

هیدروژئومورفولوژی، شماره ۱۴، بهار ۱۳۹۷، صص ۱۵۶-۱۳۵

وصول مقاله: ۱۳۹۶/۰۵/۳۱ تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۷/۰۳/۱۳

بررسی رابطه‌ی بین عوامل زمین‌شناسی و توپوگرافی با تراکم زهکشی در

حوضه‌ی بهرستاق

عیسی جوکار سرهنگی*^۱

رضا اسماعیلی^۲

صدیقه باباعلی‌پور^۲

چکیده

تراکم زهکشی یک شاخص مهم هیدروژئومورفولوژی در تعیین چگونگی فرآیندهای رواناب سطحی، شدت سیلاب و میزان فرسایش خاک می‌باشد. حوضه‌ی بهرستاق یکی از زیرحوضه‌های رودخانه‌ی هراز است که شرایط زمین‌شناسی و توپوگرافی متنوع و جریانات سطحی زیاد در آن موجب فرسایش خاک و تخریب مراتع و باغ‌ها در منطقه می‌شود. هدف از این پژوهش بررسی اثر عوامل زمین‌شناسی و توپوگرافی در میزان تراکم زهکشی و تعیین تفاوت آن در متغیرهای مورد مطالعه است. برای این منظور ابتدا نقشه‌ی آبراهه‌های حوضه با استفاده از DEM منطقه تهیه شد. سپس ویژگی‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی منطقه شامل لایه‌های جنس سنگ، طبقات ارتفاع، شیب و جهت دامنه مدنظر قرار گرفته و در محیط ArcGIS طبقه‌بندی و با شبکه آبراهه‌ها به عنوان متغیر وابسته همپوشانی شد. بر این اساس مجموع طول آبراهه‌ها در واحد سطح هر یک از عوامل محاسبه و تراکم زهکشی به دست آمد. برای تحلیل داده‌ها از آزمون آماری آنالیز واریانس

۱- دانشیار دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران (نویسنده‌ی مسئول).

E-mail: e.jokar@umz.ac.ir

۲- دانشیار دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران.

۳- کارشناسی ارشد هیدروژئومورفولوژی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران.

یک طرفه (ANOVA) استفاده گردید. نتایج آزمون آماری نشان‌دهنده‌ی رابطه‌ی معنی‌دار جنس سنگ و شیب با میزان تراکم زهکشی به ترتیب در سطح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد است، اما میزان تراکم زهکشی در طبقات ارتفاعی و جهت دامنه در منطقه تفاوت مشخص و معنی‌داری نداشته است. سازند ملافیر کرتاسه (k^m) با میانگین تراکم $۸/۷۹$ و طبقه شیب ۳۰-۲۰ درصد با میانگین تراکم $۱۰/۷$ بیشترین حساسیت را نشان داده‌اند. با دانستن این ارتباط می‌توان از این متغیرها در برنامه‌های مدیریت شبکه زهکشی و کنترل شدت فرسایش نیز استفاده نمود.

کلمات کلیدی: تراکم زهکشی، توپوگرافی، آنالیز واریانس، بهرستاق

مقدمه

تراکم زهکشی^۱ نسبت طول کل آبراهه‌های حوضه به مساحت آن است. هر چه تراکم زهکشی بیشتر باشد، نفوذپذیری کاهش و سرعت جریان‌ات سطحی افزایش می‌یابد (یالسن^۲، ۲۰۰۸: ۶). مقادیر بالای تراکم زهکشی بیانگر این است که منطقه دارای مواد زیرسطحی ضعیف یا نفوذپذیر، با پستی و بلندی زیاد است (آبدیده و همکاران، ۱۳۹۰: ۳۵). تراکم زهکشی یکی از مهم‌ترین پارامترهای ژئومورفولوژی کمی است که با دانستن رابطه‌ی دقیق بین آن با خصوصیات حوضه می‌توان با در اختیار داشتن تراکم زهکشی سایر خصوصیات حوضه را پیش‌بینی نمود (جعفرزاده خطیبانی و همکاران، ۱۳۹۵: ۹۹). بین تراکم زهکشی و عواملی چون نوع سنگ، میزان نفوذپذیری، رواناب سطحی و پوشش گیاهی ارتباط تنگاتنگی وجود دارد. به عنوان مثال سنگ‌های سخت و مقاوم همچون گرانیت و گنیس تراکم زهکشی پایینی ایجاد می‌کنند، برعکس در سنگ‌های سستی مثل سنگ رس و

1- Drainage density

2- Yalcin

شیل تراکم زهکشی بالایی را می‌توان مشاهده کرد (روستایی و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۶۰). عوامل توپوگرافی نیز از خصوصیتی هستند که همبستگی بالایی با فرسایش دارند. تغییرات جزئی میزان شیب به ویژه شیب‌های کم، تأثیر زیادی بر افزایش زمان تمرکز دارد و با افزایش میزان شیب آبراهه، تأثیر پارامترهایی مانند طول آبراهه اصلی یا شماره‌ی منحنی بر روی زمان تمرکز افزایش می‌یابد (کوثری و همکاران، ۱۳۸۹: ۵۷). در شیب‌های تند آب با سرعت بیشتری به طرف پایین جاری می‌شود و در نتیجه انرژی جنبشی و قدرت فرساینده‌ی آن بیشتر می‌شود. اگر سرعت جریان آب ۲ برابر گردد، آب می‌تواند ذراتی را که اندازه‌ی آن ۶۴ برابر اندازه‌ی ذرات قبلی است با خود حمل کند (رفاهی ۱۳۸۵: ۶۹).

