

تعیین ویژگی‌های مؤثر بر هدررفت خاک ناشی از آبکندها، مطالعه موردی: فتح آباد-بوئین‌زهره

رضا بیات^۱، افسانه عالی نژادیان بیدآبادی^{۲*}، مجید صوفی^۳، عباس ملکی^۴ و امید علی اکبرپور^۵

^۱ دانشجوی دکتری فیزیک و حفاظت خاک دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه لرستان، ^۲ استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، ^۳ دانشیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران، ^۴ استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان و ^۵ استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۰۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۲۹

چکیده

مدیریت فرسایش آبکندی نیازمند شناخت عوامل مؤثر بر آن است. این پژوهش، باهدف طبقه‌بندی آبکندها و تعیین مؤثرترین ویژگی‌های مؤثر بر هدررفت خاک در منطقه فتح‌آباد بوئین‌زهره در استان قزوین انجام شد. محل بالاکنده ۲۴ آبکنده منتخب با سامانه موقعیت‌یاب جهانی ثبت و مشخصات شکلی مثل طول، عرض و عمق آن‌ها اندازه‌گیری شد. حجم کل هدررفت خاک با جمع احجام جزئی در مقاطع تغییر شکل آبکنده تعیین شد. نمونه‌های سطحی خاک از بالاکنده تهیه و نوع بافت، EC، pH، ماده آلی و برخی آنیون‌ها و کاتیون تعیین شدند. شاخص‌های مرتبط به شکل آبخیز از مدل رقومی ارتفاع حاصل از پردازش تصاویر پهپاد استخراج شد. گروه‌بندی آبکندها، همبستگی بین عوامل و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی به ترتیب با استفاده از تحلیل خوشه‌ای و رگرسیون چند متغیره به روش گام‌به‌گام انجام شد. نتایج تحقیق نشان داد، آبکندها دارای بالاکنده عموماً عمودی، مقطع عرضی دوزنقه‌ای شکل و دارای پلان عمومی خطی هستند. متوسط عمق بالاکنده، عمق در ۵۰ درصد طول آبکنده و متوسط طول آن‌ها به ترتیب ۰/۴، ۰/۶ و ۲۵ متر بود. بافت خاک لوم و متوسط اجزای تشکیل‌دهنده بافت خاک شامل شن، سیلت و رس به ترتیب ۳۰، ۴۶ و ۲۴ درصد به دست آمد. متوسط شوری هشت dSm^{-1} و متوسط pH نمونه‌ها ۸/۴ بود. حجم کل هدررفت خاک با متغیرهای به ترتیب سطح مقطع متوسط، متوسط عرض پایین و بالای آبکنده، میزان شن، متوسط عمق آبکنده و طول کل دارای ضرایب همبستگی بیشتر از ۰/۶ و در سطح یک درصد معنی‌دار بودند. نتایج رگرسیون چند متغیره نیز نشان داد که از مؤثرترین ویژگی‌های مؤثر بر هدررفت خاک به وسیله آبکندهای منطقه به ترتیب درصد اشباع، مقدار شن، طول حوضه، مساحت حوضه و ضریب گردی به ترتیب بیشترین تأثیر را در برآورد هدررفت خاک داشتند که وارد معادله پیش‌بینی هدررفت خاک شدند.

واژه‌های کلیدی: آبخیز، بالاکنده، پهپاد، رگرسیون، قزوین، مساحت

مقدمه

بدو خلقت زمین فعال بوده، تاریخچه‌ای همراه با دوره‌های زمین‌شناسی دارد. افزایش جمعیت و نیاز به

فرسایش خاک همانند سایر پدیده‌های طبیعی از

دو مقطع عرضی در مساحت همان مقطع عرضی به دست آمد. نتایج بیانگر این است که حجم آبکندهای این استان با متغیرهای طول، عمق و عرض فوقانی آبکند، دارای یک رابطه خطی معنی داری در سطح یک درصد است.

پژوهشی که روی مناطق آبکندی مناطق خشک شمال اتیوپی انجام شد، نشان داده به علت وجود توپوگرافی، شیب زیاد و از بین بردن پوشش گیاهی، آبکندهای عمیق و عریضی در منطقه ایجاد شده است. در نتایج پژوهش، تأکید شده که آبکندها مشکل جدی برای توسعه این نواحی بوده، باعث کاهش تولیدات کشاورزی از طریق فرسایش خاکهای مستعد کشاورزی، بیابان زایی، وقوع سیلاب، رسوب و افزایش آلودگی در پایین دست شده است (Frankl و همکاران، ۲۰۱۱). پژوهش دیگری که در اسپانیا و به منظور بررسی عوامل مؤثر بر ایجاد آبکندها انجام گرفت، مشخص کرد که فعالیت‌های انسانی و تغییرات کاربری نقش مؤثری در افزایش سیلاب و ایجاد آبکند داشته است. همچنین، مطالعه در این زمینه بر اهمیت تهیه داده‌های سه بعدی مکانی با وضوح بالا برای پایش دقیق آبکندها تأکید کرده است (Marzolf و همکاران، ۲۰۱۱).

نتایج پژوهش Mansour (۲۰۱۴) در حوزه آبخیز Jgawa نیجریه نشان داد که مقدار شن و مواد آلی سطح خاک دیواره آبکند کم بوده که باعث افزایش فرسایش پذیری و نهایتاً هدررفت بیشتر خاک شده است. همچنین، باعث ایجاد خسارت شدید به اراضی زراعی، مسیرهای ارتباطی و سکونتگاه‌ها شده و مشکلات بزرگی را برای مردم روستا ایجاد کرده است. Nowhegar و Heydarzadeh (۲۰۱۱)، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و مشخصات مورفومتریک آبکندهای منطقه گزیر در استان هرمزگان را بررسی کردند. نتایج پژوهش، بیان می‌کند که افزایش مقدار شوری آب و خاک، افت سطح ایستایی آب‌های زیرزمینی، کمبود بارندگی و بارش با شدت زیاد در مدت کم، از جمله عوامل مؤثر در گسترش آبکندهای منطقه گزیر (استان هرمزگان) هستند.

Soleimanpour و همکاران (۲۰۱۳)، با اندازه‌گیری

ویژگی‌های خاک سطحی و حوزه آبخیز و پوشش

غذا و توسعه فعالیت‌های عمرانی، تعادل طبیعت را بهم زده، باعث شده تا برخی پدیده‌ها نیز به جای حالت طبیعی، در حالت تشدید شده فعالیت کنند. شواهد موجود نشان می‌دهد که انسان به دلیل استفاده نامعقول از بوم‌سازگان‌های مختلف مانند جنگل، مرتع و اراضی زراعی سبب شده تا بارانی که قبلاً به درون زمین نفوذ می‌کرده، قادر به نفوذ نباشد و به صورت رواناب بر سطح زمین جاری و سبب کنش ذرات خاک، جابه‌جایی آن‌ها و ایجاد کانال‌های فرسایشی شود. فرسایش آبی با اشکال مختلفی به روی زمین ظاهر می‌شود که یکی از شکل‌های پیشرفته آن فرسایش آبکندی^۱ است که از فرایندهای مهم تخریب و یکی از انواع مؤثر آن‌ها در هدررفت خاک است.

