

پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال هشتم، شماره ۴، بهار ۱۳۹۹  
صص. ۳۳-۱۸

## بررسی ارتباط بین شرایط مورفومتریک حوضه و منابع آب زیرزمینی: مطالعه‌ای موردی حوضه کامیاران

منصور پروین\* - استادیار دانشگاه پیام نور، ایران.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۳/۰۱      تأیید نهایی: ۱۳۹۸/۱۱/۱۷

### چکیده

تحلیل‌های مورفومتریک به عنوان یک روش کم هزینه، سریع و قابل اعتماد، امروزه در جنبه‌های مختلف مطالعاتی حوضه‌ها همچون بررسی سیل خیزی، فرسایش، تغییرات کاربری اراضی، مطالعات منابع آب، مدیریت محیط و اجرای پروژه‌های آبی مورد استفاده قرار می‌گیرند. حوضه کامیاران از تنوع لیتولوژیکی زیادی، ناشی از قرارگیری در زون‌های زمین شناسی زاگرس مرتفع و سنندج - سیرجان برخوردار بوده و این امر باعث ایجاد شرایط مورفومتری خاص در نواحی مختلف این حوضه گردیده است. تفاوت در شرایط مورفومتری مناطق مختلف حوضه تأثیراتی بر منابع آب زیرزمینی حوضه‌ای کامیاران داشته و هدف این پژوهش شناخت این تأثیرات می‌باشد. شبکه‌ی زهکشی حوضه کامیاران از DEM ده متر منطقه استخراج شده و از هفت پارامتر مورفومتری خطی، هفت پارامتر مورفومتری سطحی و سه پارامتر مورفومتری ناهمواری، برای ارزیابی مورفومتری این حوضه استفاده شده است. در ادامه نتایج پارامترهای مورفومتری سه گانه، در نواحی مختلف حوضه با پراکنش چشمه‌ها و میزان آبدی آنها تطبیق داده است. نتایج نشان می‌دهد، که حوضه‌ای کامیاران در مراحل آخر جوانی سیکل فرسایش قرار داشته و مقادیر پارامترهای مورفومتریک خطی، سطحی و ناهمواری بیانگر تأثیر شرایط لیتولوژیکی بر پارامترهای مورفومتریک است. نواحی شمالی و مرکزی حوضه دارای پتانسیل کم و مناطق کارستی جنوب حوضه دارای پتانسیل بالای آب زیرزمینی می‌باشند. در واقع پتانسیل منابع آب زیرزمینی در حوضه‌ی کامیاران از شرایط مورفومتریک حوضه تأثیر پذیرفته و پارامترهای مورفومتریک نیز تحت تأثیر شرایط زمین شناسی و ژئومورفولوژیکی حوضه هستند.

واژگان کلیدی: مورفومتری، منابع آب زیرزمینی، لیتولوژی، حوضه کامیاران.

## مقدمه

اولین مطالعات در زمینه مورفومتری حوضه‌ها توسط هورتون<sup>۱</sup> در سال‌های ۱۹۳۲ و ۱۹۴۵ انجام شد. در ادامه چندین ژئومورفولوژیست از جمله استرالر<sup>۲</sup> در سال‌های ۱۹۵۷ و ۱۹۶۴، شوم<sup>۳</sup> در سال ۱۹۵۶ و گریگوری<sup>۴</sup> در سال ۱۹۶۶ توسعه بیشتری در این زمینه ایجاد کردند (ژوبین و همکاران<sup>۵</sup>؛ ۲۰۱۱، ۱۰۷۹). مورفومتری اندازه‌گیری و آنالیز ریاضی اشکال سطح زمین و ابعاد لندفرم‌ها است (آگاروال<sup>۶</sup>؛ ۱۹۹۸، ۱۷۱) و مورفولوژی حوضه‌ها را نشان داده و منعکس‌کننده‌ای شرایط زمین-شناسی و فرایندهای ژئومورفولوژی در طول زمان است (هورترز و همکاران<sup>۷</sup>؛ ۱۹۹۹، ۸۰۱). خصوصیات مختلف مورفومتری به عوامل مختلف زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، پوشش گیاهی، اقلیم و ... بستگی داشته (رایبوت و همکاران<sup>۸</sup>؛ ۲۰۱۵، ۷۰) و در تحقیقات هیدرولوژیکی مانند پتانسیل‌یابی و مدیریت منابع آب زیرزمینی، مدیریت حوضه و ارزیابی محیط زیست مهم می‌باشند (رای و همکاران<sup>۹</sup>؛ ۲۰۱۸، ۲۱۸). در واقع تحلیل‌های مورفومتریکی از جنبه‌های مهم مطالعات هیدرولوژیکی بوده (جینا و بالوکرایا<sup>۱۰</sup>؛ ۲۰۱۱، ۳۸۳) و نقش مهمی در شناخت شرایط ژئوهیدرولوژیکی حوضه‌ها دارند (هاجم<sup>۱۱</sup> و همکاران<sup>۱۲</sup>؛ ۲۰۱۳، ۲). ارزیابی کمی پارامترهای مورفومتری حوضه (خطی، شکلی و ناهمواری) کمک می‌کند، تا اطلاعات سنگ‌شناسی، رژیم هیدرولوژیکی و فرایندهای درونی/بیرونی حاکم بر حوضه مشخص شده، که در شکل‌گیری آب‌های زیرزمینی و همچنین مطالعه‌ای وضعیت آنها بسیار مفید و مؤثر می‌باشند (زانگ و همکاران<sup>۱۳</sup>؛ ۲۰۱۵، ۲۱). از این رو مطالعه‌ای پارامترهای مورفومتری حوضه‌ها، علاوه بر فراهم ساختن امکان شناخت فرایندهای هیدروژئولوژیکی حاکم بر حوضه‌ها مناطق بالقوه تغذیه و خروج آب‌های زیرزمینی را مشخص می‌کند (سامادر و همکاران<sup>۱۴</sup>؛ ۲۰۱۱، ۱۵۵). امروزه در مطالعات مورفومتری از DEM برای استخراج پارامترهای مورفومتری مختلف در محیط GIS استفاده شده (رای و همکاران<sup>۱۵</sup>؛ ۲۰۱۸، ۲۱۹)، که علاوه بر راحت و سریع بودن (پیراسته و همکاران<sup>۱۶</sup>؛ ۲۰۱۰، ۳۰)، یک روش دقیق، سریع و ارزان برای آنالیز سیستم‌های هیدرولوژیکی است (اشمیت و سندوال<sup>۱۷</sup>؛ ۲۰۰۳، ۲۱). حوضه‌ی کامپاران از نظر زمین‌شناسی در دو زون سندج - سیرجان و زاگرس مرتفع واقع شده و دارای تنوع لیتولوژیکی زیاد و شرایط زمین‌ساختی متفاوت در نواحی مختلف حوضه می‌باشد. شرایط ژئومورفولوژیکی حوضه متأثر از شرایط زمین‌شناسی در نواحی جنوبی عمدتاً کارستی و در نواحی شمالی متشکل از دامنه‌های نامنظم با نفوذپذیری کم است. بر این اساس ویژگی‌های مورفومتری حوضه یکسان نبوده و این امر تأثیراتی بر منابع آب زیرزمینی این حوضه دارد. بنابراین هدف این پژوهش شناخت تأثیرات مورفومتری بر منابع آب زیرزمینی حوضه‌ای کامپاران است. محققان در زمینه‌ی مورد پژوهش تحقیقات نسبتاً گسترده‌ای انجام داده‌اند. سریدوی و همکاران<sup>۱۸</sup> (۲۰۰۵) در پژوهشی در حوضه پاکپرو<sup>۱۷</sup> هند به مطالعه منابع آب زیرزمینی بر اساس پارامترهای مورفومتریکی

