

# ارتباط ویژگی‌های مورفومتری حوضه‌های آبخیز و فرسایش‌پذیری در سطوح مختلف ارتفاعی با استفاده از شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI)

## مطالعه موردی: حوضه آبخیز نازلوچای

مرضیه مکرّم<sup>۱</sup>

علی درویشی بلورانی<sup>۲</sup>

سعید نگهبان<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت مقاله: ۹۴/۰۵/۰۴

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۴/۱۰/۲۴

\*\*\*\*\*

### چکیده

شناخت عوامل هیدروژئومورفولوژیک و عملکرد آنها در حوضه آبخیز به منظور شناخت و مدیریت محیط حوضه آبخیز، اهمیت زیادی دارد. در این پژوهش یکی از زیرحوضه‌های آبخیز رودخانه ارومیه (نازلوچای) واقع در شمال غرب ایران با مساحت ۹۴۸/۷۵ کیلومترمربع با محاسبه و آنالیز مورفومتری و استفاده از فنون سیستم اطلاعات جغرافیایی مورد بررسی قرار گرفته است. برای استخراج آبراهه‌های منطقه و بررسی حوضه آبخیز از نظر مورفومتری از مدل رقومی ارتفاع (DEM) ۳۰ متر استفاده شد. پارامترهای مورفومتری بررسی شده در این مقاله شامل تعداد آبراهه‌ها ( $Nu$ )، رتبه آبراهه ( $U$ )، مجموع طول آبراهه ( $L$ )، ضریب بیفرکاسیون ( $R_b$ )، پستی و بلندی ( $B_p$ )، چگالی زهکشی ( $D_p$ )، فراوانی آبراهه ( $F_p$ )، فاکتور شکل ( $R_p$ )، ضریب گردی ( $R_c$ ) و ضریب مستطیل معادل ( $R_e$ ) می‌باشد. نتایج نشان داد که با توجه به تعداد آبراهه‌ها (۴۸۹ آبراهه)، وجود آبراهه‌های درجه اول، دوم و سوم، زیاد بودن طول آبراهه‌ها، بالا بودن نسبت طول آبراهه‌ها نسبت به مساحت حوضه، ضریب رلیف بالا که نشان دهنده وجود ارتفاعات و شیب زیاد، منطقه فرسایش پذیر بوده و نیاز به مدیریت بیشتر دارد. همچنین مطالعات لندفرم در منطقه مورد مطالعه نشان داد که به کمک ویژگی‌های مورفومتری می‌توان میزان حساسیت لندفرم‌ها به فرسایش را در منطقه مشخص نمود. به طوری که بعد از تهیه نقشه لندفرم‌ها با استفاده از شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI)، و در نظر گرفتن مناطق حساس به فرسایش از طریق ویژگی‌های مورفومتری، لندفرم‌های حساس به فرسایش در منطقه مورد مطالعه مشخص شد. به طوریکه افزایش تعداد آبراهه‌ها و طول آن در حوضه آبخیز نشان دهنده افزایش فرسایش است. با مقایسه نقشه لندفرم‌ها و نقشه آبراهه‌های منطقه مورد مطالعه مشخص شد که لندفرم‌های کلاس ۴ (دره‌های U شکل) و لندفرم‌های کلاس ۳ (زهکش‌های مرتفع) دارای بیشترین فرسایش‌پذیری هستند. نتایج نشان داد که با افزایش میزان چگالی زهکشی میزان فرسایش‌پذیری افزایش می‌یابد که در لندفرم‌های کلاس ۴ (دره‌های II شکل) و کلاس ۶ بیشترین میزان فرسایش‌پذیری با توجه به بالا بودن چگالی زهکشی دیده شد. واژه‌های کلیدی: مورفومتری، فرسایش‌پذیری، لندفرم، چگالی زهکشی.

\*\*\*\*\*

۱- استادیار ژئومورفولوژی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز M.mokarram@shirazu.ac.ir

۲- استادیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران ali.darvishi@ut.ac.ir

۳- استادیار ژئومورفولوژی بخش جغرافیا- دانشگاه شیراز snegahban@shirazu.ac.ir

## ۱- مقدمه

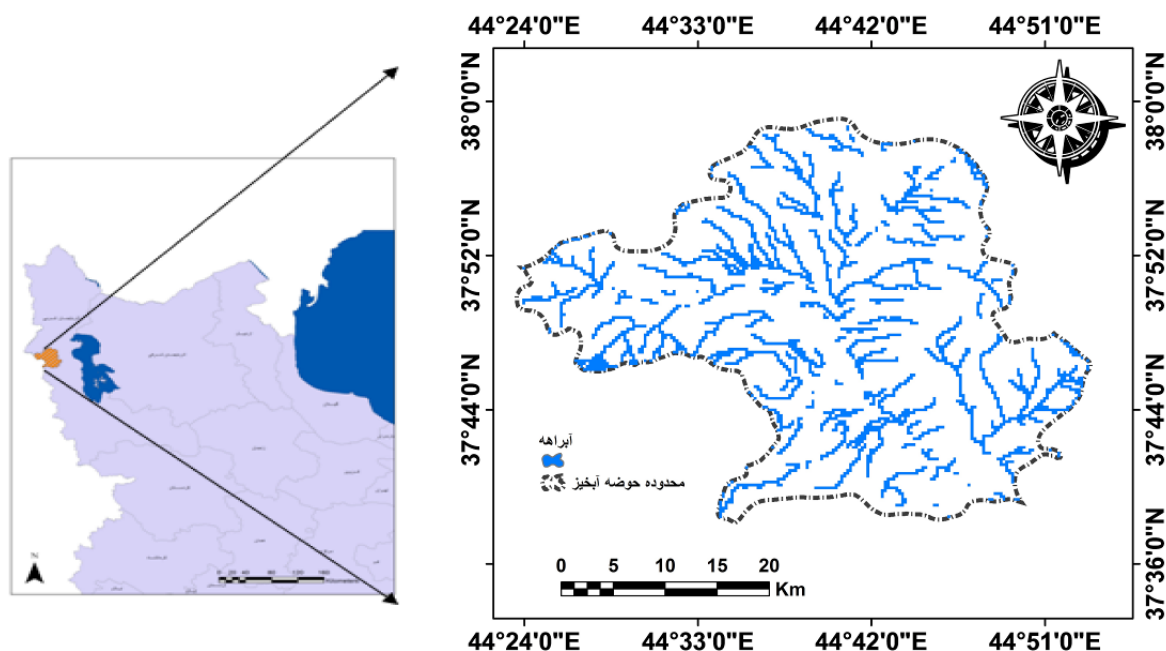
حوضه آبخیز یک واحد ایده آل به منظور مدیریت منابع طبیعی و دستیابی به توسعه پایدار است (Khan, 2001). شرط اول کنترل عوامل فرسایشی شناسایی ویژگی‌های مورفومتری حوضه‌های آبخیز و اولویت‌بندی آن‌ها می‌باشد تا در صورت اجرای عملیات کنترلی، مناطق دارای اولویت‌های بالاتر بیشتر مد نظر و مدیریت قرار گیرند (آمانی و نجفی نژاد، ۱۳۹۳). از طرفی استفاده از روش‌های اتوماتیک که به کمک آن‌ها بتوان با وقت و هزینه کمتر، مناطق حساس و مستعد فرسایش را مشخص نمود، در اولویت می‌باشد. امروزه تجزیه و تحلیل‌های مورفومتری با استفاده از فاکتورهای زیاد به طور وقت گیر در اکثر مطالعات انجام می‌شود.