تاگر و همکار^۱ (۱۹۹۸) به بررسی فرآیندهای دامنه‌ای، تراکم زهکشی و مورفولوژی چشم‌انداز^۲ پرداختند و به این نتیجه رسیدند که تراکم زهکشی قویا تحت تأثیر فرآیندهای دامنه قرار می‌گیرد. تالینگو همکار^۳ (۱۹۹۹) در بررسی تراکم زهکشی و زاویه شیب در دره‌ی سان‌جوکین دریافتند که در دامنه‌های با شیب کمتر، تراکم زهکشی بیشتر است. یلدیز^۴ (۲۰۰۲) در مقاله‌ای به بررسی تأثیر تراکم زهکشی در هیدرولوژی پرداخت که در آن حساسیت جریان رودخانه‌ای با تراکم زهکشی حوضه‌های رودخانه با استفاده از مدل هیدرولوژیکی توزیع فضایی بررسی شد و به این نتیجه رسید که واکنش مدل هیدرولوژی به طور معنی‌داری با تراکم زهکشی تغییر می‌کند. لین و همکار^۵ (۲۰۰۴) به بررسی رابطه بین تراکم زهکشی و زاویه شیب برای زمین‌های بدون پوشش در ژاپن پرداختند. داده‌های مورد نیاز برای تراکم زهکشی، زاویه‌ی شیب و ارتفاع نسبی برای ۸۸ حوضه از طریق DEM و

1- Tucker et al.,

2- Landscape Morphology et al.,

3- Talling

4- Yildiz

5- Lin et al.,

شبکه جریان از آن به دست آمد. با توجه به اینکه مطالعات قبلی بیان می‌کرد که تراکم زهکشی به طور مثبت با زاویه شیب ارتباط دارد به این نتیجه رسیدند این ارتباط در زمین‌هایی که شیب بالا دارند کمتر رخ می‌دهد و موقعیت حوضه‌ها در منطقه نقش بسیار مهمی در تعیین مراحل توسعه‌ی کانال‌ها و انواع روابط بین تراکم و زاویه‌ی شیب بازی می‌کند. پالارد و همکاران^۱ (۲۰۰۹) به بررسی تراکم زهکشی ۴۴ حوضه‌ی رودخانه‌ای در شمال ایتالیا و آماره‌های سیلاب، میانگین و انحراف استاندارد و ضریب چولگی سری‌های ماکزیمم سالانه جریان‌های سالانه پیک با استفاده از آنالیز سه مرحله‌ای پرداختند و بیان داشتند که این بررسی ممکن است نشانه‌های مفیدی برای ارزیابی ریسک سیلاب در حوضه‌های فاقد سنجش فراهم کند. بایر آلتین و همکار^۲ (۲۰۱۱) در بررسی مورفومتری و شبکه‌ی زهکشی در ناحیه‌ی آتشفشانی آناطولی مرکزی ترکیه به این نتیجه رسیدند که بین شیب و ارتفاع با طول آبراهه‌ها رابطه‌ی مشخص و معکوسی وجود دارد. سانگایردی و همکاران^۳ (۲۰۱۶) در تحقیقی، کنترل اقلیم، توپوگرافی، پوشش گیاهی و لیتولوژی روی تراکم زهکشی را در ۱۰۱ زیرحوضه‌ی امریکا مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که بین تراکم زهکشی و ناهمواری در محیط طبیعی خشک ارتباط ضعیفی وجود دارد، اما ارتباط آنها در مناطق مرطوب قوی و مثبت است.

در ایران، بیاتی خطیبی (۱۳۸۵) به بررسی نقش تراکم زهکشی و اختلاف ارتفاع بر وقوع لغزش‌های دره‌ای در کوهستان‌های نیمه‌خشک دامنه‌های شمال غربی سبلان پرداخته است. نتایج این تحقیق نشان داد که میزان گسیختگی‌ها و لغزش‌های دره‌ای، تابع میزان تراکم زهکشی، بویژه تراکم آبراهه‌های عمیق، تغییرات نسبت‌های Ds/Dd و همچنین تابع تغییرات R می‌باشد. بهرامی و همکاران (۱۳۸۷) به تحلیل

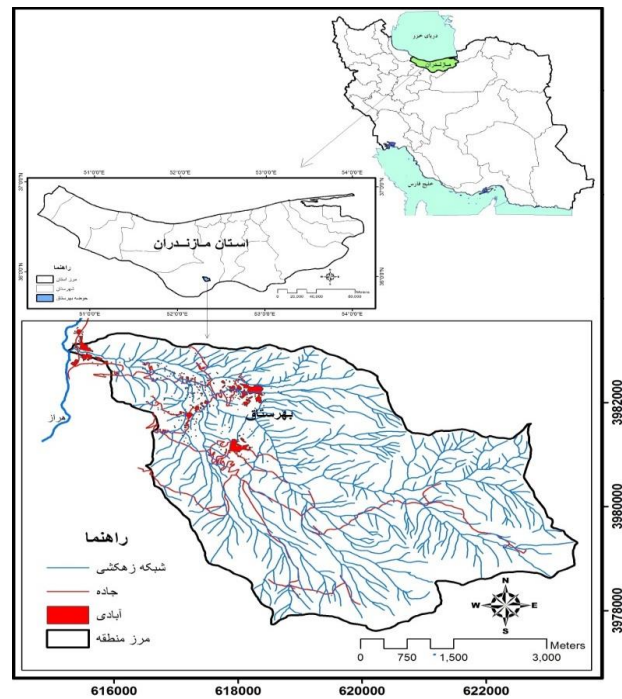
1- Pallard et al.,

2- Bayer Altin et al.,

3- Sangireddy et al.,

مورفومتری و مرفولوژی شبکه‌ی زهکشی در مخروط آتشفشانی تفتان پرداختند. نتایج نشان داد که به جز نواحی مخروط‌افکنه‌ای و پادگانه‌ای، نسبت تراکم زهکشی از سازندهای قدیم به جدید کاهش و از شیب زیاد به کم افزایش می‌یابد. همچنین تراکم زهکشی در دامنه‌های با جهات شرق و جنوب شرق، بیشتر از دیگر جهات است. شایان و همکاران (۱۳۹۴) به بررسی مورفولیتولوژی توده‌ی الوند و نقش آن در مورفومتری و الگوی شبکه زهکشی پرداختند. نتایج نشان داد که به علت حاکمیت لیتولوژی سخت و حساسیت‌پذیری کم سازندهای آذرین به فرسایش و استقرار شبکه‌ی آبراهه‌ای شاخه‌ی درختی منطقه، اختلاف عمده‌ای بین الگوی آبراهه‌ها و درجه تراکم آن در منطقه و به طور عمده در ویژگی سنگ‌شناسی آن وجود ندارد. جعفرزاده خطیبانی و همکاران (۱۳۹۵) ارتباط بین برخی متغیرهای خاکی و زمین‌شناسی را با تراکم زهکشی در چهار حوضه از استان اردبیل مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که با بررسی تراکم زهکشی تا حدودی می‌توان خصوصیات خاک و سازند حوضه را پیش‌بینی نمود و مقدار تراکم زهکشی متأثر از جنس سازند و برخی خصوصیات خاک می‌باشد.