1 - Horton

2 - Strahler

3 - Schumm

4 - Garygoory

5 - Jobin et al

6 - Agarwal

7 - Hurtrez et al

8 - Rajpoot et al

9 - Rai et al

10 - Geena and Ballukraya

11 - Hajam et al

12 - Zhang et al

13 - Samadder et al

14 - Pirasteh et al

15 - Smith and Sandwell

16 - Sreedevi et al

17 - Pageru

حوضه پرداخته و نتایج نشان داد، که بیشتر رواناب منطقه به علت شرایط مورفومتری نفوذ کرده و منابع آب زیرزمینی از وضعیت مطلوب برخوردار هستند. چاترجی و تانتبی<sup>۱</sup> (۲۰۰۹)، در پژوهشی به ارزیابی مورفومتری حوضه‌ای کوشانگی جور<sup>۲</sup> هندوستان، جهت پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی پرداختند و مقادیر بافت و تراکم زهکشی حوضه، حاکی از نفوذپذیری و تشکیل منابع آب زیرزمینی در دشت آبرفتی می‌باشد. آوینش و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۴) در پژوهشی در جنوب غرب هندوستان از پارامترهای ژئومورفولوژی و مورفومتری حوضه برای ارزیابی پتانسیل منابع آب زیرزمینی استفاده کردند و نتایج نشان در بعضی زیرحوضه‌ها به علت نفوذناپذیری و تراکم بالای زهکشی از نظر منابع آب زیرزمینی فقیر می‌باشند. اسماعیل و کلارک<sup>۴</sup> (۲۰۱۶)، با استفاده از تحلیل مورفومتریک به پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی در جنوب استرالیا پرداختند و گردآوری پارامترهای مختلف نشان می‌دهد، که آب‌های زیرزمینی عمدتاً توسط ژئومورفولوژی، شیب، زمین‌شناسی و تراکم زهکشی کنترل می‌شوند. فلورنسی و موورتهی<sup>۵</sup> (۲۰۱۷) به پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از تکنیک‌های GIS، RS و آنالیز مورفومتری در حوضه مکالووا<sup>۶</sup> در هند پرداختند و پارامترهای مورفومتریک ناهمواری و تراکم کم زهکشی و نفوذپذیری مناسب سبب شکل‌گیری منابع آب زیرزمینی در این حوضه شده است. در حوضه‌ی کامیاران مطالعات متعددی در زمینه‌های مختلف منابع آب زیرزمینی انجام گرفته که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: سیدی و همکاران (۱۳۹۵) به مطالعه مدل عددی سیستم جریان آب زیرزمینی دشت کامیاران پرداخته و نتایج نشان داد، که سالانه به طور متوسط ۱۰ سانتیمتر از سطح منابع آب زیرزمینی دشت کامیاران کاهش یافته و تغذیه مناسب آبخوان علیرغم برداشت زیاد مانع افت شدید آبخوان می‌گردد. صالحی و حقی‌زاده (۱۳۹۴) به ارزیابی و پهنه بندی کیفیت آب زیرزمینی دشت کامیاران پرداخته و نتایج نشان داد، که کیفیت آب منطقه برای شرب، کشاورزی و صنعت مناسب بوده و این امر به علت وجود سازندهای دولومیتی - آهکی و تغذیه از طریق آنها می‌باشد. اونق و قربانی (۱۳۹۰) به پهنه بندی توسعه کارست ارتفاعات شاهو در جنوب حوضه کامیاران پرداخته و نتایج بیانگر وجود ژئومورفولوژی کارست توسعه یافته و نفوذپذیری مناسب این ارتفاعات است، که می‌تواند تاثیر زیادی در تغذیه آب زیرزمینی حوضه کامیاران داشته باشد.

#### موقعیت حوضه مورد مطالعه

حوضه‌ی کامیاران در جنوب استان کردستان و شمال استان کرمانشاه با مساحت ۹۳۵ کیلومترمربع بین عرض‌های جغرافیایی  $34^{\circ}35'$  تا  $34^{\circ}56'$  شمالی و طول‌های جغرافیایی  $46^{\circ}44'$  تا  $47^{\circ}13'$  شرقی واقع شده است (شکل ۱). حداکثر و حداقل ارتفاع حوضه کامیاران ۲۷۰۳ متر در ارتفاعات آژوان و ۱۳۴۷ متر در خروجی حوضه است. رودخانه‌ی رازآور زهکش اصلی حوضه بوده و جزء حوضه‌ای آبخیز کرخه می‌باشد.