تجزیه و تحلیل‌های مورفومتری از طریق اندازه‌گیری فاکتورهایی مانند شیب، جهت، ارتفاع، آبراهه‌ها، میکروریلیف و غیره قابل انجام است (Nautiyal, 1994; Nag and Chakraborty, 2003; Magesh et al. 2012b; Kumar et al., 2014). مورفومتری حوضه آبخیز نقش بسیار مهمی در دانستن ویژگی‌های یک حوضه آبخیز از نظر ژئوهیدرولوژی، آب و هوا، ژئومورفولوژی و غیره دارد. ارزیابی و بررسی ویژگی‌های مورفومتری حوضه آبخیز شامل اندازه‌گیری پارامترهایی مانند تعداد آبراهه‌ها ( $N_u$ )، رتبه آبراهه ( $U$ )، مجموع طول آبراهه ( $L$ )، ضریب بیفرکاسیون ( $R_p$ )، پستی و بلندی ( $B_p$ )، چگالی زهکشی ( $D_p$ )، فراوانی آبراهه ( $F_p$ )، فاکتور شکل ( $R_f$ )، ضریب گردی ( $R_c$ ) و ضریب مستطیل معادل ( $R_e$ ) می‌باشد (Verstappen, 1983; Kumar et al., 2000; Parveen et al., 2012). بررسی‌های مختلفی که در زمینه مورفومتری آبراهه‌های یک منطقه صورت گرفته نشان دهنده ارتباط حوضه آبخیز با فرایندهای ژئومورفولوژی موجود در منطقه می‌باشد (Horton 1945; Strahler 1952, 1964; Evans 1972, 1984; Chorley et al. 1984; Cox, 1994; Oguchi, 1997; Burrough, McDonnell 1998; Hurtrez et al., 1999). سنجش از دور و GIS نقش بسیار مهمی در تجزیه و تحلیل‌های مورفومتری ایفا می‌نمایند (Rao et al., 2010). یک راه مناسب برای تجزیه و تحلیل مورفومتری

یک حوضه آبخیز استفاده از DEM منطقه می‌باشد که منجر به تسریع و دقت بیشتر محاسبات می‌گردد (Smith, Sandwell, 2003). از DEM به عنوان یک ورودی برای استخراج آبراهه استفاده می‌شود (Mesa 2006; Magesh et al., 2011).

تاکار و دیمان با استفاده از آنالیزهای مورفومتری و فنون سنجش از دور و GIS اولویت بندی حوضه آبخیز Mohr هندوستان را از نظر فرسایش پذیری انجام دادند (Thakkar and Dhiman, 2007). جاود و همکاران زیر حوضه‌های آبخیز Kenera را بر اساس خصوصیات مورفومتری و کاربری اراضی از نظر فرسایش پذیری مورد مطالعه و طبقه بندی قرار دادند (Javed et al., 2009). همچنین خان و همکاران حوضه Guhiya را بر اساس میزان فرسایش پذیری با استفاده از فنون سنجش از دور و GIS اولویت بندی نمودند (Kashy, 2011). آمانی و نجفی نژاد (۱۳۹۳) اولویت بندی زیرحوضه‌های آبخیز لهندر واقع در شرق استان گلستان را با استفاده از آنالیز مورفومتری، فنون سنجش از دور و GIS انجام دادند. در آنالیز مورفومتری پارامترهایی از قبیل طول آبراهه، نسبت انشعاب، تراکم زهکشی، ضریب شکل حوضه، ضریب گردش‌دگی حوضه و ضریب فشردگی را مورد بررسی قرار دادند. در نهایت اولویت بندی هر یک از زیر حوضه‌ها بر اساس ویژگی‌های مورفومتری و شاخص رسوب تعیین شد. نتایج نشان داد که زیر حوضه A5 دارای وضعیت بحرانی‌تر بوده و نیاز به مدیریت بیشتری نسبت به دیگر زیر حوضه‌ها دارد. ویژگی‌های مورفومتری یک حوضه آبخیز نقش بسیار مهمی در تشخیص ویژگی‌های هیدرولوژیکی، وضعیت آب‌های زیر زمینی و غیره را نیز دارا می‌باشد.

هدف این پژوهش بررسی ویژگی‌های مورفومتری حوضه آبخیز نازلو چای با توجه به سیلابی بودن حوضه می‌باشد. با توجه به اهمیت بررسی ویژگی‌های مورفومتری در مطالعات حوضه آبخیز و بررسی میزان فرسایش پذیری حوضه آبخیز در این مطالعه هدف بررسی ویژگی‌های مورفومتری حوضه آبخیز، ارتباط ویژگی‌های مورفومتری با نوع لندفرم و در نهایت پیش‌بینی میزان فرسایش از طریق لندفرم می‌باشد.



نگاره ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

جدول ۱: ویژگی‌های مورفومتری بررسی شده در حوضه آبخیز ارومیه

منابع	توصیف	فرمول	ویژگی‌های مورفومتریکی
Strahler (1964)	-	-	رده رودخانه ( $U$ )
Horton (1945)	-	-	طول رودخانه ( $L_u$ )
Strahler (1964)	تعداد کل آبراهه‌ها $N_u$	$L_{sm} = L_u/N_u$	میانگین طول رودخانه ( $L_{sm}$ )
Horton (1945)	مجموع طول رودخانه‌ها $L_{(u-1)}$	$R_L = L_u/L_{(u-1)}$	نسبت طول رودخانه ( $R_L$ )
Schumms (1956)	تعداد رودخانه‌های رتبه بالاتر $N_{(u+1)}$	$R_b = N_u/N_{(u+1)}$	نسبت بیفرکاسیون ( $R_b$ )
Strahler (1957)		$R_{bm} = \text{Average } R_b \text{ of all orders}$	میانگین نسبت بیفرکاسیون ( $R_{bm}$ )
Schumms (1956)	نسبت رلیف منطقه و طول حوضه $L_b$	$R_h = H/L$	نسبت رلیف ( $R_h$ )
Horton (1932)	مساحت حوضه آبخیز $A$	$D = L_u/A$	چگالی زهکشی ( $D$ )
Horton (1932)		$F_s = N_u/A$	فراوانی آبراهه ( $F_s$ )
Horton (1945)	محیط حوضه آبخیز $P$	$R_t = N_u/P$	بافت زهکشی ( $R_t$ )
Horton (1932)		$R_f = A/L_b^2$	ظریب شکل ( $R_f$ )
Miller (1953)		$R_c = 4t * A/P^2$	نسبت گردی ( $R_c$ )
Schumms (1956)	$\pi = 3.14$	$R_e = (2/L_b) * (A/\pi)^{0.5}$	ضریب مستطیل معادل ( $R_e$ )

## ۲- منطقه مورد مطالعه

مورد مطالعه داشته باشیم. شاخص موقعیت توپوگرافی، ارتفاع هر پیکسل در مدل رقومی ارتفاع را با پیکسل مشخص اطراف آن پیکسل مقایسه می‌کند. مقادیر مثبت TPI نشان دهنده مناطقی است که بالاتر از نقاط اطراف قرار گرفته (تپه ها) و مقادیر منفی TPI نشان دهنده مناطقی است که پایین تر از اطرافشان هستند (دره‌ها). مقادیر صفر و نزدیک صفر نیز نشان دهنده مناطق مسطح (جایی که شیب نزدیک صفر است) یا مناطقی با شیب ثابت هستند.

