

روابط مورفومتریک آبکندهای استان ایلام

بنفشه یثربی^{۱*}، مجید صوفی^۲، سید خلاق میرنیا^۳ و جهانگرد محمدی^۴

^۱ استادیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، اهواز، ^۲ دانشیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، ^۳ دانشیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس و ^۴ استاد، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۱۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۳/۰۹

چکیده

این پژوهش با هدف انجام مطالعات مورفومتری، بررسی ارتباطات هندسی بین آن‌ها، در دو کاربری مرتعی و کشاورزی انجام شده است. در ابتدا، ویژگی‌های هندسی و توپوگرافی ۱۲۰ آبکند در بخش نیمه‌خشک استان شامل عرض بالا، عمق، عرض پایین، ارتفاع بالا، همچنین، ویژگی‌های سطح حوزه آبخیز آبکندها شامل میزان پوشش سطحی و خاک لخت به‌وسیله پلات‌های یک متر مربعی به همراه نمونه‌های ترکیبی خاک از سطح حوزه آبخیز و دیواره آبکندها برداشت شد. بر نمونه‌های خاک آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی از قبیل بررسی بافت خاک، مواد آلی، آهک کل و فعال، هدایت الکتریکی، اسیدیته، سدیم، منیزیم و کلسیم در آزمایشگاه انجام شد. نتایج بررسی روابط مورفومتریک آبکندها نشان داد که نسبت عرض بالا به عمق آبکندهای کشاورزی و مرتعی به ترتیب برابر با ۲/۱ و ۱/۵ بوده، نسبت عرض بالا به طول به ترتیب در کاربری کشاورزی و مرتعی برابر با ۰/۴۱ و ۰/۵۷ به دست آمد که در نتیجه آبکندهای مرتعی کشیدگی بیشتری داشته‌اند. رابطه معکوس نمایی بین شاخص‌های فوق با شیب نشان داد که عوامل توپوگرافی بر شکل نهایی آبکندها تاثیرگذار بوده است. شاخص عرض پایین به عرض بالا به ترتیب در آبکندهای کشاورزی و مرتعی برابر با ۰/۳۳ و ۰/۳۰ و شکل مقطع‌های عرضی به ترتیب دوزنقه و V بوده است. نتایج همچنین نشان داد که عامل شیب ۱۴ درصد از تغییرات مساحت مقطع‌های عرضی را تبیین کرده، رشد عرضی آبکندها در کاربری‌های کشاورزی و مرتعی به ترتیب ۸۴ و ۷۳ درصد از تغییرات حجم فرسایش را تبیین کرده است و عوامل با تاثیر مثبت بر تغییر حجم فرسایش آبکندی میزان ماسه در خاک سطحی، کاربری و شیب بودند. آبکندهای مورد مطالعه در هر دو کاربری دارای بعد فراکتال متوسط ۱/۰۸ بوده‌اند و به‌صورت خطی با افزایش طول و به‌صورت توانی با افزایش حجم آبکندها افزایش یافته است. توان مساحت در قاعده هک در آبکندهای کشاورزی و مرتعی به ترتیب برابر با ۰/۵۰ و ۰/۵۴ بوده است.

واژه‌های کلیدی: ایران، بعد فراکتال، قانون هک، کاربری مرتع و کشاورزی، ویژگی‌های هندسی

مقدمه

فرسایش آبی، آبکند^۲ از این نظر می‌تواند نقش مهمی داشته باشد. Taleb Bidokhti و همکاران (۲۰۰۳)، نام آبکند را برای گالی بیان کرده، این‌گونه شرح می‌دهند

فرسایش آبی یکی از مهمترین دلایل زوال و تخریب سرزمین^۱ است و از بین رخساره‌های مختلف

* مسئول مکاتبات: b.yasrebi@areeo.ac.ir

² Gully

¹ Land degradation

ارایه شده است. به طور مثال در تحقیقی که Hack (۱۹۵۷) در خصوص پروفیل آبراهه‌ها در ویرجینیا و مریلند آمریکا انجام داده بود، یک رابطه توانی بین مساحت حوزه آبخیز و طول مستقیم رودخانه از خروجی تا خط‌الراس ارائه داد. او در شرایط متفاوت، توان این رابطه را $0/6$ محاسبه کرد و نتیجه گرفت که این رابطه تحت تاثیر زمین‌شناسی حوضه‌ها قرار نمی‌گیرد. این قاعده که به قانون هک^۱ معروف است، به‌عنوان یکی از اساسی‌ترین قوانین ژئومورفولوژی شناخته می‌شود و Bennett و Liu (۲۰۱۵) این قاعده را در فرسایش شیاری مطالعه کردند و نتایج آن‌ها نشان داد که توان $0/5$ در مراحل مختلف تکامل شیارها ثابت است که نشان‌دهنده خودتشابهی و ثبات ارتباطات مقیاسی در این رخساره است. اما Caraballo-Arias و همکاران (۲۰۱۴) معتقدند که توان قانون هک برای آبکندها زیر $0/5$ می‌باشد که نشان می‌دهد، حوضه با افزایش طول کشیده‌تر نمی‌شود.

در پژوهش‌هایی که به‌وسیله Schumm و همکاران (۱۹۸۷) ارائه شده است، به نقل از Parker (۱۹۷۷) شاخص عرض بالا به طول ارایه شده است که هر چه کوچک‌تر باشد، نشان‌دهنده کشیده‌تر بودن کانال است. دو نوع حالت رشدی متفاوت در کانال‌ها بیان می‌کند که وابسته به شیب می‌باشد. بر این اساس، در شیب‌های بیشتر، رشد کانال‌ها به‌صورت اسکلتی بوده، کانال‌ها رشد سریع‌تری داشته، در نهایت کشیده‌تر و دارای سرشاخه‌های کمتری هستند که به این حالت رشدی، رشد طولی^۲ اطلاق می‌شود. اما در شیب‌های کمتر، شبکه کانال‌ها رشد کندتری داشته، در نهایت شبکه‌ای که تشکیل می‌شود، دارای سرشاخه‌های بیشتر و از نظر ریخت‌شناسی، شبکه‌ای درهم و پیچیده‌تر است. به این رشد، جانبی (عرضی)^۳ گفته می‌شود و به نقل از Mosely (۱۹۷۲) رابطه بین شاخص عرض بالا به طول و شیب را یک رابطه خطی معکوس بیان می‌کنند و نتیجه می‌گیرند که با افزایش شیب کانال‌ها کشیده‌تر شده و از میزان عرض بالای

که آبکند نوعی فرسایش خطی است که از طریق ایجاد سر آبکند و گسترش آبراهه‌های کوچک با شکل‌های مختلف و مقطع‌های گوناگون دیده می‌شود. عمق آن بیش از ۳۰ سانتی‌متر و به سه شکل خطی، جبهه‌ای و پنجه‌ای تقسیم می‌شود. برخی از محققین نیز تلاش کرده‌اند که به‌منظور شناسایی آبکندها از سایر اجزای خطی طبیعت، مرزهای هندسی تعیین کنند. به‌طور مثال، کانال‌های فرسایشی که کمینه مقطع عرضی آن‌ها ۹۲۹ سانتی‌متر مربع باشد، آبکند نام‌گذاری می‌شوند (Hauge, ۱۹۷۷) و یا کانال‌های فرسایشی که دارای کمینه عرض ۳۰ و کمینه عمق ۵۰ سانتی‌متر باشند، آبکند اطلاق می‌شود (Bocco, ۱۹۹۱). آبکندها به‌طور معنی‌داری در افزایش میزان تولید رسوب حوضه‌ها نقش دارند و سهم مشارکت آن‌ها بین ۱۰ تا ۹۴ درصد بیان شده است (Poesen و همکاران، ۲۰۰۳). در مطالعات آزمایشگاهی هم فرسایش آبکندی در زمان اولیه تشکیل بیشترین میزان تولید رسوب را در مقایسه با دیگر اشکال فرسایشی داشته است (Momm و همکاران، ۲۰۱۷). آبکندها حدود یک میلیون هکتار از مساحت کشور را اشغال کرده‌اند که میزان رسوب تولیدی آن‌ها به‌طور متوسط ۷۰ تن در هکتار تخمین زده می‌شود (Yusefi, ۲۰۱۳) و به‌طور متوسط در ۱۲ استان کشور حجم واحد طول آبکندها حدود ۲۳ متر مکعب بیان شده است (Azami و همکاران، ۲۰۰۸).