<sup>1</sup> - Chatterjee and Tantubay

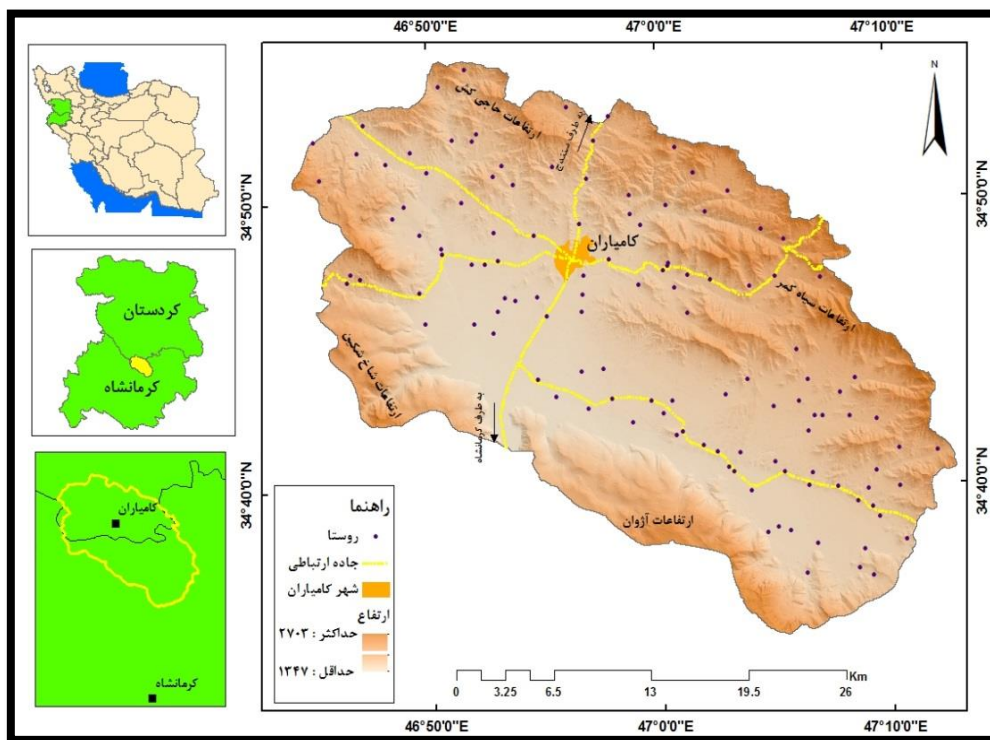
<sup>2</sup> - Kusangai Jor

<sup>3</sup> - Avinash et al

<sup>4</sup> - Ismail and Clark

<sup>5</sup> - Florence, and Moorthy

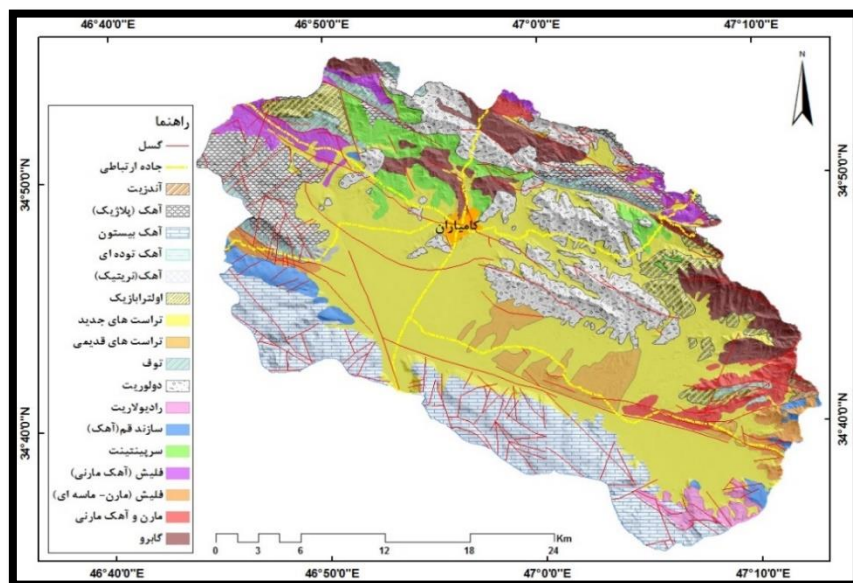
<sup>6</sup> - Makaluva



شکل ۱: نقشه موقعیت جغرافیایی حوضه کامیاران

این حوضه از نظر ساختاری متشکل از یک دشت ناودیسی و توده‌های کوهستانی حاشیه‌ای است. ارتفاعات شمالی حوضه در زون سنندج - سیرجان واقع شده و از سری‌های آندزیتی، اولترابازیک، دولوریت، گابرو، توف، نهشته‌های مارنی، آهک-مارنی، نهشته‌های فلیشی و آهک پلاژیک تشکیل شده‌اند. سطح دشت کامیاران از نهشته‌های کواترنری جدید تشکیل شده و نهشته‌های کواترنری قدیمی تپه ماهورها مرکز دشت را ایجاد کرده‌اند. ارتفاعات آژوان - شاخ شکین در جنوب حوضه در زون زاگرس مرتفع قرار داشته و متشکل از سازند بیستون، رادیولاریت و سازند آهکی قم می‌باشند. حوضه کامیاران دارای تنوع لیتولوژیکی زیادی است و از نظر زمین ساختی به شدت تکتونیزه بوده و روند گسل‌های اصلی بیلوار و کامیاران شمال غربی - جنوب شرقی است و گسل‌های فرعی نیز دارای جهات متفاوت می‌باشند. حوضه کامیاران از سه واحد مجزای ژئومورفولوژیکی کوهستان، دشت و تپه ماهور تشکیل شده است. واحد دشت تحت عملکرد فرایند شکل‌زایی آب‌های جاری بوده و لندفرم‌های همچون دشت آبرفتی (شکل ۳، الف)، دشت فرسایشی، بستر روخانه (شکل ۳، الف)، دشت سیلابی و پادگانه‌های آبرفتی در آن شکل گرفته‌اند. کوهستان جنوبی شامل ارتفاعات آژوان - شاخ شکین، به علت وجود شرایط کارست‌زائی مناسب، همچون رخنمون سازندهای کربناته، گسل‌خوردگی و شکستگی زیاد و اقلیم مناسب ژئومورفولوژیکی کارست توسعه یافته، شکل گرفته است. انواع کارن‌ها، غار، پونور (شکل ۴، ب)، سینک‌هول‌ها، شافت‌ها (شکل ۳، ج) و پلایه‌ها (شکل ۴، ب) مهمترین لندفرم‌های کارستی این ارتفاعات می‌باشند. ارتفاعات نواحی شمالی حوضه که عمدتاً از سری‌های دگرگونی-آذرین و نهشته‌های فلیشی تشکیل شده‌اند. خط‌الراس‌ها (شکل ۴، د)، دره‌ها (شکل ۴، د)، اشکال ناشی از فرسایش آبی، واریزه و قطعات ریزشی از مهمترین لندفرم‌های این نواحی می‌باشند.





شکل ۲: نقشه زمین شناسی حوضه کامیاران



شکل ۳: لندفرم‌های حوضه‌ای کامیاران؛ الف، دشت آبرفتی و بستر رودخانه در دشت بیلوار؛ ب، نمایی از پلنه و پونور در ارتفاعات آژوان؛ ج، شافت در ارتفاعات آژوان؛ د، نمای از ارتفاعات شمال بیلوار و دره و خط الراس

### مواد و روش‌ها

در این پژوهش ابتدا با استفاده از DEM ده متر حوضه و بهره‌گیری از ابزار Arc Hydro محدوده‌ی حوضه‌ی کامیاران و شبکه‌ای زهکشی حوضه ترسیم گردید. از روش استرالر برای رتبه‌بندی آبراهه‌ها استفاده شده و از نقشه‌های توپوگرافی

۱:۲۵۰۰۰ منطقه برای دقت سنجی شبکه‌ی آبراهه‌های استخراج شده حوضه کامیاران بهره گرفته شد. در ادامه پارامترهای مورفومتری خطی، شکلی و ناهمواری حوضه (جدول ۱) محاسبه گردید. طول و تراکم گسل‌ها در سازندهای زمین شناسی برای ارزیابی تأثیرات آنها بر شبکه زهکشی محاسبه گردید. در ادامه بر اساس نتایج بدست آمده از پارامترهای مورفومتریک و تحلیل شرایط زمین‌شناسی و ژئومورفولوژیکی و تطبیق آنها با الگوی پراکنش چشمه‌های حوضه و میزان دبی میانگین سالانه‌ی آنها، تأثیرات ویژگی‌های مورفومتریک بر منابع آب زیرزمینی مشخص می‌گردد. DEM ده متر، نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰، نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و آمار دبی چشمه‌ها، داده‌های مورد استفاده در این پژوهش می‌باشند.

جدول ۱: پارامترهای مورفومتریک و نحوه‌ای محاسبه‌ی آنها (منبع: هاجام؛ ۲۰۱۳، ۳)

شماره	پارامتر	فرمول	
۱: پارامتر خطی	۱-۱	رتبه آبراهه	روش استرالر
	۱-۲	نسبت انشعاب	$R_b = N\mu / N\mu + 1$ $N\mu$ : تعداد آبراهه‌های یک رده، $N\mu + 1$ : تعداد آبراهه‌های یک رده بالاتر
	۱-۳	میانگین نسبت انشعاب	$R_{bm}$ = میانگین نسبت انشعاب تمام رده‌ها
	۱-۴	طول آبراهه	$L\mu$ = طول آبراهه به کیلومتر
	۱-۵	میانگین طول آبراهه	$L_{sm} = L\mu / N\mu$ $L\mu$ = طول آبراهه هر رده، $N\mu$ = تعداد آبراهه هر رده
	۱-۶	ضریب طول آبراهه	$RL = L_{sm} / L_{sm}^{-1}$ $L_{sm}$ = متوسط طول جریان هر رده، $L_{sm}^{-1}$ = متوسط طول جریان در رده‌ای پایین
	۱-۷	طول جریان سطحی	$L_g = 1/D * 2$ $D$ = تراکم زهکشی
۲: پارامتر سطحی	۲-۱	تراکم زهکشی	$D_d = L\mu / A$ $L\mu$ = مجموع طول آبراهه، $A$ = مساحت حوضه
	۲-۲	فراوانی آبراهه‌ها	$F_s = N\mu / A$ $N\mu$ = تعداد کل آبراهه‌های حوضه، $A$ = مساحت حوضه
	۲-۳	شماره نفوذ	$I_f = D_d \times F_s$ $D_d$ = تراکم زهکشی، $F_s$ = فراوانی آبراهه‌ها
	۲-۴	بافت زهکشی	$D_t = N\mu / P$ $N\mu$ = تعداد کل آبراهه‌های حوضه، $P$ = محیط حوضه
	۲-۵	ضریب شکل حوضه	$R_f = A / L_b^2$ $A$ = مساحت حوضه، $L_b$ = طول حوضه
	۲-۶	نسبت کشیدگی	$Re = (1.128\sqrt{A}) / L_b$ $A$ = مساحت حوضه، $L_b$ = طول حوضه
	۲-۷	نسبت دایره‌ای	$Rc = 12.56(A / P^2)$ $A$ = مساحت حوضه، $P$ = محیط حوضه
۳: پارامتر ناهمواری	۳-۱	ناهمواری حوضه	$H = Z - z$ $Z$ = حداکثر ارتفاع حوضه، $z$ = حداقل ارتفاع حوضه
	۳-۲	ضریب ناهمواری	$R_r = H / L_b$ $H$ = ناهمواری حوضه، $L_b$ = طول حوضه
	۳-۳	شاخص شدت فرسایش	$D_I = H / R_a$ $H$ = ناهمواری حوضه، $R_a$ = ارتفاع متوسط حوضه