منطقه مورد مطالعه حوضه آبخیز نازلوچای می‌باشد که در قسمت غربی دریاچه ارومیه و استان آذربایجان غربی واقع شده است (نگاره ۱). مساحت حوضه حدود ۹۴۸/۷۵ کیلومتر مربع می‌باشد. حداکثر و حداقل ارتفاع منطقه ۱۴۲۱ تا ۳۳۶۰ متر می‌باشد که نشان دهنده وجود ارتفاعات و شیب زیاد در منطقه است.

## ۳- داده‌ها و روش‌ها

در مرحله اول، آبراهه‌های منطقه مورد مطالعه استخراج گردید (نگاره ۱) که جهت این کار از DEM (Jing and Wong 2010) استفاده شد. و سپس ویژگی‌های مورفومتری آنها مورد بررسی قرار گرفت. ویژگی‌های مورفومتری مورد بررسی به همراه فرمول‌ها و نحوه محاسبه آنها در جدول ۱ نشان داده شده است.

### طبقه‌بندی لندفرم‌ها به روش TPI

برای جداسازی لندفرم‌های منطقه از مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک ۳۰ متر استفاده شد. ۱۰ نوع لندفرم بر اساس TPI یا شاخص موقعیت توپوگرافی شناسایی شد. TPI طبق معادله زیر مقایسه ارتفاع هر سلول در یک مدل رقومی ارتفاع با میانگین ارتفاع سلول‌ها همسایه می‌باشد. در نهایت ارتفاع میانگین از مقدار ارتفاع در مرکز کم می‌شود (بهرامی و همکاران، ۱۳۹۲)

$$TPI_i = Z_0 - \sum_{n-1} Z_n / n \quad (۳)$$

در اینجا،

$$Z_0 = \text{ارتفاع نقطه مدل تحت ارزیابی}$$

$$Z_n = \text{ارتفاع از شبکه}$$

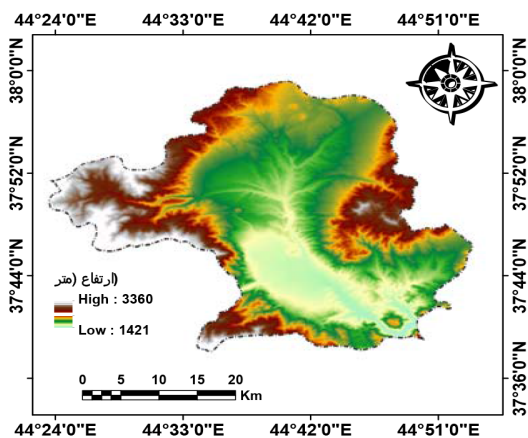
$n =$  تعداد کل نقاط اطراف در نظر گرفته شده در ارزیابی ترکیب TPI در مقیاس کوچک و بزرگ اجازه می‌دهد تا انواع اشکال ایجاد شود (جدول ۲). برای طبقه بندی بهتر می‌توان در بین کلاس‌ها نیز طبقه بندی به صورت دستی انجام داد تا یک طبقه بندی بهینه برای چشم انداز منطقه

جدول ۲: طبقه بندی انواع لندفرم‌ها بر اساس شاخص

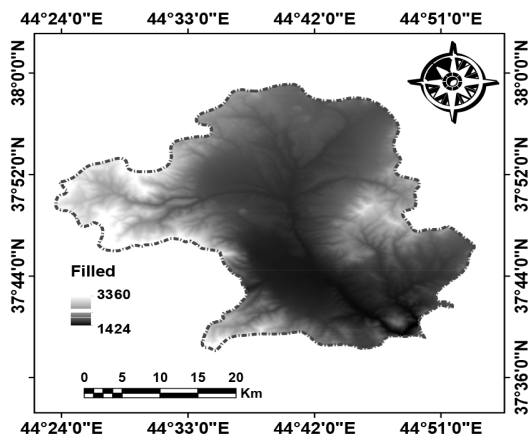
مقادیر TPI	نوع لندفرم	شماره کلاس
TPI d -1	دره‌ها و بریدگی‌های واقع بر ارتفاعات و دامنه‌ها	۱
TPI <1 > -1	دره‌های آبراهه‌های میانی	۲
TPI e1	زهکش‌های مرتفع	۳
TPI d -1	دره‌های u شکل	۴
TPI <1 > , > -1 Slope d 50	دشت‌های کوچک	۵
TPI <1 > , > -1 Slope > 50	دشت سر	۶
TPI e 1	فلات‌های بالایی (سطوح مسطح واقع بر ارتفاعات)	۷
TPI d-1	خط الراس‌های مرتفع	۸
TPI <1 > -1	تپه	۹
TPI e 1	خط الراس‌های مرتفع، قله کوه	۱۰

## ۴- نتایج

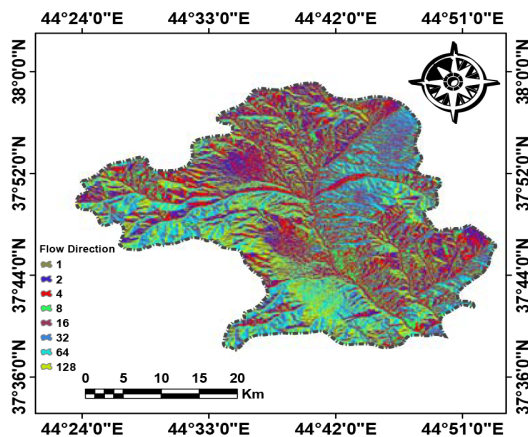
به منظور استخراج آبراهه‌ها و تعیین رتبه هر یک از آبراهه‌ها ابتدا محدوده حوضه آبخیز مورد مطالعه تعیین شد. مساحت حوضه آبخیز مورد مطالعه ۹۴۸/۵۷ کیلومتر مربع می‌باشد. بعد از استخراج این حوضه آبخیز به کمک اتصال خط‌الرأس‌های منطقه و استفاده از نقشه‌های توپوگرافی، پارامترهایی از قبیل نقشه ارتفاع، filled، جهت جریان، بیشترین تجمع جریان، آبراهه‌های منطقه و در نهایت رتبه