دلیل اصلی که برای تشکیل آبکند عنوان می‌شود، شکست تعادل بین حجم رواناب عبوری از کانال و ظرفیت آن است (Junior و همکاران، ۲۰۱۰) که به دنبال دخالت ارزیابی نشده انسان از طریق جاده‌سازی، تغییرات گسترده کاربری و رشد جمعیت در شرایط اکولوژی حساس پدید می‌آید و پس از ایجاد، به سرعت رشد می‌کنند و ابعاد خود را گسترش می‌دهند (Sidorchuck, ۱۹۹۹). تحقیقات Heede (۱۹۷۰) نشان داد که مطالعات مورفولوژی آبکند اولین و بهترین راه برای درک فرایند آبکند است، زیرا مورفولوژی آبکند ارتباط بین گذشته، حال و آینده آبکند است. به عبارت دیگر، با مطالعه وضعیت فعلی می‌توان آینده توسعه آبکند را پیش‌بینی کرد. در مطالعات کانال‌ها شاخص‌های مورفومتری متفاوتی هم

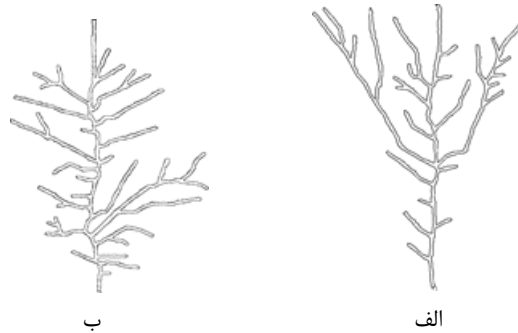
¹ Hack Law

² Extension Mode

³ Expansion Mode

آن‌ها کاسته می‌شود و در نهایت خصوصیات توپوگرافی ابتدایی زمین را در شکل نهایی کانال‌ها تاثیرگذار

دانسته‌اند. شکل نهایی کانال‌ها در شیب‌های متفاوت در شکل ۱ دیده می‌شود.



شکل ۱- نحوه گسترش کانال‌ها در شیب‌های متفاوت، (الف) رشد طولی و (ب) رشد عرضی (برگرفته از Schumm و همکاران، ۱۹۸۷)

شاخص مورفومتری دیگری که در مطالعات آبکندها مورد بررسی قرار می‌گیرد، رابطه حجم-طول است که ارتباطی توانی است و در کانال‌های متفاوت دارای عوامل مقیاسی متفاوتی بوده‌اند و طول به تنهایی حدود ۸۰ درصد از تغییرات حجم را تبیین می‌کند (Nachtergaele و همکاران، ۲۰۰۱؛ Caraballo-Arias و همکاران، ۲۰۱۴). طول آبکنده تنها به‌عنوان یک متغیر زودیافت در تخمین حجم آبکنده می‌تواند به‌کار رود (Jafari Garzin و همکاران، ۲۰۰۷؛ Sadeghi و همکاران، ۲۰۰۹؛ Rezaei Moghadam و Behbodi، ۲۰۱۱)، بلکه در کانال‌های متفاوت ضریب a می‌تواند نشان‌دهنده نوع کانال فرسایشی باشد. به‌طور مثال، در مطالعات Di Stefano

و همکاران (۲۰۱۳) در ایتالیا رابطه طول-حجم در کانال‌های متفاوت نشان داد که در روابط توانی ارایه شده توان b تقریباً مشابه اما ضریب‌های ۰/۰۳۶، ۰/۰۹۸ و ۳۵/۸ به‌ترتیب برای شیارها، آبکندهای موقتی و آبکندها به‌دست آمده است، اما در مطالعات Ferro و Di Stefano (۲۰۱۱) در اسپانیا ضریب رابطه برای آبکندهای موقتی ۰/۰۴۲۳ و برای شیارها برابر با ۰/۰۳۹ برآورد شد و توان b برای هر دو نوع کانال حدود ۱/۱۹ بود و در استان فارس هم دامنه تغییر ضریب a و توان b به‌ترتیب یک تا ۱۰/۸ و ۰/۸ تا ۱/۴ برآورد شده است (Kompanizare و همکاران، ۲۰۱۱). سایر روابط طول-حجم ارایه شده برای آبکندها در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- روابط طول-حجم آبکندها در مطالعات مختلف

محل مطالعه	ارایه‌دهنده	رابطه
اسپانیا	Nachtergaele و همکاران (۲۰۰۱a)	$V = 0.048L^{2.29}$
پرتغال	Nachtergaele و همکاران (۲۰۰۱b)	$V = 0.05L^{1.27}$
ایتالیا	Capra و همکاران (۲۰۰۵)	$V = 0.0082L^{1.4}$
ایران-گرگان	Isaei و Soufi (۲۰۱۲)	$V = 5.64L^{1.24}$
اتیوپی	Frankl و همکاران (۲۰۱۳)	$V = 0.562L^{1.38}$

شاخص عرض بالا-عمق آبکنده شاخص ریخت‌شناسی دیگری است که با شیب نسبت عکس دارد. کانال‌های طبیعی اندازه و شکل خود را با رژیم هیدرولوژیکی تنظیم می‌کنند. بنابراین، با تغییر در خصوصیات جریان انتظار می‌رود که کانال‌ها نیز دارای

هندسه متفاوتی باشند. دفتر حفاظت خاک امریکا (۱۹۶۶) و Frankl و همکاران (۲۰۱۳) تغییر در ابعاد کانال را ناشی از عوامل زمین‌شناسی می‌دانند، در حالی‌که Schumm و همکاران (۱۹۸۷) به‌نقل از Moseley (۱۹۷۲)، Vandekereckhove و همکاران

شمارش جعبه سرعت تکامل شیارها و تئوری‌های مختلف تکامل کانال‌ها را کمی کردند. نتایج نشان داد که بیشینه بعد شبکه شیارها حدود ۱/۴ بوده، بیشینه تولید رسوب شیارها در بعد حدود ۱/۱۶ رخ داده است و به مرور با گذشت زمان میزان تولید رسوب کاهش یافت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش: استان ایلام با وسعتی در حدود دو میلیون هکتار در جنوب غربی ایران واقع شده است. در شکل ۱، موقعیت استان مذکور در کشور نشان داده شده است. مساحت کل عرصه‌های آبکندهی استان برابر با ۲۶۱۰۹۱ هکتار است که حدود ۱۳ درصد از استان را می‌پوشاند (Azami و همکاران، ۲۰۰۸).

بر طبق دوره آماری ۴۰ ساله (از ۱۳۵۱ تا ۱۳۹۱) میزان بارش متوسط سالیانه استان برابر ۴۲۷ میلی‌متر با رژیم زمستانه که بیشترین بارش در ماه بهمن اتفاق می‌افتد. دمای متوسط استان در حدود ۲۰ درجه سانتی‌گراد و میزان متوسط تبخیر از سطح تشتک ۲۷۱۷ میلی‌متر است. بر اساس طبقه‌بندی دومارتن اصلاح شده، استان ایلام دارای سه منطقه اقلیمی نیمه‌خشک، خشک و نیمه‌مرطوب است که به ترتیب حدود ۵۸، ۳۱ و ۱۱ درصد از سطح استان را اشغال می‌کنند. از نظر زمین‌شناسی، استان ایلام در زون زاگرس چین‌خورده واقع شده است و سازندهای گروه بنگستان، گرو، گچساران و آغاچاری به ترتیب حدود ۱۲، ۲۶، ۱۷ و ۲۲ درصد و نهشته‌های کواترنر نیز ۲۳ درصد از سطح استان را به خود اختصاص داده‌اند و بیشترین پراکنش آبکندها بر سازند آغاچاری است.

عمده کاربری اراضی استان شامل جنگل و مرتع می‌باشد. حدود ۶۴۰ هزار هکتار از اراضی استان دارای پوشش جنگلی است و گونه‌های غالب آن شامل بلوط و بنه با گونه‌های همراه زالزالک، ارژن و کیکم که بیشتر در مناطق صخره‌ای و پرشیب با خاک‌های آهکی استقرار یافته‌اند. حدود یک میلیون هکتار از اراضی استان، تحت پوشش مرتع است که گونه‌های آن در تیره‌های متعدد جای می‌گیرند. از نظر تشکیل آبکندها، حدود ۹۰ درصد از آبکندهای استان در کاربری

(۲۰۰۰)، Nachtergaele و همکاران (۲۰۰۱)، Raff و همکاران (۲۰۰۴)، Munoz-Robles و همکاران (۲۰۱۰) و Di Stefanof و همکاران (۲۰۱۳) تغییر در شاخص عرض بالا به عمق کانال را ناشی از تغییرات توپوگرافی می‌دانند. اما Rahi (۲۰۰۹) تغییر در عمق کانال را ناشی از تغییر در کاربری و عمق آبکندها در اراضی مرتعی را نصف عمق در کاربری کشاورزی می‌داند.