هر چند در مورد تاریخچه فرسایش آبکندی اطلاعات دقیقی وجود ندارد، اما بر اساس اسناد و مدارک تاریخی می‌توان گفت که در گذشته نیز به‌طور طبیعی وجود داشته، اما در دهه‌های اخیر به دلایلی که بیان شد، در بسیاری از مناطق کشور گسترش زیادی پیدا کرده است. فرسایش آبکندی به دلیل انجام تحقیقات کمتر نسبت به فرسایش‌های سطحی و شیاری، گسترش در مناطق و اقلیم‌های متنوع دنیا، سهم قابل توجه آن در تولید رسوب حوزه‌های آبخیز، برقراری اتصال بین بالادست و پایین دست حوضه و انتقال رسوبات و مواد آلاینده در کوتاه‌ترین زمان به پایین دست، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Poesen و همکاران، ۲۰۰۳).

مدیریت فرسایش آبکندی نیاز به شناخت عوامل مؤثر بر آن دارد که برحسب تحقیقات انجام شده، ویژگی‌های خاک و حوزه آبخیز از جمله مهمترین عوامل مؤثر بر ایجاد و گسترش فرسایش آبکندی و متعاقباً هدررفت خاک هستند.

Soufi و Isae (۲۰۱۰)، برای برآورد حجم هدررفت خاک به وسیله فرسایش آبکندی در استان گلستان از ویژگی‌های مورفومتریک آن استفاده کردند. در این پژوهش، حجم فرسایش آبکندی از مجموع احجام جزئی در مقاطع ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد طول آبکند محاسبه شد و حجم جزئی از ضرب طول بین

^۱ Gully erosion

داشتند، در حالی که در منطقه سرچم طبقه‌های اندازه ذرات و شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها مؤثر بودند.

Mokram و Mahmoudi (۲۰۱۶)، ارتباط بین ویژگی‌های شکلی و خصوصیات خاک آبکندها را بررسی کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که حجم آبکند با عمق آن رابطه مستقیم و با ماده آلی رابطه معکوس داشت. ویژگی‌های خاک و ویژگی فرسایش آبکندی بررسی شده، نشان داد که رابطه معنی‌داری بین هدررفت خاک و شیب آبکند وجود دارد (Oyegun و همکاران، ۲۰۱۶).

همچنین، Zegeye و همکاران (۲۰۱۶) با انتخاب و اندازه‌گیری مشخصات ۱۳ آبکند دائمی، شدت گسترش آن‌ها را ارزیابی و بیان کرده‌اند که شناخت عوامل کنترل توسعه بالاکنده^۲ و توسعه جانبی آبکند برای طراحی اقدامات مناسب کنترل آن بسیار مهم است. در این منطقه، نرخ عقب‌نشینی بالاکنده (سرعت هدررفت) به‌شدت به سطح آب زیرزمینی بستگی داشت. بالا آمدن سطح آب زیرزمینی، خاک‌های اطراف آبکندها را اشباع کرده و باعث کاهش مقاومت به فرسایش خاک شده است. سطح بالای آب زیرزمینی نیز ممکن است، منجر به فرسایش ناشی از زهکشی (فرسایش تونلی) شود. علاوه بر این، عمق بالاکنده و منطقه زهکشی (مساحت آبخیز) که نماینده مقدار رواناب سطحی است از دیگر عوامل کنترل‌کننده فرسایش آبکندی در حوضه دبر ماوی^۳ بود. محققین مذکور در نتایج پژوهش تأکید کردند که شیوه‌هایی از حفاظت خاک که این پارامترها را موردتوجه قرار می‌دهند، بیشتر مؤثر خواهند بود.

بررسی گسترده‌ای که در سطح جهانی به‌وسیله Vanmaercke و همکاران (۲۰۱۶) روی داده‌های ۷۰ پژوهش (شامل ۹۳۳ آبکند فعال) صورت پذیرفت، ضمن تأکید بر اثرات درون و برون منطقه‌ای فرسایش آبکندی، بیانگر این بود که در روابط رگرسیونی تهیه‌شده، نرخ رشد بالاکنده به‌طور قابل توجهی با سطح آبخیز آبکند (رواناب ناشی از آن) و روزهای بارانی نرمال ارتباط معنی‌داری داشت، ولی در این جامعه آماری، برای کاربری اراضی و نوع خاک رابطه

سطح خاک در اقلیم‌های مختلف استان فارس تلاش کردند تا رابطه بین آن‌ها با گسترش طولی آبکندها تعیین کنند. در این راستا، طول آبکند به‌عنوان متغیر وابسته و ویژگی‌های خاک سطحی به‌عنوان متغیرهای مستقل با استفاده از روش همبستگی گام‌به‌گام در نرم‌افزار SPSS تحلیل شد. نتایج نشان داد که به‌ترتیب اهمیت، عوامل شیب واقع در بالادست پیشانی آبکند، EC و pH رابطه مثبت و پوشش گیاهی رابطه منفی معنی‌داری در سطح یک درصد با میزان پیشروی طولی آبکندها داشتند.

Kardel و Tajari (۲۰۱۵)، به‌منظور تعیین تأثیر فرسایش آبکندی بر رطوبت خاک، دو کاربری مرتع و زراعت دیم رهاشده در اراضی لسی حوزه آبخیز کال شور استان گلستان را انتخاب و در فصل تابستان با فاصله زمانی ۱۵ روزه (با سه تکرار) نمونه خاک را برداشت و رطوبت آن‌ها را تعیین کردند. آن‌ها بیان کردند که آبکندها به‌صورت جدی موجب تشدید هدررفت رطوبت خاک دامنه‌های اطراف خود می‌شوند. Rostamyzad و همکاران (۲۰۱۵)، برای تعیین عوامل مؤثر بر رشد طولی آبکندها دره شهر استان ایلام و پیش‌بینی میزان هدررفت در آینده، تعداد ۳۶ آبکند را انتخاب کردند. سپس، عوامل زمین‌محیطی مؤثر بر توسعه آن‌ها اندازه‌گیری و با استفاده از نرم‌افزار SPSS تحلیل شدند. نتایج نشان داد که گسترش طولی آبکند تابعی از طول آبکند، نسبت جذب سدیم، درصد شن و میزان انحنای دامنه بوده، گسترش حجمی آبکند تابعی از سطح مقطع آبکند، درصد آهک و ضریب کشیدگی حوزه آبخیز بالادست آبکند بود.

ShahabArkazloo و همکاران (۲۰۱۷)، پژوهشی برای تعیین تأثیر توپوگرافی، ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاک بر افزایش سطح مقطع آبکندها و در نهایت، انتخاب مهمترین ویژگی‌های خاک مؤثر بر آن در سه منطقه آرتاداغ، ملااحمد و سرچم استان اردبیل انجام دادند. با انجام تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA^۱) نتایج مشخص کرد که در مناطق ملااحمد و آرتاداغ، عمدتاً ویژگی‌های مکانیکی و پایداری خاکدانه‌ها بر افزایش سطح مقطع آبکند تأثیر بیشتری

^۲ Head cut

^۳ Debre Mawi

^۱ Principal Component Analysis

معنی‌داری با رشد آبکند مشاهده نشد.

Neisi و همکاران (۲۰۱۷)، در منطقه آبکندی درب خزینه استان خوزستان، ۳۰ رشته آبکند را انتخاب و عوامل مؤثر بر ایجاد و رشد طولی آن‌ها را از طریق عکس هوایی و پیمایش‌های صحرایی و با استفاده از مدل رگرسیونی مطالعه کردند. مدل به‌دست آمده نشان داد که مقدار رشد آبکنده تابع نه عامل اصلی است که از بین آن‌ها سدیم محلول، ماده آلی و هدایت الکتریکی بیشترین تأثیر را داشتند.

