

ارزیابی دقت مدل‌های رقومی ارتفاع (DEMs) و الگوریتم‌های GIS در تحلیل‌های مورفومتری رودخانه‌ای

(نمونه‌ی مورد مطالعه: حوضه‌ی آبریز رباط قره بیل در خراسان شمالی)

سیدرضا حسین‌زاده (دانشیار ژئومورفولوژی دانشگاه فردوسی مشهد، نویسنده مسؤول)

srhosszadeh@ferdowsi.um.ac.ir

مهناز جهادی طرفی (استادیار ژئومورفولوژی دانشگاه پیام نور مرکز فریمان)

خلاصه

این تحقیق به ارزیابی کیفیت و دقت DEM‌های نوع ASTER و الگوریتم‌های رایانه‌ای نرم افزار ArcGIS در تحلیل‌های مورفومتری رودخانه‌ای می‌پردازد. برای آزمون DEM و همچنین الگوریتم‌های مذکور، ابتدا نقشه‌ی شبکه‌ی زه‌کشی منطقه‌ی مورد مطالعه از طریق عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای استخراج و به عنوان نقشه‌ی پایه یا زمین واقعی مورد استفاده قرار گرفت. سپس به کمک ابزار هیدرولوژی در نرم‌افزار ArcGIS، شبکه‌ی زه‌کشی رسترسی منطقه در دامنه‌های سلولی ۵۰۰ تا ۲۵ سلول برای کل حوضه‌ی آبریز و سپس واحدهای ژئومورفولوژی مختلف استخراج و خصوصیات هیدروگرافی حوضه بر مبنای نقشه‌های به دست آمده مقایسه شدند. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که هم DEM‌ها و هم الگوریتم‌های رایانه‌ای در تحلیل‌های هیدرولوژی دارای نقایص اساسی‌اند. بدین معنا که نتایج مربوط به مورفومتری آبراه‌ها گرچه در تحلیل‌های رسترسی برای کل حوضه‌ی آبریز تشابه نسبتاً خوبی را با لایه‌ی مستخرج از عکس‌ها و تصاویر ماهواره‌ای ارائه می‌نماید، اما در تحلیل‌های برداری که لازمه‌ی برخی تحلیل‌های مورفومتری است، نتایج به دست آمده با خطاهای بسیار بزرگی روبرو می‌شود. الگوریتم‌های رایانه‌ای استخراج آبراه از DEM‌ها در مناطق کم‌شیب برای تجزیه و تحلیل‌های طول رود ناتوان و در مناطق پرشیب با خطاهایی همراه است. بهترین آستانه‌ی سلولی در استخراج شبکه‌ی

زه‌کشی برای DEMهای ۳۰ متری در مناطق کوهستانی ۲۵، در مناطق دشت سر ناهموار ۵۰ تا ۱۰۰، در دشت سر هموار و مخروط افکنه‌ها ۱۰۰ تا ۲۵۰ و در دشت تراکمی ۵۰۰ سلول به دست آمده است.

کلیدواژه‌ها: تحلیل‌های هیدرولوژی، مورفومتری آبراهه، مدل‌های رقومی ارتفاع، استخراج آبراهه

درآمد:

مدل‌های رقومی ارتفاع^۱ (DEMs) که حاصل جمع‌آوری داده‌های ارتفاعی به روش‌های سنجش از دور است، طی دهه‌های اخیر کاربرد وسیعی در ژئومورفولوژی و سایر علوم زمین داشته و به کمک الگوریتم‌های رایانه‌ای همچنان رو به توسعه است. منابع تولید DEMها امروزه از تنوع زیادی برخوردار بوده و دقت‌های مختلف از چند صدمتر تا کمتر از دو متر را در بر می‌گیرد (جدول شماره ۱). در بسیاری از موارد نیز که در کشور ما مرسوم است، نقشه‌های توپوگرافی کاغذی را اسکن و پس از رقومی‌سازی به کمک نرم‌افزارهای GIS به یک رستر ارتفاعی تبدیل می‌نمایند. گرچه به نظر می‌رسد درستی و دقت تجزیه و تحلیل‌های مبتنی بر DEMها تا حد زیادی به قدرت تفکیک DEMهای اولیه بستگی دارد، ولی بنا به اظهار نظر بسیاری از پژوهشگران نمی‌توان پذیرفت که DEMهای رستری با ابعاد سلولی کوچکتر همیشه نتایج رضایت‌بخش‌تری دارند (به عنوان مثال: بیان و والش^۲ ۱۹۹۳، لم و کواتراچ^۳ ۱۹۹۲، کینزل^۴ ۲۰۰۴، لاژر و راندین^۵ ۲۰۰۶، جیانگ و وانگ^۶ ۲۰۱۰).

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

1. Digital Elevation Models
2. Bian & walsh
3. Lam & Quattroch
4. Kienzle
5. Lassueur & Randin
6. Jiang & Wong

جدول شماره (۱): خصوصیات DEM‌های مختلف

روش تهیه DEM	نوع DEM	قدرت تفکیک مکانی به متر	دقت ارتفاعی به متر
Photogrametric	Terra ASTER	30	2
	SPOT 5	30	10
	Ikonos	2	1.5
	HRSC	50	20
	HIRISE	1	0.2
IF SAR	SRTM-C-band (11/02/2000)	90	10
	SRTM X-band (11/02/2000)	30	6
	ERS Tandem (oct 1995-June 1996)	25	20
	Terra SARX	12	<2
	Terra ASAR	25	20
Airborn	IF SAR (Next MAP)	1-5	2.1
	LIDAR	< 2	< 0.25
سایر	MOLA	460 (DEM)	(مقدار نقطه‌ای) 0.38

(اسمیت و بیان ۲۰۰۹: ۵۷۳)

حتی اگر بپذیریم DEM‌های با قدرت تفکیک بالاتر نتایج بهتری خواهند داشت، دو نکته باید مورد توجه قرار گیرد: اول آن‌که داده‌های مذکور نه تنها برای تمام کره‌ی زمین موجود نیست، بلکه دسترسی آسان و ارزان به آنها نیز وجود ندارد. به عنوان مثال داده‌های LIDAR^۱ از این‌گونه داده‌ها هستند که فقط برای مناطق محدودی از ایالات متحده آمریکا در دسترس‌اند و از طرفی نیاز به اصلاحات زیاد و حتی تغییر به DEM‌های با قدرت تفکیک پایین‌تر دارند. دوم این‌که، در بسیاری موارد هنوز صحت و کارایی الگوریتم‌های متعدد رایانه‌ای به طور کامل بهبود نیافته و نیاز به بررسی‌ها و آزمون‌های بیشتری دارند. بدین ترتیب یکی از رویکردهای اساسی جهت

1. Light detection and ranging

تعیین حساسیت، کیفیت و درستی کاربردهای استفاده از DEMها و الگوریتم‌های رایانه‌ای، کاربرد روش‌های مقایسه‌ای و معیارها و شاخص‌هایی نزدیک به زمین واقعی است.

از آن‌جا که یکی از کاربردهای مهم DEMها استخراج شبکه‌ی زه‌کشی برای تحلیل‌های مورفومتری و استفاده در مدل‌سازی‌های هیدرولوژیک است، در این نوشتار، به ارزیابی دقت و درستی کمی و کیفی DEMهای نوع 'ASTER' در استخراج شبکه‌ی رودخانه‌ای به وسیله‌ی الگوریتم‌های موجود در بسته‌ی نرم‌افزاری ArcGIS پرداخته‌ایم. DEMهای نوع 'ASTER'، بنا به پیشنهاد بسیاری از پژوهشگران جزو بهترین داده‌های رقومی ارتفاع در تجزیه و تحلیل‌های ژئومورفولوژی به شمار می‌روند (به عنوان مثال: اسمیت و پین،^۲ ۲۰۰۶). مطالعات قبلی ابتدا روی الگوریتم‌های رایانه‌ای متمرکز بوده ولی در سال‌های جدیدتر بیشتر به DEMهای مختلف پرداخته شده است. در مورد الگوریتم‌ها می‌توان به کارهای افرادی چون دانکر^۳ (۱۹۹۲)، جانسون و دومینگو^۴ (۱۹۸۸) تریب^۵ و دیگران (۱۹۹۲)، دیاموند^۶ و دیگران (۱۹۹۴) اشاره کرد.

در این مطالعات سه رویکرد برای استخراج خودکار دره و سلول‌های زه‌کشی کننده تشخیص داده شده است (تریب ۱۹۹۲ به نقل از گارسیا و کامرسا،^۷ ۱۹۹۹)، اول شناسایی سلول‌های منحصر به فردی از DEM به عنوان سلول‌های خط‌القعر که سلول‌های اطراف آنها در موقعیت مرتفع‌تری قرار گرفته باشند (پانکرو داگلاس^۸ ۱۹۷۵؛ تورواکی و فاکوم^۹ ۱۹۸۷؛ داگلاس ۱۹۸۶). دوم تعیین مسیرهای زه‌کشی به داخل هر سلول از DEM و کاربرد آن در استخراج

1. Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
2. Smith & Pain
3. Donker
4. Janson & Domingo
5. Tribe Mark & Callagan
6. Dyamond & Harmsworth
7. Garsia & Camarasa
8. Peunker , Douglas
9. Torwaki , Fukum

آبراهه‌ها (اسکالاگان و مارک^۱، ۱۹۸۴) و سوم روش‌های ترکیبی بر مبنای تلفیق دو رویکرد بالا که در نرم‌افزارهای تجاری GIS تعبیه شده است.