در این مطالعه هم تلاش شده است که علاوه بر شاخص‌های مورفومتری مطرح شده در مطالعات قبلی، شاخص جدیدی به نام بعد فراکتال^۱ برای آبکندها استفاده شود. از نظر هندسی، فراکتال عبارت از یک شکل، الگو و ساختار ژئومرفیک پیچیده است که بر خلاف اشکال معمول، بزرگ‌نمایی موجب ساده‌تر شدن آن نمی‌شود و از تکرار یک الگو تشکیل می‌شوند (Mohammadi، ۲۰۱۰). اشکال فراکتالی با استفاده از بعد فراکتال کمی شده، توصیف می‌شوند. بعد، مفهوم و طریقی است که با استفاده از آن می‌توان اندازه یک موجودیت را اندازه‌گیری کرد (Mohammadi، ۲۰۱۰). در حقیقت، بعد فراکتال نشان‌دهنده میزان پیچیدگی و درجه خود تشابهی موجودیت مورد بررسی است. در هندسه اقلیدسی اشکال دارای ابعاد صحیح می‌باشند. به‌طور مثال، مربع دارای بعد دو است، اما فراکتال‌ها دارای ابعاد اعشاری هستند که هرچه این عدد بزرگ‌تر باشد، نشان می‌دهد، موجودیت مورد بررسی پیچیده‌تر می‌باشد. برای شکل‌های اقلیدسی می‌توان با اندازه‌گیری طول و عرض و یا ارتفاع بعد آن‌ها را سنجش کرد، اما در فراکتال‌ها روش‌های متفاوتی برای تعیین بعد فراکتال وجود دارد که دو روش اصلی برای این کار روش گام به گام^۲ و روش شمارش جعبه^۳ می‌باشد. پرکاربردترین روش شمارش جعبه است. در این مطالعه، با کمی‌شدن الگوی آبکندها تلاش شده است که ارتباطی بین بعد فراکتال آبکندها به‌عنوان یک پارامتر ریخت‌شناسی سهل‌الوصول و سایر خصوصیات مورفومتری برقرار شود. پیش از این Yasrebi و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از روش

¹ Fractal dimension

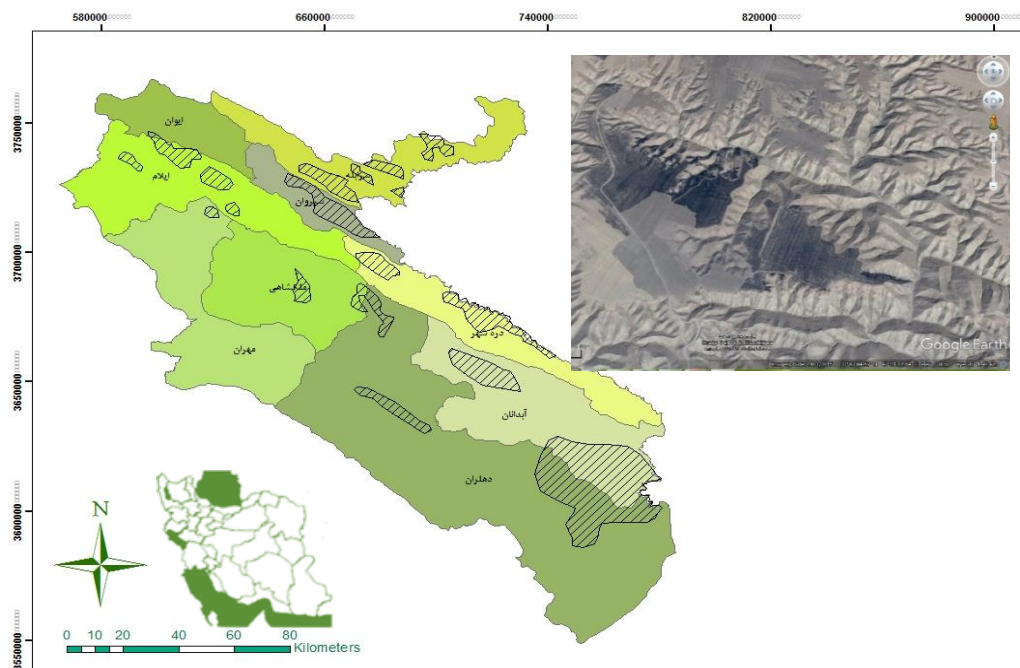
² Divider

³ Box-counting

مرتفع، زراعت و حریم شهرها هستند و تنها حدود ۱۰ درصد از آن در اراضی با پوشش جنگلی تشکیل یافته است.

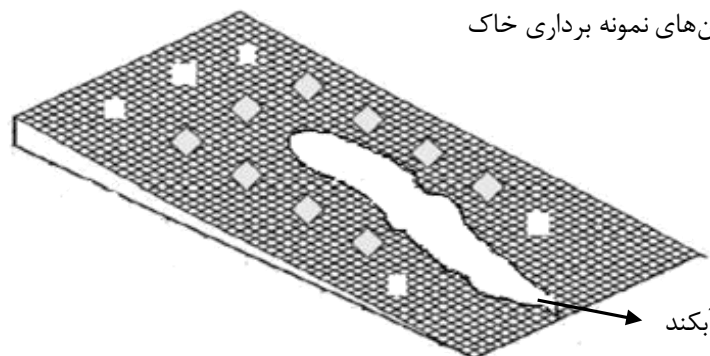
روش پژوهش: برای محاسبه خصوصیات مورفومتریک آبکندها، ابتدا طول و ارتفاع پیشانی آبکندها اندازه‌گیری و سپس عرض بالا و عرض پایین در سه مقطع ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد از طول آبکند برداشت شد و میانگین آن‌ها به عنوان عرض بالا و پایین یک آبکند در نظر گرفته شد. برای آبکندها و سطح زهکش زیر یک هکتار تغییر زیاد در خصوصیات خاک بعید به نظر می‌رسید. بنابراین، یک نمونه خاک ترکیبی از خاک سطحی حوزه آبخیز بالادست به روش

سیستماتیک و با الگوی شبکه‌ای برداشت شد که در شکل ۲ ارائه شده است. برای آبکندهایی با سطح زهکش در حدود یک هکتار، تعداد نمونه‌های خاک تا سه عدد افزایش می‌یافت و دو نمونه ترکیبی دیگر نیز از دیواره‌های آبکند با تازه کردن سطح خاک برداشت می‌شد. در مجموع، از آبکندهای مورد مطالعه ۲۶۰ نمونه خاک با وزن ۰/۵ کیلوگرم برداشته شد که از آن ۱۳۵ نمونه مربوط به خاک سطح حوضه و ۱۲۵ نمونه مربوط به خاک زیرسطحی یا دیواره‌های آبکند بوده است که از آن‌ها برای بررسی بافت خاک، مواد آلی، آهک کل و فعال، هدایت الکتریکی، اسیدیته، سدیم، منیزیم و کلسیم در آزمایشگاه استفاده شد.



شکل ۱- موقعیت استان ایلام در ایران و عرصه‌های آبکندهای استان، تصویری از آبکندها پهنه دره شهر (نقشه پهنه‌های آبکندهای استان ایلام برگرفته از Azami و همکاران، ۲۰۰۸)

مکان‌های نمونه برداری خاک



شکل ۲- تصویر شماتیک از نحوه برداشت نمونه‌های خاک در حوضه آبکندها (اقتباس از Pennock و همکاران، ۲۰۰۸)

عرصه عکسی گرفته شد، به نحوی که الگوی آن به طور کامل در تصویر مشخص باشد، از تصاویر برداشت شده از هر آبکند با استفاده از نرم افزار Photoshop Cs5 الگوی آبکندها استخراج شد. الگوی مستخرج از آبکندها در نرم افزار ImageJ وارد و دو مقداره شد. در ادامه، با استفاده از برنامه پیوستی FracLac بعد فراکتال آبکندها به روش شمارش جعبه استخراج شد. در تنظیمات این نرم افزار به روش سعی و خطا تا جایی که بعد فراکتال برآورد شده ثابت شد، کوچکترین اندازه جعبه برابر با دو پیکسل و بزرگترین آن برابر با ۵۰ درصد اندازه تصویر در نظر گرفته شد. چینش جعبه‌ها نیز به ۲۰ حالت در نظر گرفته شد و در نهایت بعد فراکتال متوسط اعلام شد. شکل ۳، محیط نرم افزار و نمونه‌ای از الگوی آبکندها را نشان می‌دهد.

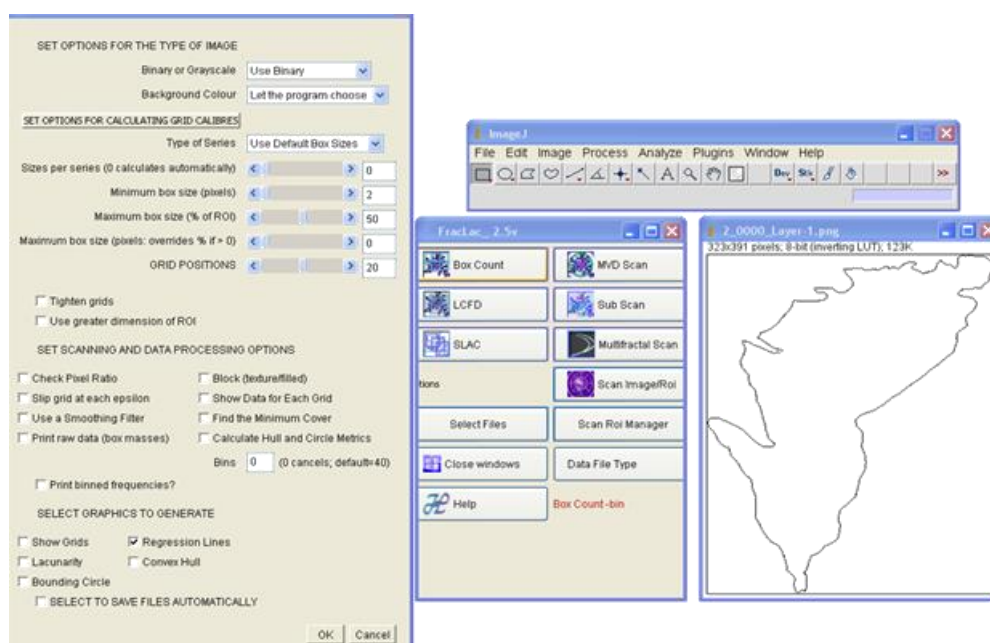
نتایج و بحث

طول حدود ۷۰ درصد از آبکندهای مورد مطالعه بین پنج تا ۱۵ متر بوده است و بر اساس تقسیم‌بندی رایج شده به وسیله Geyik (۱۹۸۶) از نظر عمق در دسته متوسط (یک تا پنج متر) قرار می‌گیرند. جدول ۲، مشخصات هندسی آبکندهای برداشت شده را به طور متوسط نشان می‌دهد.