حوضه‌ی بهرستاق یک منطقه‌ی کوهستانی و با شیب زیاد است که شبکه‌ی زهکشی در آن دارای رژیم نامنظم و طغیان‌های فصلی هستند. وفور جریانات سطحی و سرعت زیاد آنها با قدرت تخریب و تراکم زهکشی بالا در منطقه موجب تخریب اراضی شده و با ورود جریان‌های گل‌آلود به دره‌ها، خسارات زیادی به مردم تحمیل می‌کند. با توجه به اینکه مطالعات خاص در زمینه‌ی عوامل تأثیرگذار بر تراکم زهکشی در کشور ما بسیار محدود می‌باشد، این پژوهش به منظور بررسی تغییرات مکانی تراکم زهکشی و اثر ویژگی‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی بر آن در حوضه‌ی بهرستاق انجام شده است.



شکل (۱) نقشه‌ی موقعیت جغرافیایی حوضه‌ی بهرستاق

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه

حوضه‌ی بهرستاق یکی از زیر حوضه‌های رودخانه هراز است که با مساحت ۲۵۸۹ هکتار در استان مازندران قرار دارد (شکل ۱). این حوضه از نظر موقعیت جغرافیایی بین $35^{\circ} 56' 8''$ تا $35^{\circ} 59' 16''$ عرض شمالی و $52^{\circ} 16' 42''$ تا $52^{\circ} 22' 9''$ طول شرقی واقع شده است. با توجه به اینکه حوضه‌ی بهرستاق در منطقه کوهستانی البرز مرکزی قرار دارد، به تبعیت از ساختمان و نظام چین خوردگی آن سازندها و توپوگرافی متنوع و شیب تندی دارد. حداکثر ارتفاع حوضه ۳۵۴۸ و حداقل ارتفاع

آن ۱۱۷۲ متر می‌باشد. بارش‌های نوع اروگرافیک (کوهستانی) در منطقه اهمیت خاصی دارد. متوسط بارندگی سالانه‌ی ایستگاه بهرستاق طی دوره‌ی آماری ۳۰ ساله ۴۱۳ میلی‌متر بوده است. شکل شبکه‌ی زهکشی حوضه از نوع شاخه درختی می‌باشد که از معمول‌ترین و فراوان‌ترین آبراهه‌ها است.

روش‌ها

در این پژوهش به منظور بررسی وضعیت تراکم زهکشی در منطقه ابتدا آبراهه‌های حوضه با استفاده از DEM منطقه با اندازه سلول ۳۰ متر ترسیم شد. سپس لایه‌ی جنس سنگ از نقشه‌ی زمین‌شناسی دماوند با مقیاس ۱:۱۰۰/۰۰۰ : ۱ سازمان زمین‌شناسی کشور و لایه‌های عوامل توپوگرافی شامل ارتفاع، شیب و جهت دامنه از مدل رقومی ارتفاع تهیه و طبقه‌بندی گردید. آنگاه نقشه‌ی هر یک از متغیرهای مذکور با آبراهه‌های حوضه در محیط ArcGIS همپوشانی شد. بر این اساس مجموع طول آبراهه‌ها در واحد سطح هر یک از عوامل محاسبه و تراکم زهکشی به دست آمد. برای توصیف داده‌ها و اطلاعات از توزیع فراوانی، میانگین و انحراف معیار بهره گرفته و برای تحلیل آن‌ها و تعیین تفاوت تراکم زهکشی در متغیرهای مورد مطالعه از آزمون آماری آنالیز واریانس یک طرفه (ANOVA) استفاده گردید. این آزمون وقتی انجام می‌شود که نمونه انتخاب شده از یک جمعیت با توزیع نرمال بوده و در فرضیه مطرح شده چگونگی اختلاف چند گروه مستقل مقایسه شده باشد. آماره‌ی آزمون در این حالت به صورت رابطه‌ی (۱) است (نوبخت، ۱۳۹۴: ۱۰۱):

$$F = \frac{\sum_{i=1}^K n_i (\bar{X}_i - \bar{X}_n)^2 / K - 1}{\sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_i)^2 / \sum_{i=1}^K n_i - K} \quad \text{رابطه‌ی (۱)}$$

که در آن \bar{X}_i میانگین مشاهدات جامعه i ام و \bar{X} میانگین همه‌ی nk مشاهده شده است. خلاصه محاسبه‌ی آماری آنالیز واریانس را می‌توان به صورت جدول (۱) ارائه

نمود (بی‌همتا و همکار، ۱۳۹۴: ۱۸۹). منابع تغییر شامل تیمار (متغیر گروه‌بندی) و خطای آزمایشی است. ابتدا مجموع مربعات منابع تغییر مشخص شده و سپس از تقسیم مجموع مربعات تیمار و خطا به درجه آزادی آنها، میانگین مربعات (واریانس) برای هر کدام محاسبه می‌شود. برای محاسبه‌ی آماره F میانگین مربعات تیمار به میانگین مربعات خطا تقسیم می‌گردد.

جدول (۱) آنالیز واریانس (منبع: بی‌همتا و همکار، ۱۳۹۴: ۱۸۹)

منابع تغییر	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره آزمون
بین گروه‌ها(تیمار)	$n\sum_i(\bar{X}_i - \bar{X})^2$	k-1	MSB	$\frac{MSB}{MSE}$
داخل گروه‌ها(خطا)	$\sum_i\sum_j(x_{ij} - \bar{X}_i)^2$	n-k	MSE	
کل	$\sum_i\sum_j(x_{ij} - \bar{X})^2$	n-1		

پس از بررسی معنی‌داری تفاوت تراکم زهکشی بین شیب‌ها، به منظور بررسی تأثیر درصد شیب، نقشه‌ی تراکم زهکشی منطقه با استفاده از تابع Density با اندازه‌ی سلول‌های ۳۰ متری و نقشه‌ی شیب بدون طبقه‌بندی که شامل مقادیر کمی پیوسته هستند، تهیه گردید. نمونه‌گیری سیستماتیک با توجه به اندازه‌ی سلول‌ها در هر ۳۰ متر یک نمونه انجام شد که به این ترتیب امکان استفاده از روش همبستگی پیرسون نیز فراهم شد و جهت ارائه مدلی مناسب برای پیش‌بینی بر مبنای درصد شیب از روش رگرسیون خطی استفاده گردید. تجزیه و تحلیل داده‌ها توسط نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۰ انجام گرفت.