دانکر (۱۹۹۲) روش عمومی، که بیشتر الگوریتم‌های موجود دنبال می‌کنند، را مبتنی بر چهار ماتریس اساسی به نام‌های ماتریس ارتفاع، جهات جریان، درجه‌بندی ارتفاع و تجمع جریان معرفی می‌کند. ماتریس ارتفاع همان رستر ارتفاعی است که نشان‌دهنده‌ی مدلی از توپوگرافی واقعی بوده و DEM یا DTM^2 ها را شامل می‌شود. رستر یا ماتریس جهت جریان عبارت است از جهات جریان آب از هر سلول به خارج آن که از هشت جهت ممکن، جهت بیشینه‌ی شیب به سمت پایین دست را دنبال می‌کند. رستر درجه‌بندی شده ارتفاع، سلول‌های DEM را از بالاترین ارتفاع تا پست‌ترین آنها درجه‌بندی نموده و سرانجام رستر تجمع جریان، دربرگیرنده‌ی مساحت زه‌کشی شریک در زه‌کشی هر سلول است. تمام سلول‌های با مقدار بالاتر نسبت به یک آستانه‌ی مشخص، شبکه‌ی زه‌کشی پیوسته‌ای را به وجود می‌آورند که در آن DEM بدون حفره یا فرورفتگی‌های بسته است.

مقالاتی که تاکنون در ارتباط با موضوع مورد مطالعه منتشر گردیده، علاوه بر این‌که مناطق کوچکی را در بر می‌گرفته، تنها با اتکاء به یک شاخص و مبتنی بر تحلیل‌های رستری بوده است. به عنوان مثال گارسیا و دیگران پس از مقایسه‌ی آبراهه‌های مستخرج از عکس‌های هوایی و یک DEM حاصل از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰/۰۰۰ فقط به مقایسه‌ی تراکم زه-کشی لایه‌ها بر مبنای لایه‌های رستری پرداخته و پیشنهادهای خود را بر همین مبنای ارائه می‌نمایند. همچنین استفن وایزه^۳ (۲۰۰۰) در تحلیل خود یک DEM حاصل از نقشه توپوگرافی و سه زیر حوضه بسیار کوچک را در یک منطقه کوهستانی مورد بررسی قرار می‌دهد و به نتیجه‌ی

-
1. Scallagan , mark
 2. Digital Terrain model
 3. Stephen Wise

روشنی دست نمی‌یابد. جیانگ و دیگران^۱ (۲۰۱۰) در یک بررسی به مقایسه‌ی تطبیقی دو نوع DEM یعنی DEM های SRTM^۲ و LIDAR پرداخته و نتیجه می‌گیرند اگر قدرت تفکیک DEM های LIDAR را از دو متر به ۱۰ و ۳۰ متر کاهش دهیم، نتایج آن در مقایسه با SRTM ها مناسب‌تر است. در این مقاله کارهای آنان با دقت و تفصیل بیشتری دنبال شده، به گونه‌ای که اولاً منطقه‌ی مطالعاتی وسیع‌تر و متنوع‌تر است، دوم آن‌که تجزیه و تحلیل‌ها هم از نوع رستری و هم وکتوری است، سوم آن‌که تحلیل‌ها براساس رتبه‌بندی آبراهه‌ها صورت گرفته که در هیچ‌یک از مطالعات قبلی به آن توجه نشده، چهارم این‌که در ارزیابی داده‌ها از چند شاخص به جای یک شاخص استفاده شده و پنجم آن‌که موقعیت مکانی آبراهه‌ها نیز با دقت بیشتری در دو لایه مقایسه شده است. به دلیل اهمیت لایه‌ی مستخرج از عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای که ما آن‌را در این مقاله لایه‌ی Geo یا لایه‌ی زمینی نامیده‌ایم، پرزحمت‌ترین بخش این تحقیق شناسایی، استخراج و دسته‌بندی آبراهه‌ها از منابع مذکور بوده است.

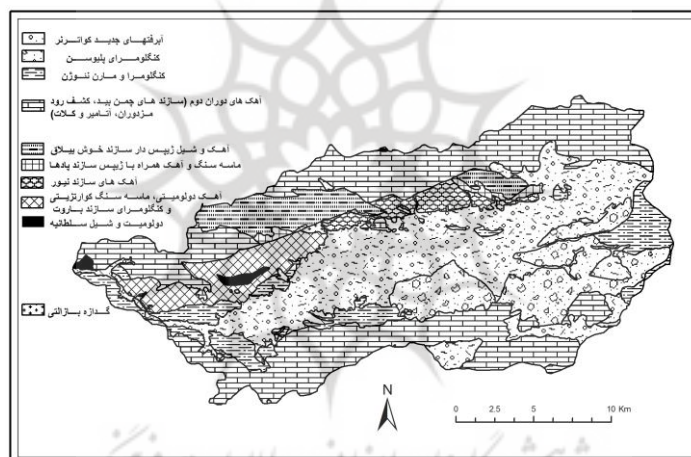
معرفی منطقه‌ی مورد مطالعه

محدوده‌ی مورد مطالعه با عنوان حوضه‌ی آبریز رباط قره‌بیل یا چشمه خان با گسترش طولی در جهت عرض جغرافیایی یکی از زیرحوضه‌های رودخانه مادر سو بوده که با وسعت ۴۶۶ کیلومتر مربع بین ۳۷° ۱۵' تا ۳۷° ۲۶' عرض شمالی و بین ۵۶° ۰۱' تا ۵۶° ۲۷' طول شرقی قرار گرفته است. این حوضه منطبق بر قسمت‌های غربی استان خراسان شمالی بوده و عبور جاده آسفالتی مشهد به شمال کشور از میان آن، دسترسی آسان به منطقه را فراهم می‌آورد (شکل ۱).

1. Jiang Li, David W.S. Wong
2. Shatel Radar Topography Mission

این سازندها با وسعت ۱۷۵ کیلومترمربع حدود چهل درصد از وسعت منطقه و به عبارتی ۶۸٪ از کل منطقه‌ی کوهستانی را به خود اختصاص می‌دهند. مارن‌های نئوژن در پایکوه‌ها با وسعت ۳۱/۵ کیلومترمربع، یکی از حساس‌ترین واحدهای سنگ‌شناسی منطقه در برابر فرسایش بوده و رسوبات پلیو-کواترنر در اراضی جنوب‌شرق آن به وسعت حدود ۵۰ کیلومترمربع بخش‌های نیمه مرتفع حوضه را به وجود آورده است. رسوبات قدیم و جدید کواترنری در بخش کم ارتفاع حوضه یعنی در محدوده‌ی دشت با وسعتی معادل ۱۲۰/۷ کیلومترمربع یعنی ۲۶/۴ درصد از سطح حوضه را می‌پوشاند (نقشه شماره ۳).

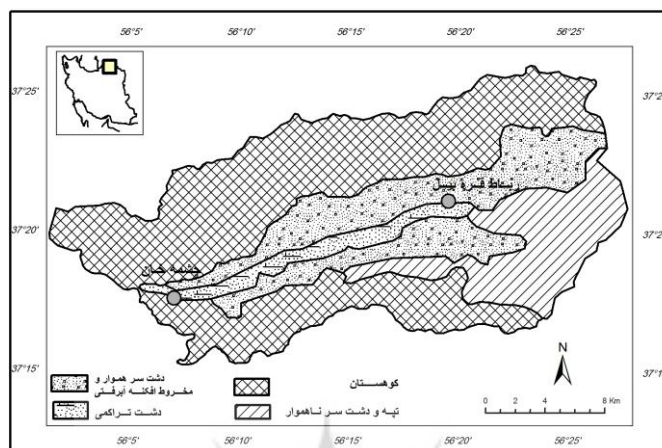
شکل شماره (۳): نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه



از نظر ژئومورفولوژی ساختمانی این حوضه متأثر از روند عمومی ناهمواری‌ها و گسل‌های بزرگ طولی در مرز بین دشت و کوهستان بوده، لذا روندی غربی - شرقی به خود گرفته است. همین عوامل و البته تکتونیک فعال منطقه در طول کواترنر باعث تنوع مورفولوژیکی آن شده، به گونه‌ای که می‌توان چهار واحد مشخص ژئومورفولوژی یعنی کوهستان، دشت سر ناهموار، دشت سرپوشیده (مخروط افکنه‌ها) و دشت تراکمی را در محدوده حوضه‌ی آبریز مشاهده نمود (شکل شماره ۴). واحد کوهستان با وسعت ۲۵۷ کیلومترمربع، ۵۶/۵ درصد، دشت