به منظور بررسی وضعیت پوشش گیاهی حوضه‌های مولد رواناب آبکندها، با استفاده از یک پلات یک متر مربعی میزان پوشش سطحی شامل درصد پوشش گیاهی در اردیبهشت ماه، درصد سنگریزه و همچنین، میزان خاک لخت در سطح پلات‌ها تخمین زده شد. پلات‌ها به روش سیستماتیک و در مکان‌های مختلف حوزه آبخیز بالادست و کناره‌ها گذاشته شدند، سپس، اندازه‌گیری‌ها انجام گرفت. در نهایت برای هر آبکند با میانگین‌گیری، میزان متوسط پوشش، سنگریزه و خاک لخت تعیین شد.

با استفاده از مقاطع عرضی برداشت شده و طول آبکند، حجم‌های جزئی آبکندها محاسبه شد (Munoz-Robles و همکاران، ۲۰۱۰). حجم‌های جزئی از ضرب میانگین دو مقطع مجاور در فاصله بین آن‌ها محاسبه می‌شود (Soleimanpour و همکاران، ۲۰۱۰) و در نهایت، از مجموع حجم‌های جزئی حجم کل آبکند به دست می‌آید. شاخص‌های شکل آبکندها نیز با استفاده از تقسیم عرض بالا به طول، عرض بالا به عمق و عرض پایین به عرض بالا به دست آمد. سپس، با استفاده از ماتریس‌های همبستگی تاثیر عوامل محیطی بر هندسه آبکندها بررسی شد و عواملی که باعث افزایش یا کاهش ابعاد آبکندها می‌شوند، استخراج شدند.

برای محاسبه بعد فراکتال آبکند از هر آبکند در



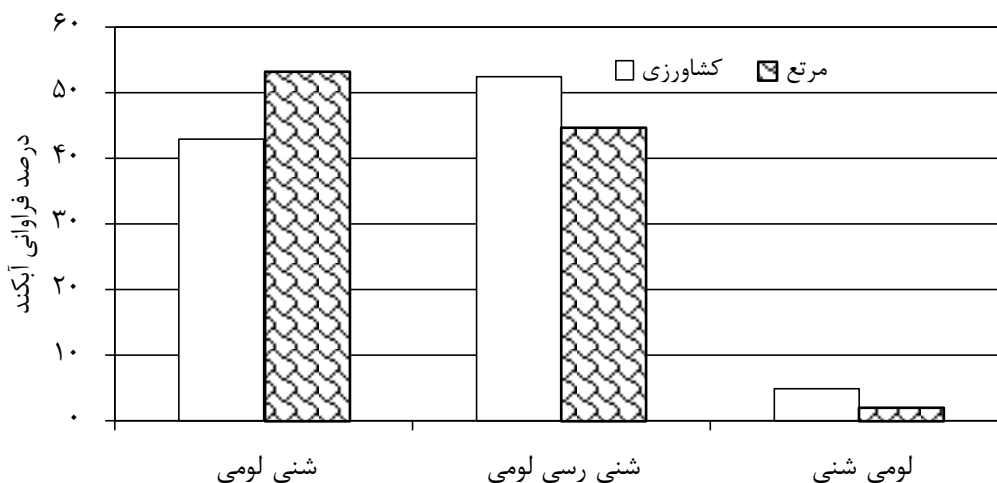
شکل ۳- محیط نرم افزار ImageJ و برنامه پیوستی FracLac

جدول ۲- مشخصات هندسی متوسط آبکندهای مورد مطالعه به تفکیک کاربری

عوامل	کاربری زراعت (n=۴۴)			کاربری مرتع (n=۷۲)		
	کمینه	میانه	بیشینه	کمینه	میانه	بیشینه
ارتفاع بالاکنند (متر)	۰/۵۰	۰/۶۰	۴/۶۷	۰/۷۰	۰/۶۴	۳/۴۳
طول (متر)	۲/۵	۴/۸۲	۲۶	۲/۵	۴/۹۰	۴۰
عرض بالا (متر)	۰/۹۰	۲/۳۵	۱۱	۰/۶۰	۲/۲۰	۱۳
عرض پایین (متر)	۰/۲۰	۲/۴۴	۴	۰/۱۸	۰/۴۹	۱/۸۵
عمق (متر)	۰/۴۰	۱/۳۰	۷	۰/۴۶	۱/۴۰	۶
حجم (مترمکعب)	۰/۳۲	۹/۳۱	۱۰۹۲	۰/۷۰	۱۲/۴۱	۱۰۲۸

بر اساس تقسیم‌بندی ارایه شده به‌وسیله Zarrinkafsh (۱۹۹۳) خاک سطحی در منطقه مورد مطالعه خیلی آهکی (آهک کل بیش از ۴۳ درصد در کاربری زراعت و ۴۷ درصد در کاربری مرتعی)، غیرشور (هدایت الکتریکی ۰/۳۱۳ دسی‌زیمنس بر متر در کاربری زراعت و ۰/۲۲ دسی‌زیمنس بر متر در کاربری مرتع) و فقیر (ماده آلی در کاربری زراعت ۱/۳۷ درصد و در مرتع ۱/۳۳ درصد) است. از نظر

فیزیکی نیز، در کاربری مرتعی بیشترین فراوانی آبکندها در خاک‌های شنی لومی و در کاربری زراعت در خاک‌های شنی رسی لومی بوده است. در هر دو کاربری، ماسه فراوان‌ترین ذره موجود در بافت خاک سطحی می‌باشد، اما در خاک زیرسطحی فراوان‌ترین ذره سیلت است. توزیع آبکندها در بافت‌های مختلف خاک بر اساس کاربری در شکل ۴ نشان داده شده است.



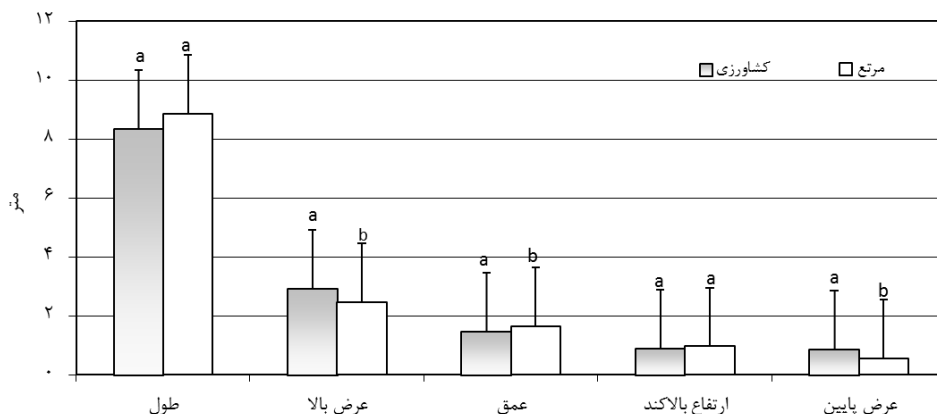
شکل ۴- توزیع آبکندها در بافت‌های خاک برداشت شده

برای بررسی نقش پوشش خاک سطحی بر خصوصیات مورفومتری آبکندهای واقع در کاربری مرتعی از آزمون من-ویتنی یو استفاده شد. مقدار میانه خاک لخت سطح حوزه آبخیز آبکندها در حدود ۶۰ درصد است. میزان کمینه و بیشینه پوشش گیاهی سطح حوزه مولد رواناب که عمدتاً هم از گراس‌های یک‌ساله هستند، به‌ترتیب یک و ۸۰ درصد و مقدار

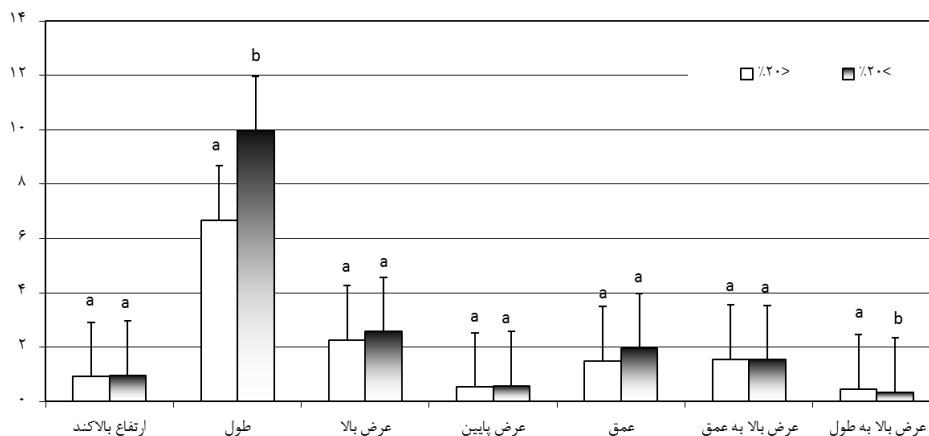
برای بررسی تاثیر کاربری بر خصوصیات مورفومتری از آزمون من-ویتنی یو استفاده شد که نتایج آن در شکل ۵ نشان داده شده است. نتیجه نشان می‌دهد که آبکندها از نظر عرض بالا، عمق و عرض پایین دارای اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد هستند، اما از نظر طول و ارتفاع بالاکنند تفاوت معنی‌داری در دو کاربری مشاهده نمی‌شود.