Jahantigh و Tabe (۲۰۱۷)، با مقایسه خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک در دو منطقه خشک شهرستان چابهار (منطقه حسین‌زهی و نالینت)، نشان دادند که بین ویژگی‌های شوری، رس، ظرفیت تبادل کاتیونی، سدیم قابل جذب، درصد سدیم قابل تبادل، Ca^{++} و Mg^{++} و So_4^{-} در سطح پنج درصد و درصد اشباع در سطح یک درصد اختلاف معنی‌داری وجود داشت. ولی بین میانگین داده‌های Na^+ ، Cl^- ، HCO_3^- ، کربن آلی، اسیدیته، ازت کل، مقدار سیلت و شن در دو منطقه آبکندی اختلاف معنی‌داری وجود نداشت.

Farid Giglou و Ghazavi (۲۰۱۸)، تعداد ۱۷ آبکند را به‌طور تصادفی انتخاب و ویژگی‌های فیزیکی حوضه، محدوده آبخیز بالادست هر آبکند و پارامترهای فیزیکی مربوط به آن و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک قسمت سر هر آبکند را تعیین کردند. نتایج تحلیل رگرسیونی نشان داد که گسترش طولی آبکند بیشتر تحت تأثیر مساحت پیرامون هر آبکند و درصد ماده آلی بود که در نتیجه فشار بر مراتع و از دست رفتن پوشش گیاهی، باعث افزایش رواناب و تسریع در گسترش طولی آبکندها شده است. Saffari و همکاران (۲۰۱۹)، تأثیر ویژگی‌های خاک بر مورفولوژی و گسترش فرسایش آبکندی را در حوضه رودخانه مهران لامرد، فارس بررسی کردند. نتایج نشان داد که تفاوت معناداری در سطح $P < 0.01$ ، بین ویژگی‌های خاک در واحدهای مختلف وجود داشت و آبکندهای با شکل مقاطع مختلف از نظر ویژگی‌های گنج، EC، SAR، OC و TNV با هم متفاوت بودند.

روش استخراج اطلاعات پدیده‌هایی مثل آبکند، به

میزان توسعه اطلاعات جغرافیایی و فناوری زمان بستگی دارد. پهپاد (پرنده هدایت‌پذیر از دور یا وسیله پرنده بدون سرنشین^۱) فناوری جدیدی است که در جمع‌آوری اطلاعات، عکس‌برداری، تعیین موقعیت مکانی، نظارت و کنترل عملیات میدانی در اغلب فعالیت‌های مربوط به منابع طبیعی و اندازه‌گیری مشخصات فیزیوگرافیک آبکند می‌توان از آن استفاده کرد. همچنین، از پهپاد در زمینه‌های مختلف از قبیل تهیه نقشه تفصیلی-اجرایی مطالعات در مناطق صعب‌العبور، تخمین رطوبت خاک، برآورد سطوح پوشیده از برف، تهیه مدل رقومی ارتفاع، بررسی رشد گیاهان و پوشش گیاهی از طریق محاسبه شاخص NDVI^۲ که از تصاویری با کمک دوربین‌های مادون‌قرمز نصب‌شده بر روی پهپاد و بسیاری کاربردهای دیگر در حوزه‌های آبخیز استفاده می‌شود (Farzaneh و Farshad، ۲۰۱۷).

برای استخراج ویژگی‌های آبکندهای فلات لسی چین که تحت تأثیر شدید این پدیده است، Lio و همکاران (۲۰۱۶) برای اولین بار از پهپاد استفاده کردند. نتایج نشان داد که متوسط جذر میانگین مربعات خطاهای افقی و عمودی به‌ترتیب کمتر از ۰/۵ و ۰/۲ متر بود که برای منطقه ایده‌آل بود. این مطالعه نشان داد که پهپاد می‌تواند فاصله (کمبود اطلاعات) بین اندازه‌گیری و سنجش از دور مبتنی بر ماهواره و اندازه‌گیری‌های زمینی را پر کرده، باعث افزایش کارایی داده‌ها برای تحقیقات فرسایش آبکندی در مقیاس حوضه شود.

Meijani و همکاران (۲۰۱۷)، کارایی تصاویر پهپاد برای تولید مدل رقومی ارتفاع را بررسی و بیان کردند که عملگر SIFT^۳ در پردازش تصاویر پهپاد برای استخراج مدل رقومی ارتفاع مفید بوده است. صحت مدل‌های توپوگرافی حاصل از پهپادها و ساختار مبتنی بر زمین از حرکت با فتوگرامتری استریو چند منظوره (از طریق دوربین دیجیتال دستی) در آبکندهای دامنه‌ای در ساوانا خشک و گرمسیری شمال شرقی استرالیا به‌وسیله Koci و همکاران (۲۰۱۷) بررسی

^۱ UAV: Unmanned Aerial Vehicle

^۲ Normalized Difference Vegetation Index

^۳ Scale Invariant Feature Transform

شد. نتایج نشان داد، تصاویر حاصل از پهپاد می‌تواند مدل‌های توپوگرافی با وضوح و دقت مناسب برای مجموعه آبکندها در مقیاس دامنه به میزان تقریبی ۰/۱ متر با خطای ارتفاع ۰/۴ تا ۱/۲ متر ایجاد کند. ارزیابی بدلندها در حوزه آبخیز Klein Seekoei در جنوب آفریقا با کمک پهپاد انجام و Kuhn و Krenz (۲۰۱۸) بیان کردند که پهپادها می‌توانند به رفع شکاف بین اندازه‌گیری‌های گران‌قیمت و وقت‌گیر زمینی و در دسترس نبودن اطلاعات و یا کیفیت کافی از تصاویر با وضوح بالا سامانه‌های ماهواره‌ای یا هوایی کمک کنند. دوربین پهپاد مورد استفاده در این پژوهش، از نوع دوربین چند طیفی بوده است و سه نوار آبی، قرمز و سبز را شامل می‌شود. آن‌ها برای پردازش تصاویر پهپاد از نرم‌افزار Pix4Dmapper Pro استفاده کردند. آن‌ها مدل‌های رقومی سطح زمین با وضوح‌های مختلف تهیه کردند که برای شناسایی و تعیین حجم بدلندها و حتی فرسایش‌های سطحی و شیاری به‌عنوان منابع تولید رسوب مناسب بود.

با وجود این‌که تحقیقات متنوعی در زمینه فرسایش آبکندهی انجام شده، اما هنوز تأثیر ویژگی‌های مختلف حوزه آبخیز و خاک بر حجم آبکنده در همه مناطق تعیین نشده، مهمترین عوامل مؤثر بر هدررفت خاک در اثر توسعه آبکنده شناسایی نشده‌اند تا بتوان مدل مناسبی برای برآورد میزان هدررفت خاک در اثر توسعه آبکندها ارائه کرد. یکی از دلایل این موضوع، پیچیدگی عوامل مؤثر بر این پدیده، دشواری مطالعه این عوامل در صحرا و عدم دقت برخی اندازه‌گیری‌ها به‌خصوص ترسیم مرز حوزه آبخیز آبکندها است. بنابراین، پژوهش حاضر، با هدف تعیین رابطه مشخصات خاک و حوزه آبخیز آبکندها با هدررفت خاک (حجم آبکنده) به کمک تصاویر پهپاد، در منطقه فتح‌آباد بویین‌زهرها انجام شد.