سرهای ناهموار در سنگ بستر و آبرفت‌های قدیمی با وسعت $71/7$ کیلومتر مربع، $15/8$ درصد، دشت سرهای پوشیده با 104 کیلومتر مربع، $22/8$ درصد و دشت تراکمی با $22/3$ کیلومتر مربع، $4/9$ درصد از کل حوضه‌ی مورد نظر را به خود اختصاص می‌دهند. واحد کوهستان با شیب زیاد در شمال و جنوب حوضه، موجب شکل‌گیری زیرحوضه‌های متعددی شده که آبراهه‌ی اصلی هر کدام از آنها در محل ورود به محدوده‌ی دشت سر، یک مخروط افکنه آبرفتی را به وجود آوردند. به دلیل نقش فعال تکتونیک هنوز در نقاط متعددی از کوهستان شبکه‌ی زه‌کشی تابع تغییر شکل‌های تکتونیک بوده و به نظر می‌رسد نسل‌های مختلف مخروط‌افکنه‌ها روی دشت سر نیمه شمالی حوضه ناشی از عملکرد گسل‌های طولی این مناطق باشد. در دشت سر-پوشیده نیمه‌ی شمالی به دلیل نقش مخروط‌افکنه‌ها در تقطیع جریان‌ها، الگوهای واگرا غلبه داشته، ولی به سمت دشت تراکمی مجدداً الگوی هم‌گرایی در شبکه‌های گیسویی به چشم می‌خورد. در محدوده‌ی دشت سرهای ناهموار جنوب شرق حوضه عمدتاً الگوهای زه‌کشی موازی تا درختی شکل گرفته است. در محدوده‌ی دشت تراکمی و قاعده‌ی مخروط‌افکنه‌های جدید، آبراهه‌های فرعی با تمایل به سمت غرب یعنی در جهت خروجی حوضه و در امتداد شیب کلی حوضه خود را به آبراهه‌ی اصلی می‌رسانند. در محل پیوستن آبراهه‌های فرعی به آبراهه‌ی اصلی دو عامل بر مسیر شبکه‌ی آب‌ها تأثیر گذاشته، اول جاده مشهد - گرگان که تقریباً تمام آبراهه‌های پهنه‌ی شمالی دشت را قطع می‌کند و دوم اراضی کشاورزی خصوصاً در محدوده‌ی دشت تراکمی که تعیین مسیرهای طبیعی جریان‌ها را با زحمت روبرو کرده است. آبراهه‌ی اصلی حوضه نیز در حدود مرکزی دشت تراکمی به سرنوشت مشابهی دچار شده، خصوصاً که در انتهای غربی دشت تراکمی، به دلیل عملکرد مثبت تکتونیک جدید و تبدیل حوضه به یک حوضه‌ی نیمه مستقل به سختی می‌توان مسیر آنرا دنبال کرد. البته از حوالی غرب روستای چشمه خان به سمت خروجی حوضه، شیب آبراهه‌ی اصلی به طور ناگهانی افزایش می‌یابد.

شکل شماره (۴): نقشه ژئومورفولوژی حوضه رباط قره‌بیل



مواد و روش‌ها

مواد مورد استفاده این تحقیق شامل عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای، مدل رقومی ارتفاع (DEM) نوع ASTER و نقشه‌های توپوگرافی کاغذی بوده است. در تمام مراحل آماده‌سازی داده‌ها و تحلیل آنها از نرم‌افزار ArcGIS استفاده شده و بازدیدهای میدانی پراکنده نیز در روشن شدن پاره‌ای ابهامات کمک کرده است. روش تحقیق که از نوع تحلیلی - مقایسه‌ای بوده شامل سه مرحله‌ی استخراج دستی شبکه‌ی روخانه‌ای، استخراج رایانه‌ای از مدل‌های رقومی ارتفاع و مقایسه و تجزیه و تحلیل آنها بوده که در زیر به شرح آن می‌پردازیم.

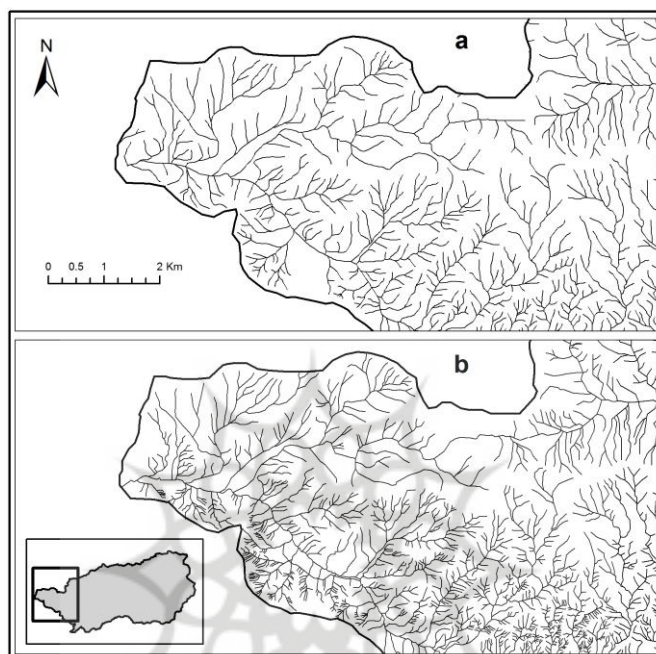
استخراج دستی شبکه‌ی زه‌کشی منطقه

اصولاً شبکه‌ی آب‌ها را به روش سنتی از نقشه‌های توپوگرافی و عکس‌های هوایی استخراج و ترسیم می‌نمایند. برای این موضوع آبراهه‌های حاصل از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ منطقه فقط جهت یک مقایسه‌ی کلی با نتایج حاصل از عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای ترسیم و مورد استفاده قرار گرفته است. عکس‌های هوایی ۱:۲۰۰۰۰ سال ۱۳۴۵ منبع اصلی استخراج آبراهه‌ها بوده، اما از آن‌جا که تمام عکس‌های هوایی منطقه در بایگانی سازمان

جغرافیایی و همچنین سازمان نقشه‌برداری کشور وجود نداشت به ناچار از عکس‌های هوایی ۵۵۰۰۰ : ۱ سال ۱۳۳۵ و تصاویر ماهواره‌ای IRSpan و IRS LISS-III نیز استفاده شده است. تصویر ماهواره‌ای IRSpan با قدرت تفکیک ۵×۵ متر مربوط به مردادماه ۱۳۸۳ بوده و تصویر IRS رنگی با قدرت تفکیک ۱۵×۱۵ متر نیز مربوط به همان تاریخ است. چون تصویر LISS-III IRS مناطق بسیار وسیع‌تری در اطراف منطقه‌ی مطالعاتی را شامل می‌شد و توسط سازمان جغرافیایی کشور با دقتی بسیار بالا ژئورفرانس شده بود، معیار انتخاب نقاط کنترل زمینی برای سایر منابع قرار گرفت. با توجه به قدرت تفکیک خوب تصویر IRSpan، برای بخش‌های غربی منطقه، شبکه‌ی آب‌ها به دقت در محیط ArcGIS از این تصویر رقومی گردید و برای بخش‌های شرقی حوضه، آبراهه‌ها از عکس‌های هوایی استخراج و به آبراهه‌های حاصل از تصویر IRSpan متصل گردید. در این مطالعه با توجه به قدرت تفکیک عکس‌های هوایی ۲۰/۰۰۰ : ۱، ۵۵/۰۰۰ : ۱ و تصاویر ماهواره‌ای و همچنین ابعاد سلولی لایه‌ی DEM معیار ۵۰ متر طول برای رودخانه‌های رتبه ۱ در نظر گرفته شد. نتایج حاصل از عکس‌ها و تصاویر ماهواره‌ای در قالب شکل شماره ۵-b ارائه گردیده و اگر این نقشه با نقشه‌ی آبراهه‌های حاصل از نقشه‌های توپوگرافی (شکل شماره ۵-a) مقایسه شود به خوبی آشکار می‌گردد که امکان استخراج همه شبکه‌ی آب‌ها از طریق نقشه‌های توپوگرافی وجود ندارد. گرچه که این موضوع از عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای هم به طور کامل امکان‌پذیر نیست، ولی می‌توان لایه‌ی حاصل از عکس‌ها و تصاویر ماهواره‌ای را نزدیکترین مدل به زمین واقعی دانست. رتبه‌بندی آبراهه‌ها در این مقاله بر مبنای روش استرالر^۱ (۱۹۵۱) صورت گرفته است. این روش گرچه نسبت به روش‌های هورتن^۲ و شرو^۳ در برخی مکان‌های ویژه با خطاهایی همراه است، ولی به عنوان یک روش شناخته شده در همه‌ی دنیا مورد تأیید بوده و به طور وسیعی استفاده می‌شود. (فریفته، ۱۳۷۰: ۸۱۰)

1. Strahler
2. Horton
3. Shreve

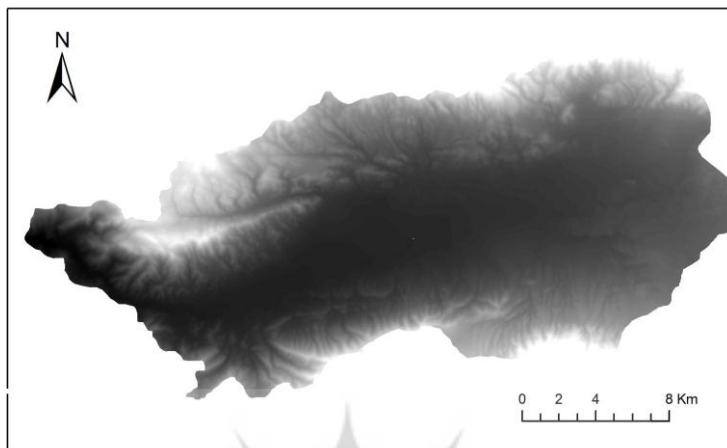
شکل شماره (۵): شبکه‌ی آب‌های مستخرج از نقشه‌های توپوگرافی (a) و عکس‌ها و تصویرهای ماهواره‌ای (b)



استخراج رایانه‌ای شبکه‌ی زه‌کشی از مدل رقومی ارتفاع

استخراج شبکه‌ی زه‌کشی منطقه در محیط GIS از یک DEM رستری از نوع ASTER با ابعاد سلولی 30×30 متر و با استفاده از ابزار Hydrology در بسته نرم‌افزاری ArcGIS 9.3x انجام گرفته است. مسئول تأمین و توزیع DEM های ASTER کشور ژاپن است که در سال ۱۹۹۹ سیستم جمع‌آوری این داده‌ها را روی ماهواره Terra، متعلق به کشور آمریکا، قرار داد. مراحل استخراج شبکه‌ی زه‌کشی از DEM مذکور به طور خلاصه در شکل شماره ۷ ارائه شده است. قبل از شروع به استخراج آبراهه‌ها باید هرگونه نقص احتمالی در DEM بررسی و رفع شود. این نقایص شامل مجموعه‌ای از سلول‌هاست که تشکیل چاله‌های بسته را می‌دهند و موجب بروز خطا در اجرای الگوریتم‌ها می‌شوند.