ریخت‌شناسی آبکندها در دو گروه مقدار سنگریزه پایین و بالای مقدار میانه تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد نشان می‌دهد که در شکل ۶ نشان داده شده است.

میانه و میانگین به ترتیب ۱۵ و ۲۴ درصد است. پوشش کمینه و بیشینه سنگریزه در سطوح مولد رواناب برابر با پنج و ۷۵ درصد و میزان میانه و میانگین به ترتیب ۲۰ و ۲۱ درصد می‌باشد. خصوصیات



شکل ۵- مقایسه خصوصیات ریخت‌شناسی آبکندها در دو کاربری



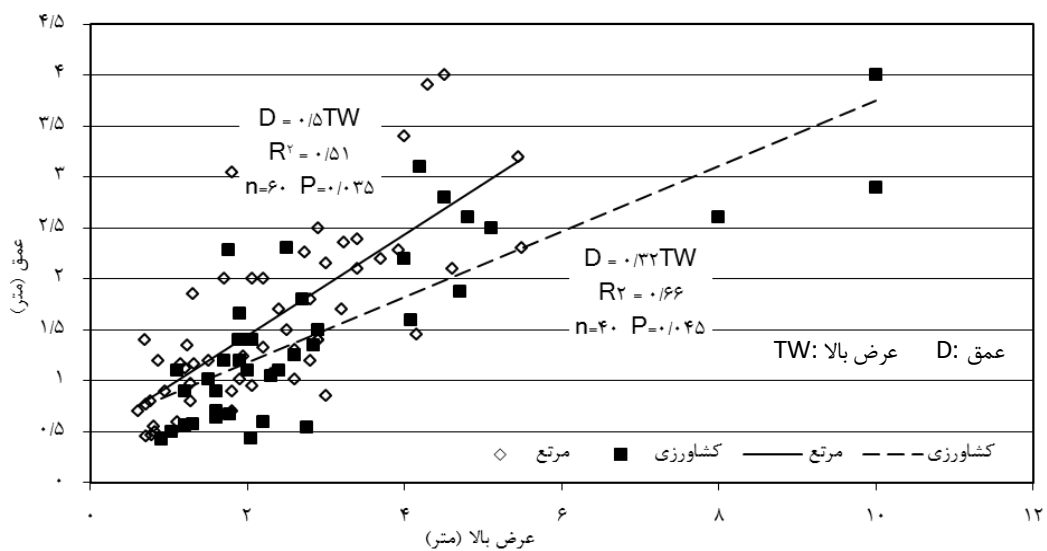
شکل ۶- خصوصیات ریخت‌شناسی آبکندهای اراضی مرتعی در مقادیر متفاوت سنگریزه

برابر آبکندهای کشاورزی است و آبکندهای واقع در اراضی کشاورزی نسبت به آبکندهای اراضی مرتعی دارای رشد عرضی بیشتری هستند و عمل تعریض در اراضی کشاورزی نقش بیشتری در افزایش حجم کانال‌ها دارد، در حالی‌که در اراضی مرتعی تعمیق است که نقش اصلی را در افزایش حجم آبکندها دارد. این شاخص با شیب نسبت عکس دارد و با افزایش شیب سطحی به عمق کانال‌ها افزوده می‌شود. Vandekereckhove و همکاران (۲۰۰۰) در متوسط شیب سطحی ۱۴ درصد نقش تعریض را به‌عنوان عامل اصلی توسعه آبکندها عنوان می‌کنند. در منطقه مورد مطالعه نیز در کاربری زراعت این شاخص با شیب در

در بررسی شاخص‌های مورفومتریک آبکندها برخی از مشخصات آبکندها به دلیل بزرگ بودن و یا خطای اندازه‌گیری از مدل‌سازی‌ها حذف شدند و دلیل متفاوت بودن تعداد داده‌ها در مدل‌های متفاوت همین مسئله است. شاخص عرض بالا به عمق آبکندها در دو کاربری در شکل ۷ ارایه شده است. این نسبت در کاربری کشاورزی و مرتعی به ترتیب برابر با ۲/۱ و ۱/۵۷ می‌باشد. رابطه ارایه شده بین عرض بالا و عمق آبکندها مانند روابطی که به‌وسیله دفتر حفاظت خاک امریکا (۱۹۶۶) و Frankl و همکاران (۲۰۱۳) ارایه شده است، یک رابطه خطی است. با توجه به روابط ارایه شده عمق آبکندها در اراضی مرتعی تقریباً ۱/۵

(۱۹۷۲)، Vandekereckhove و همکاران (۲۰۰۰)، Nachtergaele و همکاران (۲۰۰۱)، Raff و همکاران (۲۰۰۴)، Munoz-Robles و همکاران (۲۰۱۰) و Di Stefanof همکاران (۲۰۱۳) تغییر در شاخص عرض بالا به عمق کانال را ناشی از تغییرات توپوگرافی می‌دانند که با نتایج مطالعه حاضر نیز مطابقت دارد، اما Rahi (۲۰۰۹) تغییر در عمق کانال را ناشی از تغییر در کاربری و عمق آبکندها در اراضی مرتعی را نصف عمق در کاربری کشاورزی می‌داند.

سطح پنج درصد دارای رابطه معنی‌دار می‌باشد، اما در حالی که در کاربری مرتعی با شیب سطحی بیشتر شاخص فوق دارای رابطه معنی‌داری نیست. کانال‌های طبیعی اندازه و شکل خود را با رژیم هیدرولوژیکی تنظیم می‌کنند. بنابراین، با تغییر در خصوصیات جریان انتظار می‌رود که کانال‌ها نیز دارای هندسه متفاوتی باشند. دفتر حفاظت خاک آمریکا (۱۹۶۶)، Frankl و همکاران (۲۰۱۳) تغییر در ابعاد کانال را ناشی از عوامل زمین‌شناسی می‌دانند، در حالی که Schumm و همکاران (۱۹۸۷) به نقل از Moseley



شکل ۷- تغییرات عمق به عرض بالا در دو کاربری مرتعی و کشاورزی

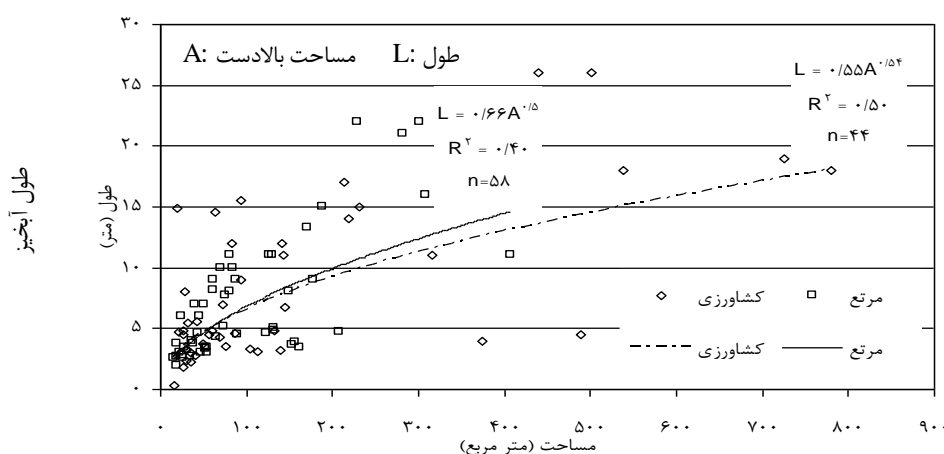
جریان، پیشروی طولی آبکند را امکان‌پذیرتر از عرضی می‌کند. نتایج مطالعه حاضر با نتایج Mosely (۱۹۷۲) و Parker (۱۹۷۷) نقل شده به‌وسیله Schumm و همکاران (۱۹۸۷)، Vandekereckhove و همکاران (۲۰۰۰) مطابقت دارد. اما Schumm و همکاران (۱۹۸۷) به نقل از Mosely (۱۹۷۲) میزان کاهش شاخص فوق را با افزایش ۱۰ درصدی در شیب در مقیاس حوزه آبخیز و شبکه آبراهه‌ای حدود ۰/۲۶ عنوان می‌کنند و در مطالعه حاضر و در فرایندهای دامنه‌ای میزان کاهش برابر با ۰/۸۶ می‌باشد. بنابراین، شاید بتوان گفت، تغییر مقیاس مطالعه نیز در سرعت کاهش موثر است. شاخص عرض پایین به عرض بالا که نشان‌دهنده شکل مقاطع عرضی می‌باشد، در کاربری‌های کشاورزی و مرتعی به‌ترتیب برابر با ۰/۳۳ و ۰/۳ می‌باشد که نشان می‌دهد که مقاطع عرضی در