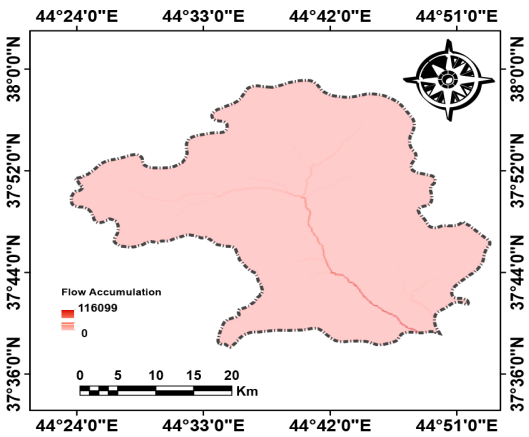
(۱)



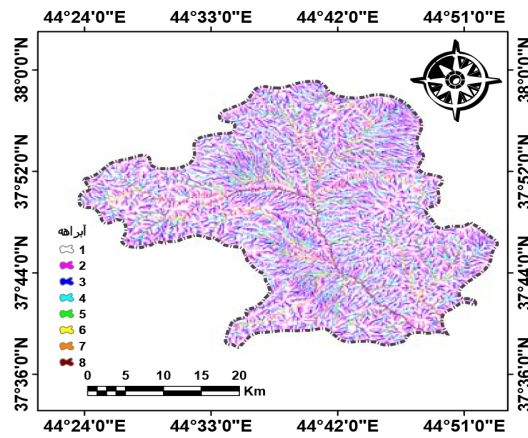
(۲)



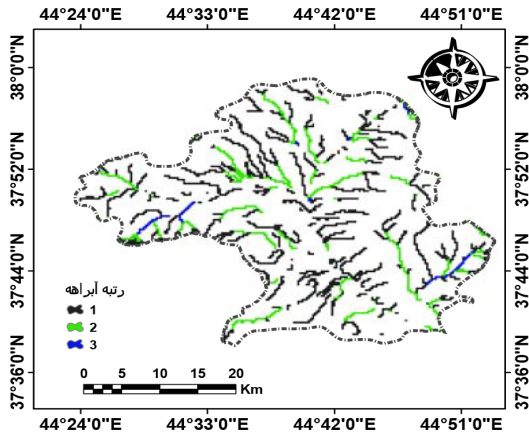
(۳)



(۴)



(۵)



(۶)

نگاره ۲: استخراج اتوماتیک آبراه‌ها با استفاده از DEM

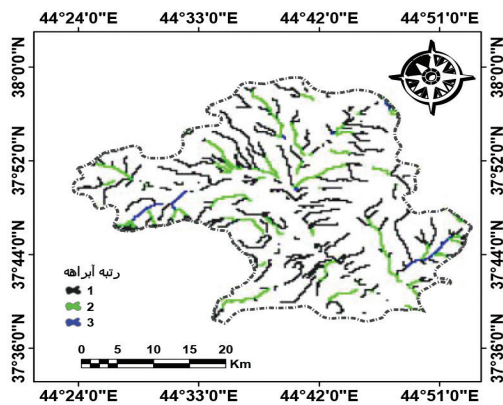


بیشترین آن ۳۵۹ (شمالی) درجه می‌باشد. شیب منطقه نقش بسیار مهمی در بررسی تحقیقات ژئومورفولوژی منطقه دارد (Mageshet et al. 2011a; Gayenet al. 2013; Kumar et al., 2014).

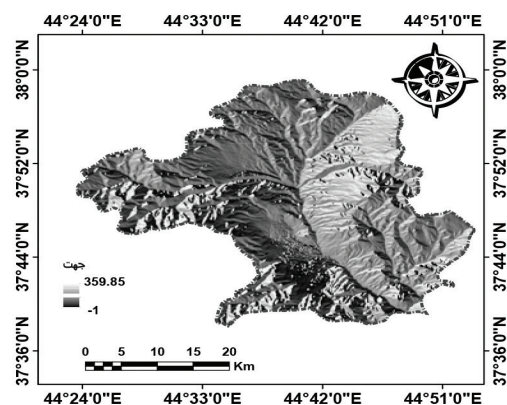
نقشه شیب منطقه در محیط ArcGIS با استفاده از DEM منطقه تهیه شد که در نگاره (۳) نشان داده شده است. با توجه به شکل مشخص می‌شود که بیشترین شیب در منطقه ۷۶/۹۷ درجه می‌باشد. شیب‌های بسیار زیاد نشان دهنده سرعت زیاد رواناب و در نتیجه فرسایش زیاد حوضه آبخیز مورد مطالعه هستند. پستی و بلندی یکی از فاکتورهای مهم در بررسی مورفومتری رودخانه‌های یک حوضه آبخیز محسوب می‌شود (Gayenet al. 2013; Kumar et al., 2014). بیشترین میزان نسبت پستی و بلندی محاسبه شده در حوضه آبخیز

هر یک از آبراهه‌ها تعیین شد (نگاره ۲). نتایج مربوط به رتبه آبراهه‌های منطقه مورد مطالعه در جدول ۱ آمده است (Horton 1932, 1945; Smith 1950; Strahler 1964; Sreedevi et al. 2005; Mesa 2006).

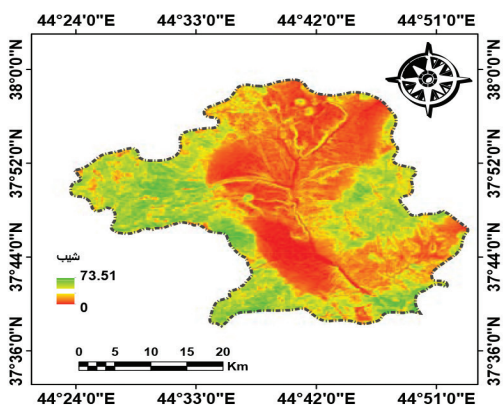
در این مطالعه به منظور رتبه‌بندی آبراهه‌ها از روش استرالر (Strahler, 1964) استفاده شد. بیشترین رتبه‌های رودخانه همانطور که در نگاره (۶) نشان داده شده است رتبه ۳ می‌باشد. جهت انعکاس دهنده امتداد شیب در ارتفاعات می‌باشد (Kumar et al., 2014). نقشه جهت استخراج شده از DEM منطقه مورد مطالعه در نگاره ۳ نشان داده شده است. طبق نگاره (۴) مشخص می‌شود که کمترین مقدار جهت برای منطقه مورد مطالعه ۱- (مسطح و بدون جهت) و



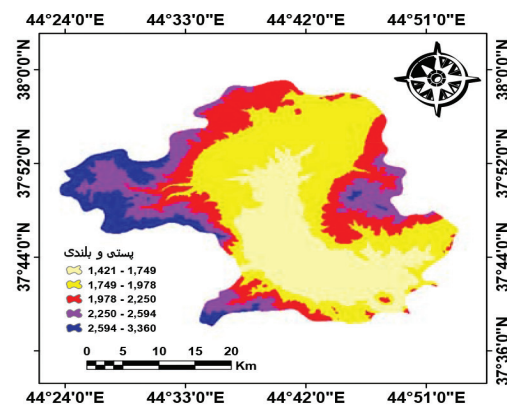
(۱)



(۲)



(۳)



(۴)

نگاره ۳: رتبه آبراهه‌ها (۱)، نقشه جهت (۲)، نقشه شیب (۳)، نقشه پستی و بلندی (۴) حوضه آبخیز مورد مطالعه

به آبراهه‌ی بعد از خودش می‌باشد. در حوضه آبخیز مورد مطالعه بیشترین مقدار ضریب بيفرکاسیون  $1/20$  محاسبه شد. در واقع به کمک این ضریب می‌توان الگوی زهکشی در منطقه را مشخص نمود (Vitala et al. 2004; Chopra et al. 2005). نتایج مربوط به ضریب بيفرکاسیون در جدول ۶ نشان داده شده است.