بحث و نتایج

در این پژوهش لایه‌های هر یک از عوامل زمین‌شناسی و توپوگرافی با لایه‌ی تراکم زهکشی منطقه همپوشانی گردید و داده‌ها و اطلاعات این تحقیق حاصل شد. نتایج آمار توصیفی تراکم زهکشی در طبقات عوامل مورد بررسی در جدول (۲) ارائه شده

است. همان طور که در این جدول مشاهده می‌شود، بیشترین میزان تراکم زهکشی منطقه مربوط به سازند k^m با سنگ‌های آهک مارنی، مارن و شیل و کم‌ترین مقدار آن مربوط به سازند Ebk با سنگ‌های توف، شیل سیلیس و آذرآواری‌ها می‌باشد. بررسی ارتفاع نشان داد که بیشترین میزان تراکم زهکشی منطقه مربوط به ارتفاع کمتر از ۱۴۰۰ متر با میانگین تراکم ۸/۲۴ است، بعد از این ارتفاع از میزان تراکم زهکشی اندکی کاسته می‌شود، اما کمترین میزان تراکم زهکشی منطقه مربوط به ارتفاعات بیشتر از ۳۲۰۰ متر با میانگین ۳/۶۵ می‌باشد. بررسی‌های مربوط به درصد شیب نشان داد که شیب ۲۰-۳۰ درصد با میانگین تراکم زهکشی ۱۰/۷۱ بیشترین تأثیر را در منطقه دارد. در شیب‌های کم، نیروی مقاوم مانند اصطکاک بیشتر از نیروهای محرک مانند نیروی ثقل است و در شیب‌های خیلی زیاد نیز سنگ‌ها مقاوم هستند، از این‌رو، شیب‌های متوسط بیشترین حساسیت را نسبت به فرسایش نشان داده و میزان تراکم زهکشی نیز در آن بیشتر است. بررسی جهت دامنه نشان داد که بیشترین میزان تراکم زهکشی در جهت‌های غرب و جنوب غربی به ترتیب با میانگین تراکم ۵/۵۷ و ۴/۶۳ وجود دارد.

جدول (۲) توصیف آماری تراکم زهکشی در طبقات زمین‌شناسی و توپوگرافی (منبع: نگارندگان)

کد	طبقات عوامل	تعداد داده	میانگین	انحراف معیار	حداقل	حداکثر
سازندهای زمین‌شناسی						
۱	$E_k^b *$	۲	۱/۷۳۱	۰/۷۶۶۵۰۴	۱/۱۸۹	۲/۲۷۳
۲	J_d	۳	۶/۷۵۰۶۷	۳/۳۴۹۸۶	۴/۶۵۳	۱۰/۶۱۴
۳	J_1	۴	۴/۷۲۱۲۵	۲/۵۲۸۴۸۶	۱/۷۲۷	۷/۱۳۵
۴	J_s	۶	۶/۹۱۹۸۳	۲/۵۲۲۷۷۴	۴/۵۶۴	۱۱/۵۸۳
۵	K^m	۵	۸/۷۹۸۲	۲/۳۶۹۱۸۷	۶/۷۲۳	۱۲/۸۳
۶	K_2	۲	۵/۴۴۵۵	۰/۵۳۶۶۹۴	۵/۰۶۶	۵/۸۲۵
۷	K^{gy}	۶	۸/۳۱۹۵	۲/۴۹۹۷۶۳	۳/۳۵۱	۸/۸۸۹

ادامه جدول (۲)

کد	طبقات عوامل	تعداد داده	میانگین	انحراف معیار	حداقل	حداکثر
شیب (درصد)						
۸	K_t	۲	۵/۶۴۹۵	۱/۷۵۱۵۰۳	۴/۴۲۱	۶/۸۹۸
۹	Q^{sc}	۵	۷/۶۱۶۶	۱/۳۷۰۱۲۷	۶/۱	۹/۸۳۷
۱۰	$Q_{2,1}^L$	۵	۶/۰۵۳۲	۱/۶۹۶۴۹۰	۳/۴۶۱	۷/۵۳۱
ارتفاع (متر)						
۱	<۱۴۰۰	۲	۸/۲۴۴۵	۰/۷۹۶۹۰۹	۷/۷۲۱	۸/۸۴۸
۲	۱۴۰۰-۱۷۰۰	۶	۶/۳۷۶۶۷	۲/۸۸۰۶۰۴	۱/۱	۸/۸۳۳
۳	۱۷۰۰-۲۰۰۰	۹	۵/۷۸۲۷۸	۵/۷۸۲۷۸	۰	۹/۲۶۷
۴	۲۰۰۰-۲۳۰۰	۹	۶/۵۷۱۲۲	۶/۵۷۱۲۲	۰	۸/۸۹۳
۵	۲۳۰۰-۲۶۰۰	۹	۴/۶۱۹۲۲	۶/۶۱۹۲۲	۰	۸/۰۴۵
۶	۲۶۰۰-۲۹۰۰	۶	۵/۶۹۷۸۳	۵/۶۹۷۸۳	۱/۰۹۴	۹/۴۷۸
۷	۲۹۰۰-۳۲۰۰	۴	۶/۱۰۲۵۰	۶/۱۰۲۵۰	۴/۶۵۲	۷/۹۴۵
۸	>۳۲۰۰	۳	۳/۶۵	۳/۶۵	۱/۳۴۱	۶/۷۸
کد	طبقات عوامل	تعداد داده	میانگین	انحراف معیار	حداقل	حداکثر
شیب (درصد)						
۱	۰-۱۰	۵	۹/۶۸۱	۲/۷۵۷۲۷۹	۶/۸۱۳	۱۳/۰۲۳
۲	۱۰-۲۰	۲۵	۸/۹۴۸۵۶	۵/۳۰۴۵۵۴	۰/۶۱	۲۱/۵۸۲
۳	۲۰-۳۰	۵۸	۱۰/۷۰۸۹	۵/۶۸۸۹۶۳	۰/۴۱۱	۲۷/۳۴۹
۴	۳۰-۴۰	۷۰	۸/۱۸۱۶۹	۴/۲۰۰۵۱۱	۰/۱۲۱	۱۸/۴۴۱
۵	۴۰-۵۰	۶۹	۶/۶۰۳۲۶	۳/۲۹۲۹۱۷	۰/۸۸۸	۱۵/۴
۶	۵۰-۶۰	۶۰	۵/۸۰۵۲۷	۳/۳۷۲۲۸	۰/۵۸	۱۲/۶۴۳
۷	۶۰-۷۰	۴۰	۶/۱۵۱۳۵	۳/۱۱۷۰۸۰	۰/۴۳۴	۱۲/۵۶۳
۸	>۷۰	۱۹	۶/۲۹۱۱۱	۲/۶۸۴۳۲۵	۱/۳۸۹	۱۰/۶۳۳
جهت دامنه						
۱	N	۲۴	۴/۲۹۱۳۳	۳/۱۰۶۸۲۸	۰	۹/۰۹۷
۲	NE	۲۴	۴/۰۳۱۵۸	۳/۳۵۴۹۰۵	۰	۹/۷۳