شاخص عرض بالا به طول در آبکندهای مرتعی و کشاورزی به‌ترتیب برابر با ۰/۴۱ و ۰/۵۷ است. این شاخص هر چه کوچک‌تر باشد، نشان‌دهنده کشیدگی بیشتر آبکند است. این شاخص رابطه قوی و معنی‌داری با شیب نشان نمی‌دهد و تاییدکننده تغییرات زیاد عرض بالا در شیب‌های متفاوت است. این احتمال در خصوص آبکندها تقویت می‌شود که توپوگرافی اولیه زمین بر شکل نهایی آبکندها تاثیرگذار است. دلیل افزایش طول با افزایش شیب این است که در شیب‌های تندتر آبکندها تمایل دارند که پیش از آن که به آبکند دیگری متصل شوند، طول جریان را افزایش دهند. در حقیقت در شیب‌های تندتر آبکندها تمایل به افزایش طول جریان دارند و مسافت بیشتری از طول شیب را طی کنند، چون انرژی جریان بیشتر است. با بیشتر شدن شیب و در نتیجه انرژی بیشتر

مختلف بیان می‌کند. Dietrich و Montgomery (۱۹۹۲) توان ۰/۴۹ را برای رودخانه‌ها با اندازه‌های متفاوت ارائه می‌کند و معتقد هستند که از این نظر رودخانه‌ها به مقیاس وابسته نیستند و به نقل از Muller (۱۹۷۳) نیز توان رابطه را با توجه به اندازه حوضه بین ۰/۵ تا ۰/۶ بیان می‌کند. Caraballo-Arias (۲۰۱۴) توان زیر ۰/۵ را برای آبکندهای تشکیل شده در بدلندها ارایه می‌کند. در مطالعه حاضر این رابطه برای مقیاس دامنه و فرایندهای دامنه‌ای مورد بررسی قرار گرفته است و توان رابطه مشابه با توانی است که برای فرایندهای رودخانه‌ای و در مقیاس‌های متفاوت ارایه شده است. اما به نظر می‌رسد که در فرسایش آبکندهای این رابطه تحت تاثیر کاربری و شرایط توپوگرافی قرار بگیرد.

کاربری کشاورزی ذوزنقه و در کاربری مرتعی V شکل می‌باشد و ارتباط بین مساحت مقطع عرضی آبکندها و شیب نشان می‌دهد که تنها ۱۴ درصد از تغییرات مساحت مقطع‌های عرضی به وسیله شیب تبیین می‌شود.

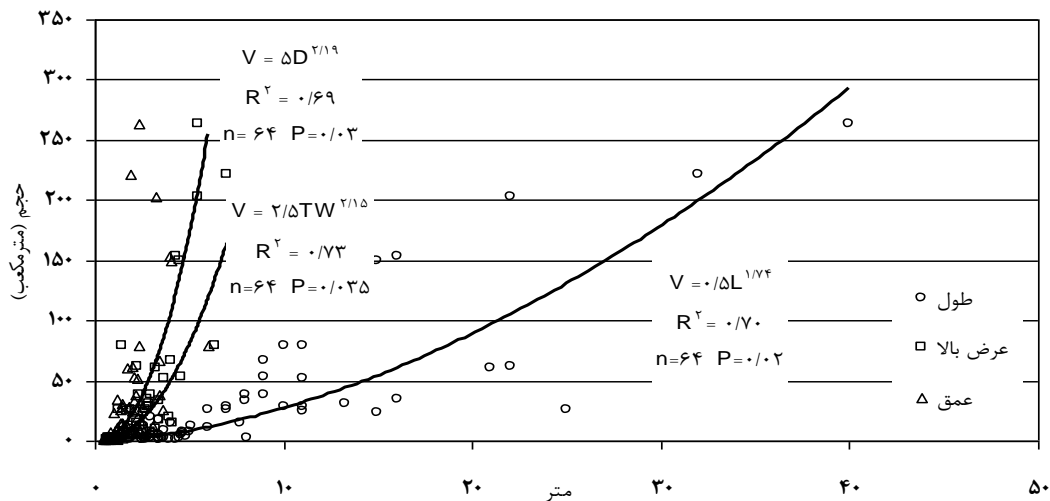
به منظور بررسی قانون هک در آبکندها، ارتباط طول و مساحت حوزه آبخیز آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت که نتیجه آن در شکل ۸ نشان داده شده است. تغییرات این دو متغیر با یکدیگر به صورت همسنگ است و شکل حوزه آبخیز آبکندها کشیده نیست. با افزایش ۱۰۰ درصدی در مساحت حوزه آبخیز، طول آبکندها در هر دو کاربری ۷۰ درصد افزایش می‌یابد. Hack (۱۹۵۷) بیان می‌کند که این رابطه تحت تاثیر شرایط محیطی نیست و توان ۰/۶ را برای رودخانه‌های



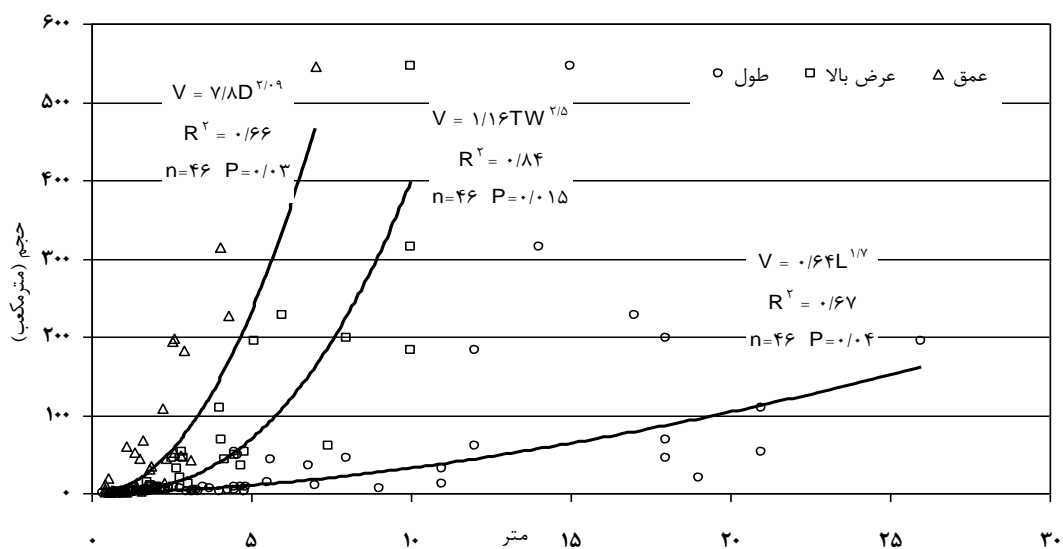
شکل ۸- قانون هک در حوزه آبخیز آبکندها

مهاواره‌ای بیشتر مورد توجه و بررسی قرار گرفته است. در روابط ارایه شده، همچنان که در جدول ۱ هم آمده است، دامنه تغییرات ضریب a از ۰/۰۰۳۶ تا ۳۵/۸ و توان b ۱/۰۴ تا ۱/۷۴ می‌باشد. روابط ارایه شده، دارای ضریب رگرسیون بالای ۵۰ درصد می‌باشند. بنابراین، می‌توان گفت که طول آبکندها می‌تواند به عنوان یک عامل مهم در تعیین حجم آبکندها استفاده شود، اما دامنه تغییرات ضریب و توان رابطه نیز نشان می‌دهد که تحت تاثیر شرایط محیطی قرار می‌گیرد و در شرایط متفاوت می‌بایست، روابط منطقه‌ای ارایه شود.