مواد و روش‌ها

بوئین‌زهرها یکی از شهرستان‌های استان قزوین بوده و از نظر تولید محصولاتی مثل پسته، گردو، انگور، پیاز و پنبه پتانسیل خوبی دارد. با توجه به آب‌وهوای مساعد بوئین‌زهرها برای کشت پسته، ظرف چند سال گذشته سرمایه‌گذاری‌های عمده‌ای به‌وسیله بخش

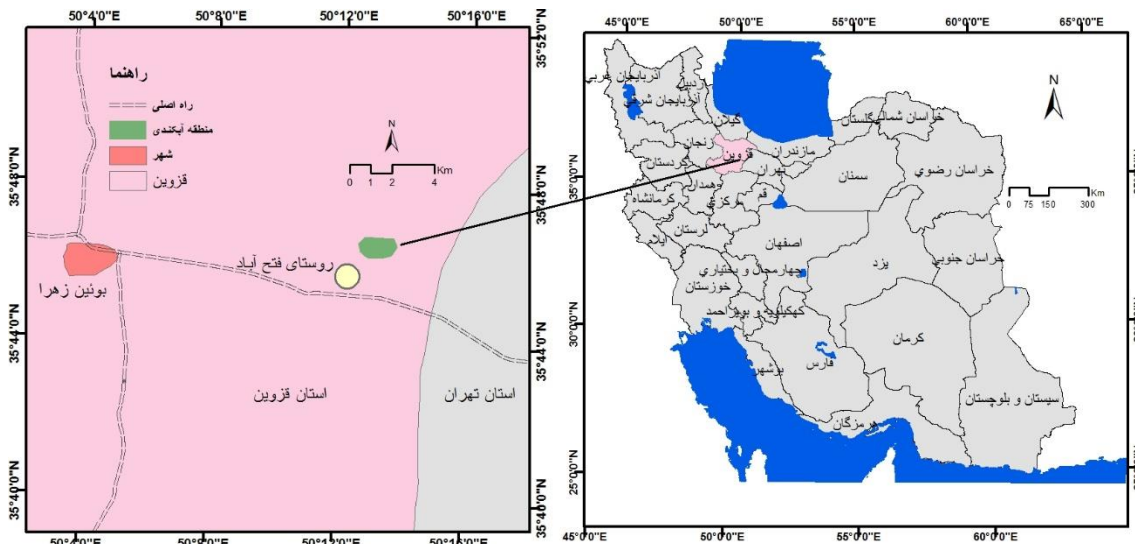
پس از بررسی و تعیین محدوده و موقعیت آبکندهای منطقه، تعداد ۲۴ آبکنده انتخاب، محل بالاکنده آن‌ها تعیین و با سامانه موقعیت‌یابی جهانی (GPS)^۱ ثبت شد. اندازه‌گیری‌های شکل‌شناسی شامل طول، عرض بالا، عرض پایین و عمق در مقاطعی که کانال آبکنده تغییر شکل می‌داد، به‌وسیله متر دستی انجام شد. بر اساس اندازه‌گیری‌های انجام‌شده و محاسبه حجم جزئی^۲ هر مقطع و تجمیع مقاطع، حجم کل آبکنده محاسبه و معادل هدررفت خاک به-وسیله آبکنده در نظر گرفته شد (Soufi و Isaei، ۲۰۱۰). وضعیت پوشش سطح زمین (تاج پوشش،

^۱ Global Positioning System (GPS)

^۲ Partial volume

کربنات، بی‌کربنات، کلر، کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم با روش‌های استاندارد در آزمایشگاه خاک‌شناسی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری اندازه‌گیری شدند.

لاش‌برگ و سنگریزه) به کمک پلات اندازی تصادفی با ابعاد یک متر در یک متر تعیین شد. نمونه خاک از خاک سطحی بالاکنند تهیه و بافت، جرم مخصوص ظاهری، EC، pH، ماده آلی، آنیون‌ها و کاتیون‌های



شکل ۱- موقعیت منطقه در استان قزوین و کشور

ارتفاع پرواز، عرض برداشت، میزان هم‌پوشانی تصاویر و نیز نقشه منطقه معرفی و پهنپاد مطابق این اطلاعات پرواز و تصویربرداری می‌کند. تصاویر برداشت‌شده از منطقه پژوهش، به‌منظور تولید مدل رقومی ارتفاع با نرم‌افزار Agisoft.Photoscan.Professional.V1.4.3. Build.6506 پردازش شدند. مدل رقومی ارتفاع حاصله با ابعاد سلولی ۱۰×۱۰ سانتی‌متر به‌عنوان ورودی در سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)^۴ در محیط ArcMap10.2 فراخوانده شده، دیگر مراحل استخراج اطلاعات مثل بستن مرز حوزه آبخیز هر آبکند در محل بالاکنند و استخراج مشخصات مورفولوژیک حوزه آبخیز هر آبکند (محیط، مساحت، شیب، ضریب گردی و ضریب شکل) انجام شد.

آبکندها بر اساس عمق به روش طبقه‌بندی فائو طبقه‌بندی شدند (Soufi و Bayat, ۲۰۱۶). به نقل از FAO (۱۹۸۲) و سپس، برای گروه‌بندی بر اساس خصوصیات ثبت شده آن‌ها، از تحلیل خوشه‌ای^۵ به روش وارد^۶ در نرم‌افزار MINITAB18 استفاده شد که

برای تهیه نقشه مدل رقومی ارتفاع، از تصویربرداری به کمک پهپاد DJI Phantom 3 Professional با مشخصات زیر استفاده شد (شکل ۲). وزن این پهپاد همراه با باتری و پروانه حدود ۱۲۱۶ گرم بوده، با ابعاد ۵۹۰ میلی‌متر به بازار عرضه شده است که از قابلیت GPS پشتیبانی می‌کند. این پرنده، توانایی حمل بار تا وزن ۷۰۰ گرم و تا ارتفاع ۵۰۰ متری از سطح زمین با مدت‌زمان پروازی ۲۰ دقیقه و برد رادیو کنترل دو کیلومتر را دارد. دوربین جانمایی شده در این پرنده، از نوع FC300X (3.61mm) است که توانایی تصویربرداری در فرمت‌های DNG و JPEG تا قدرت تفکیک^۱ 4000×3000 پیکسل^۲ را دارد. نمونه تصویر منطقه حاصل از دوربین پهپاد، در شکل ۳ ارائه شده است. علاوه بر آن، این محصول مجهز به یک لرزش‌گیر^۳ سه محوره کامل است که تصاویر را بدون هرگونه تکان و لرزشی خواهد کرد.

با استفاده از نرم‌افزار Pix4d Capture که روی گوشی همراه نصب می‌شود، اطلاعات پرواز شامل

^۴ Geographic Information System

^۵ Cluster analysis

^۶ WARD

^۱ Resolution

^۲ Pixel

^۳ Gimbal

مختصاتی می‌برد که بزرگ‌ترین واریانس داده روی اولین محور مختصات، دومین واریانس بزرگ‌تر روی دومین محور مختصات قرار می‌گیرد. برای تعیین عواملی که بیشترین همبستگی را با متغیر وابسته دارند و مدل‌سازی ارتباط بین متغیرها، از رگرسیون چند متغیره به روش گام‌به‌گام در محیط SAS9.4 استفاده شد.