جدول ۶: ضریب بيفرکاسیون منطقه مورد مطالعه

رتبه آبراهه	I/II	II/III	III/VI
$R_b$	1.11	1.20	-

میزان Lsm در منطقه مورد مطالعه بین  $0.108/0$  تا  $0.12/0$ . تعیین شد که در جدول ۲ نشان داده شده است. در واقع میزان Lsm هر رتبه از آبراهه نسبت به رتبه بعدی بیشتر می‌باشد. Strahler در سال ۱۹۶۴ نشان داد که میزان مرتبط با اندازه شبکه‌های زهکشی است.

جدول ۷: میزان Lsm منطقه مورد مطالعه

رتبه آبراهه	I	II	III	IV
$L_{sm}$	0.012	0.0108	0.0090	-

میزان بالای نسبت پستی و بلندی‌ها در منطقه نشان دهنده وجود شیب‌های زیاد و ارتفاعات زیاد در منطقه می‌باشد (Mahade et al. 2011).

Rh به طور نرمال با کاهش زهکش‌های منطقه افزایش می‌یابد (Gottschalk 1964). وضعیت پستی و بلندی‌های منطقه مورد مطالعه در جدول ۸ نشان داده شده است.

جدول ۸: وضعیت پستی و بلندی‌های منطقه مورد مطالعه

نسبت رلیف	رلیف	حداکثر ارتفاع	حداقل ارتفاع	$R_h$
0.57	1939	3360	1421	

چگالی زهکشی در واقع نسبت بین کل طول آبراهه‌ها به مساحت حوضه آبخیز می‌باشد (Strahler 1964).

چگالی زهکشی ارتباط زیادی با میزان دره‌ها، کانال‌ها، رلیف و پوشش گیاهی (Moglen et al. 1998)، خاک و صخره‌های (Kelson and Wells 1989) منطقه دارد. وضعیت Dd منطقه مورد مطالعه در جدول ۹ نشان داده شده است. همچنین نقشه‌های TIN، چگالی زهکشی در نگاره ۴ نشان داده شده است.

مورد مطالعه ۱۴۲۱ و کمترین آن ۳۳۶۰ متر می‌باشد که در نگاره (۴) ۳ نشان داده شده است.

تعداد کانال‌ها در هر رتبه را در اصطلاح تعداد آبراهه‌های آن رتبه می‌گویند (Horton's law in 1945). یک قانون کلی وجود دارد که طبق آن تعداد آبراهه‌های یک حوضه آبخیز با کاهش رتبه آبراهه‌ها افزایش می‌یابد (Kumar et al., 2014). تعداد آبراهه‌های منطقه مورد مطالعه در جدول زیر نشان داده شده است.

جدول ۳: تعداد آبراهه‌ها در رتبه‌های مختلف حوضه آبخیز

رتبه آبراهه	I	II	III	IV
$N_u$	333	134	22	-

طول آبراهه یکی از ویژگی‌های هیدرولوژیکی حوضه آبخیز محسوب می‌شود. شمار بسیار زیادی از آبراهه‌های با طول کوچک در قسمت‌های بالادست حوضه آبخیز گسترش پیدا کرده اند و دارای طول ثابتی نمی‌باشند و مدام در حال تغییر هستند ولی آبراهه‌های اصلی حوضه تقریباً دارای طول ثابتی هستند (Horton 1945; Sethupathi et al. 2011). نتایج مربوط به طول حوضه آبخیز مورد مطالعه در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۴: طول آبراهه‌های منطقه مورد مطالعه

رتبه آبراهه	I	II	III	IV
$L_u$	4.08	1.45	0.199	-

نسبت بین طول آبراهه‌ها با رتبه‌های متفاوت در جدول ۵ نشان داده شده است. با توجه به نتایج مشخص می‌شود که آبراهه‌های درجه اول در مجموع طول بیشتری از حوضه را نسبت به آبراهه‌های درجه دوم و آبراهه‌های درجه دوم نسبت به درجه سوم دارا هستند. علت این نتایج می‌تواند به علت تغییرات در شیب و توپوگرافی در منطقه مورد مطالعه باشد (Vitala et al. 2004).

جدول ۵: نسبت طول آبراهه‌ها در منطقه مورد مطالعه

رتبه آبراهه	II/I	III/II	IV/III
$R_L$	0.90	0.83	-

طبق مطالعات انجام شده توسط Schumm در سال ۱۹۵۶ ضریب بيفرکاسیون نسبت بین تعداد آبراهه‌های یک رتبه نسبت

وضعیت زمین شناسی منطقه می باشد.

جدول ۱۰: فراوانی آبراهه های منطقه مورد مطالعه

	N	مساحت	S <sub>f</sub>
F <sub>s</sub>	489	948.57	0.52

هورتون در سال ۱۹۳۲ ضریب فرم حوضه را به عنوان نسبت بین طول حوضه آبخیز به مساحت آن معرفی نمود. با توجه به ضریب فرم می توان میزان کشیدگی یا گردی حوضه آبخیز را مشخص نمود.

بطوریکه هر چه این ضریب به ۱ نزدیکتر باشد، حوضه دارای گردشگری بیشتری می باشد. در منطقه مورد مطالعه ضریب شکل حوضه ۰/۶۹ بدست آمد که نشان دهنده کشیدگی حوضه آبخیز مورد مطالعه می باشد.

جدول ۱۱: ضریب فرم حوضه آبخیز مورد مطالعه

	طول حوضه آبخیز	مساحت	فاکتور فرم
R <sub>f</sub>	37	948.57	0.69

میلر در سال ۱۹۵۳ ضریب گردشگری را برای حوضه های آبخیز تعریف نمود. ضریب گردشگری از نسبت بین محیط حوضه آبخیز به مساحت آن محاسبه می شود. نتایج مربوط به ضریب گردشگری حوضه آبخیز مورد مطالعه در جدول ۱۲ آمده است.