ادامه جدول (۲)

کد	طبقات عوامل	تعداد داده	میانگین	انحراف معیار	حداقل	حداکثر
۳	E	۷	۲/۱۵۱۱۴	۲/۰۹۲۲۶۲۰	۰	۴/۶۹۹
۴	SE	۸	۳/۱۹۹۸۷	۲/۳۲۹۲۳۲	۰	۶/۹۱۷
۵	S	۲۱	۳/۸۹۶۵۲	۲/۸۴۱۶۲۴	۰	۹/۳۱۱
۶	SW	۳۱	۴/۶۳۲۹۴	۳/۵۱۵۳۳۶	۰	۹/۹۴۳
۷	W	۳۵	۵/۵۷۳۱۷	۳/۰۶۴۳۲۳	۰	۹/۶۷۹
۸	NW	۳۱	۴/۰۹۶		۰	۹/۴۵۳

*Ebk: جریان‌های گدازه بازالتی، Jd: سنگ آهک JI: سنگ آهک چرت دار Js: شیل و ماسه سنگ Km: ملافیر کرتاسه، K2: سنگ آهک بیوژنیک و چرتی Kgy: سنگ گچ Kt: سنگ آهک اوربیتولین دار Qsc: واریزه Qt2,1: پادگانه های آبرفتی

با انجام آزمون‌های آماری رابطه‌ی بین متغیرهای یاد شده و تراکم زهکشی در منطقه تعیین گردید. برای این منظور، ابتدا نرمال بودن توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگراف اسمیرنوف مورد بررسی قرار گرفت. نتایج در جدول (۳) نشان می‌دهد که در تمامی موارد، توزیع داده‌ها نرمال است.

جدول (۳) بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها (منبع: نگارندگان)

ردیف	عامل	سطح معنی داری	توزیع نرمال
۱	جنس سنگ	۰/۹۵۷	دارد
۲	ارتفاع	۰/۰۸۴	دارد
۳	شیب	۰/۱۰۵	دارد
۴	جهت دامنه	۰/۱۱۵	دارد

با توجه به شرایط داده‌ها و نرمال بودن توزیع داده‌ها از آزمون آنالیز واریانس (ANOVA) استفاده شده است. خلاصه‌ی محاسبات آماری آنالیز واریانس تراکم زهکشی منطقه در جدول (۴) ارائه گردید. نتایج بررسی جنس سنگ در سطح ۰/۰۵ نشان می‌دهد که تراکم زهکشی در سنگ‌های محدودده‌ی مورد مطالعه یکسان

نیست و تراکم زهکشی در سنگ‌های مختلف تفاوت معناداری با یکدیگر دارند. بررسی ارتفاع در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ نشان می‌دهد که تراکم زهکشی در طبقات ارتفاعی منطقه یکسان است و تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند. همچنین نتایج بررسی جهت دامنه در سطح ۰/۰۵ نشان می‌دهد که تراکم زهکشی در جهت‌های مختلف یکسان است. اما نتایج بررسی ارتباط شیب با تراکم زهکشی در سطح معنی‌داری ۰/۰۱ نشان می‌دهد که تراکم زهکشی در طبقات شیب محدوده‌ی مورد مطالعه یکسان نیست. به عبارتی میزان تراکم زهکشی شیب‌های مختلف، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر دارند.

جدول (۴) نتایج آزمون آنالیز واریانس تراکم زهکشی در متغیرهای مورد مطالعه (منبع: نگارندگان)

متغیرها	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره آزمون	سطح معنی‌داری
جنس سنگ	۱۱۴/۶۸۷	۹	۱۲/۷۴۳	۲/۵۴۷	۰/۰۲۶
خطا	۱۵۰/۱۰۶	۳۰	۵/۰۰۴		
کل		۳۹			
ارتفاع	۴۶/۵۰۷	۷	۶/۶۴۴	۰/۷۲۹	۰/۶۴۸
خطا	۳۶۴/۵۹۶	۴۰	۹/۱۱۵		
کل	۴۱۱/۱۰۳	۴۷			
جهت دامنه	۱۰۸/۱۰۷	۷	۱۵/۴۴۴	۱/۶۱۹	۰/۱۳۳
خطا	۱۶۵۰/۵۴۲	۱۷۳	۹/۵۴۱		
کل	۱۷۵۸/۶۴۹	۱۸۰			
شیب	۱۰۲۹/۶۰۲	۷	۱۴۷/۰۸۶	۸/۷۴۴	۰/۰۰۰
خطا	۵۶۸۵/۳۰۹	۳۳۸	۱۶/۸۲		
کل	۶۷۱۴/۹۱۱	۳۴۵			

به منظور بررسی دقیق‌تر عوامل جنس سنگ و شیب و اینکه تراکم زهکشی در کدام محدوده‌ها، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر دارند، از آزمون توکی استفاده گردید. نتایج مورد بررسی در جدول ۵ تا ۸ ارائه شده است. همان طور که در جدول (۵) مشاهده می‌شود، تراکم زهکشی در سازندهای Ebk، J₁، K₂، K_t، Qt_{2,1}، J_d، J_s و Q^{sc} تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند و یکسان هستند. تراکم زهکشی سازندهای Ebk شامل کمترین میانگین و K^m بیشترین میانگین را داراست.

