترهای مورد بررسی	مساحت	محیط	تراکم زهکشی	نسبت انشعاب
حوزه گچان (استان ایلام)	Topography		۳۴/۳۵	۲۷/۹۵	۱/۹۳	۱/۸۶
	ARC HYDRO		۳۳/۳۶	۳۷/۲	۱/۲۸	۲/۰۱
	ARC SWAT		۳۱/۴۷	۳۵/۱۲	۰/۹۴	۱/۶۰
	HEC-GEO HMS		۳۳/۴	۳۷/۲۵	۱/۲۴	۱/۹۶
	WMS		۳۵/۷۷	۳۲/۹۸	۰/۶۲	۱/۱۴
حوزه سرباز (استان اصفهان)	Topography		۳۴۹/۴۶	۱۰۲/۴۵	۰/۲	۲/۷۵
	ARC HYDRO		۳۴۷/۲۹	۱۳۱/۸	۰/۳۹	۱/۸۴
	ARC SWAT		۳۴۵/۱۳	۱۳۰/۳	۰/۶۹	۲/۰۱
	HEC-GEO HMS		۳۴۶/۹۷	۱۳۲/۱۴	۰/۴	۱/۸۴
	WMS		۳۹۸/۴۶	۳۵۳/۳۷	۰/۶۸	۱/۸۸



شکل۲- مقایسه مرز (حوضه سرباز) استخراج شده بر اساس پنج روش

Figure 2. Comparison border area (Sarbaz basin) based on five methods



شکل۳- مقایسه شبکه زهکشی (حوضه سرباز) استخراج شده بر اساس پنج روش

Figure 3. Comparison drainage network (Sarbaz basin) based on five methods

جدول ۲- آزمون همگنی واریانس‌ها

Table 2. Test of homogeneity of variance

آزمون لون	درجه آزادی ۱	درجه آزادی ۲	سطح معنی‌داری
۰/۵۹۲	۴	۱۵	۰/۶۷۴

جدول ۳- نتایج آزمون ANOVA

Table 3. ANOVA test results

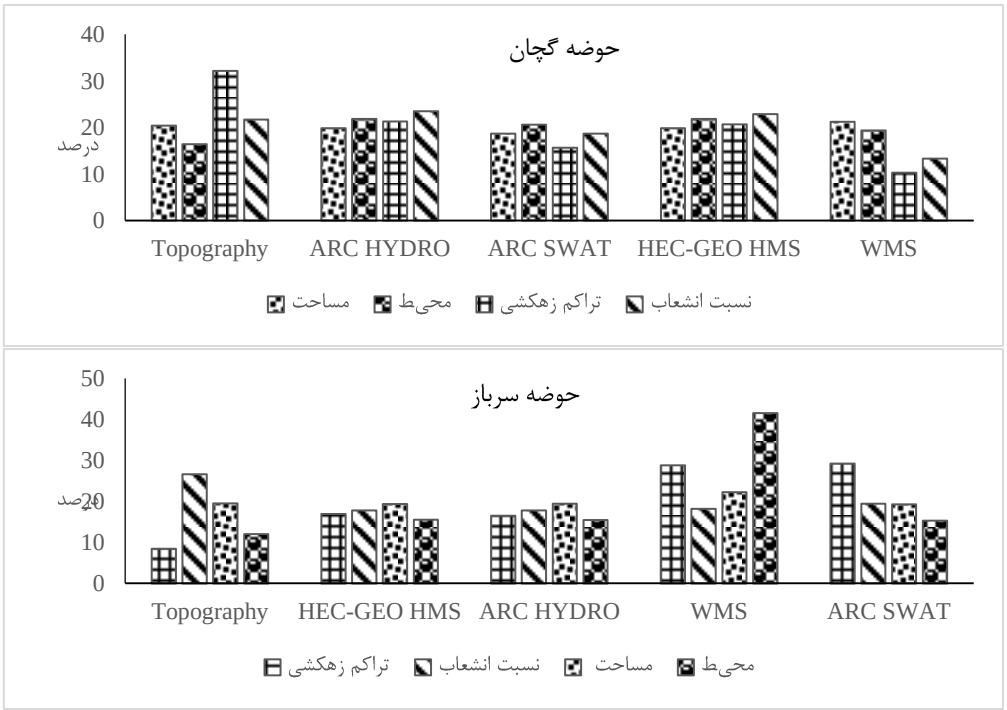
گروه	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مجموع مربعات	F	سطح معنی‌داری
بین دو گروه	۱۴/۱۱۹	۴	۳/۵۲۹	۰/۰۱	۱/۰۰۰
در گروه	۱۰۲۸۹۶/۹۶۴	۱۵	۶۸۵۹/۷۹۷		
کل	۱۰۲۹۱۱/۰۶۵	۱۹	۶۸۶۳/۳۲۶		