شکل شماره (۶) DEM منطقه‌ی مورد مطالعه



برای بررسی خطاهای DEM ابتدا لایه جهت جریان ساخته شد و سپس با استفاده از تابع Sink در ابزار Hydrology حفره‌های موجود در لایه جهت جریان شناسایی شد، که تعداد ۱۵۶ حفره را نشان می‌داد. ابعاد تمام این حفره‌ها در حد ۱ تا ۲ سلول بود که از دستور Fill در ابزار بالا برای پر کردن این چاله‌ها استفاده و DEM جدید و بدون نقصی ساخته شد. در مرحله‌ی بعد لایه‌ی رستری جهت جریان از DEM پر شده ساخته شد. روشی که غالباً برای تعیین جهت جریان مورد استفاده قرار می‌گیرد، به روش D8 شهرت دارد. این روش که توسط نرم‌افزار ArcGIS به کار گرفته می‌شود جهت جریان یک سلول را به یکی از هشت سلول در برگیرنده آن که دارای بیشترین اختلاف شیب است، هدایت می‌کند. روش D8 اجازه‌ی تقسیم جریان به چند سلول را نمی‌دهد. تجارب موجود عدم توفیق روش بالا را در مناطق کم شیب نشان می‌دهد (مثلاً فریمن، ۱۹۹۱؛ گارسیا و کمرسا، ۱۹۹۹)، لذا الگوریتم‌های دیگری مانند D^{∞} اختراع و در نرم‌افزارها از جمله نرم‌افزار ArcGIS گنجانده شده است (حسین زاده و بیدخوری، ۲۴۵:۱۳۸۷).

مقدار تجمع را دارند منطبق بر کانال رودها و سلول‌هایی با مقدار تجمع صفر منطبق بر خط‌الرأس‌ها هستند. لایه‌ی شبکه‌ی آبراهه‌ها از لایه‌ی رستری تجمع جریان استخراج گردید، برای انجام این عمل باید ابتدا آستانه‌ی مقدار تجمع را تعیین کرد که در این مقاله به دلیل مشخص نبودن نزدیکی چه مقدار آستانه به نقشه‌ی دستی آبراهه‌ها، ابتدا آستانه ۵۰۰ سلول، سپس ۲۰۰، ۱۰۰، ۵۰ و ۲۵ به ترتیب برای ساخت لایه‌ی رستری شبکه‌ی آب‌ها مورد استفاده قرار گرفتند. به عبارت دیگر چون مقدار آستانه بالاتر تراکم زه‌کشی پایین‌تر و مقدار آستانه پایین‌تر تراکم زه‌کشی بالاتری را ایجاد می‌نمایند، برای نزدیک کردن لایه‌ی مستخرج از DEM به لایه‌ی سطح زمین از آستانه‌های بالا شروع و به آستانه‌ی ۲۵ سلول ختم گردید. مرحله‌ی بعد تهیه‌ی لایه اتصال آبراهه‌ها به یکدیگر بود که با استفاده از دستور Stream Link در جعبه‌ی ابزار Hydrology برای تمام لایه‌های رستری آبراهه‌ها ساخته شد و در آخرین مرحله، لایه رتبه‌بندی آبراهه‌ها به روش استرالرا انجام و علاوه بر فرمت رستری به وکتور نیز تبدیل و جهت تجزیه و تحلیل ذخیره گردید.

مقایسه‌ی لایه‌های حاصل از روش دستی و رایانه‌ای

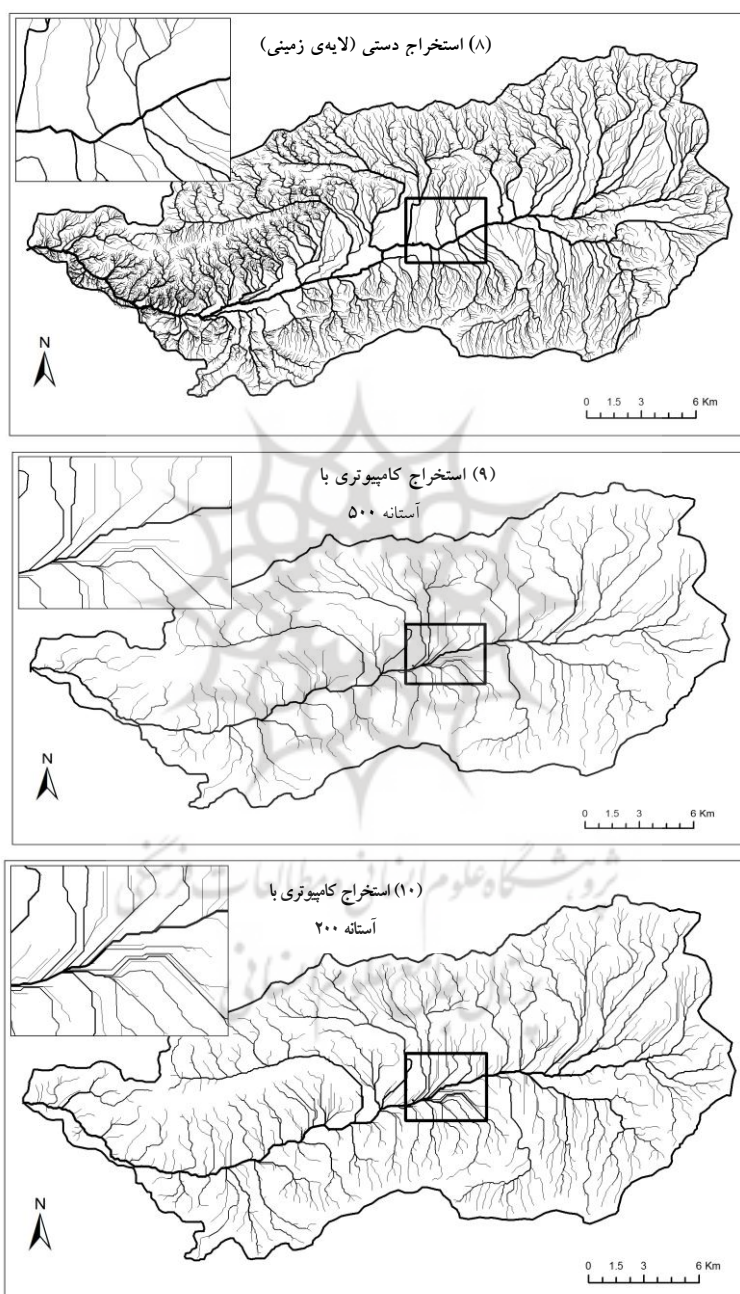
مقایسه‌ی لایه‌ها هم در فرمت رستری و هم در فرمت وکتوری انجام و شاخص‌های مقایسه شامل فراوانی شاخه‌ها، طول رودها، تراکم و ضریب زه‌کشی بوده است. این تحلیل‌ها با توجه به تطابق اولیه و کلی رودخانه‌های مستخرج از DEM در آستانه‌ی ۲۵ سلول با رودخانه‌های مستخرج از عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای، ابتدا برای کل حوضه و سپس به تفکیک برای واحدهای مختلف ژئومورفولوژی جهت آزمون DEM و الگوریتم‌ها صورت گرفته است. یکی دیگر از تحلیل‌های مقایسه‌ای، میزان درستی موقعیت مکانی آبراهه‌ها بوده که از برهم گذاری لایه‌های رستری مستخرج از DEM با لایه‌ی دستی انجام شده است. برای این کار لایه‌ی وکتوری دستی ابتدا به فرمت رستری با ابعاد سلول ۳۰×۳۰ متر تبدیل