جدول (۵) زیرمجموعه‌های یکسان بر اساس آزمون توکی برای سازندها (منبع: نگارندگان)

سازند	میانگین زیرمجموعه ۱	میانگین زیرمجموعه ۲
Ebk	۱/۷۳۱۰۰۰	
J ₁	۴/۷۲۱۲۵	۴/۷۲۱۲۵
K ₂	۵/۴۴۵۵	۵/۴۴۵۵
K _t	۵/۶۵۹۵	۵/۶۵۹۵
Qt _{2,1}	۶/۰۵۳۲	۶/۰۵۳۲
J _d	۶/۷۵۰۶۷	۶/۷۵۰۶۷
J _s	۶/۹۱۹۸۳	۶/۹۱۹۸۳
Q ^{sc}	۷/۶۱۶۶	۷/۶۱۶۶
K ^{gy}		۸/۳۱۹۵
K ^m		۸/۷۹۸۲

آزمون مقایسه دو به دو تراکم زهکشی سازندهای Ebk با سایر سازندها در جدول (۶) ارائه شده است. سطح معنی‌داری آزمون مقایسه دو به دو میانگین‌ها در بین سازند Ebk و سازندهای K^m و K^{gy} کمتر از ۰/۰۵ می‌باشد؛ بنابراین تراکم زهکشی در این نوع از سنگ‌ها تفاوت معنی‌داری با یکدیگر دارند. سطح معنی‌داری آزمون مقایسه دو به دو میانگین‌ها در بین سازند Ebk و سایر سازندها بیش از ۰/۰۵ است. لذا تراکم زهکشی در سایر سازندها تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

جدول (۶) مقایسه میانگین تراکم زهکشی سازند Ebk با سایر سازندها (منبع: نگارندگان)

سازند	سازند	تفاوت میانگین محدوده ها	انحراف معیار	سطح معنی داری
	J_d	۵/۰۱۹۶۶۷	۲/۰۴۱۹۶	۰/۳۳
	J_1	۲/۹۹۰۲۵	۱/۹۳۷۱۷۴	۰/۸۶۴
Ebk	J_s	۵/۱۸۸۸۳۳	۱/۸۲۶۳۸۵	۰/۱۶۸
	K^m	۷/۰۶۷۲۰۰	۱/۸۷۱۴۸۸	۰/۰۲۱
	K_2	۳/۷۱۴۵	۲/۲۳۶۸۵۶	۰/۸۰۸

ادامه جدول (۶) مقایسه میانگین تراکم زهکشی سازند Ebk با سایر سازندها (منبع: نگارندگان)

سازند	سازند	تفاوت میانگین محدوده ها	انحراف معیار	سطح معنی داری
	K_{gy}	۶/۵۸۸۵	۱/۸۲۶۳۸۵	۰/۰۳۲
	K_t	۳/۹۲۸۵	۲/۲۳۶۸۵۶	۰/۷۵۶
Ebk	Q^{sc}	۸/۸۸۵۶	۱/۸۷۱۴۸۸	۰/۰۹
	$Qt_{2,1}$	۴/۳۲۲۲	۱/۸۷۱۴۸۸	۰/۴۱۲

آزمون توکی برای عامل شیب نشان می‌دهد که تراکم زهکشی در طبقات با کد ۶، ۷، ۸، ۵، ۴ و ۲ تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند و یکسان هستند (جدول ۷). این مناطق دارای کمترین میزان تراکم زهکشی می‌باشند. میزان تراکم زهکشی در طبقات ۶، ۷، ۸، ۵، ۴، ۲ و ۱ تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند و یکسان هستند. این مناطق دارای تراکم زهکشی متوسط هستند. همچنین تراکم زهکشی در طبقات ۴، ۲، ۱ و ۳ تفاوت معناداری با یکدیگر ندارند و یکسان هستند. اما این مناطق دارای بیشترین تراکم زهکشی هستند. جدول (۷) نشان می‌دهد تراکم زهکشی در طبقه شیب با کد ۳ (یعنی طبقه ۳۰-۲۰ درصد) بیشترین میانگین و طبقه با کد ۶ (یعنی طبقه ۶۰-۵۰ درصد) کمترین میانگین را داراست.

جدول (۷) زیرمجموعه‌های یکسان بر اساس آزمون توکی برای عامل شیب (منبع: نگارندگان)

کد طبقات	میانگین زیرمجموعه ۱	میانگین زیرمجموعه ۲	میانگین زیرمجموعه ۳
۶	۵/۸۰۵۲۷		
۷	۶/۱۵۱۳۵	۶/۱۵۱۳۵	
۸	۶/۲۹۱۱۱	۶/۲۹۱۱۱	
۵	۶/۶۰۳۲۶	۶/۶۰۳۲۶	
۴	۸/۱۸۱۶۹	۸/۱۸۱۶۹	۸/۱۸۱۶۹
۲	۸/۹۴۸۵۶	۸/۹۴۸۵۶	۸/۹۴۸۵۶
۱	۹/۶۸۱	۹/۶۸۱	۹/۶۸۱
۳			۱۰/۷۰۸۹

نتایج آزمون مقایسه‌ی دو به دو تراکم زهکشی طبقه‌ی شیب با کد ۶ با سایر طبقات در جدول ۸ ارائه شده است. سطح معنی‌داری آزمون مقایسه میانگین‌ها در بین طبقه شیب کد ۶ با طبقات ۲، ۳ و ۴ کمتر از ۰/۰۵ می‌باشد. بنابراین تراکم زهکشی در بین طبقه با کد ۶ با طبقه‌های ۲، ۳ و ۴ تفاوت معنی‌داری با یکدیگر دارند. سطح معنی‌داری آزمون مقایسه دو به دو میانگین‌ها در بین طبقه با کد ۲ و سایر طبقات بیش از ۰/۰۵ است. لذا تراکم زهکشی در این مناطق تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

جدول (۸) مقایسه میانگین تراکم زهکشی طبقه‌ی شیب با کد ۶ با سایر طبقات (منبع: نگارندگان)

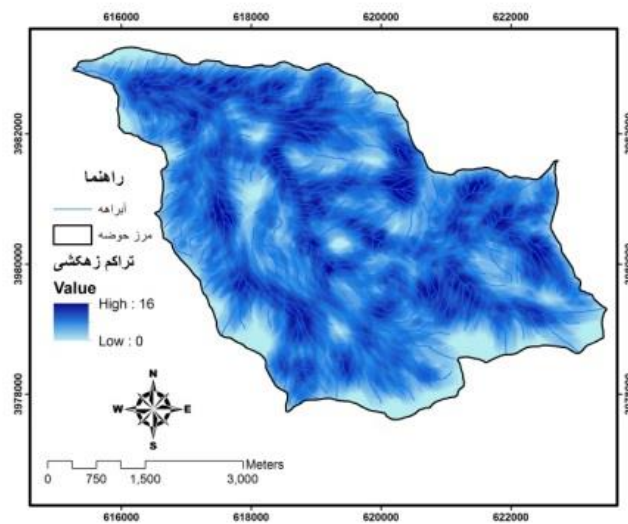
کد طبقه	کد طبقات	تفاوت میانگین طبقات	انحراف معیار	سطح معنی‌داری
۶	۱	-۳/۸۷۵۷۳۳	۱/۹۰۹۰۳۹	۰/۴۶۳
	۲	-۳/۱۴۳۲۹۳	۰/۹۷۶۲۹۸	۰/۰۳
	۳	-۴/۹۰۳۶۴۷	۰/۷۵۵۲۱۴	۰/۰۰۰
	۴	-۲/۳۷۶۴۱۹	۰/۷۲۱۵۴۹	۰/۰۲۴
	۵	-۰/۷۹۷۹۹۴	۰/۷۲۳۹۵۸	۰/۹۵۶
	۷	-۰/۳۴۶۰۸۳	۰/۸۳۷۱۶۹	۱
	۸	-۰/۴۸۵۸۳۹	۰/۰۷۹۶۴۲	۱