جدول ۴- نتایج آزمون دانکن

Table 4. Duncan test results

نرم افزارها	N	۰/۰۵= زیرمجموعه‌های آلفا
روش دستی	۴	۱۱۳/۷۱
ARC SWAT	۴	۱۱۹/۵۳
ARCH YDRO	۴	۱۲۰/۳۳
HEC-GEO HMS	۴	۱۲۰/۳۳
WMS	۴	۱۸۸/۵۹
Sig.		۰/۵۹۲

بر اساس جدول (۵) نتیجه درصد فراوانی آبراهه در هر دو نرم-افزار HEC-GEO HMS و ARC HYDRO کاملاً مطابق هم است که دلیل این امر انتخاب حد آستانه مشابه به‌صورت پیش فرض در هر دو روش می‌باشد. در سایر روش‌ها نیز نتایج به هم نزدیک بوده و بیش‌ترین درصد فراوانی مربوط به آبراهه با رتبه یک در این حوضه است. در حوضه گچان به عنوان حوضه‌ای با مساحت کوچک‌تر نسبت به حوضه سرباز، نتایج درصد فراوانی آبراهه همانند حوضه سرباز نزدیک به هم است و بیش‌ترین تعداد آبراهه با رتبه یک در همه روش‌ها و حدود ۵۰ درصد است با این تفاوت که در این حوضه، روش دستی تعداد آبراهه با رتبه‌های بالاتر را نیز مشخص کرده است. تفاوت قابل ملاحظه دیگر نتایج بدست آمده از نرم‌افزار WMS است که در این حوضه بر خلاف حوضه سرباز تنها آبراهه رتبه یک و دو را محاسبه کرده است. به عنوان یک نتیجه کلی می‌توان گفت این روش در حوضه بزرگ آبراهه‌ها با رتبه بالاتر را نیز در نظر می-گیرد درحالی‌که در حوضه کوچک‌تر قادر به تعیین آبراهه با رتبه بالا نیست.



شکل۴- مقایسه نتایج روش‌های به کار رفته

Figure 4. The results comparison of the used methods

جدول ۵ – مقایسه درصد فراوانی آبراهه‌ها در هر یک از روش‌های مذکور

Table 5. Comparison of channels Frequency percent in mentioned methods

	رتبه آبراهه / نوع ابزار	۱	۲	۳	۴	۵
حوزه آبخیز سرباز	Topography	۶۰	۴۰	۰	۰	۰
	HEC-GEO HMS	۵۰/۹	۲۲/۸	۱۷/۵	۸/۸	۰
	ARC HYDRO	۵۰/۹	۲۲/۸	۱۷/۵	۸/۸	۰
	WMS	۵۱/۱	۲۵	۱۲/۸	۷	۴/۱
	ARC SWAT	۵۰	۱۶/۷	۲۳/۳	۱۰	۰
حوزه آبخیز گچان	رتبه آبراهه / نوع ابزار	۱	۲	۳	۴	۵
	Topography	۵۰	۲۸	۱۲	۵	۵
	HEC-GEO HMS	۵۱	۳۰	۱۲	۷	۰
	ARC HYDRO	۵۲	۳۰	۱۱	۷	۰
	WMS	۵۳	۴۷	۰	۰	۰
	ARC SWAT	۵۲	۲۶	۲۲	۰	۰