ویژگی‌های مذکور به همراه کد آن در جدول ۱ فهرست شده‌اند. به منظور تعیین رابطه بین متغیرها با یکدیگر، همبستگی بین عوامل و باهدف گزینش و غربال کردن مشخصه‌های مورد ارزیابی و تعیین عوامل مؤثرتر، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) در محیط R انجام شد. این روش برای کاهش ابعاد مجموعه داده‌ها انجام و داده‌ها را در فضای برداری به دستگاه



شکل ۲- سمت راست بالا دسته کنترل (هدایت کننده) و سمت چپ بالا پهپاد Dji Phantom 3 Professional



شکل ۳- نمونه تصویر منطقه به وسیله پهپاد

۱۸ سانتی‌متر اندازه‌گیری شده است. بیشتر آبکندهای بررسی شده روی بستر آبراه‌ها ایجاد شده، از نوع دائمی، خطی و پیوسته هستند که دارای مقطع عرضی دوزنقه شکل و پلان عمومی آن‌ها از نوع خطی است (شکل ۴). متوسط عمق در ۵۰ درصد طول آبکند ۵۶ سانتی‌متر بوده و بزرگ‌ترین آبکند منطقه دارای عمق ۱۵۰ سانتی‌متر و کم‌عمق‌ترین آن ۱۹ سانتی‌متر بوده است که بر اساس روش طبقه‌بندی آبکندها (Soufi و Bayat, ۲۰۱۶ به نقل از FAO, ۱۹۸۲) در طبقه کوچک قرار دارند. در حالی‌که، متوسط عمق

نتایج و بحث

ویژگی‌های شکلی آبکندها: بررسی‌های منطقه نشان داد که آبکندهای منطقه عموماً در بستر آبراهه دشت دامنه‌ای یا تپه‌های کوچک و کم ارتفاع منطقه ایجاد و گسترش یافته‌اند (شکل ۴). مشخصات آماری برخی شاخص‌های شکل‌شناسی آبکندهای منطقه فتح‌آباد بویین‌زهره نیز در جدول ۲ ارائه شده است که نتایج نشان می‌دهد، بالاکند آن‌ها عموماً عمودی و به‌ندرت غار مانند بوده، عمق متوسط آن‌ها ۴۱ سانتی‌متر است که حد بیشینه آن ۱۱۰ و کمینه آن

و Bayat، ۲۰۱۶). متوسط طول کل آبکندهای منطقه حدود ۲۶ متر و طولانی‌ترین و کوتاه‌ترین آن‌ها به ترتیب حدود ۱۲۰ و هفت متر بودند.

آبکندهای سه استان اردبیل، قزوین و لرستان معادل ۲/۲۷ متر است و کم‌ترین مقدار متوسط آن به استان قزوین با مقدار یک متر و بیشترین مقدار متوسط آن به استان اردبیل با مقدار ۴/۸۲ متر تعلق دارد (Soufi)

جدول ۱- نام اختصاری ویژگی‌های مورد استفاده در تحلیل خوشه‌ای

ویژگی	واحد	نام اختصاری	ویژگی	واحد	نام اختصاری
EC	(دسی زیمنس بر متر)	C1	شیب یک متر روی بالا کند	درصد	C17
pH	-	C2	شیب کف کانال	درصد	C18
CO ₃ ⁻	میلی‌کی‌والان بر لیتر	C3	شیب آبراهه روی بالا کند	درصد	C19
HCO ₃ ⁻	میلی‌کی‌والان بر لیتر	C4	سنگریزه	درصد	C20
Cl ⁻	میلی‌کی‌والان بر لیتر	C5	لاش‌برگ	درصد	C21
Ca ⁺⁺	میلی‌کی‌والان بر لیتر	C6	خاک لخت	درصد	C22
Mg ⁺⁺	میلی‌کی‌والان بر لیتر	C7	متوسط عرض بالا آبکند	سانتی‌متر	C23
Na ⁺	میلی‌کی‌والان بر لیتر	C8	متوسط عرض پایین آبکند	سانتی‌متر	C24
K ⁺	میلی‌کی‌والان بر لیتر	C9	متوسط عمق آبکند	سانتی‌متر	C25
TNV	درصد	C10	سطح مقطع متوسط	سانتی‌متر	C26
OC	درصد	C11	طول شاخه اصلی	سانتی‌متر	C27
SP	درصد	C12	طول کل	سانتی‌متر	C28
Sand	درصد	C13	حجم کل	مترمکعب	C29
Silt	درصد	C14	طول حوضه	متر	C30
Clay	درصد	C15	مساحت حوضه	مترمربع	C31
pb	گرم بر سانتی‌متر مکعب	C16	محیط حوضه	متر	C32
			شیب حوضه	درصد	C33
			ارتفاع حوضه	متر	C34
			ضریب شکل حوضه	-	C35
			ضریب گردی حوضه	-	C36



شکل ۴- نمای عمومی منطقه (راست) و بالا کند یکی از آبکندهای منطقه فتح‌آباد (چپ)

هدررفت نزدیک به ۱۰۰۰ متر مکعب خاک منطقه شده‌اند.

در مقایسه با مناطق دیگر، حجم متوسط هدررفت در واحد طول متوسط حدود ۱/۵ متر مکعب در متر

بیشینه و کمینه حجم آبکندهای منطقه به ترتیب ۲۵۸ و حدود دو متر مکعب و متوسط حجم هدررفت خاک ناشی از هر رشته آبکند حدود ۴۰ متر مکعب بود که در مجموع، ۲۴ آبکند بررسی شده سبب

حال تخریب است. کمینه این نسبت در استان قزوین ۰/۹۲ و بیشینه آن معادل ۱/۸۲ است و نشان می‌دهد که این منطقه در مطالعه Soufi و Bayat (۲۰۱۶) به دلیل مقیاس کار، لحاظ نشده است.

است. Soufi و Bayat (۲۰۱۶)، متوسط حجم در واحد طول آبکندهای مورد مطالعه را معادل ۶/۴۰ متر مکعب در متر اعلام کردند. در خصوص نسبت عرض بالا به عمق با مقدار متوسط ۲/۸، نشان می‌دهد که سطح قابل توجهی در

جدول ۲- مشخصات آماری برخی ویژگی‌های شکلی آبکندها

ردیف	ویژگی	کمینه	بیشینه	متوسط
۱	طول کل (سانتی‌متر)	۶۶۰	۱۲۰۰۰	۲۵۶۷
۲	عرض بالا کند (سانتی‌متر)	۳۰	۲۹۰	۷۶
۳	عمق بالا کند (سانتی‌متر)	۱۸	۱۱۰	۴۱
۴	عرض بالا در ۵۰٪ طول (سانتی‌متر)	۷۰	۴۴۰	۱۹۶
۵	عمق در ۵۰٪ طول (سانتی‌متر)	۱۹	۱۵۰	۵۶
۶	عرض خروجی (سانتی‌متر)	۷۰	۷۳۰	۲۹۳
۷	عمق خروجی (سانتی‌متر)	۱۵	۱۶۵	۶۹
۸	نسبت عرض بالا به عمق در ۵۰٪ طول	۱/۱	۳/۶	۲/۸
۹	حجم آبکند (متر مکعب)	۱/۶	۲۵۸۱۰	۴۰/۲
۱۰	مساحت آبخیز (متر مربع)	۹۴۵	۲۹۷۰۰	۷۴۵۰