رابطه بین حجم و سایر مشخصات هندسی آبکندها برای کاربری‌های مرتعی و کشاورزی در شکل‌های ۹ و ۱۰ ارایه شده است. روابط ارائه شده در هر دو کاربری توانی بوده و افزایش حجم آبکندها با رشد عرضی و عمقی سرعت بیشتری به نسبت افزایش طول دارد. در منطقه مورد مطالعه به نظر می‌رسد، عرض بالا تخمین‌های بهتری از حجم آبکندها ارایه می‌کند، اما اندازه‌گیری آن مشکل می‌باشد. پس از عرض بالا، طول آبکندها تخمین‌های دقیق‌تری از حجم ارایه می‌کند که با توجه به سهولت اندازه‌گیری طول آبکندها در عرصه و قابلیت اندازه‌گیری آن بر تصاویر



شکل ۹- رابطه بین حجم با طول، عرض بالا و عمق در آبکندهای مرتعی



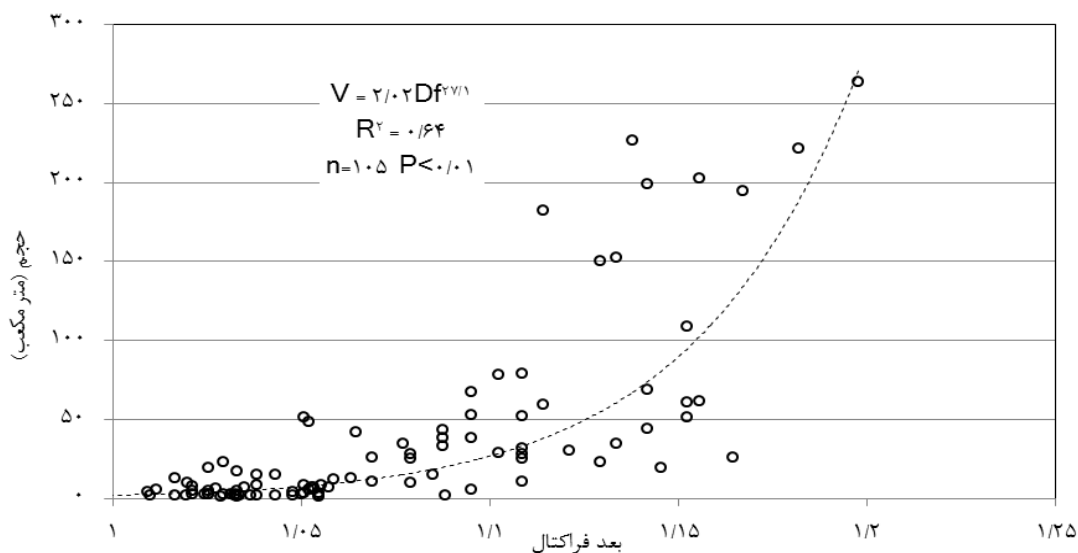
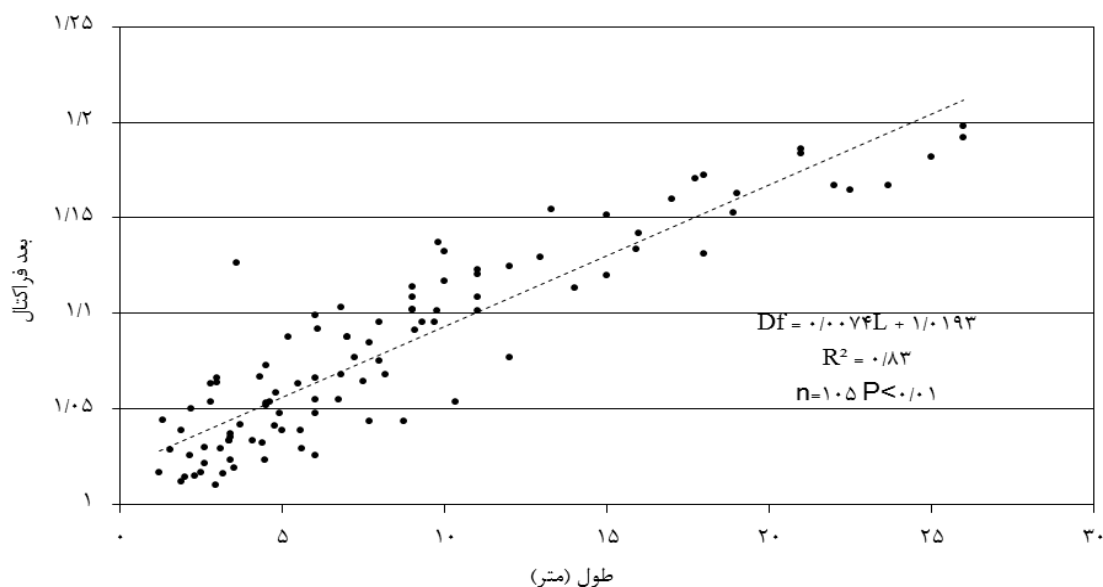
شکل ۱۰- رابطه بین حجم با طول، عرض بالا و عمق در آبکندهای کشاورزی

آبکند است. هر چه این ضریب بزرگ‌تر باشد، حساسیت منطقه به تشکیل آبکند نیز بیشتر می‌باشد. محاسبه بعد فراکتال آبکندها از الگوی‌های استخراج شده نشان می‌دهد که آبکندها در هر دو کاربری به یک میزان دارای شاخه‌های فرعی بوده، در ابتدای توسعه می‌باشند. شکل ۱۱ نشان می‌دهد که افزایش بعد فراکتال و ایجاد انشعاب در آبکندها هماهنگ با رشد طولی کانال‌ها رخ خواهد داد. تغییرات حجم آبکندها با تغییرات بعد فراکتال به صورت شکل ۱۱ می‌باشد. همچنان‌که دیده می‌شود، با افزایش بعد فراکتال و تحول بیشتر آبکندها حجم فرسایش نیز به صورت توانی افزایش می‌یابد. در

توان b بیشتر نشان می‌دهد که با رشد طولی آبکند حجم آبکند رشد بیشتری خواهد داشت. در منطقه مورد مطالعه، در ازای افزایش یک متر طول آبکند، ۵۰ درصد به حجم آن اضافه می‌شود. در حال حاضر، حجم واحد طول آبکندها در کاربری کشاورزی و مرتعی به ترتیب برابر با $۶/۲۵$ و $۳/۷۷$ می‌باشد. بر اساس مطالعات Capra و همکاران (۲۰۰۹) ضریب a عامل مقیاس است که با توجه به اندازه کانال تغییر می‌کند. در روابط ارائه شده نیز شیارها دارای کمترین میزان a می‌باشند. بنابراین، می‌توان گفت، ضریب a نشان‌دهنده حساسیت و شرایط منطقه از نظر تشکیل

رشد طولی دائمی نیست و بر اساس مطالعات Yasrebi و همکاران (۲۰۱۳) با رشد شیارها و افزایش بعد فراکتال آن‌ها و عبور از ۱/۱۶ سرعت افزایش بعد فراکتال و فرسایش به صورت خطی کاهش می یابد.

مطالعات Yasrebi و همکاران (۲۰۱۳) بیشترین تولید رسوب شیارها در ابتدای مراحل تشکیل و با بعد فراکتال ۱/۰۶ تا ۱/۱۶ بوده است. به نظر می رسد که آبکندهای مورد مطالعه در ابتدای گسترش و تولید بالای رسوب باشند. هرچند که روند افزایش حجم با



رس خاک، آبکندهای کوچک تری تشکیل می شوند، در حالی که با افزایش ماسه، در سطح یک درصد حجم آبکندهای تشکیل یافته افزایش خواهد یافت که با نتایج Rahi (۲۰۰۹) و Soleimanpour و همکاران (۲۰۱۲) هم خوانی دارد. بر اساس نتایج نیز توپوگرافی

به منظور بررسی عوامل موثر بر شکل و اندازه آبکندها از ماتریس همبستگی استفاده شد. با توجه به ضرایب همبستگی می توان گفت خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در هر دو کاربری بر خصوصیات هندسی آبکندها تاثیرگذار می باشد. با افزایش میزان

اراضی کشاورزی و ۳۱ درصد از تغییرات نسبت عرض بالا به طول را در کاربری مرتعی و ۱۴ درصد از تغییرات مساحت سطح مقطع عرضی را در هر دو کاربری تبیین می‌کند. در نتیجه می‌توان گفت، تندی شیب بر شکل نهایی آبکندها تاثیرگذار است به‌صورتی که حجم واحد طول آبکندها در کاربری کشاورزی ۶۰ درصد بیش از آبکندهای واقع در کاربری مرتعی می‌باشد. بنابراین، به نظر می‌رسد که در منطقه مورد مطالعه آبکندهای واقع در شیب‌های کمتر و به‌خصوص در اراضی کشاورزی در اولویت مدیریت و کنترل می‌باشند و در این خصوص تنها کنترل بالاکنند کافی نیست و کنترل دیواره‌ها به‌منظور کنترل رشد عرضی نیز دارای اهمیت است. در بررسی شکل حوزه آبخیز آبکندها (قانون هک) مشخص شد که رشد طولی آبکندها در کاربری مرتع به‌صورت هم‌سنگ با اندازه مساحت بالادست آبکند می‌باشد و همراه با رشد طولی آبکندها حوضه آن‌ها کشیده‌تر نمی‌شود. با توجه به مشابهت توان قانون هک در آبکندها که مشابه با توان ارایه شده در حوضه رودخانه‌ها می‌باشد، می‌توان گفت، فرایند آبکندی نیز مانند فرایندهای رودخانه‌ای فرایندی بدون مقیاس بوده که از خصوصیات فراکتالی آن‌ها منشأ می‌گیرد.