جدول ۱۲: ضریب گردشگری منطقه مورد مطالعه

	محیط	مساحت	ضریب گردشگری
R <sub>c</sub>	166.69	948.57	0.43

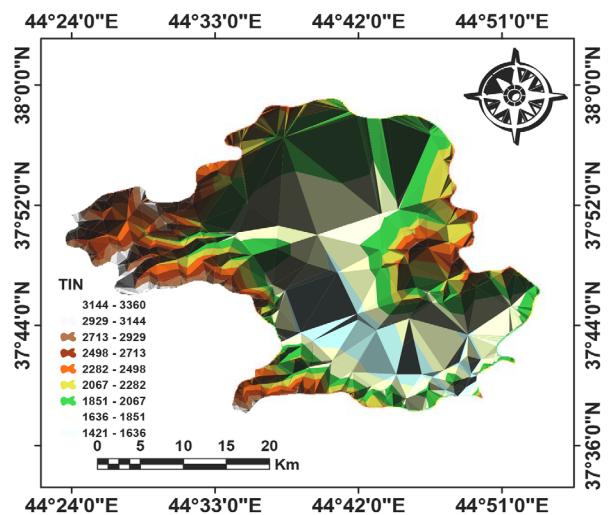
نسبت بین کل طول آبراهه های منطقه به مساحت منطقه مورد مطالعه می باشد (Schumm 1956). هر چه این ضریب بیشتر باشد میزان سیل خیزی منطقه کمتر می باشد (Reddy et al. 2004). مقدار ضریب مستطیل معادل منطقه مورد مطالعه در جدول ۱۳ آمده است.

جدول ۱۳: ضریب مستطیل معادل منطقه مورد مطالعه

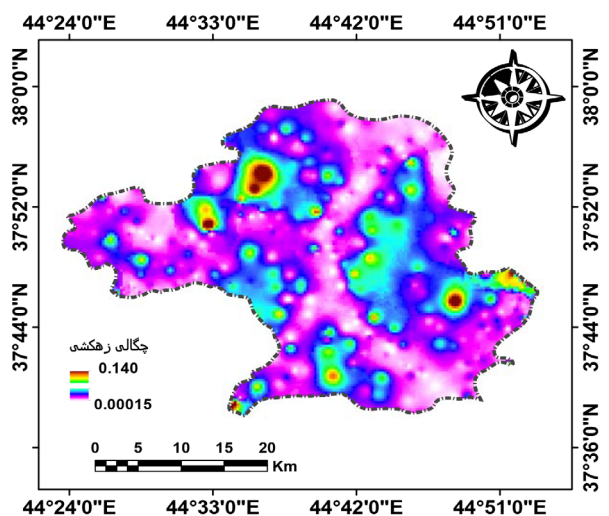
	طول	مساحت	ضریب مستطیل معادل
R <sub>e</sub>	5.73	948.57	0.94

جدول ۹: چگالی زهکشی حوضه آبخیز مورد مطالعه

	کل طول	مساحت	چگالی زهکشی
D <sub>d</sub>	5.73	948.57	0.00604



(۱)



(۲)

نگاره ۴: نقشه TIN و Dd حوضه آبخیز مورد مطالعه

فراوانی آبراهه ها در واقع نسبت بین تعداد آبراهه ها به مساحت حوضه آبخیز منطقه مورد مطالعه است (Horton 1932). مقدار فراوانی آبراهه های حوضه آبخیز مورد مطالعه ۰/۵۲ می باشد که نشان دهند ارتباط بین آبراهه ها و



جدول ۱۴: نتایج مورفومتری حوضه آبخیز مورد مطالعه

رتبه آبراهه				پارامترهای مورفومتری
I	II	III	IV	
784	332	68	1	رده رودخانه ( $U$ )
9.33	3.24	0.73	0.007	طول رودخانه ( $L_u$ )
II/I	III/II	IV/III	-	میانگین طول رودخانه ( $L_{sm}$ )
0.34726688	0.22530864	0.00958904		نسبت طول رودخانه ( $R_L$ )
I/II	II/III	III/VI		نسبت بیفرکاسیون ( $R_b$ )
2.87	4.43	104.2		نسبت بیفرکاسیون ( $R_b$ )
37.2012334				محیط
320				مساحت
2288.28				طول حوضه آبخیز
203.58				کل پستی و بلندی
2184				نسبت رلیف ( $R_h$ )
0.000957				چگالی زهکشی ( $D$ )
0.00584353				فراوانی آبراهه ( $F_s$ )
0.51791958				تراکم زهکشی ( $R_t$ )
0.13986014				ضریب شکل ( $R_f$ )
0.05520594				ضریب گردشگری ( $R_c$ )
0.2806375				ضریب مستطیل معادل ( $R_e$ )
0.00036568				

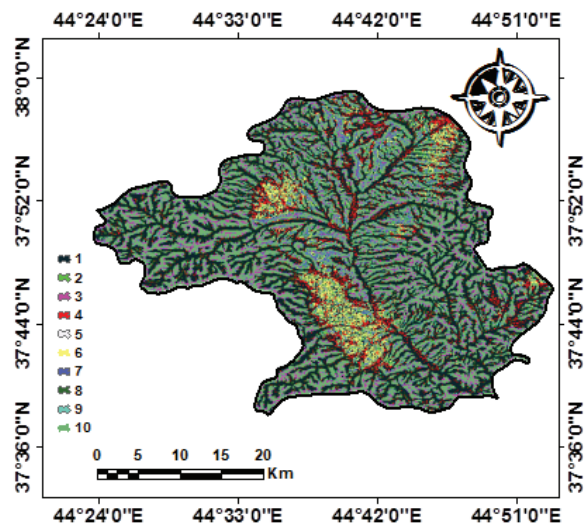
و نقشه آبراهه‌های منطقه مورد مطالعه مشخص شد که لندفرم‌های طبقه ۴ (دره‌های U شکل) و لندفرم‌های طبقه ۳ (زهکش‌های مرتفع) دارای بیشترین فرسایش پذیری هستند. همچنین با افزایش میزان درجه ناهمواری میزان فرسایش در منطقه بیشتر می‌شود که در لندفرم‌های واقع در ارتفاعات بالا دست مانند خط الرأس‌ها (لندفرم‌های کلاس ۹ و ۱۰)، بیشترین میزان و در نتیجه بیشترین حساسیت پذیری این لندفرم‌ها مشخص شد. در نهایت از ویژگی مورفومتری چگالی زهکشی به عنوان مهم‌ترین فاکتور مورفومتری برای بررسی فرسایش و ارتباط آن با میزان فرسایش در لندفرم‌ها استفاده شد. با توجه به ویژگی مورفومتری چگالی زهکشی (نگاره ۵) و همچنین با توجه به نگاره ۴ که نشان دهنده

نتایج کلی حاصل از تجزیه و تحلیل مورفومتری حوضه آبخیز مورد مطالعه در جدول ۱۴ نشان داده شده است. در نهایت به منظور بررسی میزان فرسایش پذیری حوضه آبخیز مورد مطالعه با نوع لندفرم از روش TPI به منظور استخراج نقشه لندفرم استفاده شد. مساحت هر یک از طبقه‌ها در جدول ۱۵ نشان داده شده است. به طوریکه بعد از تهیه نقشه لندفرم‌ها با استفاده از شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI)، و در نظر گرفتن مناطق حساس به فرسایش از طریق ویژگی‌های مورفومتری، لندفرم‌های حساس به فرسایش در منطقه مورد مطالعه مشخص شد. به طوریکه افزایش تعداد آبراهه‌ها و طول آن در حوضه آبخیز نشان دهنده افزایش فرسایش است. با مقایسه نقشه لندفرم‌ها