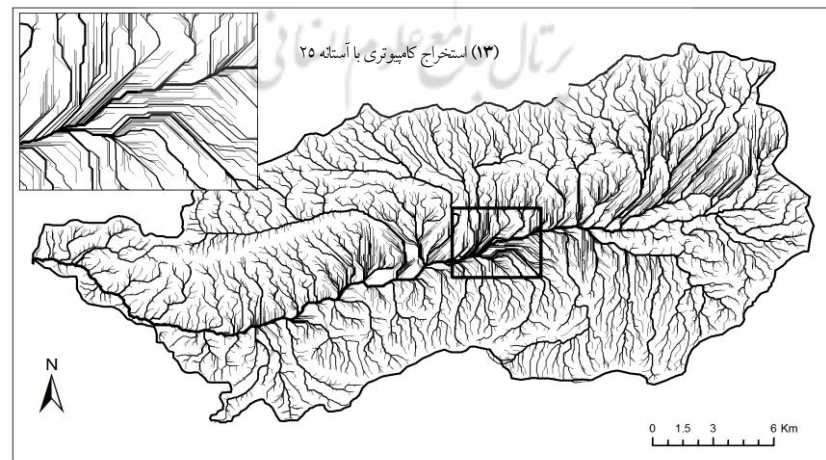
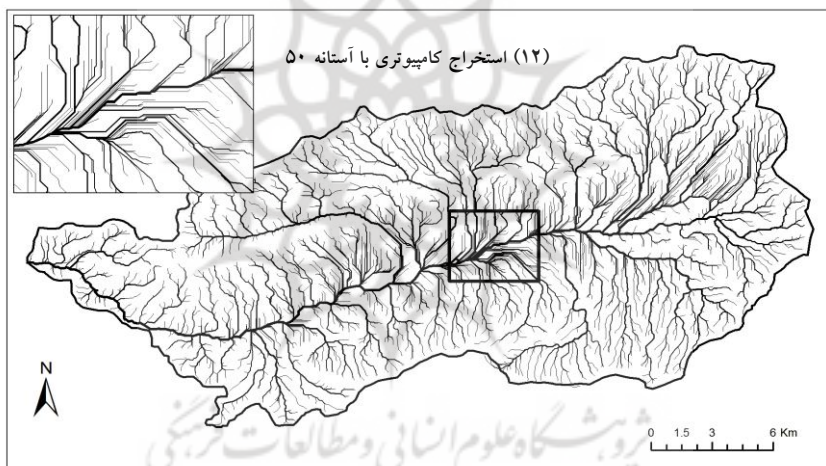
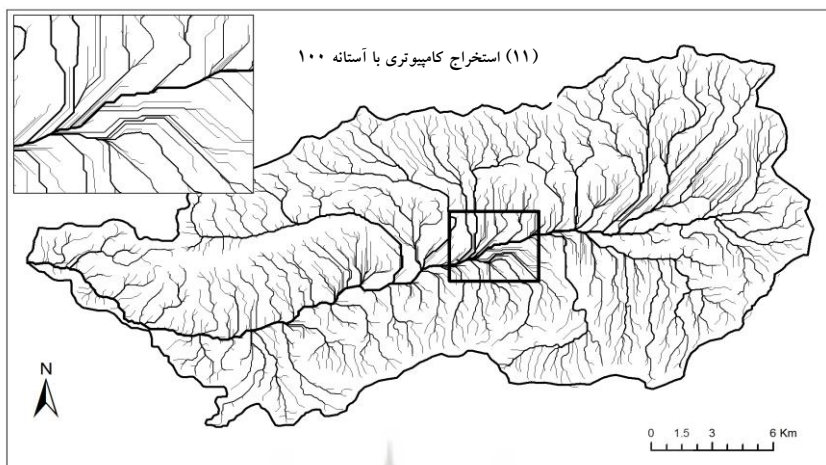
گردید، ولی در هیچ‌یک از لایه‌ها بر مقدار ابعاد سلول افزوده نشد، زیرا اولاً بررسی بصری دو لایه خط‌های بارز ژئورفرنس را نشان نمی‌داد و ثانیاً افزایش مقدار سلولی موجب تداخل آبراهه‌های رتبه ۱ در بسیاری از مناطق می‌شد. حاصل کارهای تحلیل در قالب جداول و نقشه‌ها ارائه گردید.

نتایج و بحث

اشکال شماره ۸ تا ۱۳ نقشه‌های مختلف شبکه‌ی زه‌کشی مستخرج با دو روش و در آستانه‌های سلولی متفاوت را ارائه می‌نمایند. نتایج عددی حاصل از این نقشه‌ها به صورت سلول‌های مربوط به هر رتبه از آبراهه‌ها در جدول شماره ۲ خلاصه شده است. با توجه به جدول و همچنین بررسی بصری لایه‌ها می‌بینیم که تنها آستانه‌ی سلولی کوچکتر از ۲۵ متر، نتایجی مشابه لایه‌ی رستری شده‌ی آبراهه‌های مستخرج به روش دستی را، نشان می‌دهد. در آستانه‌های بالا، حتی ۵۰ سلول می‌بینیم که علاوه بر کاهش تعداد رتبه‌ها به دلیل کاهش تراکم زه‌کشی، تعداد سلول‌های مربوط به سایر رتبه‌ها نیز به طور چشمگیری کاهش می‌یابد. از نظر ظاهری و برای کارهای مقدماتی یا نمایشی نتایج عددی حاصل از آستانه‌های سلولی بالاتر نظیر ۲۰۰ و ۵۰۰ سلول مطلوب‌تر به نظر می‌رسند، زیرا شکل واقعی‌تری از مدل کلی توزیع آبراهه‌ها، به دست می‌دهند. بنابراین می‌توان این آستانه‌ها را در مطالعات کلی و مقدماتی، نقشه‌های مقالات و کتاب‌ها، پایان‌نامه‌های دانشجویی و بررسی‌های غیرحرفه‌ای یا عمومی و حتی طرح‌های آمایشی به کار برد. اما در مورد مطالعات تخصصی ژئومورفولوژی و هیدرولوژی مانند فرسایش و رسوب، کنترل سیلاب و مدل‌سازی‌های وابسته به نتایج دقیق‌تری نیاز داریم. در این مرحله باید قبول کنیم که لایه‌ی رستری با آستانه ۲۵ سلول به دلیل نزدیکی اعداد آن به لایه‌ی زمینی احتمالاً از کارایی بهتر و مفیدتری در موارد بالا برخوردار خواهد بود، اما ملاحظه‌ی بصری این لایه تفاوت‌های چشمگیری را خصوصاً در مورد آبراهه‌های رتبه یک در مناطق مختلف حوضه به دست می‌دهد. بنابراین در مرحله‌ی بعد به بررسی توزیع فراوانی و طول شاخه‌ها در واحدهای مختلف ژئومورفولوژی می‌پردازیم.

اشکال شماره ۸ تا ۱۳: نقشه‌های شبکه زهکشی به روش‌های دستی و رایانه‌ای





جدول شماره ۲: مقادیر سلولی لایه‌های رستری آبراهه‌ها در روش‌های مختلف و به تفکیک

رتبه‌بندی آبراهه

رتبه آبراهه	روش استخراج آبراهه	عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای	DEM				
			Value>500	Value>200	Value>100	Value>50	Value>25
۱		۵۴۳۷۰	۱۱۶۳۳	۱۸۳۷۸	۲۴۵۱۷	۲۸۳۴۴	۴۷۹۷۶
۲		۱۸۱۰۷	۵۵۵۹	۹۲۱۲	۱۲۳۷۵	۱۳۷۴۷	۲۰۸۳۰
۳		۱۰۹۶۶	۲۳۳۰	۴۸۰۰	۶۰۱۴	۷۲۳۲	۱۰۶۹۹
۴		۵۷۹۹	۳۴۴	۱۳۳۷	۲۶۴۵	۳۳۳۷	۵۸۱۰
۵		۲۰۲۶	۱۱۴۶	۲۸۰	۵۸۹	۸۴۲	۱۸۰۸
۶		۶۷۶	—	۱۲۵۹	۱۲۲۹	۱۰۵۲	۲۹۳
۷		۱۲۰۳	—	—	—	—	۱۰۶۶
جمع کل		۹۳۱۴۷					۸۸۵۵۲

مقایسه‌ی خصوصیات توصیفی آبراهه‌ها

جدول شماره ۳ فراوانی آبراهه‌ها و ضریب زه‌کشی حوضه را برای نقشه‌ی زمینی و

نقشه مستخرج از DEM ارائه می‌نماید.