و کاربری نیز بر تفاوت حجم آبکندها می‌تواند موثر باشد که با نتایج Santisteban و همکاران (۲۰۰۵) نیز مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر با هدف بررسی خصوصیات ریخت‌شناسی آبکندها و کشف روابط بین آن‌ها به روش اندازه‌گیری مستقیم در کاربری‌های کشاورزی و مرتعی استان ایلام انجام پذیرفته است. در این پژوهش برای نخستین‌بار با استفاده از محاسبه بعد فراکتال الگوی آبکندها کمی شده، ارتباط آن با رشد طولی و حجم آبکندها نشان داده شده است و نیز آستانه‌های توپوگرافی شروع و گسترش آبکندها به‌طور جداگانه مورد بررسی قرار گرفته‌اند. نتایج نشان داد که آبکندهای مورد مطالعه در دامنه شیب پنج تا ۵۰ تشکیل یافته بودند و محدودیتی از نظر توپوگرافی برای تشکیل آن‌ها وجود نداشته است. به علاوه، این‌که آبکندها در دو بافت خاک شنی رسی لومی و شنی لومی بیشترین فراوانی تشکیل را داشته‌اند. بررسی شکل و اندازه آبکندها حاکی از آن است که توپوگرافی نقش عمده‌ای در تغییر شکل مقطع‌های عرضی آبکندها دارد. به‌طوری که تندی شیب به تنهایی ۴۷ درصد از تغییرات نسبت عرض بالا به عمق آبکندها در

منابع مورد استفاده

1. Azami, A., K. Siavashi, M. Jafari and A. Pirani. 2008. Morphoclimatic classification of Ilam Province gullies. Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, 112 pages (in Persian).
2. Bennett, S.J. and R. Liu. 2016. Basin self-similarity, Hack's law and the evolution of experimental rill networks. *Geology*, 44(1): 35-38.
3. Bocco, G. 1991. Gully erosion processes and models. *Progress in Physical Geography*, 15: 392-406.
4. Capra, A., L.M. Mazzara and B. Scicolone. 2005. Application of the egem model to predict ephemeral gully erosion in Sicily, Italy. *Catena*, 59: 133-146.
5. Capra, A., C.D. Stefano, V. Ferro and B. Scicolone. 2009. Similarity Between morphological characteristics of rills and ephemeral gullies in Sicily, Italy. *Hydrological Processes*, 23: 3334-3341.
6. Caraballo-Ariasa, N.A., C. Conoscentib, C.D. Stefano and V. Ferro. 2014. Testing GIS-morphometric analysis of some Sicilian badlands. *Catena*, 113: 370-376.
7. Santisteban, L.D., J. Casali, J.J. Lopez, J.V. Giraldez, J. Poesen and J. Nachtergaele. 2005. Exploring the role of topography in small channel erosion. *Earth Surface Processes and Landforms*, 30: 591-599.
8. Di Stefano, C., V. Ferro, V. Pampalone and F. Sanzone. 2013. Field investigation of rill and ephemeral gully erosion in the sparacia experimental area, south Italy. *Catena*, 101: 226-234.
9. Frankl, A., J. Poesen, N. Scholiers, M. Jacob, M. Haile, J. Deckers and J. Nyssen. 2013. Factors controlling the morphology and volume (V), Length (L) relations of permanent gullies in the northern ethiopian highlands. *Earth Surface Processes and Landforms*, 38: 1672-1684.
10. Geyik, M.P. 1986. FAO watershed management field manual (gully control), Rome, FAO.
11. Hauge, C. 1977. Soil erosion definitions. State Forest Notes (Department of Forestry, California), 67 pages.

12. Heede, B.H. 1970. Morphology of gullies in the Colorado Rocky Mountains. Bulletin of the International Association of Scientific Hydrology, Xv: 79-89.
13. Ilam natural resources and watershed management landscape. 2010. 50 pages.
13. Jafari Gorzin, B., R.A. Domehry, M. Safai and S.H. Ahmadian. 2007. Some models for gully growth forecast, case study: Sorkh Abad Catchment. Pajouhesh va Sazandegi in Natural Resources, 75: 108-117.
14. Junior, O.S., R. Guimaraes and L. Freitas. 2010. Urbanization impacts upon catchment hydrology and gully development using multi-temporal digital elevation data analysis. Earth Surface Processes and Landforms, 35: 611-617.
15. Kompani-Zare, M., M. Soufi, H. Hamzehzarghani and M. Dehghani. 2011. The effect of some watershed, soil characteristics and morphometric factors on the relationship between the gully volume and length in Fars Province, Iran. Catena, 86: 150-159.
16. Mohammadi, J. 2010. Pedometry-fractal geometry. Pelk Publication, Tehran, 250 pages.
17. Momm, H., R. Wells and J. Bennett Sean. 2017. Disaggregating soil erosion processes within an evolving experimental landscape. Earth Surface Processes and Landforms, 43(2): 543-552.
18. Montgomery, D.R. and W.E. Dietrich. 1992. Channel initiation and the problem of landscape scale. Science, 255: 826-830.
19. Munoz-Robles, C., N. Reid, P. Frazier, M. Tighe, S.V. Briggs and B. Wilson. 2010. Factors related to gully erosion in woody encroachment in south eastern Australia. Catena, 83: 148-157.
20. Nachtergaele, J., J. Poesen, A. Steegen, I. Takken, L. Beuselinck, L. Vandekerckhove and G. Govers. 2001a. The value of a physically based model versus an empirical approach in the prediction of ephemeral gully erosion for Loess-Derived soils. Geomorphology, 40: 237-252.
21. Nachtergaele, J., J. Poesen, L. Vandekerckhove, D. Wijdenes and M.J. Roxo. 2001b. Testing the Ephemeral Gully Erosionmodel (EGEM) for two mediterranean environments. Earth Surface Processes and Landforms, 26: 17-30.
22. Poesen, J., J. Nachtergaele, G. Verstraetena and C. Valentin. 2003. Gully erosion and environmental change. Importance and Research Needs, Catena, 50: 91-133.
23. Raahi, Gh, A.A. Nazari Samani, H. Ahmadi and A. Salagheghe. 2009. Soil effectin factors on gully formation in Ganaveh. Range and Watershed Management, 4(42): 459-472.
24. Raff, D.A., J.A. Ramí'Rez and J.L. Smith. 2004. Hillslope drainage development with time a physical experiment. Geomorphology, 62: 169-180.
25. Rezai Moghadam, M.H. and A. Behboudi. 2011. EGEM model on ephemeral gullies sediment prouduction in Sarad Chai Chatchment. Environmenta Geography, Spring and Summer, 12: 135-154.
26. Sadeghi, S.H.R, F. Nourmohammadi, M. Soufi and B. Yasrebi. 2009. Allometric models of gully growth in Darreh Shahr in Ilam Province. Watershed Management Studies, 85: 38-44.
27. Schumm, S.A., M.P Mosley and W.E. Weaver. 1987. Exprimental fluvial geomorphology. Wiley-Interscience, 413 pages.
28. Sidorchuck, A. 1999. Dynamic and static models of gully erosion. Catena, 37: 401-414.
29. Soleimanpour, S.M, M. Soufi, H. Ahmadi and A. Salajegheh. 2010. Topographic thereshold of gully initiation in bare land of Fars Province. 8th Watershed Management Science and Engineering Conference, Lorestan University (in Persian).
30. Soleimanpour, S.M., M. Soufi and H. Ahmadi. 2010. Waershed charectristics effective factors on gully development, Fedagh, Larestan. 6th National Watershed Management Confrence and 4th National Erosion and Sediment Confrence, Nour, Mazandaran (in Persian).
31. Soufi, M. and H. Isaie. 2012. The relationship between gully characteristics and sediment production in the northeast of Iran, Golestan Province.
http://Www.Tucson.Ars.Ag.Gov/Isco/Isco15/Pdf/Soufi%20m_The%20relationship%20between.pdf
32. Stefano, C. and V. Ferro. 2011. Measurements of rill and gully erosion in Sicily. Hydrological Processes, in Press.
33. Taleb Bidokhti, N., S. Shahoe, A.A. Behnia, F. Behboudi, S.H.R Sadeghi and A. Malek. 2003. Soil erosion and sedimentation dictionary. Forest, Range and Watershed Management Organization, 386 pages (in Persian).
34. USDA-SCS. 1966. Technical release No. 32 Geology. US Department of Agriculture, Washington, Dc, 125-142.
35. Vandekerckhove, L., J. Poesen, D. Oostwoudwijdenes, J. Nachtergaele, C. Kosamas, M. Roxo and T. De Figueiredo. 2000. Thresholds for gully initiation and sedimentation in Mediterranean Europe. Earth Surface Processes and Landforms, 25: 1201-1220.

37. Yasrebi, B., S.J. Bennett and M. Soufi. 2013. Rill network evolution landscape degradation and its fractal signature. 6th International Symposium on Gully Erosion in a changing World (6th ISGE), 6-12 May 2013, Iasi-Romania.
38. Yousefi, A. 2013. Determination of environmental and biological factors affecting on gully formation in drylands of Ilam Province. MSc Thesis, Ilam University, 80 pages (in Persian).
39. Zarrin Kafsh. M. 1993. Applied pedology. Tehran University, 220 pages (in Persian).