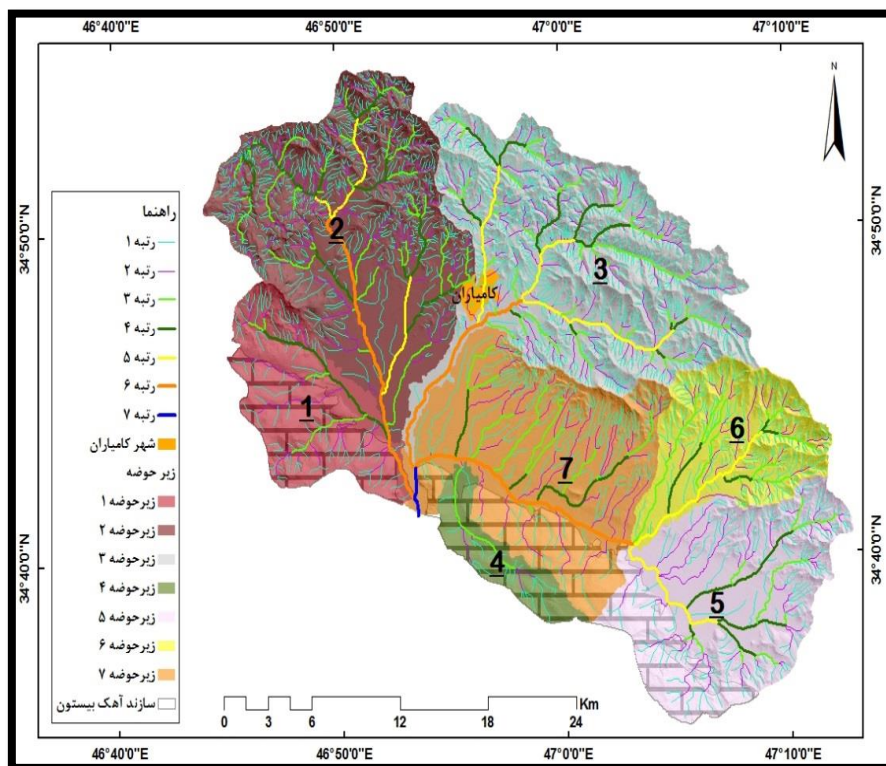
## یافته‌های پژوهش

حوضه‌ی کامیاران دارای هفت زیر حوضه بوده (شکل ۴) و الگوی شبکه‌ی زهکشی این حوضه‌ی از نوع دندریتیک<sup>۱</sup> یا درختی است. این الگو رایج‌ترین شکل شبکه زهکشی بوده و به دو نوع شاخه درختی متراکم و شاخه درختی باز تقسیم می‌شود. الگو شاخه درختی متراکم در حوضه‌ی کامیاران در قلمرو سازندهای با نفوذپذیری کم مانند سازندهای مارنی و شیلی شکل گرفته و الگو شاخه درختی باز بر روی سازندهای درشت دانه آهک بیستون تشکیل شده است. تطبیق شبکه زهکشی و گسل‌های حوضه کامیاران نشان داد، که روند گسل‌های حوضه عموماً شمال غربی - جنوب شرقی بوده و الگوی زهکشی با جهات غالب شمالی - جنوبی تأثیرات چندانی از نظر روند از گسل‌ها نپذیرفته است (شکل ۴). تأثیرپذیری شبکه زهکشی از گسل‌های حوضه محدود به جابه‌جایی و تغییر مسیر آبراهه‌های رتبه پایین و به صورت محدود تعیین روند و جهت آبراهه‌های رتبه بالا در سطح دشت کامیاران و بیلوار است. تراکم گسل در نهشته‌های کواترنری سری‌های آذرین - دگرگونی، آهک بیستون و سایر سازندهای آهکی حوضه به ترتیب ۰,۴۳؛ ۰,۵۹؛ ۰,۹۳ و ۰,۹۶ (Km/Km<sup>2</sup>) است. بنابراین سازندهای آهکی و سازند بیستون بیشترین میزان تراکم گسل را دارند.

## پارامترهای مورفومتری خطی

این پارامترها تحت تاثیر چگونگی اتصال آبراهه‌ها و شرایط توپوگرافی-زمین‌شناسی حوضه قرار دارند (هاجم و همکاران<sup>۲</sup>؛ ۲۰۱۳، ۵). اولین گام در مطالعه حوضه‌های زهکشی طبقه‌بندی آبراهه‌ها<sup>۳</sup> است (هورتون<sup>۴</sup>؛ ۱۹۴۵، ۲۷۲). در این پژوهش از روش طبقه‌بندی استرالر استفاده شده و زهکش اصلی حوضه دارای رتبه ۷ است (شکل ۵). به شمارش آبراهه‌ها با یک نظم مشخص، تعداد آبراهه<sup>۵</sup> گرفته می‌شود (هورتون؛ ۱۹۴۵؛ ۲۷۳). تعداد کل جریان در حوضه کامیاران ۲۹۷۶ آبراهه است (جدول ۱). آبراهه‌های رتبه اول با تعداد ۲۳۳۵ حدود ۷۸٪ کل آبراهه‌های حوضه را تشکیل می‌دهد. شکل (۵، الف) نشان می‌دهد، که با افزایش رتبه آبراهه، تعداد آبراهه‌ها کاهش یافته و یک رابطه‌ای منفی بین رتبه آبراهه‌ها و تعداد آبراهه‌ها وجود دارد. تعداد بالای آبراهه‌های رتبه پایین حاکی از نفوذپذیری کم بوده و شرایط لیتولوژیکی عامل اصلی این امر می‌باشند. بیشتر آبراهه‌های رتبه ۱ در نواحی شمال حوضه کامیاران، که متشکل از سازندهای با نفوذپذیری کم است، قرار داشته و در قلمرو آهک بیستون تراکم این نوع آبراهه کم می‌باشد. نسبت انشعاب<sup>۶</sup> ارتباط نزدیکی با الگوی اتصال شبکه‌ی زهکشی دارد (شوم؛ ۱۹۵۶، ۶۱۱). جدول (۲) مقادیر نسبت انشعاب حوضه کامیاران را نشان داده، که بین ۳,۶۶ تا ۵,۰۶ در نوسان و میانگین این نسبت در حوضه ۴,۵ است. بیشترین میزان نسبت انشعاب در حوضه‌ی مورد مطالعه بین آبراهه‌های رتبه ۲ و ۳ است. این امر به دلیل تفاوت در نفوذپذیری سازندها و همچنین شرایط شیب توپوگرافی حوضه بوده و نسبت انشعاب بالای کل حوضه ناشی از تنوع لیتولوژیکی حوضه می‌باشد.

<sup>۱</sup> - Dendritic<sup>۲</sup> - Hajam et al<sup>۳</sup> - Stream order (S<sub>μ</sub>)<sup>۴</sup> - Horton<sup>۵</sup> - Stream number (N<sub>μ</sub>)<sup>۶</sup> - Bifurcation ratio (R<sub>b</sub>)



شکل ۴: نقشه‌ای زیرحوضه‌های و شبکه زهکشی حوضه‌ای کامیاران و محدوده رخنمون آهک بیستون

طول آبراهه<sup>۱</sup> از مهمترین خصوصیات هیدرولوژیکی حوضه بوده و عمدتاً تحت تاثیر شرایط زمین‌شناسی و ژئومورفولوژیکی حوضه است. طول آبراهه‌های رتبه پایین نشان دهنده مناطقی با شیب زیاد و سازندهای با نفوذپذیری کم بوده و طول زیاد آبراهه‌ها بیانگر دامنه‌های مسطح و لیتولوژی نفوذپذیر است (وایکار و همکاران<sup>۲</sup>؛ ۲۰۱۴، ۱۸۲). طول مجموع آبراهه‌های حوضه‌ای کامیاران ۲۴۴۶ کیلومتر است. آبراهه‌های رتبه ۱ تا ۷ به ترتیب بیشترین طول را دارا بوده (جدول ۲) و آبراهه‌های رتبه ۱ حدود ۶۱٪ مجموع طول آبراهه‌های حوضه را تشکیل می‌دهند. این امر ناشی از نفوذپذیری کم سازندهای شیلی، مارنی، رادیولاریتی و دگرگونی - آذرین حوضه می‌باشد. شکل (۵) نشان می‌دهد، که با افزایش رتبه آبراهه‌ها، مجموع طول آبراهه نیز کاهش می‌یابد. میانگین طول آبراهه<sup>۳</sup> ویژگی مشخصی مربوط به شبکه زهکشی و سطوح مرتبط با آن است (استرالر؛ ۱۹۶۴، ۱۳). در حوضه‌ای کامیاران میانگین طول آبراهه‌ها با افزایش رتبه تا رتبه‌ای ۶ افزایش می‌یابد. آبراهه‌ی رتبه ۶ با میانگین طول ۱۶۲۹۳ متر بیشترین میزان و آبراهه رتبه ۱ با میانگین طول ۶۴۴ متر کمترین میزان را دارا است (جدول ۲). استرالر (۱۹۶۴) این تفاوت در میانگین طول آبراهه‌ها را ناشی از شرایط توپوگرافی و شیب حوضه‌ها می‌داند.

<sup>۱</sup> - Stream length (L<sub>μ</sub>)