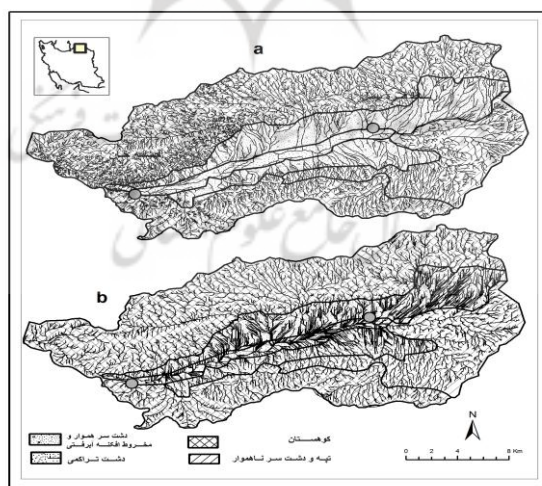
جدول شماره (۳) مقایسه فراوانی آبراهه‌های حاصل از روش‌های دستی و کامپیوتری

رتبه آبراهه	نوع لایه	رتبه آبراهه							کل آبراهه‌ها
		۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	
تعداد آبراهه	زمینی	۴۷۷۹	۱۱۸۷	۳۳۷	۱۳۷	۳۱	۱۱	۱	۶۴۸۳
	DEM	۵۳۴۸	۱۴۴۳	۴۳۷	۴۱۵	۱۱۶	۴۶	۱	۷۸۰۶
درصد تفاوت فراوانی آبراهه‌ها (وکتوری)		۱۱	۱۸	۲۳	۷۷	۷۳	۷۶	۰	۱۷
درصد تفاوت سلولی (رستری)		۱۲	۱۳	۲	۱/۴	۱۱	۵۷	۱۱	۵
ضریب زه‌کشی (لایه زمینی)		—	۴/۰۲	۳/۵۲	۲/۴	۴/۱	۲/۸	—	—
ضریب زه‌کشی DEM		—	۳/۷	۳/۳	۱/۰۵	۳/۵۷	۲/۵	—	—

درصد اختلاف آبراهه‌ها برای کل آبراهه‌ها هم در لایه‌های وکتوری و هم رستری، عدد قابل قبولی را ارائه می‌کند، اما علی‌رغم تفاوت اندک تعداد سلول‌ها در رتبه‌های ۴ و ۵ و ۶، میزان اختلاف در فراوانی آبراهه‌ها به طور چشمگیری افزایش می‌یابد، به گونه‌ای که آبراهه‌های رتبه ۴، ۵ و ۶ استخراج شده از لایه‌ی DEM به ترتیب ۷۷، ۷۳ و ۷۶ درصد بیشتر از آبراهه‌های دستی هستند. این در حالی است که تعداد آبراهه‌های رتبه ۱ اختلاف اندکی دارند و این موضوع بیانگر آن است که پراکندگی آبراهه‌های رتبه ۱ در لایه‌ی مستخرج از DEM با مدل واقعی سطح زمین تفاوت زیادی داشته باشد. قبلاً این مسأله با بررسی چشمی لایه‌ها تأیید شده بود، ولی در تحلیل‌های عددی، لایه‌های رستری نمی‌تواند منبع مناسبی برای تجزیه و تحلیل‌های مورفومتری باشد. به منظور تحلیل دقیق توزیع آبراهه‌ها در سطح منطقه و پی بردن به درستی داده‌های مستخرج از DEM با الگوریتم D8، فراوانی آبراهه‌ها را در داخل مرزهای هر واحد ژئومورفولوژی مورد توجه قرار می‌دهیم.

جداول شماره ۴ تا ۷ فراوانی آبراهه‌ها و درصد اختلاف آنها به تفکیک رتبه‌بندی آبراهه در چهار واحد ژئومورفولوژی را براساس نقشه شماره ۱۴، نشان می‌دهد.

شکل شماره (۱۴): آبراهه‌های حاصل از روش دستی (a) و رایانه‌ای (b) به تفکیک واحدهای ژئومورفولوژی



جدول شماره (۴): فراوانی سلولی و فراوانی آبراهه‌های واحد ژئومورفولوژی کوهستان

رتبه	فراوانی سلولها		درصد اختلاف	فراوانی آبراهه‌ها		درصد اختلاف
	شبکه زمینی	شبکه DEM		شبکه زمینی	شبکه DEM	
۱	۳۷۷۷۶	۱۹۱۶۴	۴۹	۳۸۶۷	۲۶۰۴	۳۲/۶
۲	۱۲۲۷۷	۹۷۱۷	۲۱	۸۶۲	۶۴۰	۲۵/۸
۳	۶۸۱۸	۵۲۹۲	۲۲/۳	۲۰۴	۱۳۲	۳۵/۳
۴	۲۶۲۳	۲۲۷۰	۱۳/۵	۵۹	۳۳	۴۴
۵	۵۸۷	۴۷۵	۱۹	۹	۴	۵۵
۶	۱۲۶	۰	---	۱	۰	---
۷	۳۱۹	۲۸۵	۱۰/۶	۱	۱	---

جدول شماره (۵): فراوانی سلولی و فراوانی آبراهه‌های واحد ژئومورفولوژی دشت سرناهموار

رتبه	فراوانی سلولها		درصد اختلاف	فراوانی آبراهه‌ها		درصد اختلاف
	شبکه زمینی	شبکه DEM		شبکه زمینی	شبکه DEM	
۱	۸۱۳۴	۵۶۵۷	۳۰/۴	۵۰۰	۷۴۴	۳۲/۸
۲	۲۹۶۴	۲۹۸۵	۰/۷	۱۴۷	۳۵۴	۵۸/۵
۳	۱۸۰۲	۱۵۷۴	۱۲/۶	۳۹	۱۵۴	۷۴/۶
۴	۴۶۵	۹۲۶	۴۹/۸	۱۳	۱۵۹	۹۱/۸
۵	۴۲۹	۳۸۸	۹/۶	۳	۱۱۹	۹۷/۵
۶	۲۷۹	۱۸۹	۳۲	۳۳	۶۱	۹۵
۷	---	۲۹	---	۰	۳۵	---

جدول شماره (۶): فراوانی سلولی و فراوانی آبراهه‌های واحد دشت سرپوشیده و مخروط‌افکنه‌ها

رتبه	فراوانی سلولها		درصد اختلاف	فراوانی آبراهه‌ها		درصد اختلاف
	شبکه زمینی	شبکه DEM		شبکه زمینی	شبکه DEM	
۱	۷۰۵۰	۱۹۲۲۳	۶۳	۳۴۸	۱۴۸۶	۷۶/۵
۲	۲۹۵۵	۶۷۶۷	۵۶/۳	۱۴۸	۳۱۰	۵۲/۲
۳	۲۵۷۱	۳۲۸۹	۲۱/۸	۶۴	۹۵	۳۲/۶
۴	۲۶۶۰	۲۱۰۶	۲۰/۸	۳۷	۲۳۵	۸۴/۲
۵	۷۱۹	۸۳۳	۱۳/۷	۹	۳۹	۷۶/۹
۶	۲۱۶	۶۲	۷۱/۳	۴	۱۰	۶۰
۷	۱۱۵	۴	--	--	--	

جدول شماره (۷): فراوانی سلولی و فراوانی آبراهه‌های واحد مورفولوژی دشت تراکمی

رتبه	فراوانی سلولها		درصد اختلاف	فراوانی آبراهه‌ها		درصد اختلاف
	شبکه زمینی	شبکه DEM		شبکه زمینی	شبکه DEM	
۱	۴۱۱	۵۰۵۶	۹۱/۹	۶۴	۵۱۴	۸۷/۵
۲	۲۲۰	۱۶۹۸	۸۷	۳۰	۱۳۹	۷۸/۴
۳	۳۹۳	۷۴۸	۴۷/۵	۲۶	۵۱	۴۹
۴	۳۹۳	۶۷۴	۴۱/۷	۲۸	۲۸	۰
۵	۳۹۵	۱۹۲	۵۱/۴	۱۰	۱۲	۱۶/۶
۶	۷۸	۳۱	۶۰/۲	۳	۱	۶۶/۶
۷	۸۸۶	۸۲۱	--	۱	۱	--

نتایج نشان می‌دهند که درصد اختلاف، بین دو لایه در واحد مورفولوژی کوهستان، نسبت به دیگر واحدها کمتر بوده و این اختلاف به نفع تعداد آبراهه‌های مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای در تمام رتبه‌ها، فزونی دارد. این اختلاف در مورد آبراهه‌های رتبه ۱ و ۲ حدود سی درصد است، ولی با افزایش رتبه‌ی آبراهه‌ها افزایش می‌یابد. مقایسه‌ی فراوانی سلول‌ها در آبراهه‌های مختلف همخوانی خوبی با تعداد شاخه‌های وکتوری در کوهستان را نشان می‌دهد و بر این اساس می‌توان گفت تجزیه و تحلیل‌های رستری و وکتوری تعداد آبراهه‌ها و ضریب زه‌کشی مبتنی بر لایه‌ی مستخرج از DEM برای واحد ژئومورفولوژی کوهستان و در دامنه‌ی آستانه‌های ۲۰ تا ۳۰ به واقعیت نزدیک بوده و قابل اطمینان است. درصد اختلاف در واحد ژئومورفولوژی دشت سر ناهموار برای لایه‌های وکتوری فقط در مورد آبراهه‌های رتبه ۱ کم بوده ولی به طور ناگهانی برای رتبه‌های بالاتر افزایش چشمگیری یافته و حتی به بیش از نود درصد نیز می‌رسد. این اختلافات همیشه به نفع لایه‌ی مستخرج از DEM بر لایه‌ی زمینی فزونی دارد. بنابراین در این واحد مورفولوژی فقط فراوانی شاخه‌های رتبه ۱ صحیح بوده و می‌تواند مورد اطمینان باشد. همچنین، میزان اختلاف لایه‌های رستری هیچ‌گونه همخوانی با لایه‌ی وکتوری نداشته و علی‌رغم اختلاف اندک (حتی نزدیک به صفر)، نمی‌تواند منبع خوبی برای تجزیه و تحلیل‌های مربوط به تعداد آبراهه‌ها قرار گیرد. در مورد سایر واحدهای ژئومورفولوژی یعنی دشت سرپوشیده و دشت تراکمی تنها تعداد آبراهه‌های رتبه ۳ در محدوده‌ی دشت سرپوشیده و تعداد آبراهه‌های رتبه ۴ و ۵ نتایج صحیحی را در استخراج از لایه‌ی DEM نشان می‌دهند. در این واحدها نیز میزان اختلاف همه جا به نفع لایه‌ی مستخرج از DEM بوده و تنها در رتبه‌های ۴ و ۵ برابری کامل بین این دو در واحد دشت تراکمی به چشم می‌خورد. بد نیست اشاره شود که در این تجزیه و تحلیل‌ها آبراهه رتبه ۷ به دلیل منفرد بودنش مورد نظر قرار نگرفته است. جدول شماره ۸ طول شاخه‌ها و درصد اختلاف آنها را در لایه‌های زمینی و رایانه‌ای نشان می‌دهد. براساس جدول بالا اگر هدف محاسبه‌ی طول شاخه‌ها و ضریب زه‌کشی برای کل حوضه باشد، نتایج حاصل از DEM صحیح به نظر می‌رسد، زیرا درصد اختلافات بسیار جزئی است؛ اما وقتی به محاسبه‌ی این شاخص‌ها در واحدهای مختلف ژئومورفولوژی می‌پردازیم نتایج متفاوتی حاصل می‌شود.