۵- نتیجه گیری

بررسی و مطالعه حوضه‌های آبخیز بر اساس وضعیت و شرایط موجود (ویژگی‌های مورفومتری) و شدت فرسایش پذیری منجر به عملیات حفاظتی و آبخیزداری در زیر حوضه‌های حساس و دارای اولویت بالا می‌شود. تقسیم حوضه‌های متعدد و تعیین وضعیت فرسایش‌پذیری آن‌ها منجر به کاهش زمان و هزینه برای عملیات آبخیزداری می‌شود. بررسی ویژگی‌های حوضه‌های آبخیز و اولویت بندی آن‌ها از نظر مدیریت به ویژگی‌های متعددی از جمله وضعیت مورفومتری حوضه آبخیز وابسته است. GIS به عنوان یک ابزار بسیار مهم در تجزیه و تحلیل‌های حوضه‌های آبخیز خصوصاً مورفومتری محسوب می‌شود. استخراج پارامترهای مورفومتری حوضه آبخیز به صورت دستی و سنتی یک فرایند وقت‌گیر و خسته‌کننده است. در واقع استفاده از تحلیل‌های GIS آنالیز سریع و با دقتی را از ویژگی‌های مورفومتری حوضه آبخیز امکان‌پذیر می‌نماید. بررسی و شناخت مورفومتری حوضه‌ها در زمینه مسائل مختلفی از جمله برای تخمین آبدهی رودخانه، پیش‌بینی سیلاب مدیریت منابع آب حائز اهمیت می‌باشد. در این مطالعه با بررسی ویژگی‌های مورفومتری و مقایسه آن با لندفرم‌های منطقه مورد مطالعه، لندفرم‌های حساس به فرسایش در منطقه مشخص شد. به طوریکه در مطالعات بعدی بدون اندازه‌گیری ویژگی‌های مورفومتری که کاری وقت‌گیر می‌باشد می‌توان از طریق نقشه لندفرم‌ها که به طور اتوماتیک از مدل رقومی ارتفاع تهیه می‌شود، مناطق حساس به فرسایش را مشخص نمود و بعد از آن مدیریت و راهکارهای لازم را برای کاهش و پیشروی فرسایش در منطقه مورد مطالعه انجام داد. به طوریکه بعد از تهیه نقشه لندفرم‌ها با استفاده از شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI)، و در نظر گرفتن مناطق حساس به فرسایش از طریق ویژگی‌های مورفومتری، لندفرم‌های حساس به فرسایش در منطقه مورد مطالعه مشخص شد. به طوری که افزایش تعداد آبراهه‌ها، طول آبراهه، چگالی زهکشی و میزان رلیف میزان فرسایش

چگالی زهکشی حوضه مورد مطالعه است، مشخص شد که لندفرم‌های کلاس ۴ (دره‌های U شکل، به رنگ قرمز) و کلاس ۶ (دشت سر، به رنگ زرد) بیشترین میزان فرسایش پذیری را دارا هستند. در واقع مکان‌های واقع در کلاس‌های ۴ و ۶ لندفرم دارای بیشترین چگالی زهکشی می‌باشند.



نگاره ۵: نقشه لندفرم منطقه مورد مطالعه

جدول ۱۵: مساحت هر یک از کلاس‌های لندفرم منطقه مورد

کد	نوع لندفرم	مساحت بر حسب کیلومتر مربع
۱	دره‌ها و بریدگی‌های واقع بر ارتفاعات و دامنه‌ها	۳۵۲/۰۳
۲	دره‌های آبراهه‌های میانی	۱۵/۹۲
۳	زهکش‌های مرتفع	۴۳/۰۷
۴	دره‌های U شکل	۵۹/۹۴
۵	دشت‌های کوچک	۰/۰۱
۶	دشت سر	۳۶/۲۷
۷	فلات‌های بالایی (سطوح مسطح واقع بر ارتفاعات)	۴۰/۲۱
۸	خط الرأس‌های مرتفع	۴۵/۴۵
۹	تپه	۲۲/۳۷
۱۰	خط الرأس‌های مرتفع، قله کوه	۳۲۹/۴۸
	مجموع	۹۴۸/۷۵

analysis of Kangshabati-Darkeswar Interfluves area in West Bengal, Iran using ASTER DEM and GIS techniques. *Geol Geosci* 2(4):1-10.

9- Gottschalk LC (1964) Reservoir sedimentation in handbook of applied hydrology. McGraw Hill Book Company, New York (Section 7-1).

10- Horton RE (1932) Drainage watershed characteristics. *Am Geophys Union Trans* 13:348-352.

11- Horton RE (1945) Erosional development of streams and their drainage watersheds; hydrophysical approach to quantitative morphology. *Bull Geol Soc Am* 56:275-370.

12- Hurtrez JE, Sol C, Lucazeau F (1999) Effect of drainage area on hypsometry from an analysis of small-scale drainage watersheds in the Siwalik hills (central Nepal). *Earth Surf Process Landform* 24:799-808.

13- Javed, A. and M.Y. Khanday and R. Ahmed. 2009. Prioritization of watersheds based on morphometric and landuse analysis using RS and GIS techniques. *Journal of the Indian society of Remote Sensing*, 37: 261-274.

14- Jing Li, D. W.S.Wong, "Effects of DEM sources on Hydrologic applications," *Computers, Environment and urban systems*, vol. 34 ,pp. 251-261, 2010.

15- Kashy, L. 2011. Watershed priority mapping using GIS-based multivariate regression model (MR) in the watershed Zenouz city. *Seventh National Conference on Watershed Management Science and Engineering*, 7 pp.

16- Kelson KI, Wells SG (1989) Geologic influences on fluvial hydrology and bedload transport in small mountainous watersheds, northern New Mexico, USA. *Earth Surf Process* 14:671-690.

17- Khan, M.A., V.P. Gupta and P.C. Moharana. 2001. Watershed prioritization using RS and GIS: a case study from Guhiya, India. *Journal of Arid Environments* 49: 456-475.

18- Kumar R., Kumar S., Lohani A. K., Nema R. K. and Singh R. D., 2000 Evaluation of Geomorphological Characteristics of a Catchment Using GIS, *GIS India*, Vol. 9, No. 3, 2000, pp. 13-17.

19- Magesh NS, Chandrasekar N, Kaliraj S (2012a) A GIS based automated extraction tool for the analysis of watershed morphometry. *Bonfring Int J Ind Eng Manag Sci* 2(1):32-35.

20- Magesh NS, Chandrasekar N, Soundranayagam JP (2011) Morphometric evaluation of Papanasam and Manimuthar watersheds, parts of Western Ghats, Tirunelveli district, Tamil Nadu, Iran : a GIS approach. *Environ Earth Sci* 64(2):373-381.