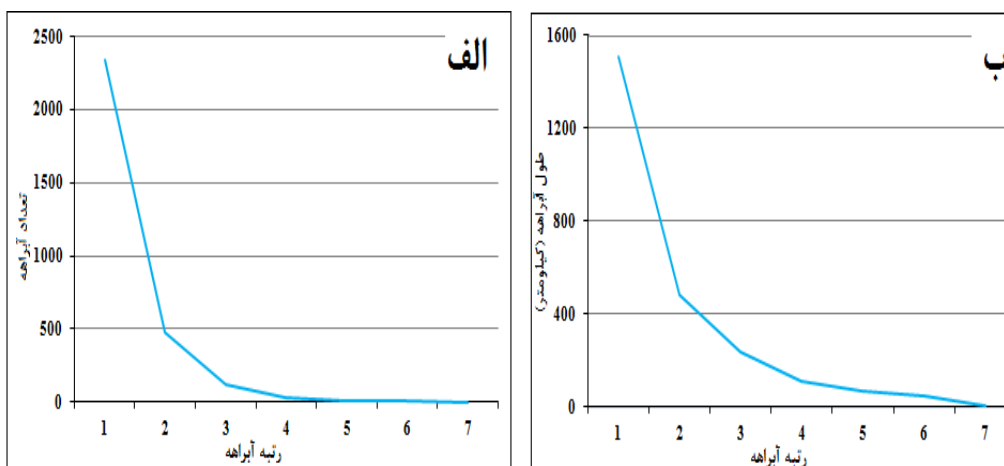
<sup>۲</sup> - Waikar et al

<sup>۳</sup> - Mean Stream Length<sub>Lsm</sub>



جدول ۲: مقادیر پارامترهای مورفومتری خطی حوضه‌ای کامیاران

نسبت طول آبراهه	میانگین طول آبراهه (متر)	طول آبراهه (متر)		نسبت انشعاب	تعداد آبراهه		رتبه آبراهه
		درصد			درصد		
۱,۵۵	۶۴۴,۴	۶۱,۵۱	۱۵۰۴۷۱۸	۴,۵۸	۷۸,۴۳	۲۳۳۵	۱
۱,۹۳	۱۰۰۴,۹	۱۹,۷۲	۴۸۲۳۶۳	۵,۰۶	۱۶,۱۳	۴۸۰	۲
۱,۷۳	۱۹۷۳,۱	۹,۵۱	۲۳۲۸۲۸	۴,۶۸	۳,۹۶	۱۱۸	۳
۲,۳۵	۳۴۲۶,۲	۴,۴۹	۱۰۹۶۴۱	۵	۱,۰۷	۳۲	۴
۲,۰۱	۸۰۷۶,۷	۲,۶۵	۶۴۶۱۴	۳,۶۶	۰,۲۶	۸	۵
۰,۱۷	۱۶۲۹۳,۳	۱,۹۹	۴۸۸۸۰	۴	۰,۱	۳	۶
-	۲۹۰۵	۰,۱۱	۲۹۰۵	-	۰,۰۳	۱	۷
		۱۰۰٪	۲۴۴۵۹۵۳		۱۰۰٪	۲۹۷۷	جمع



شکل ۵: الف) - نمودار رابطه رتبه آبراهه و تعداد آبراهه؛ ب) - نمودار رتبه آبراهه و طول آبراهه

نسبت طول آبراهه<sup>۱</sup> رابطه‌ی مهمی با جریان سطحی، دبی و مرحله فرسایش حوضه دارد (کانت و حسن: ۲۰۱۲، ۳۵). مقادیر این را پارامتر در حوضه‌ای کامیاران ۰,۱۷ تا ۲,۳۵ بوده و این امر به خاطر شرایط متفاوت شیب و توپوگرافی حوضه است. هنگامی که مقادیر نسبت طول آبراهه‌های با رتبه‌های مختلف در یک حوضه، نظم خاصی را نشان ندهند (سینگ و سینگ: ۱۹۹۷، ۳۷)، این حوضه، همچون حوضه‌ی کامیاران از نظر فرسایشی در مراحل آخر جوانی سیکل فرسایش قرار دارد. طول جریان سطحی<sup>۴</sup> از مهمترین متغیرهای است، که توسعه هیدرولوژیکی و فیزیوگرافی، حوضه‌های زهکشی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (هورتون: ۱۹۳۲، ۳۵۵). هورتون (۱۹۴۵) این پارامتر را مسافت طی شده توسط آب قبل از رسیدن به داخل آبراهه تعریف می‌کند. طول جریان سطحی در حوضه‌ای کامیاران ۰,۱۹۱ کیلومتر است، که حاکی از عمق متوسط

<sup>۱</sup> - Stream length ratio (RL)

<sup>۲</sup> - Kanth and Hassan, 2012

<sup>۳</sup> - Singh and Singh, 1997

<sup>۴</sup> - Length of overland flow (Lg)

دره‌های این حوضه است. در پهنه‌های کارستی جنوب حوضه کامیاران، به علت تراکم کم آبراهه، رواناب برای رسیدن به آبراهه مسافت نسبتاً زیادی را طی می‌کند.

### پارامترهای مورفومتری سطحی

این پارامترها با فرسایش نسبت عکس داشته و برعکس پارامترهای خطی به بیشترین مقدار بیشترین رتبه و به کمترین مقدار کمترین رتبه تعلق می‌گیرد (آمانی و نجفی نژاد؛ ۱۳۹۳، ۵). مهمترین این پارامترها مساحت و محیط حوضه بوده، به طوری که مساحت حوضه به طور مستقیم بر اندازه هیدروگراف سیل، مقادیر پیک و میانگین رواناب تاثیر می‌گذارد (هاجم و همکاران؛ ۲۰۱۳، ۷). مساحت حوضه‌ی آبریز کامیاران ۹۳۴٫۹ کیلومتر مربع و محیط آن ۱۹۴٫۶ کیلومتر است. تراکم زهکشی<sup>۱</sup>، میزان توسعه شبکه آبراهه‌های یک حوضه نسبت به مساحت آن حوضه است. تراکم زهکشی پارامتر کمی مهمی برای آنالیز لندفرم‌ها است. همچنین عملکرد اقلیم، سنگ‌شناسی و ساختارهای زمین‌شناسی و ناهموری منطقه و تاثیرات آنها بر لندفرم‌ها، به طور غیر مستقیم توسط این شاخص ارزیابی گردد (پارتا و پارتا؛ ۲۰۱۱، ۲۵۷). میزان این پارامتر به ترتیب در سازندهای بسیار نفوذپذیر و سازندهای نفوذناپذیر  $5 \text{ Km/Km}^2$  است. در حوضه‌های با سازندهای نفوذپذیر، پوشش گیاهی مناسب و ناهمواری متوسط میزان تراکم زهکشی کمتر بوده و میزان تغذیه‌ی آب‌های زیرزمینی زیاد می‌باشد (ناگ؛ ۱۹۹۸، ۷۲). میزان تراکم زهکشی حوضه‌ی کامیاران  $2.61 \text{ Km/Km}^2$  بوده، که حاکی از نفوذپذیری کم حوضه می‌باشد. تراکم زهکشی در محدوده آهک بیستون و مناطق کارستی در جنوب حوضه ۱٫۱۵ بوده که نشان دهنده‌ی نفوذپذیری بسیار مناسب این محدوده است. در محدوده شمالی و میانی حوضه کامیاران، که سازندهای شیلی - ماری، رادیولاریتی و سری‌های آذرین - دگرگونی رخنمون دارند، تراکم زهکشی ۳٫۰۲ بوده و حاکی از نفوذپذیری کم این محدوده می‌باشد (جدول ۳). فراوانی آبراهه‌ها<sup>۲</sup> نشان دهنده بافت شبکه زهکشی بوده و بستگی به شرایط سنگ‌شناسی، ظرفیت نفوذ، پوشش گیاهی، ناهمواری، میزان بارش و نفوذپذیری مواد زیرسطحی دارد (هاجم و همکاران؛ ۲۰۱۳، ۷). این شاخص همبستگی مثبتی با تراکم زهکشی در حوزه آبخیز دارد، که نشان دهنده افزایش در تراکم زهکشی است (وابکار و همکاران؛ ۲۰۱۴، ۱۸۴). فراوانی آبراهه در حوضه‌ی کامیاران ۳٫۱۸، که تایید کننده‌ی تراکم زهکشی بالا و همچنین نفوذپذیری کم در حوضه می‌باشد. میزان این پارامتر در مناطق کارستی جنوب حوضه ۱٫۰۲ که حاکی از نفوذپذیری بالای و تراکم کم زهکشی در این منطقه از حوضه‌ی کامیاران است. میزان پارامتر فراوانی آبراهه در مناطق غیر کارستی حوضه ۳٫۷۹ است (جدول ۳)، که بیانگر نفوذپذیری کم و تراکم زهکشی بالا در این نواحی می‌باشد. بافت زهکشی<sup>۵</sup> یک مفهوم ژئومورفولوژیکی بوده و منعکس کننده‌ی شرایط لیتولوژیکی، ظرفیت نفوذ و ناهمواری و توپوگرافی حوضه است (رای و همکاران؛ ۲۰۱۸، ۱۰). بر اساس طبقه بندی اسمیت<sup>۶</sup> (۱۹۵۰) حوضه‌های با مقادیر کمتر از ۲، ۲ تا ۴، ۴ تا ۶، ۶ تا ۸ و بیشتر از ۸ به ترتیب دارای بافت‌های بسیار درشت، درشت، متوسط، ریز و بسیار ریز می‌باشند. مقادیر بافت حوضه کامیاران و همچنین محدوده‌ی شمالی آن به ترتیب ۱۳٫۲۹ و ۱۴٫۱۷ است، که حاکی از بافت بسیار ریز، تراکم زهکشی بالا و نفوذپذیری بسیار کم است. مقدار بافت زهکشی در محدوده مناطق کارستی جنوب حوضه، که دارای نفوذپذیری بسیار بالا است، ۱٫۲۳

<sup>۱</sup> - Drainage density

<sup>۲</sup> - Pareta and Pareta

<sup>۳</sup> - Nag

<sup>۴</sup> - Stream Frequency

<sup>۵</sup> - Drainage texture (Dt)