جدول شماره (۸): مقایسه‌ی طول شاخه‌ها در واحدهای مختلف ژئومورفولوژی لایه‌های زمینی و مستخرج از DEM (به کیلومتر)

رتبه آبراه	کل حوضه			واحد کوهستان			دشت سرناهموار			دشت سرپوشیده			دشت تراکمی		
	Geo	DEM	درصد اختلاف	Geo	DEM	درصد اختلاف	Geo	DEM	درصد اختلاف	Geo	DEM	درصد اختلاف	Geo	DEM	درصد اختلاف
۱	۱۳۷۰	۱۳۰۲	۲/۵	۹۰۰	۵۲۱	۴۲	۱۹۵	۱۴۵	۳۵/۶	۱۶۸	۴۹۵	۶۶	۱۰	۱۴۸	۹۳/۲
۲	۴۶۵	۵۷۸	۱۹/۵	۳۱۴	۳۷۱	۱۳/۷	۷۴	۸۰	۷/۵	۷۲	۱۷۵	۵۸/۸	۶	۴۹	۸۷/۸
۳	۲۸۷	۲۹۶	۳	۱۷۱	۱۴۴	۱۵/۸	۴۵	۳۹	۱۳/۳	۶۲	۹۲	۳۲/۶	۱۰	۲۱	۵۲/۴
۴	۱۴۹	۱۳۳	۸/۶	۶۵	۶۲	۵	۱۱	۲۵	۵/۶	۶۴	۵۷/۵	۱۰	۱۰	۱۹	۴۷/۴
۵	۵۲	۵۳	۱/۹	۱۴	۱۳	۷	۱۱	۱۰	۹	۱۷	۲۴	۲۹	۱۰	۶	۴۰
۶	۱۷	۸	۵۳	۳	—	—	۶۹	۶	۱۲/۸	۵	۲	۶۰	۲	۱	۵۰
۷	۳۳	۳۴	۲/۹	۸	۸۲	۰	—	—	—	۳	—	—	۲۲	۲۵	۱۲

* اعداد گرد شده اند.

همان‌طور که مشاهده می‌شود در منطقه‌ی کوهستانی و در مورد شاخه‌های رتبه ۱ اختلاف قابل توجهی با نظریات پژوهشگران قبلی وجود دارد، زیرا آنان مناطق پرشیب را به اصطلاح بدون خطا تشخیص داده بوده‌اند، در حالی که طول شاخه‌های ۱ در واحد کوهستان در روش رایانه‌ای تقریباً نصف طول همین شاخه‌ها در لایه‌ی زمینی هستند. سایر موارد به جز رتبه‌ی ۶ در واحد کوهستان، نتایج قابل اطمینانی به دست می‌دهند. در واحد مورفولوژی دشت سرناهموار، که محدوده‌ی گسترش تپه‌های ساختمانی و آبرفتی است، نتایج لایه DEM برای محاسبه‌ی طول شاخه‌ها و تراکم زه‌کشی کاملاً قابل استفاده است، در حالی که در واحدهای دشت سر پوشیده و دشت تراکمی به ترتیب میزان اختلافات افزایش می‌یابد ولی این افزایش در رتبه‌های پایین تر زیاد و به سمت رتبه‌های بالاتر کاهش می‌یابد. بدین ترتیب می‌توان گفت اگر یک حوضه‌ی آبریز خیلی پر شیب یا خیلی کم شیب باشد، نتایج استخراج آبراهه از لایه‌های DEM برای محاسبه‌ی طول شاخه‌ها نمی‌تواند صحیح باشد، البته با این توضیح که میزان خطاها در

حوضه‌های کم شیب‌تر افزایش می‌یابد. حوضه‌های یکدست با شیب متعادل که عمدتاً تپه ماهوری هستند نتایج صحیح‌تری از تجزیه و تحلیل‌های طول رود به دست می‌دهند، لذا در استفاده از روش‌های رایانه‌ای باید به خوبی خصوصیات فیزیوگرافی و مورفولوژی حوضه‌ها را شناخت تا بهترین آستانه‌ها و بهترین تقسیم‌بندی‌های ناحیه‌ای را برای ارتقاء نتایج استخراج آبراهه به کار برد. به بیان دیگر، بر اساس نتایج مربوط به خصوصیات توصیفی تحلیل‌های مرفومتري می‌توان اظهار داشت که قابلیت الگوریتم‌های استخراج آبراهه در ArcGIS در تعیین مسیر آبراهه‌ها در مناطق کم شیب ناتوان و در مناطق پر شیب با خطاهایی همراه است.

ارزیابی دقت مکانی آبراهه‌های مستخرج از DEM

به منظور ارزیابی دقت مکانی آبراهه‌های مستخرج به روش رایانه‌ای، تحلیل هم‌پوشانی از نوع محلی بین لایه‌های رستری زمینی و رستری مستخرج از DEM به عمل آمد. این عملیات بدون انجام هرگونه تحلیل همسایگی، روی لایه‌های منفرد یعنی با ابعاد سلول اولیه (۳۰ متر) انجام گرفت. نتایج هم‌پوشانی دو لایه مقدار ۳۱/۷۵ درصد موقعیت‌های مشترک آبراهه‌ها را برای کل حوضه‌ی مورد مطالعه نشان می‌دهد. گرچه این مقدار نسبتاً مناسب به نظر می‌رسد، اما این هم‌پوشانی بدون در نظر گرفتن رتبه‌ی آبراهه‌ها بوده و به معنای آن است که هر آبراهه‌ای با هر آبراهه‌ای می‌تواند پوشش داشته باشد. میزان هم‌پوشانی مقایسه‌ای یا به عبارت بهتر دقت موقعیت مکانی آبراهه‌های مستخرج از DEM با الگوریتم‌های مربوط در جدول شماره ۹ نشان داده شده است. با توجه به جدول می‌توان چنین اظهار نمود که دقت نتایج به دست آمده به تفکیک آبراهه‌ها اعداد بسیار پایینی را نشان می‌دهد، به گونه‌ای که این مقدار برای آبراهه‌های درجه ۱، ۲، ۳ و ۴ بین حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد بوده و برای سایر آبراهه‌ها به کمتر از ده و حتی پنج درصد افت می‌کند. حتی با افزایش ده متر بر ابعاد سلول‌های آبراهه ارقام چندان رضایت بخشی به دست نیامد، به گونه‌ای که این ارقام مثلاً برای آبراهه‌های رتبه ۱ از ۱۴/۸ درصد به حدود ۲۰ درصد افزایش یافت که بیانگر عدم دقت الگوریتم‌های موجود حداقل در کارهای با جزئیات بیشتر است. به منظور بررسی میزان دقت مکانی آبراهه‌ها،

عملیات هم‌پوشانی دو لایه به تفکیک واحدهای مورفولوژی چهار گانه نیز به عمل آمد، ولی نتایج آن چندان رضایت‌بخش نبود. جدول شماره ۱۰ فقط درصد هم‌پوشانی آبراهه‌های با رتبه‌ی متناظر را در دو واحد کوهستان و دشت سر ناهموار نشان می‌دهد. علت عدم درج اعداد مربوط به دو واحد دیگر این است که این واحدها در لایه‌ی DEM، تعداد بسیار زیادی آبراهه‌های غیرواقعی درجه ۱ دارند که در تحلیل هم‌پوشانی نتایج غلطی را به دست می‌دهند و اصولاً مقایسه‌ی آن‌ها با یکدیگر صحیح به نظر نمی‌رسد.