تأثیر میزان شیب بر گسترش تراکم زهکشی در منطقه

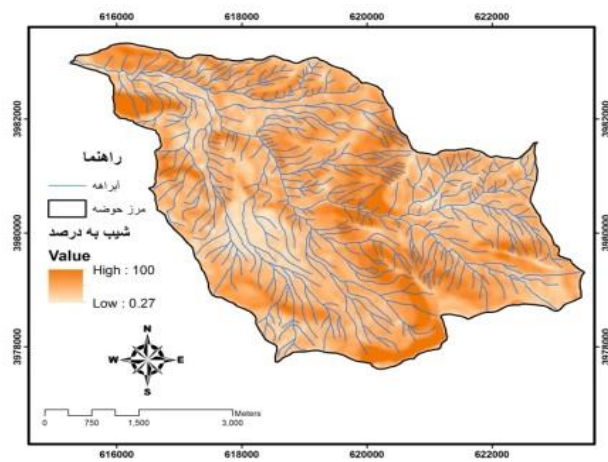
مقایسه‌ی میانگین تراکم زهکشی در بین ویژگی‌های توپوگرافی نشان داد که تراکم زهکشی در طبقات شیب محدوده‌ی مورد مطالعه یکسان نیست. بنابراین شیب شاخصی مناسب برای ارزیابی تراکم زهکشی محسوب شده و می‌تواند برای پیش بینی گسترش تراکم زهکشی در منطقه نیز مورد بررسی قرار گیرد. در این مرحله از تحقیق برای بررسی تأثیر میزان شیب بر تراکم زهکشی از روش همبستگی استفاده شده است. برای امکان استفاده از این روش و تهیه‌ی داده‌های مورد نیاز با توجه به نوع سطح سنجش، نقشه‌ی تراکم زهکشی تهیه شد (شکل ۲). همچنین نقشه‌ی شیب بدون طبقه‌بندی تهیه گردید (شکل ۳). به این ترتیب هر دو متغیر مورد مطالعه، فاصله‌ای و شامل مقادیر پیوسته هستند. با توجه به بررسی همبستگی، رابطه‌ی میزان شیب و تراکم زهکشی معنی‌دار به دست آمد ($p < 0/05$ و $r = -0/094$). برای پیش‌بینی تراکم زهکشی، این رابطه با استفاده از آنالیز رگرسیون خطی تعیین شد ($R^2 = 0/01$ و $p < 0/05$). پایین بودن ضریب تبیین (R^2) نشان می‌دهد که عوامل دیگری نیز در گسترش تراکم زهکشی در منطقه نقش دارند.

جدول (۹) آنالیز رگرسیونی رابطه‌ی شیب با تراکم زهکشی در حوضه‌ی بهرستاق (منبع: نگارندگان)

مدل	ضریب غیراستاندارد	ضریب استاندارد	معنی‌داری
ثابت	۷/۵۱۹	-	۰/۰۰۰
شیب	-۰/۰۱۳	-۰/۰۹۴	۰/۰۳۶



شکل (۲) نقشه‌ی تراکم زهکشی حوضه‌ی بهرستاق



شکل (۳) نقشه‌ی شیب حوضه‌ی بهرستاق

نتیجه‌گیری

در این پژوهش تغییرات مکانی تراکم زهکشی به عنوان یک شاخص مهم و مفید از ویژگی‌های هیدروژئومورفولوژی حوضه‌ی بهرستاق مورد بررسی قرار گرفت. کوهستانی بودن منطقه و اختلاف ارتفاع و داشتن شیب و جهات مختلف دامنه از مشخصه‌های حوضه‌ی مورد مطالعه می‌باشد. محاسبه تراکم زهکشی در طبقات مختلف عوامل زمین‌شناسی در منطقه نشان داد که سازند ملافیر کرتاسه (K^m) با میانگین تراکم $8/79$ بیشترین حساسیت را دارد. بررسی ارتفاع و جهت دامنه در منطقه نشان داد که بیشترین میزان تراکم زهکشی در ارتفاع کمتر از 1400 متر با میانگین تراکم $8/24$ و جهت‌های غربی و جنوب غربی به ترتیب با تراکم زهکشی $5/57$ و $4/63$ وجود دارد. بررسی‌های مربوط به شیب نشان داد که طبقه $20-30$ درصد با میانگین تراکم $10/7$ بیشترین حساسیت را به تشکیل آبراهه‌ها و شبکه‌ی زهکشی دارد. محمدخان و همکاران (1389) نیز با ایجاد همبستگی بین شیب و شدت فرسایش در حوضه‌ی سد لتیان، طبقات شیب بین 20 الی 30 درصد را با احتمال 99 درصد دارای حداکثر فرسایش بیان کردند.

برای بررسی معنی‌داری تغییرات تراکم زهکشی در سازندهای زمین‌شناسی، ارتفاع، شیب و جهت دامنه در منطقه‌ی مورد مطالعه از آزمون آماری آنالیز واریانس استفاده گردید. نتایج آزمون آماری نشان‌دهنده‌ی رابطه‌ی معنی‌دار جنس سنگ و تغییرات شیب با میزان تراکم زهکشی در منطقه است؛ اما میزان تراکم زهکشی در طبقات ارتفاعی و جهت دامنه در منطقه تفاوت مشخصی نداشته است. نقشه‌ی تراکم زهکشی و درصد شیب که به صورت کمی و پیوسته تهیه شده است را متناظر هم قرار داده و همبستگی بین آنها محاسبه گردید. این دو نقشه نیز دارای همبستگی معنی‌دار و قابل قبول در سطح اطمینان 95 درصد می‌باشند. بنابراین تراکم زهکشی وابسته به درصد شیب است و میزان تراکم آن را کنترل می‌کند.