<sup>۶</sup> - Rai et al

<sup>۷</sup> - Smith

بوده و بافت زهکشی از نوع بسیار درشت است. شماره نفوذ<sup>۱</sup> در تعیین ویژگی‌های نفوذ حوضه نقش مهمی داشته و رابطه‌ی معکوس بین مقدار این پارامتر و میزان نفوذپذیری وجود دارد (هاجم و همکاران؛ ۲۰۱۳، ۸). مقادیر بالای این پارامتر بیانگر نفوذ کم است. شماره نفوذ در حوضه کامیاران و محدوده شمال حوضه به ترتیب ۸،۲۹ و ۱۱،۴۴، که نشان دهنده‌ی نفوذ کم و بالا بودن ضریب رواناب است. در محدوده مناطق کارستی جنوب حوضه شماره نفوذ ۱،۷۳ است، که حاکی از نفوذپذیری زیاد و ضریب رواناب کم این منطقه می‌باشد. هر چه ضریب فاکتور شکل<sup>۲</sup> حوضه کوچک‌تر باشد، حوضه کشیده و دبی پیک سیلاب کمتر است. هر چه این ضریب بزرگتر باشد، حوضه دایره‌ای بوده و دبی پیک سیلاب بالاتر است (رای و همکاران؛ ۲۰۱۸، ۱۰). میزان این پارامتر برای حوضه‌ی کامیاران ۰،۶۱ بوده، که نشان دهنده‌ی شکل نزدیک به دایره‌ای حوضه و زمان تمرکز کم و دبی پیک بالا است. شوم (۱۹۵۶)، نسبت کشیدگی<sup>۳</sup> را به صورت نسبت قطر دایره‌ای با مساحتی برابر مساحت حوضه زهکشی و ماکزیمم طول حوضه تعریف می‌کند. استرالر (۱۹۶۴) معتقد است، که این نسبت در مناطق مختلف اقلیمی و زمین‌شناسی دارای مقادیر بین ۰،۶ تا ۱ است. مقادیر مختلف نسبت کشیدگی بیانگر اشکال دایره‌ای (۰،۹-۰،۱۰)، بیضی (۰،۸-۰،۹)، نسبتا کشیده (۰،۷-۰،۸)، کشیده (۰،۵-۰،۷) و بسیار کشیده (۰،۵-۰) است. میزان این پارامتر در حوضه کامیاران ۰،۸۸ بوده و بیانگر شکل بیضی حوضه است. نسبت دایره‌ای یک اندازه‌گیری کمی برای تجسم شکل حوضه است (استرالر؛ ۱۹۶۴، ۱۳). این نسبت توسط لیتولوژی، ساختمان زمین‌شناسی، ناهمواری، شیب، اقلیم، فراوانی و طول آبراهه کنترل می‌شود (رای و همکاران؛ ۲۰۱۸، ۱۰). میزان نسبت دایره‌ای حوضه‌ی کامیاران ۰،۳۱ است (جدول ۳)، که حاکی از تأثیرات ساختمان زمین‌شناسی، لیتولوژی ناهمگون، نفوذپذیری کم، ضریب رواناب بالا و فراوانی زیاد آبراهه‌های حوضه است.

جدول ۳: مقادیر پارامترهای مورفومتری سطحی حوضه‌ی کامیاران

حوضه	تراکم زهکشی	فراوانی آبراهه	شماره نفوذ	بافت زهکشی	ضریب شکل حوضه	نسبت کشیدگی	نسبت دایره‌ای
کامیاران	۲۶۱	۳،۱۸	۱۳،۲۹	۸،۲۹	۰،۶۱	۰،۸۸	۰،۳۱
مناطق کارستی	۱،۱۵	۱،۰۲	۱،۲۳	۱،۷۳	-	-	-
مناطق غیر کارستی	۳،۰۲	۳،۷۹	۱۴،۱۷	۱۱،۴۴	-	-	-

### پارامترهای مورفومتری ناهمواری

شرایط ناهمواری حوضه‌های آبخیز به طور قابل توجهی با ویژگی‌های سه بعدی وسعت، ارتفاع و حجم لندفرم‌ها در ارتباط بوده و در تحلیل‌های ژئوهیدرولوژیکی به کار گرفته می‌شوند. ناهمواری حوضه<sup>۴</sup> یکی از عوامل مهم در درک فرایندهای ژئومورفیک و ویژگی‌های لندفرم است (هاجم و همکاران؛ ۲۰۱۳، ۸) و به عنوان یک پارامتر هیدرولوژیکی شناخته می‌شود (آلتن و آلتن؛ ۲۰۱۱، ۴۹۰). میزان این پارامتر در حوضه‌ی کامیاران ۱۳۵۶ متر بوده (جدول ۴) که حاکی از ناهمواری و

<sup>۱</sup> - Infiltration number (If)

<sup>۲</sup> - Form factor ratio (Rf)

<sup>۳</sup> - Elongation ratio (Re)

<sup>۴</sup> - Basin relief (H)

<sup>۵</sup> - Altin and Altin

شیب متوسط حوضه است. مقادیر ضریب ناهمواری<sup>۱</sup> شیب کلی و میزان فرسایش یافتگی حوضه را مشخص می‌کند (سناالله و همکاران؛ ۲۰۱۸، ۴۶۲). میزان پارامتر ضریب ناهمواری حوضه کامیاران ۰,۰۳۶ بوده، که حاکی از ناهمواری و شیب متوسط این حوضه می‌باشد. شاخص شدت فرسایش<sup>۳</sup> یک پارامتر برای برآورد درجه عمودی فرسایش و فازهای توسعه‌ای لندفرم‌ها در هر منطقه فیزیوگرافی است (هاجم و همکاران؛ ۲۰۱۳، ۸). میزان این پارامتر بین ۰ تا ۱ بوده و در مقادیر کم بیانگر مسطح بودن و فرسایش کم و در مقادیر زیاد نشان دهنده‌ی فرسایش بالا و ناهمواری زیاد است (رای و همکاران؛ ۲۰۱۸، ۱۲). ارتفاع متوسط حوضه کامیاران ۱۷۱۲ متر بوده و میزان پارامتر شاخص شدت فرسایش حوضه ۰,۷۹ است. میزان این پارامتر نشان‌دهنده‌ی شیب توپوگرافی بالا، افزایش ضریب رواناب به علت کاهش نفوذپذیری و در نهایت فرسایش یافتگی بالایی عمودی و ناهمواری زیاد حوضه‌ای کامیاران است.

جدول ۴: مقادیر پارامترهای مورفومتری ناهمواری حوضه‌ای کامیاران

حوضه	ناهمواری حوضه	ضریب ناهمواری	شاخص شدت فرسایش
کامیاران	۱۳۵۶	۰,۰۳۶	۰,۷۹

#### پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی و ارزیابی تاثیرات مورفومتریک بر آن

ویژگی‌های زمین‌شناسی و ژئومورفولوژیکی یک منطقه، چگونگی جریان و ذخیره‌ی آب‌های زیرزمینی را کنترل می‌کنند (آونیش و همکاران؛ ۲۰۱۴، ۱۰۴۸). آنالیز کمی پارامترهای مورفومتریک در ارتباط با شرایط زمین‌شناسی، ژئومورفولوژیکی و توپوگرافی بوده و در بررسی وضعیت ژئوهیدرولوژیکی و پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی اهمیت فراوان دارند (پارتا و پارتا؛ ۲۰۱۱، ۲۵۱). چشمه‌ها محل خروج آب‌های زیرزمینی بوده و از مهمترین شاخص‌های ارزیابی این منابع هستند. شکل (۷) نقشه‌ای پراکنش چشمه‌های حوضه‌ی کامیاران را نشان داده، که بر اساس آن پنج چشمه‌ی پرآب کارستی با دبی میانگین ۶۵ تا ۳۰۵ لیتر بر ثانیه در حاشیه‌ی ارتفاعات کارستی جنوب حوضه قرار دارند. ۳۸ چشمه با دبی ناچیز بیشتر در نواحی مرکزی و شمالی حوضه وجود دارند، که میانگین دبی سالانه‌ی آنها بین ۱ تا ۱۰ لیتر بر ثانیه است. از این رو نواحی جنوب حوضه مشتمل بر ارتفاعات کارستی آژوان - شاخ شکین دارای پتانسیل زیاد و سایر نواحی حوضه دارای پتانسیل کم از نظر منابع آب زیرزمینی هستند. نواحی آهکی و بسیار تکتونیزه در شمال غرب حوضه کامیاران به علت شرایط مورفومتری همچون تراکم زهکشی بالا، فروانی بالای آبراهه‌ها و ... فاقد منابع آب زیرزمینی قابل توجه است. پارامترهای مورفومتری تراکم زهکشی، فراوانی آبراهه‌ها، شماره نفوذ و نسبت انشعاب با میزان ضریب رواناب مرتبط هستند. میزان نفوذ و حرکت رو به پایین آب با طول جریان سطحی مرتبط بوده و بافت زهکشی با ظرفیت نفوذ در ارتباط است. پارامترهای مورفومتریک ناهمواری حوضه عموماً با تحت تأثیر قرار دادن شیب حوضه ضریب رواناب و میزان نفوذ را تحت تأثیر قرار می‌دهد (هاجم و همکاران؛ ۲۰۱۳، ۱۰). پتانسیل آب زیرزمینی حوضه‌ی کامیاران از شرایط مورفومتریک حوضه تأثیر پذیرفته است. نواحی شمالی و مرکزی حوضه، که از سازندهای شیلی، مارنی، رادیولاریتی و آذرین - دگرگونی تشکیل شده‌اند، و همچنین مناطق شمال غربی حوضه متشکل از آهک پلاژیک دارای تعداد زیاد آبراهه‌های رتبه بالا با طول زیاد، نسبت انشعاب و تراکم زهکشی بالا، بافت زهکشی ریز و شماره نفوذ بالا بوده، که همگی حاکی از نفوذپذیری کم و توان کم منابع زیرزمینی در این محدوده می‌باشند. در نواحی کارستی جنوب حوضه کامیاران به علت تراکم کم آبراهه‌ها، تراکم کم زهکشی و بافت