متوسط EC نمونه‌ها با مقدار ۷/۸ دسی زیمنس بر متر نشانه شوری خاک منطقه مورد پژوهش است و pH متوسط نمونه‌ها با مقدار ۸/۵ نشان از قلیائیت خاک منطقه دارد. شوری و قلیائیت خاک نیز از عوامل مؤثر در گسترش آبکندها است که نتایج بررسی‌های Neisi و همکاران (۲۰۱۷)، Nowhegar و Heydarzadeh (۲۰۱۱) و Soleimanpour و همکاران (۲۰۱۳) نیز اهمیت و اثر مستقیم این عوامل با میزان پیشروی طولی آبکندها، در مقایسه با دیگر عوامل، تأکید کردند. همچنین، نتایج نشان داد که در خاک‌های مورد بررسی، درصد کربن آلی با مقدار متوسط ۰/۳ درصد، شرایط ناپایداری را در خاک، از دید این شاخص، ارائه می‌دهد (Murphy و Hazelton، ۲۰۰۷) که موجب تضعیف خاکدانه‌ها، افزایش فرسایش‌پذیری خاک و گسترش طولی آبکند می‌شود که Mokram و Mahmoudi (۲۰۱۶) نیز رابطه عکس میزان ماده آلی و حجم آبکند را گزارش کردند.

مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک آبکندها:

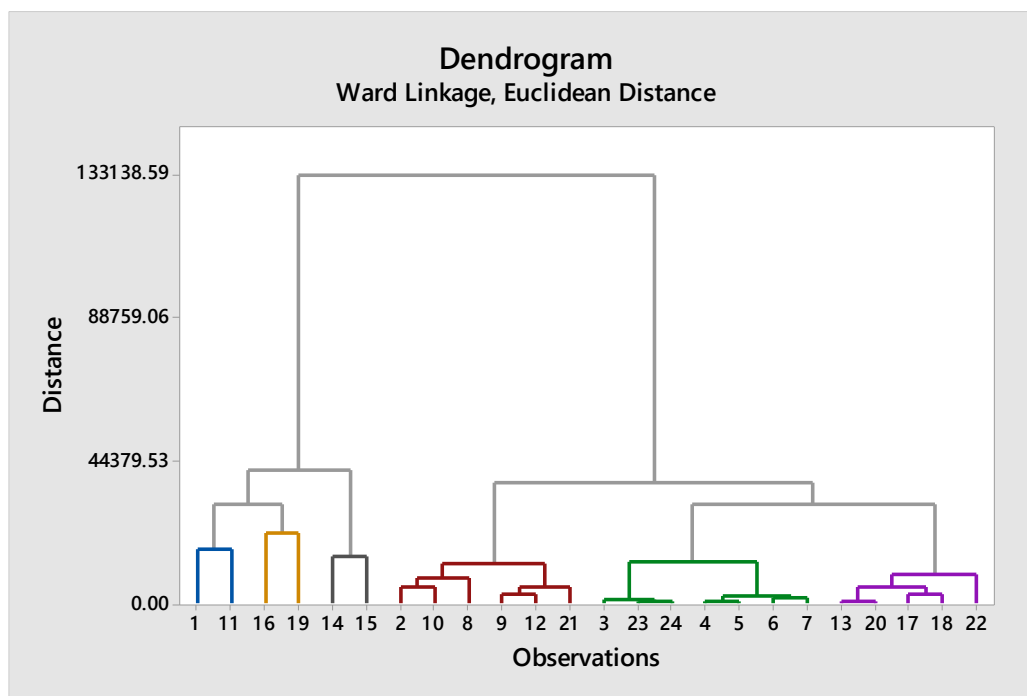
مشخصات آماری نتایج حاصل از آزمایش ۲۴ نمونه خاک سطحی بالا کند آبکندها در جدول ۳ ارائه شده است. بر اساس متوسط اجزای ذرات خاک، بافت خاک در بیشتر نمونه‌ها لوم تعیین شد. بیشینه مقادیر هر یک از اجزای تشکیل‌دهنده بافت خاک، شامل ماسه، سیلت و رس به ترتیب ۷۰، ۷۲ و ۴۰ درصد و کمینه آن‌ها به ترتیب ۱۲، ۱۷ و چهار درصد به دست آمد. میانگین، بیشینه و کمینه مقادیر اجزای بافت نشان داد که درصد سیلت بیشتر از دو جزء دیگر دارد که وجود سیلت به مقدار زیاد باعث افزایش حساسیت خاک به فرسایش می‌شود. نتایج پژوهش Mansour (۲۰۱۴) نیز نشان داد که مقدار ماسه و مواد آلی سطح خاک دیواره آبکندهای مورد بررسی، کم بوده، سیلت خاک زیاد (۵۳ درصد) بوده که باعث افزایش فرسایش‌پذیری و نهایتاً هدررفت بیشتر خاک شده است.

جدول ۳- مشخصات آماری نتیجه آزمایش نمونه‌های خاک

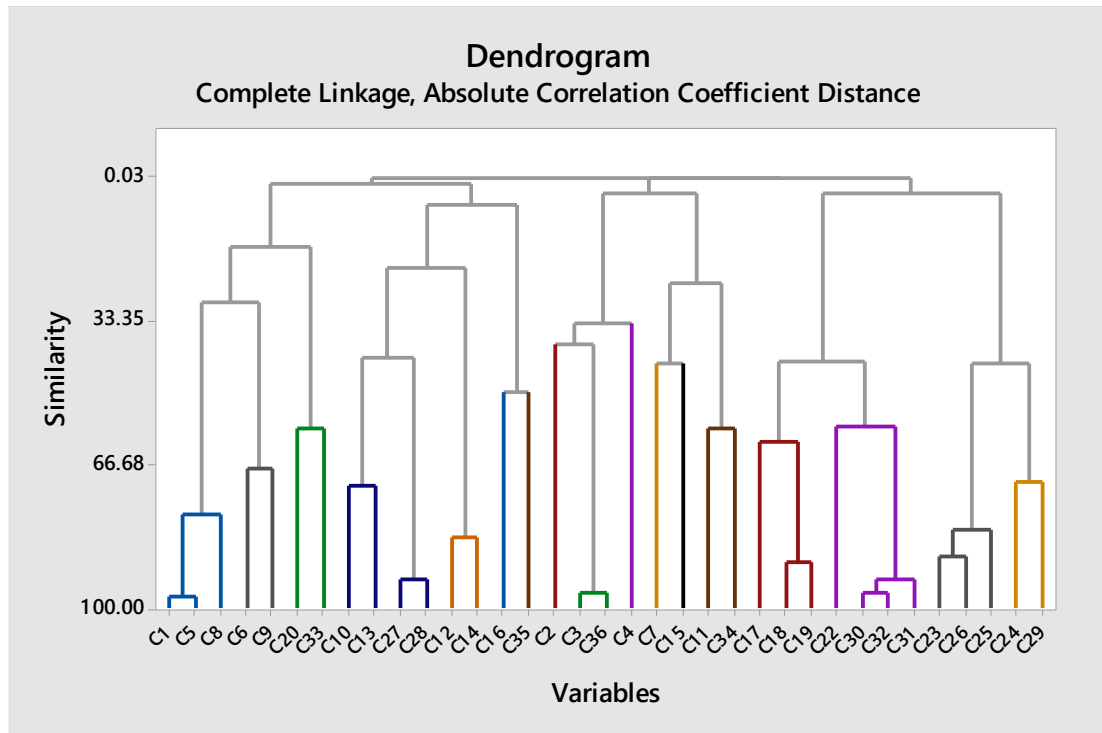
انحراف معیار	میانگین	حداقل	حداکثر	ویژگی (واحد)	انحراف معیار	میانگین	حداقل	حداکثر	ویژگی (واحد)
۰/۸	۰/۷	۰/۲	۳/۵	K ⁺ (میلی‌اکی‌والان بر لیتر)	۷/۲	۷/۸	۲/۲	۳۲/۲	EC (دسی زیمنس بر متر)
۴/۲	۱۸/۱	۱۰/۰	۲۸/۸	TNV (درصد)	۰/۴	۸/۵	۷/۵	۹/۲	pH
۰/۲	۰/۳	۰/۰	۰/۹	OC (درصد)	۰/۲	۰/۰	۰/۰	۱/۰	CO ₃ ⁻ (میلی‌اکی‌والان بر لیتر)
۶/۵	۴۴/۸	۳۱/۷	۶۰/۱	SP (درصد)	۰/۶	۳/۰	۲/۰	۴/۰	HCO ₃ ⁻ (میلی‌اکی‌والان بر لیتر)
۱۳/۲	۲۹/۶	۱۲/۰	۷۰/۰	Sand (درصد)	۷۹/۳	۵۵/۳	۳/۰	۳۸۰/۰	Cl ⁻ (میلی‌اکی‌والان بر لیتر)
۱۳/۲	۴۶/۵	۱۷/۰	۷۲/۰	Silt (درصد)	۲۰/۹	۴۰/۵	۲۰/۸	۱۴۴/۰	Ca ⁺⁺ (میلی‌اکی‌والان بر لیتر)
۱۱/۳	۲۳/۹	۴/۰	۴۰/۰	Clay (درصد)	۱۹/۹	۹/۵	۰/۴	۱۰۸/۰	Mg ⁺⁺ (میلی‌اکی‌والان بر لیتر)
۰/۲	۱/۵	۱/۴	۱/۸	pb (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	۹۲/۴	۵۶/۸	۶/۰	۴۵۰/۰	Na ⁺ (میلی‌اکی‌والان بر لیتر)