نتایج تحقیق جعفرزاده خطیبانی و همکاران (۱۳۹۵) نیز نشان داد که بین تراکم زهکشی و سازندهای زمین‌شناسی رابطه‌ی معنی‌داری وجود دارد. شیب یکی از شاخص‌های مهم در فرسایش آبی است که دادرسی سبزواری و همکاران (۱۳۸۴)، شینجو و همکاران^۱ (۲۰۰۲)، لین و همکاران (۲۰۰۴) و بایر آلتین و همکار (۲۰۱۱) نیز از آن برای طبقه‌بندی خطر فرسایش با دقت و سرعت بالایی استفاده کرده‌اند. معادله به دست آمده برای پیش‌بینی گسترش تراکم زهکشی تنها بخشی از تغییرات آن را در منطقه توصیف می‌کند و نشان می‌دهد عوامل مؤثر دیگری نیز وجود دارند که پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده مورد استفاده قرار گیرند.

1- Shinjo et al.,

منابع

- آبدیده، محمد؛ قرشی، منوچهر؛ رنگزن، کاظم و مهران آرین (۱۳۹۰)، ارزیابی نسبی زمین ساخت فعال با استفاده از تحلیل ریخت‌سنجی، بررسی موردی حوضه‌ی آبریز رودخانه دز، علوم زمین، شماره ۸۰، صص ۳۳-۴۶.
- بهرامی، شهرام؛ یمانی، مجتبی و سیدکاظم علوی‌پناه (۱۳۸۷)، تحلیل مورفومتری و مورفولوژی شبکه‌ی زهکشی در مخروط آتشفشانی تفتان، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۶۵، صص ۶۱-۷۲.
- بیاتی خطیبی، مریم (۱۳۸۵)، نقش تراکم زهکشی و اختلاف ارتفاع بر وقوع لغزش‌های دره‌ای در کوهستان‌های نیمه‌خشک دامنه‌های شمال غربی سیلان، مدرس علوم انسانی، دوره ۱۰، شماره ۲، صص ۱۰۹-۱۳۱.
- بی‌همتا، محمدرضا و محمدعلی زارع چاهوکی (۱۳۹۴)، اصول آمار در علوم منابع طبیعی، چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه تهران.
- جعفرزاده خطیبانی، کیوان؛ معینی، ابوالفضل و حسن احمدی (۱۳۹۵)، بررسی ارتباط بین متغیرهای خاکی و زمین‌شناسی با تراکم زهکشی (مطالعه‌ی موردی: چهار حوضه‌ی آبخیز در استان اردبیل)، نشریه حفاظت منابع آب و خاک، سال ششم، شماره ۱، صص ۹۹-۱۰۷.
- دادرسی سبزواری، ابوالقاسم و عبدالصالح رنگ‌آور (۱۳۸۴)، بررسی اثر تغییرات عمق خاک و شیب بر میزان تولید رسوب، مجموعه مقالات سومین همایش فرسایش و رسوب، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، صص ۵۴۷-۵۵۲.
- روستایی، شهرام؛ نیک‌جو، محمدرضا و احد حبیب‌زاده (۱۳۸۹)، بررسی فرسایش‌پذیری اراضی در حوضه‌ی آبخیز بجوشن چای با استفاده از تئوری فازی و سیستم اطلاعات

- جغرافیایی، پژوهش‌های جغرافیا و برنامه‌ریزی (دانشگاه تبریز) شماره‌ی ۳۳، صص ۱۴۷-۱۷۳.
- شایان، سیاوش، یمانی، مجتبی و منیژه یادگاری (۱۳۹۴)، مورفولیتولوژی توده‌ی الوند و نقش آن در مورفومتری و الگوی شبکه‌ی زهکشی، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره‌ی ۳، صص ۱-۱۶.
- کوثری، محمدرضا؛ صارمی نایینی، محمدعلی؛ تازه، مهدی و محمدرحیم فروزه (۱۳۸۹)، آنالیز حساسیت چهار رابطه برآورد زمان تمرکز در حوزه‌های آبخیز، فصلنامه‌ی علمی پژوهشی خشک بوم، شماره‌ی ۱، صص ۵۷-۶۷.
- محمد خان، شیرین، احمدی، حسن، فیض‌نیا، سادات، سلاجقه، علی (۱۳۸۹)، بررسی اثر شیب بر شدت فرسایش آبی (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبخیز لتیان)، پژوهش‌های آبخیزداری، شماره‌ی ۸۹، صص ۷۳-۸۱.
- Bayer Altin, T., Necati Altin, B., (2011), **Development and morphometry of drainage network in volcanic terrain, Central Anatolia, Turkey**, Geomorphology, No. 125, PP,485-503.
- Lin, Z., Oguchi, T., (2004), **Drainage density and slop angle in Japanes bare Land From high-resolution DEMS**, Geomorphology, No. 64, PP,159-173.
- Pallard, B., Castellarin, A., Montannari, A., (2009), **A look at the links between drainage density and flood statistics**, Hydrol., Earth syst. Sci., No. 13, PP,1019-1029.
- Shinjo, H., Hirata, M., Konga, N. and Kosak, T., (2002), **Evaluation of water erosion risk and recommendation for sustainable land use northeastern Syria**, 17th WCSS, Thailand, Paper No. 1175.
- Sangireddy, H., Carothers, R.A., Stark, C.P., Passalacqua, P., (2016), **Controls of climate, topography, vegetation, and lithology on drainage density extracted from high resolution topography data**, Journal of Hydrology, No. 537, PP,271-282.

- Talling. PG: Sowter. AM., (1999), **Drainage density on progressively tilted surfaces with different gradients, Wheeler Ridge, California**, Earth Surface Processes and Landforms, No. 24, PP,809-824.
- Tucker, G.E., Bras, R., (1998), **Hillslop Processes, drainage density, and landscape morphology**, Water Resources Research, Vol. 34, No. 10, PP,2751-2764.
- Yalcin, A., (2008), **GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations**", CATENA, No. 72, PP,1-12.
- Yildiz, O. (2004), **An Investigation of Effect of Drainage Density on Hydrologic Response**, Turkish J. Eng. Env.sci., No. 28, PP,85-94.