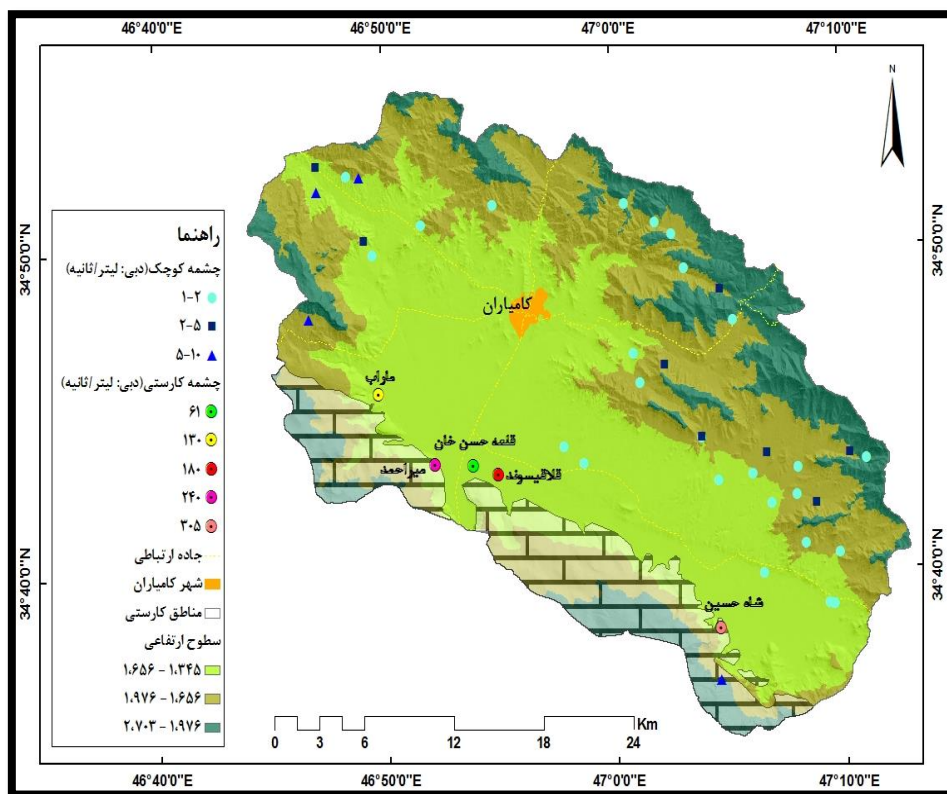
<sup>۱</sup> - Relief ratio (Rr)

<sup>۲</sup> - Sanaullah et al

<sup>۳</sup> - Dissection index (Dis)

<sup>۴</sup> - Avinash et al

زهکشی درشت و شماره نفوذ پایین، ضریب رواناب کم و میزان نفوذ آب زیاد بوده و پتانسیل منابع آب زیرزمینی بالا بوده و این امر با وجود چشمه‌های کارستی پرآب در این محدوده همخوانی دارد.



شکل ۶: نقشه‌ی پراکنش چشمه‌های محدوده حوضه‌ی کامیاران (منبع: داده‌های کمی وزارت نیرو)

### نتیجه گیری

بارزترین ویژگی حوضه‌ی کامیاران تنوع لیتولوژیکی و به دنبال آن شرایط ژئومورفولوژیکی متفاوت در نواحی مختلف این حوضه است. بیشتر مساحت حوضه از سازندهای با نفوذپذیری کم تشکیل شده است. الگوی زهکشی درختی حوضه متأثر از شرایط لیتولوژیکی در نواحی کارستی از نوع باز و در مناطق نفوذناپذیر از نوع متراکم است. از نظر تراکم گسل سازندهای آهکی، سازند بیستون، سری‌های آذرین - دگرگونی و نهشته‌های کواترنری به ترتیب بیشترین تراکم گسل خوردگی را دارا هستند. تنوع و اختلاف لیتولوژیکی حوضه کامیاران بر مقادیر پارامترهای مورفومتریکی خطی حوضه تأثیرگذار بوده به طوری که تعداد آبراهه‌ها (۲۹۷۶) و تعداد آبراهه‌های رتبه اول (۲۳۳۵) حاکی از نفوذپذیری کم مناطق غیر کارستی حوضه است. قوانین هورتون در مورد تعداد و طول آبراهه‌ها در حوضه صادق است. میانگین نسبت انشعاب حوضه کامیاران نشان می‌دهد، الگوی زهکشی بیشتر تحت تأثیر تنوع لیتولوژیکی بوده و ساختارهای زمین شناسی تأثیر کمی بر آن دارند. مقادیر نسبت طول آبراهه‌ها و عدم وجود نظم خاص در مقادیر آنها بیانگر شرایط متفاوت شیب و توپوگرافی در نواحی مختلف حوضه کامیاران بوده و این حوضه از نظر فرسایشی در مراحل آخر جوانی قرار دارد. تراکم زهکشی، فراوانی آبراهه‌ها و بافت زهکشی حوضه‌ی کامیاران به ترتیب بیانگر نفوذپذیری کم و بافت زهکشی بسیارریز در محدوده‌ی شمالی و مرکزی حوضه و نفوذپذیری بالا و بافت بسیار درشت در مناطق کارستی جنوب حوضه است. بنابراین در نواحی نفوذناپذیر حوضه ضریب رواناب بالا و میزان نفوذ کمتر بوده و شرایط در مناطق کارستی برعکس می‌باشد. این تفاوت ناشی از شرایط لیتولوژی و ژئومورفولوژی ناهمگن حوضه است. پارامترهای ضریب شکل حوضه، نسبت کشیدگی و نسبت دایره‌ای حاکی از گردی



شکل حوضه و بالا بودن ضریب رواناب، کم بودن میزان نفوذ و ناهمگنی لیتولوژیکی در حوضه است. پارامترهای مورفومتریکی ناهمواری محاسبه شده برای حوضه‌ی کامیاران نیز حاکی از توپوگرافی نسبتاً ناهموار و شیب متوسط در حوضه است، که این امر نیز نشان دهنده‌ی نفوذپذیری کم و ضریب رواناب بالا می‌باشند. به طور کلی می‌توان اذعان داشت، که تحلیل مقادیر بدست آمده از پارامترهای سه گانه‌ی مورفومتریکی خطی، سطحی و ناهمواری حوضه‌ی کامیاران، نشان دهنده‌ی تأثیر بسیار زیاد شرایط لیتولوژیکی بر پارامترهای مورفومتریکی است. زیرا نواحی شمالی و مرکزی حوضه به علت وجود سازندهای نفوذناپذیر یا با نفوذپذیری کم دارای ویژگی‌های مورفومتری متفاوت از نواحی کارستی جنوب حوضه می‌باشند. منابع آب زیرزمینی حوضه کامیاران به علت تأثیرپذیری پارامترهای مورفومتریکی از شرایط لیتولوژیکی و ژئومورفولوژیکی در نواحی شمالی و مرکزی حوضه دارای پتانسیل کم و در نواحی جنوبی دارای پتانسیل زیاد از نظر منابع آب زیرزمینی می‌باشد. چشمه‌ها خروجی آب زیرزمینی بوده و تعداد و دبی آنها بیانگر وضعیت آب زیرزمینی در هر منطقه است. شکل (۷) وضعیت پراکنش چشمه‌ها و میزان دبی آنها را در حوضه کامیاران نشان می‌دهد. در نواحی شمالی حوضه به علت مساعد نبودن شرایط لیتولوژیکی و ژئومورفولوژیکی و شرایط مورفومتری حاکم بر این نواحی، منابع آب زیرزمینی غنی شکل نگرفته و تنها چندین چشمه کوچک با دبی کمتر از ۱۰ لیتر در حاشیه این ارتفاعات آهکی وجود دارد (شکل ۷). بنابراین شکل گیری ژئومورفولوژی کارست در ارتفاعات جنوبی حوضه، با تحت تأثیر قرار دادن پارامترهای مورفومتریکی و افزایش میزان نفوذ، سبب ایجاد پتانسیل بالای منابع آب زیرزمینی شده و ۵ چشمه‌ی کارستی با دبی بسیار زیاد در جنوب حوضه را شکل داده است (شکل ۷). در نهایت می‌توان گفت پتانسیل آب زیرزمینی حوضه‌ی کامیاران از شرایط مورفومتریکی حوضه تأثیرپذیری داشته و پارامترهای مورفومتریکی نیز تحت تأثیر مستقیم شرایط سنگ شناسی و ژئومورفولوژیکی حوضه می‌باشند.