طبقه‌بندی آبکندها: طبقه‌بندی آبکندهای منطقه به روش وارد با ضریب مشابهت ۵۰ درصد نشان داد که آبکندهای منطقه در دو طبقه اصلی قرار می‌گیرند و گروه ۱، خود دارای سه طبقه فرعی است که در هرکدام دو آبکند قرار می‌گیرند و شامل آبکندهای شماره ۱-۱۱-۱۶-۱۹-۱۴ و ۱۵ و بقیه در یک طبقه فرعی دیگر با شش زیرطبقه مختلف دسته‌بندی می‌شدند. گروه ۲ نیز با سه طبقه فرعی دیگر و هر

کدام دارای شش آبکند است (شکل ۵). گروه‌بندی عوامل مؤثر بر طبقه‌بندی آبکندها هم نشان داد که مشخصات آبکندها در ۱۸ گروه مختلف دسته‌بندی شدند که مبین تفاوت بین مشخصات آبکندها است (شکل ۶). در پژوهش Soufi و Bayat (۲۰۱۶)، آبکندهای مناطق مورد مطالعه به کمک مشخصات مختلف طبقه‌بندی شدند.



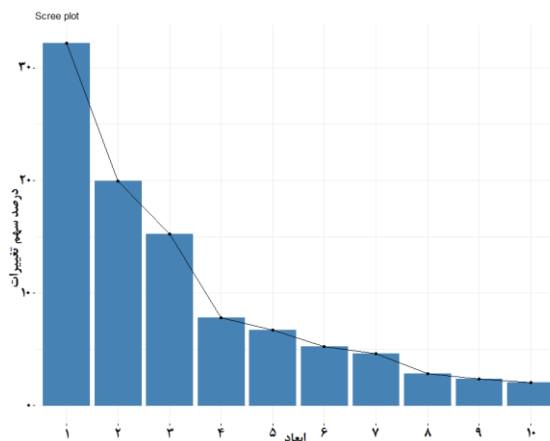
شکل ۵- گروه‌بندی آبکندهای مشاهده شده



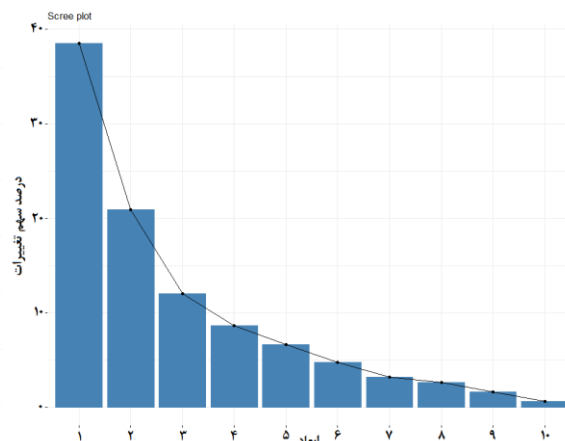
شکل ۶- گروه‌بندی مشخصات آبکندها

مؤلفه اول و دوم) بیشتر از ۵۰ درصد تغییرات را نمایش می‌دهند و دیگر ابعاد، نماینده سهم باقی‌مانده تغییرات هستند که سهم هر یک از ابعاد در شکل ۷ نمایش داده شده است.

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA): نتیجه تجزیه به مؤلفه‌های اصلی با متغیرهای مستقل ذکر شده در جدول ۱، نتیجه مناسبی نداشت، اما انجام آن در دو دسته جداگانه مشخصات خاک و ویژگی‌های آبخیز واقع در بالادست آبکند، نشان داد که دو جزء اصلی



شکل ۷- سهم تغییرات ابعاد تجزیه و تحلیل مؤلفه اصلی (چپ: مشخصات خاک و راست: خصوصیات آبخیز)



گروه‌بندی و مجموع متغیرها به‌طور کلی، ۵۹/۴ درصد از واریانس کل را توجیه کردند که به‌ترتیب در محور اول با ۳۸/۵ درصد از کل واریانس و محور دوم با ۲۰/۹ درصد بیشترین تغییرات را در دو بعد نشان دادند

مهمترین عواملی که در تفکیک طبقات آبکندها نقش داشته‌اند، به‌صورت دو بعد مهمتر در شکل ۸ نمایش داده شده‌اند. این بررسی نشان می‌دهد که در دسته مشخصه‌های آبخیز عوامل مؤثر به سه دسته

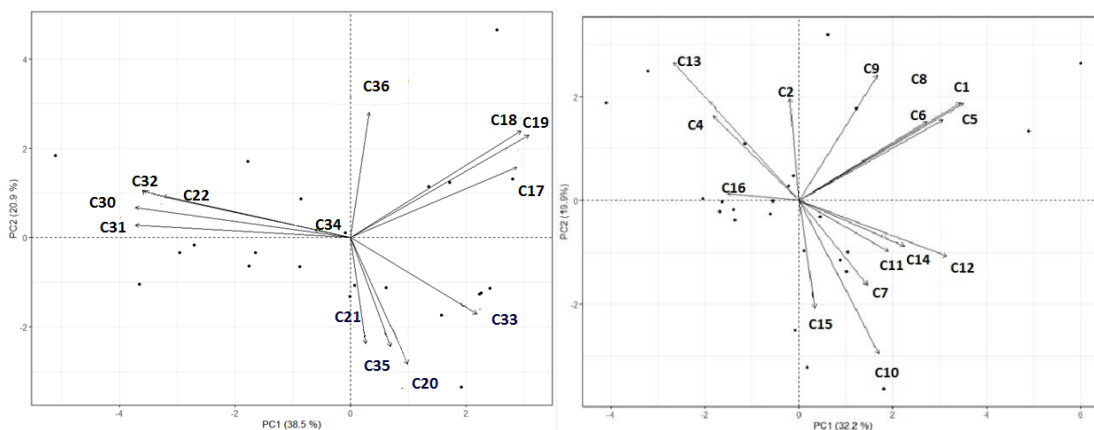
بی‌کربنات با بیشترین طول بردار در جهت مثبت قرار دارند.