بحث و نتیجه‌گیری

یکی از کاربردهای مهم مدل رقومی ارتفاع استخراج شبکه‌ی زهکشی برای تحلیل‌های مورفومتری و استفاده در مدل‌سازی-های هیدرولوژیک است که شبکه زهکشی به طور اتوماتیک از آن استخراج می‌گردد. در این پژوهش نتایج استخراج مهم‌ترین پارامترهای فیزیکی حوزه آبخیز که در دست‌یابی به اهداف مدیریتی و رسیدن به پارامترهایی که در بهره برداری و مطالعات هیدرولوژیکی مناسب است، یاری می‌نماید. در این تحقیق با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی در دو زیر حوضه یکی با مساحت نسبتاً بزرگ حدود ۳۵۰ کیلومترمربع و دیگری زیر حوضه‌ای با مساحت حدود ۳۴ کیلومترمربع به عنوان یک زیر حوضه کوچک به وسیله چهار نرم‌افزار ARC HYDRO، HEC-GEO HMS، WMS وARC SWAT پارامترهای فیزیوگرفی حوضه شامل مساحت، محیط، تراکم زهکشی و نسبت انشعاب استخراج و با نتایج به‌دست آمده از شبکه زهکشی حاصل از نقشه‌های توپوگرافی سازمان نقشه‌برداری و جغرافیا مقایسه گردیدند. نتایج نشان داد که در هر حوضه هر چهار نرم‌افزار تقریباً همانند هم عمل کرده و نتایج دارای اختلاف اندکی با مقادیر واقعی هستند. به‌طوری‌که آزمون تجزیه واریانس نیز هر چهار نرم افزار را در یک گروه قرار داد. به این معنی که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری در محاسبه پارامترهای فیزیوگرافی در هر چهار روش وجود ندارد. نکته دیگری که از نتایج این تحقیق مشخص گردید این است که در حوضه کوچک گچان و حوضه نسبتاً بزرگ سرباز نتایج، روند یکسانی را دنبال نمی‌کند. برای مثال در محاسبه پارامتر مساحت، نتایج نشان داد که در حوضه سرباز هر چهار روش نسبت به حوضه گچان اختلاف بیشتری در تخمین این پارامتر دارد. دامنه تغییرات مساحت در حوضه سرباز ۳۹۸-۳۴۶ کیلومتر مربع بود در حالیکه در حوضه گچان این عدد به ۳۵/۷-۳۱ رسید. در مورد پارامتر محیط نیز همین روند قابل مشاهده است. بطوری‌که دامنه تغییرات محیط در حوضه سرباز ۳۵۳-۱۰۲ بدست آمد اما در حوضه گچان تغییرات محیط در دامنه ۳۷-۳۲ کیلومتر تغییر کرد. به عبارت دیگر در حوضه نسبتاً بزرگ‌تر دامنه تغییرات پارامترها نسبت به روش دستی بیش‌تر است. در نتیجه در حوضه‌های بزرگ پارامترهای فیزیکی حوضه باید با دقت بیش‌تری برآورد و محاسبه گردد. هم‌چنین با توجه به نتایج بدست آمده در هر دو حوضه، هر سه نرم‌افزار ARC HYDRO، HEC-GEO HMS وARCSWAT عملکرد بهتری از نرم‌افزار WMS داشتند و نتایج آنها به

واقعیت نزدیک‌تر بود. هرچند از نظر آماری اختلاف معنی‌دار در چهار روش مشاهده نگردید. از طرفی به دلیل پیش پردازش-هایی که جهت آماده‌سازی DEM برای استفاده در نرم افزار WMS و دشواری و زمان بر بودن کار با این نرم‌افزار نسبت به سه نرم‌افزار دیگر وجود دارد و همچنین خروجی‌های این نرم افزار که قابلیت استفاده در تعداد کمتری از نرم‌افزارهای هیدرولوژی نسبت به سه نرم‌افزار دیگر دارد، باعث می‌شود که در مطالعات هیدرولوژی و استخراج پارامترهای فیزیکی حوزه آبخیز این نرم افزار کم‌تر پیشنهاد شود. مطالعه فعلی در بهترین شرایط و با ثابت بودن پیکسل سایز DEM پارامترهای فیزیوگرافی حوضه در دو حوضه متفاوت از نظر مساحت و ارتفاعی بررسی شده است. بنابراین پیشنهاد می‌شود پژوهش با استفاده از مدل‌های رقومی ارتفاعی مختلف و با اندازه سلول‌های متفاوت در حوضه‌های بیش‌تری ادامه یابد و نتایج با هم مقایسه شود. همانگونه که عاشورلو و همکاران (۱۳۸۷ بیان می‌کنند که اندازه پیکسل از عوامل اساسی است که دقت مدل و خروجی پارامترهای مدل را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۳). در تحقیق دیگری توسط آلارکون و همکاران (۲۰۰۶) مشخص گردید که پارامترهای حاصل از مدل های رقومی با اندازه سلولی ۱۰ و ۲۰ متری در نرم‌افزار ARC HYDRO نزدیک‌ترین نتایج به معیار واقعی را داشته است (۱۱).