## منابع

- آمانی، محمد؛ نجفی نژاد، علی، ۱۳۹۳، اولویت بندی زیرحوزه‌ها با استفاده از آنالیز مورفومتری، فنون سنجش از دور و GIS، حوزه آبخیز لهندر، استان گلستان، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، شماره ۹.
- اونق، محمد؛ قربانی، محمدصدیق، ۱۳۹۰، پهنه‌بندی تحول و حساسیت کارست با استفاده از مدل رگرسیون خطی چندمتغیره در منطقه‌ی کارستی شاهو، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره ۱.
- سیدی، ناکو؛ بهرزا نورمند؛ رامین عبدالله کوخی و ارشاد رضانی، ۱۳۹۵، مدل عددی سیستم جریان آب زیرزمینی دشت کامیاران در حالت ناماندگار، ششمین کنفرانس ملی مدیریت منابع آب ایران، کردستان، دانشگاه کردستان،
- صالحی، حسین؛ حقی‌زاده، علی، ۱۳۹۴، ارزیابی و پهنه‌بندی کیفیت آب‌های زیرزمینی با استفاده از تلفیق مدل AqQA و سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: دشت کامیاران)، نشریه علمی - ترویجی مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، دوره هفتم، شماره ۱.
- Agarwal, C. S. 1998. Study of drainage pattern through aerial data in Naugarh area of Varanasi district, UP. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 26(4), 169-175.
- Altın, T. B., Altın, B. N. 2011. Development and morphometry of drainage network in volcanic terrain, Central Anatolia, Turkey. Geomorphology, 125(4), 485-503.
- Avinash, K., Deepika, B., & Jayappa, K. S. 2014. Basin geomorphology and drainage morphometry parameters used as indicators for groundwater prospect: insight from geographical information system (GIS) technique. Journal of Earth Science, 25(6), 1018-1032.
- Bharathkumar, L., Mohammed-Aslam, M. A. 2009. Prioritizing Groundwater Potential Zones Using Morphometric Analysis: A Case Study of Gulbarga Watershed.

- Chatterjee, A., Tantubay, A. 2009. *Morphometric Analysis for Evaluating Groundwater Potential Zones, In Kusangai Jor Watershed Area, Dist. Bolangir, Orissa.*
- Geena, G. B., Ballukraya, P. N. 2011. *Morphometric analysis of Korattalaiyar River basin, Tamil Nadu, India: A GIS approach. International Journal of Geomatics and Geosciences, 2(2), 383.*
- Hajam, R. A., Hamid, A., Bhat, S. 2013. *Application of morphometric analysis for geo-hydrological studies using geo-spatial technology—a case study of Vishav Drainage Basin. Hydrol Current Res, 4(157), 2.*
- Horton, R. E. 1932. *Drainage-basin characteristics. Eos, transactions american geophysical union, 13(1), 350-361.*
- Horton, R. E. 1945. *Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. Geological society of America bulletin, 56(3), 275-370.*
- Hurtrez JE, Sol C, Lucazeau F .1999. *Effect of drainage area on hypsometry from an analysis of small-scale drainage basins in the Siwalik hills (central Nepal). Earth Surf Process Landform.*
- Ismail, A. A., Clark, I. 2016. *Using GIS techniques and quantitative morphometric analysis to evaluate the groundwater resources in the central flinders ranges, South Australia.*
- Jobin, T., Joseph, S., Thrivikramji, K. P., & Abe, G. 2011. *Morphometric analysis of the drainage system and its hydrological implications in the rain shadow regions, Kerala, India. Journal of Geographical Sciences, 21(6), 1077.*
- Kanth, T. A., Hassan, Z. 2012. *Morphometric analysis and prioritization of watersheds for soil and water resource management in Wular catchment using geo-spatial tools. International Journal of Geology, Earth and Environmental Sciences, 2(1), 30-41.*
- Nag, S. K. 1998. *Morphometric analysis using remote sensing techniques in the Chaka sub-basin, Purulia district, West Bengal. Journal of the Indian society of remote sensing, 26(1-2), 69-76.*
- Pareta, K., Pareta, U. 2011. *Quantitative morphometric analysis of a watershed of Yamuna basin, India using ASTER (DEM) data and GIS. International journal of Geomatics and Geosciences, 2(1), 248.*
- Pirasteh, S., Safari, H. O., Pradhan, B., Attarzadeh, I. 2010. *Lithomorphotectonics analysis using Landsat ETM data and GIS techniques: Zagros Fold Belt (ZFB), SW Iran. Int Geoinformatics Res Dev J, 1(2), 28-36.*
- Rai, P. K., Chandel, R. S., Mishra, V. N., Singh, P. 2018. *Hydrological inferences through morphometric analysis of lower Kosi river basin of India for water resource management based on remote sensing data. Applied Water Science, 8(1), 15.*
- Rai, P. K., Mohan, K., Mishra, S., Ahmad, A., Mishra, V. N. 2017. *A GIS-based approach in drainage morphometric analysis of Kanhar River Basin, India. Applied Water Science, 7(1), 217-232.*
- Rajpoot, P. S., Kumar, A., Goyal, S., Trivedi, R. K. 2015. *Morphometric analysis and hydrogeomorphological implication of Paisuni river basin Chitrakoot, Madhya Pradesh, India. Journal of Biology and Earth Sciences, 5(1), 68-73.*
- Rukmini Florence, K. N., Satyanarayana Moorthy, D. V. 2017. *Delineation of Groundwater Potential zones of Swarnamukhi sub watershed using RS GIS, International Journal of Engineering Development and Research, Vol 5:Pp:18-23.*
- Samadder R K, Kumar S, Gupta R P .2011. *Palaeochannels and their potential for artificial groundwater recharge in the western Ganga plains. J Hydrol (Amst), 400(1 – 2): 154–164.*

- Sanaullah, M., Ahmad, I., Arslan, M., Ahmad, S. R., Zeeshan, M. 2018. *Evaluating Morphometric Parameters of Haro River Drainage Basin in Northern Pakistan*. *Polish Journal of Environmental Studies*, 27(1).
- Schumm S.A. 1956. *Evolution of drainage systems and slopes in Badlands at Perth Amboy, New Jersey*. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, v.67, pp.597-646..
- Singh, S., Singh, M. C. 1997. *Morphometric analysis of Kanhar river basin*. *National Geographical Journal of India*, 43(1), 31-43.
- Smith, B., & Sandwell, D. 2003. *Accuracy and resolution of shuttle radar topography mission data*. *Geophysical Research Letters*, 30(9).
- Smith, K. G. 1950. *Standards for grading texture of erosional topography*. *American Journal of Science*, 248(9), 655-668.
- Sreedevi, P. D., Subrahmanyam, K., Ahmed, S. 2005. *The significance of morphometric analysis for obtaining groundwater potential zones in a structurally controlled terrain*. *Environmental Geology*, 47(3), 412-420.
- Strahler, A. N. 1964. *Part II. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks*. *Handbook of Applied Hydrology: McGraw-Hill, New York*, 4-39.
- Waikar, M. L., Nilawar, A. P. 2014. *Morphometric analysis of a drainage basin using geographical information system: a case study*. *International journal of multidisciplinary and current research*, 2, 179-184.
- Zhang, H. Y., Shi, Z. H., Fang, N. F., Guo, M. H. 2015. *Linking watershed geomorphic characteristics to sediment yield: Evidence from the Loess Plateau of China*. *Geomorphology*, 234, 19-27.