جدول شماره (۹): درصد هم‌پوشانی آبراهه‌ها در لایه‌های زمینی و DEM در کل حوضه آبریز

DEM \ Geo	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
۱	۱۴/۸	۴/۹	۱/۲	۰/۵۶	۰/۱۱	۰/۰۴	۰/۰۵
۲	۵/۷	۲۱/۵	۷	۱/۶	۰/۱۵	۰/۰۴	۰/۲
۳	۲/۴	۱۱/۳	۱۸/۹	۵/۶	۰/۴۵	۰/۰۷	۰/۲
۴	۱/۳	۵/۶	۹/۸	۱۴/۸	۱/۱	۰	۰/۱۵
۵	۰/۴۲	۴/۱	۱/۶	۵/۶	۶/۳	۲/۷	۰/۶
۶	۰/۱۳	۶/۶	۳/۴	۱	۹/۵	۱/۹	۰/۱
۷	۰/۱	۵/۹	۲/۵	۲/۳	۰/۲۴	۰	۷/۶

جدول شماره (۱۰): درصد هم‌پوشانی آبراهه‌ها در لایه‌های زمینی و DEM برای واحد کوهستان

و دشت سر ناهموار

رتبه آبراهه	واحد مورفولوژی	کوهستان	دشت سر ناهموار
۱	واحد مورفولوژی	۱۴	۱۸
۲		۲۳	۲۸
۳		۲۲	۲۳
۴		۲۱	۳۵
۵		۱۳	۱۶
۶		--	۴
۷		۲۴	--
جمع کل آبراهه‌ها		۳۱	۳۵

نتیجه گیری

این مطالعه فقط روی یک DEM ۳۰ متری از نوع ASTER صورت گرفته و با در نظر گرفتن جوانب احتیاط می‌توان نتایج به دست آمده به شرح زیر را حداقل برای DEM‌های تا ۳۰ متری مورد استفاده قرار داد. بخشی از این نتایج به الگوریتم‌ها و بخشی دیگر به DEM‌ها مربوط می‌شود.

۱. مطالعه‌ی انجام شده، نشان می‌دهد که استفاده از DEM‌ها برای استخراج شبکه‌ی زه‌کشی فقط برای کارهای عمومی و مطالعات مقدماتی مناسب است. تقریباً در هرگونه مطالعه‌ی تخصصی که نیاز به داده‌های دقیق و نزدیک به زمین واقعی داریم، بهترین راه برای استخراج شبکه‌های زه‌کشی عکس‌های هوایی بزرگ مقیاس و یا تصاویر ماهواره‌ای است.

۲. برخلاف تصور پژوهشگران قبلی که مقایسه‌ی نتایج مورفومتری را بر مبنای تحلیل‌های رستری لایه‌های آبراهه استوار نموده‌اند، به نظر می‌رسد که لایه‌های رستری نمی‌تواند منبع مناسبی برای مقایسه‌ی نتایج دو روش استخراج آبراهه باشد و در صورت تبدیل آنها به لایه وکتوری، نتایج روشن‌تر و واضح‌تری به دست می‌آید.

۳. آستانه‌های ۲۰ تا ۳۰ سلول برای تعیین مسیر آبراهه‌ها، نتایج کلی نزدیک به نقشه‌های دستی را در یک حوضه‌ی آبریز برای کل آبراهه‌ها و در سطح کل حوضه‌ی آبریز ارائه می‌نماید، لذا می‌تواند در مطالعات اولیه یا مطالعاتی که نیاز به تفکیک واحدهای کوچک‌تر در سطح حوضه‌ی آبریز ندارند و یا در مطالعاتی که به رتبه‌ی آبراهه توجه نمی‌شود، مورد استفاده قرار گیرد. آستانه‌های بالاتر از ۵۰۰ سلول گرچه تعداد زیادی از آبراهه‌های رتبه یک را حذف می‌کند، ولی مدل کلی واقعی‌تری را به دست می‌دهد و بنابراین می‌تواند در کارهای کوچک مقیاس یا مدل‌سازی‌های کوچک مقیاس شبکه‌ی زه‌کشی مورد استفاده قرار گیرد. درحوضه‌های آبریز با شرایط متفاوت، بهتر است مثلاً در کوهستان آستانه‌ی ۲۵، در دشت‌سر آستانه‌ی ۱۰۰، در مخروط افکنه‌ها آستانه ۲۵۰ و در دشت تراکمی آستانه‌ی ۵۰۰ سلول انتخاب شود.

۴. هنوز الگوریتم‌های رایانه‌ای فعلی قادر به تعیین مسیر شبکه‌ی آب‌ها در مناطق کم شیب نیستند و برخلاف تصوّر پژوهشگران قبلی در مناطق پرشیب نیز تفاوت‌های قابل توجهی در میزان طول شاخه‌های رتبه ۱ با لایه‌های دستی به چشم می‌خورد و این نشان می‌دهد که الگوریتم‌های رایانه‌ای استخراج آبراهه از DEM ها در مناطق کم‌شیب برای تجزیه و تحلیل‌های طول رود ناتوان و در مناطق پرشیب هم با خطاهایی همراه است. تنها در مناطق تپه ماهوری و یا شیب‌های متعادل این شرایط بهبود می‌یابد.

۵. الگوریتم‌های رایانه‌ای و دقت DEM ها توأمأ در تعیین دقیق مکان شبکه‌ی زه‌کشی ضعف‌های اساسی دارند، به طوری که در مطالعه‌ی فعلی در بهترین شرایط و بدون در نظر گرفتن رتبه‌ی آبراهه‌ها میزان هم‌پوشانی مسیرهای دو لایه‌ی آبراهه‌ی مستخرج از DEM و روش دستی حدود سی درصد و با در نظر گرفتن رتبه‌ی آبراهه به کمتر از بیست درصد می‌رسد که ارقام غیرقابل قبولی را ارائه می‌دهد. به همین منظور پیشنهاد می‌شود محققین جغرافیا و GIS نسبت به آزمون DEM‌های مختلف برای استخراج شبکه‌ی زه‌کشی اقدام نموده و نقایص موجود را جهت بهتر روشن شدن ضعف الگوریتم‌ها یا DEM ها معرفی نمایند.

منابع و مأخذ

۱. حسین‌زاده، سیدرضا و علیرضا بیدخوری، (۱۳۸۹)، *سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (چاپ دوم)*، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.
۲. سازمان جغرافیایی کشور و سازمان نقشه‌برداری کشور: نقشه‌های ۲۵۰۰۰: ۱ توپوگرافی منطقه مطالعاتی.
۳. سازمان زمین‌شناسی کشور: نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه.
۴. فریفته، جمشید، (۱۳۷۰)، *تحلیل‌های کمی در ژئومورفولوژی*، انتشارات دانشگاه تهران.
5. Bian, L. and walsh, S.J. 1993 *scale dependencies of vegetation and topography in a mountainous environment of Montana*. The professional Geographer. 45(1), 1-11.
6. Donker, N. 1992: *Automatic extraction of catchment hydrologic properties from digital elevation model*: ITC Journal 3. pp. 257-265.
7. Douglas, P.H., 1986. *Experiments to locate ridges and channels to create a new type of digital elevation model*. Cartographica, 23, pp. 29-61.
8. Garcia, M. J. L and camarasa, A. M. 1999: *use of geomorphological units to improve drainage network extraction from a DEM*: JAG Journal, 1(3/4) pp. 187-195.
9. Jiang Li, David W.S.Wong. 2010: *Effects of DEM sources on Hydrologic applications*. Computers, Environment and urban systems. 34. pp. 251-261.
10. Kamp, U., Bolch, T. and olsenholler, J. 2005: *Geomorphometry of cerro sillajhuay (Andes, chile / Bolina) Comparis of digital elevation mode (DEM's) from ASTER. Remot sensing data and contour maps*. Geocarto International. 20, 23-33.
11. Kienzle, S. 2004, *the effect of DEM raster resolution on first order, second order and compound terrain derivatives*. Transactions in GIS, 8(1), pp. 83-111.
12. Lam, N, Quattrochi, D.A. 1992. *on the issues of scale, resolution, and fractal analysis in the mapping sciences*. The professional Geographer, 44(1), pp. 88-98
13. Lassueur, T., Joost, S., Randin, C.F. 2006: *very high resolution digital elevation models. Do they improve models of plant species distribution?* Ecological Modeling 198(1-2), pp. 139-153.
14. Nikolakopoulos, K. G. and Karmaratakis, E.K. and Chrysoulakis. N: 2006: *SRTM vs ASTER elevation products. Comparison for two regions in Crete Greece*: International Journal of remote sensing. 27(21). Pp. 4819-4838.
15. Peunker, T. and Douglas, D.H, 1975. *Detection of surface – specific points by local parallel processing of discrete terrain-elevation data*. Computer

- Graphics and image processing. 4, pp. 375-387.
16. Smith, M. J. and Pain, C.F. 2009: *Applications of remote sensing in geomorphology: progress in physical Geography*, 33(4) pp. 568-582.
17. Torwaki, J. and Fukumura, T. 1978. *Extraction of structural information from grey pictures computer Graphics and image processing*, 8, pp 30-51.
18. Tribe, A. 1992. *Automated recognition of vally lines and draingge networks from grid digital elevation Models: a review and a new method Journal of Hydrology*. 139: pp. 263-293.
19. Wise, S. 2000: *Assessing the quality of digital elevation models derived from contours for hydrological applications: Hydrological processes*, 14. 1909-1929.
20. WU, S., Li. J., and Huang, G.H. 2008: *A study on DEM-derived primary topographic attributes for hydrologic applications: sensivity to elevation data resolution. Applied Geography*, 28, 210-223.

تشکر و قدردانی

این مقاله نتیجه‌ی طرح پژوهشی شماره ۸۷/۱۴۲ مصوبه‌ی مورخ ۱۳۸۷/۱۲/۲۴ بوده که هزینه‌های انجام آن از طرف معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد تأمین گردیده است. لذا در پایان نگارندگان لازم می‌دانند مراتب سپاسگزاری خود را از آن معاونت محترم و همچنین معاونت محترم دانشکده ادبیات و علوم انسانی ابراز نمایند.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
رتال جامع علوم انسانی