Reference

1. Hosseinzadeh, S., and Jahadi-Toroghi, M. 2010. Assessing the Quality and Accuracy of Drainage Morphometric Analyses of Drainage Networks Extracted from Digital Elevation Models: A Case Study on Robate Gharebil Catchment in Northern Khorasan, *Journal of Geography and Regional Development*, 14:183-212. (In Persian)
2. Lee, J. and Chu, C.J., 1996. Spatial structures of digital terrain models and hydrological feature extraction. IAHS Publications-Series of Proceedings and Reports-Intern Assoc. *Hydrological Sciences*, 235: 201-206.
3. Ashourlue, D., Motakan, A., Kazemi, A., Hosseini, A., Azadbakht, M., Hajeb, M., and Gholampour, A. 2008. Determination of pixel size for calculating physiographic characteristics of the catchment for topographic maps of Iran 1: 25000, *Iranian Journal of Geology*, 2(8): 47-54. (In Persian)
4. Nadaf-Sangani, M. Hosseinzadeh, S. and Akbari, M. 2015. The Effect of Different Methods of DEM Preparation on the Morphometric Properties of River Networks, *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 9(30): 59-63. (In Persian)
5. Shokouhi, A., and Azizian, A. 2014. Evaluating the Effect of Using Radar Elevation Digital Models and Ground Maps on the Results of Simulation of Geomorphologic Models, *Journal of Watershed Engineering and Management*, 6(1): 52-62. (In Persian)
6. Chang, K.T. and Tsai, B.W. 1991. The effect of DEM resolution on slope and aspect mapping, *Cartogr. Geogr. Inf. Syst.*, 18, 69–77.
7. Thompson, J., Bell, J., and Butler, C. 2001. Digital elevation model resolution: effects on terrain attribute calculation and quantitative soillandscape modeling. *Geoderma*, 100: 67–89.
8. McBratney, A., Mendoc-a Santos, M., and Minasny, B., 2003. On digital soil mapping. *Geoderma*, 117 (1–2): 3–52.
9. Maathuis, B., and Sijmons, K. 2005. DEM from Active Sensors-Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM). *International Institute for Geo-*

Information Science and Earth Observation. 1-121.

10. Almasi-Nia, M. and Shorbi, M. 2013. Accurate calculation of hydrologic and morphometric parameters of the catchment area using (GIS) and (RS). *The first international congress of geosciences*. (In Persian)
11. Alarcon, V.J. O'Hara, C. G. McAnally, W. Martin, J. Diaz, J. and Duan, Z. 2006. HSPF-estimated flowrate sensitivity to topographical parameter values for three watersheds in Mississippi. Proceedings American Water Resources Association (AWRA) 2006 Spring Specialty Conference GIS & Water Resources IV. Houston. Texas. May 8-10, 2006.
12. Murphy, P. N. C. Ogilvie, J. Meng, F. and Arp, p. 2007. Stream Network Modeling Using Lidar and Photogrammetric Digital Elevation Models: A Comparsion and Field Verification Processes. 1747- 1754.
13. Michele, Di. 2008. Correlation between channel and hillslope lengths and its effects on the hydrologic response. *Journal of Hydrology*. 362: 260-273pp.
14. Zorkeflee, A. H., H. Nuramidah, and S. Y. Mohd. 2009. Integrated river basin management (IRBM): Hydrologic modelling using HEC-HMS for sungai kurau basin, Perak. *Proceedings of the International Conference on Water Resources, (ICWR'09), River Basin Management Society, pp: 1-7*.
15. Chen, C., and Yue, T. 2010. A Method of DEM Construction and Related Error Analysis. *Computers and Geosciences*, 36(6): 717-725.
16. Chen, Y., Wilson, J. P., Zhu, Q., and Zhou, Q. 2012. Comparison of drainage-constrained methods for DEM generalization. *Computers & Geosciences*, *48*: 41-49.