21- Magesh NS, Jitheshlal KV, Chandrasekar N, Jini KV

پذیری در منطقه افزایش می‌یابد که منطبق بر لندفرم‌های کلاس ۴، ۶ و ۹ و ۱۰ می‌باشد. مطالعه‌ای مشابه این مطالعه در سال ۱۳۹۳ توسط آمانی و نجفی‌نژاد انجام شد. در این مطالعه آنالیز مورفومتری پارامترهایی از قبیل طول آبراهه، نسبت انشعاب، تراکم زهکشی، ضریب شکل حوزه، ضریب گردشگری حوزه و ضریب فشردگی را مورد بررسی قرار دادند.

در نهایت اولویت بندی هر یک از زیر حوزه‌ها بر اساس ویژگی‌های مورفومتری و شاخص رسوب تعیین شد. نتایج نشان داد که زیر حوزه A5 دارای وضعیت بحرانی‌تر بوده و نیاز به مدیریت بیشتری نسبت به دیگر زیر حوزه‌ها دارد.

#### منابع و مآخذ

۱- آمانی، نجفی‌نژاد؛ محمد، علی؛ ۱۳۹۳. اولویت‌بندی زیر حوزه‌ها با استفاده از آنالیز مورفومتری، فنون سنجش از دور و GIS، حوضه آبخیز لهندر، استان گلستان. پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز سال پنجم / شماره ۹.

۲- بهرامی، نوحه‌گر، محمودی؛ حسین، احمد، وفا؛ ۱۳۹۲. طبقه بندی خودکار لندفرم‌های حوضه آبخیز با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز بروجن در استان چهارمحال و بختیاری). پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. سال دوم. صفحه ۱۷ - ۳۰.

3- Burrough PA, McDonnell RA (1998) Principles of geographical information systems. Oxford University Press Inc., New York.

4- Chopra R, Raman DD, Sharma PK (2005) Morphometric analysis of sub-watersheds in Gurdaspur district, Punjab using remote sensing and GIS techniques. *J Iran n Soc Remote Sens* 33(4):531-539.

5- Chorley RJ, Schumm SA, Sugden DE (1984) *Geomorphology*. Methuen, London.

6- Cox RT (1994) Analysis of drainage-watershed symmetry as a rapid technique to identify areas of possible quaternary tilt-block tectonics: an example from the Mississippi embayment. *Geol Soc Am Bull* 106:571-581.

7- Evans IS (1972) General geomorphometry, derivatives of altitude, and descriptive statistics. In: Chorley RJ (ed) *Spatial analysis in geomorphology*. Harper and Row, New York, pp 17-90.

8- Gayen S, Bhunia GS, Shi PK (2013) Morphometric

- Mathur sub watersheds, Ponnaiyar River watershed, Iran . Int J Geomat Geosci 2(2):403-414.
- 34- Smith B, Sandwell D (2003) Accuracy and resolution of shuttle radar topography mission data. Geophys Res Lett 30(9):20-21.
- 35- Smith KG (1950) Standards for grading texture of erosional topography. Am J Sci 248:655-668.
- 36- Sreedevi PD, Subrahmanyam K, Shakeel A (2005) The significance of morphometric analysis for obtaining groundwater potential zones in a structurally controlled terrain. J Environ Geol 47(3):412-420.
- 37- Strahler AN (1952) Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. Bull Geol, Soc Am 63
- Strahler AN (1957) Quantitative analysis of watershed geomorphology. Trans Am Geophys Union 38:913-920.
- 38- Strahler AN (1964) Quantitative geomorphology of drainage watersheds and channel networks. In: Chow VT (ed) Handbook of applied hydrology. McGraw-Hill, New York, pp 439-476.
- 39- Suresh, M., S. Sudhakar, K.N. Tiwari and V.M. Chawdary. 2005. Prioritization of watershed using morphometric parameters and assessment of surface water potential using RS. Journal of the Indian society of Remote Sensing, 32: 11 pp.
- 40- Thakkar, A. and S.D. Dhiman. 2007. Morphometric analysis and prioritization of Mini Watershed in MOHR Watershed, Gujarat using RS and GIS Techniques. Journal of the Indian society of Remote Sensing, 35 pp.
- 41- Verstappen H (1983) The applied geomorphology. In: International Institute for Aerial Survey and Earth Science (ITC). Enschede.
- 42- Vittala SS, Govindaraj S, Honne Gowda H (2004) Morphometric analysis of sub-watersheds in the pawagada area of Tumkur district, South India, using remote sensing and GIS techniques. J Iran Soc Remote Sens 32(4):351-362.
- 43- Weiss D., 2005. Topographic Position and Landforms Analysis. Ecoregional Data Management Team the Nature Conservancy, Northwest Division 217 Pine St. Suite 1100 Seattle WA 98103 (206) 343-4345 x360. 2005.
- (2012b) GIS based morphometric evaluation of Chimmini and Mupily watersheds, parts of Western Ghats, Thrissur District, Kerala. Iran Earth Sci Inform 5(2):111-121.
- 22- Mesa LM (2006) Morphometric analysis of a subtropical Andean watershed (Tucuman, Argentina). J Environ Geol 50(8):1235-1242.
- 23- Miller VC (1953) A quantitative geomorphologic study of drainage watershed characteristics in the Clinch Mountain area, Virginia and Tennessee, Project NR 389042, Tech Report 3. Columbia University Department of Geology, ONR Geography Branch, New York.
- 24- Moglen GE, Eltahir EA, Bras RL (1998) On the sensitivity of drainage density to climate change. Water Resour Res 34:855-862.
- 25- Nag SK, Chakraborty S (2003) Influence of rock types and structures in the development of drainage network in hard rock area. J Iran Soc Remote Sens 31(1):25-35.
- 26- Nautiyal MD (1994) Morphometric analysis of a drainage watershed, district Dehradun, Uttar Pradesh. J Iran Soc Remote Sens 22(4):251-261.
- 27- Oguchi T (1997) Drainage density and relative relief in humid steep mountains with frequent slope failure. Earth Surf Process Landf 22:107-120.
- 28- Parveen1, R., Kumar, U., Kumar Singh V. 2012. Geomorphometric Characterization of Upper South Koel Basin, Jharkhand: A Remote Sensing & GIS Approach. Journal of Water Resource and Protection, 2012, 4, 1042-1050.
- 29- Praveen Kumar Rai. Sameer Mishra. Kshitij Mohan. Aariz Ahmad. Varun Narayan Mishra. 2014. A GIS-based approach in drainage morphometric analysis of Kanhar River Basin, India. Appl Water Sci. DOI 10.1007/s13201-014-0238-y.
- 30- Rao NK, Swarna LP, Kumar AP, Krishna HM (2010) Morphometric analysis of Gostani River Watershed in Andhra Pradesh State, India using spatial information technology. Int J Geomat Geosci 1(2):179-187.
- 31- Reddy OGP, Maji AK, Gajbhiye SK (2004) Drainage morphometry and its influence on landform characteristics in a basaltic terrain, Central India —a remote sensing and GIS approach. Int J Appl Earth Obs Geoinformatics 6:1-16.
- 32- Schumm SA (1956) Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. Geol Soc Am Bull 67:597-646.
- 33- Sethupathi AS, Lakshmi Narasimhan C, Vasanthamohan V, Mohan SP (2011) Prioritization of mini watersheds based on morphometric analysis using remote sensing and GIS in a drought prone Bargur