به‌طور کلی، در این نمودار، ارتباط متغیرها با هم دیگر زیاد است. متغیرهایی که طول و زاویه بردار حاده‌ای با هم داشته باشند، از همبستگی بالایی برخوردارند و متغیرهایی که زاویه ۹۰ درجه داشته باشند، فاقد ارتباط و متغیرهایی که زاویه ۱۸۰ درجه با هم داشته باشند، ارتباط معکوس و منفی با هم دیگر دارند. نتایج این بررسی، نشان می‌دهد که متغیرهایی با بیشترین همبستگی نسبت به یکدیگر و مجموعاً نسبت به محور اول و دوم به‌صورت گروه‌هایی مجزا، می‌توانند ویژگی‌هایی که باعث تفکیک طبقات آبکند شود را نمایان کنند. نتایج Jahantigh و Tabatabaei (۲۰۱۷) و Saffari و همکاران (۲۰۱۹) با خروجی این پژوهش مشابهت دارد.

(شکل ۸- راست). شیب این روش طبقه‌بندی به‌طور خلاصه در مواد و روش‌ها بیان شود.

شیب کانال آبکند، شیب کف کانال، شیب آبراهه در بالادست بالاکند و شیب حوضه دارای بیشترین سهم مثبت در جز اول است و طول، محیط و مساحت حوضه با سهم مساوی و درصد خاک لخت تأثیر مثبت در جزء دوم دارند.

همچنین، در دسته خصوصیات خاک مجموع متغیرها به‌طور کلی، ۵۲/۱ درصد از واریانس کل را توجیه کردند که به‌ترتیب در محور اول با ۳۲/۲ درصد از کل واریانس و محور دوم با ۱۹/۹ درصد بیشترین تغییرات را در دو بعد نشان دادند (شکل ۸- چپ). در جز اول EC، کلر و سدیم در جهت مثبت و درصد اشباع و کل مواد خنثی شونده، بیشترین طول بردار را در جهت منفی داشته، در جزء دوم مقدار ماسه و



شکل ۸- نمودار تجزیه و تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) (چپ: مشخصات خاک و راست: خصوصیات آبخیز آبکند)

درصد هستند (جدول ۴). نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش با نتایج Soleimanpour و همکاران (۲۰۱۳) و Kukul و همکاران (۲۰۰۲)، از نظر تأثیر شیب و مساحت آبخیز و عامل شکل بر گسترش آبکندها مطابقت داشت. همچنین، نتایج این پژوهش با یافته‌های تحقیقات Farid Giglou و Ghazavi (۲۰۱۸)، Vanmaercke و همکاران (۲۰۱۶)، Rostamyazad و همکاران (۲۰۱۵) و Mansour (۲۰۱۴) در خصوص تأثیر میزان شن بر حجم آبکند هم‌خوانی داشت.

همبستگی بین عوامل و حجم هدررفت خاک:

نتایج حاصل از استخراج میزان همبستگی بین عوامل و سطح معنی‌داری بین حجم کلی هدررفت خاک به-وسیله آبکند و سایر مشخصات آن برای سطح احتمال یک درصد (جدول ۴) نشان داد که بیشترین مقدار همبستگی بعد از مشخصات خود آبکند (سطح مقطع، عرض بالا، عرض پایین، طول آبکند و عمق) با مقدار شن، جرم مخصوص ظاهری و مساحت حوضه است که در سطح پنج درصد همه معنی‌دار هستند. ویژگی‌ها حجم کل مواد خنثی شونده، درصد سیلت و درصد اشباع نیز دارای رابطه منفی و معنی‌دار در سطح پنج

جدول ۴- ترتیب مقدار ضریب تبیین بین حجم کل هدررفت خاک و سایر مشخصات آبکند

ردیف	کد	مشخصه	R ²	سطح معنی‌داری
۱	C26	سطح مقطع	۰/۸۷۷۲	۰/۰۰۰۱
۲	C24	عرض بالا	۰/۷۰۵۸	۰/۰۰۰۱
۳	C23	عرض پایین	۰/۷۰۲۷	۰/۰۰۰۱
۴	C13	مقدار شن	۰/۶۳۹۰	۰/۰۰۰۸
۵	C25	طول آبکند	۰/۶۲۹۲	۰/۰۰۱۰
۶	C28	عمق آبکند	۰/۶۱۴۱	۰/۰۰۱۴
۷	C16	جرم مخصوص ظاهری	۰/۵۵۳۸	۰/۰۰۵۰
۸	C31	مساحت حوضه	۰/۵۳۷۱	۰/۰۰۶۸
۹	C10	حجم کل مواد خنثی شونده	-۰/۵۰۶۲	۰/۰۱۱۶
۱۰	C14	درصد سیلت	-۰/۴۰۸۶	۰/۰۴۷۴
۱۱	C12	درصد اشباع	-۰/۴۰۳۹	۰/۰۵۰۳

بر اساس نتیجه رگرسیون گام‌به‌گام، رابطه (۱) به‌دست آمد که در سطح یک درصد معنی‌دار بوده، از ضریب تبیین بالایی (۰/۸) برخوردار است و به این معنی است، ۸۰ درصد از تغییرات حجم کل آبکند به‌وسیله عواملی همچون درصد اشباع، مقدار شن، طول حوضه، مساحت حوضه و ضریب گردی توجیه می‌شوند (جدول ۵).

بر اساس نتیجه رگرسیون گام‌به‌گام، رابطه (۱) به‌دست آمد که در سطح یک درصد معنی‌دار بوده، از ضریب تبیین بالایی (۰/۸) برخوردار است و به این معنی است، ۸۰ درصد از تغییرات حجم کل آبکند به‌وسیله عواملی همچون درصد اشباع، مقدار شن، طول حوضه، مساحت حوضه و ضریب گردی توجیه می‌شوند (جدول ۵).

$$Y = -383.0805 + (7.4490 C12) + (4.5880 C13) + (-0.6760 C30) + (0.0115 C31) + (-23.1958 C36) \quad (1)$$

همان‌طور که Liu و همکاران (۲۰۱۶) و Meijani و همکاران (۲۰۱۷) اعلام کردند، کاربرد پهپاد باعث افزایش دقت و تسریع در انجام کار می‌شود. استفاده از پهپاد مزیت نسبی این پژوهش بود که در ترسیم مرز و تعیین مشخصات آبخیز آبکندها بسیار مفید واقع شد.

Frankl و همکاران (۲۰۱۳) نیز دریافته‌اند که عرض کانال رابطه قوی و مثبتی با مقدار دبی (مساحت حوضه آبخیز) دارد. همچنین، Soleimanpour و همکاران

جدول ۵- نتایج آماری تحلیل رگرسیون گام‌به‌گام

Variable	ویژگی	واحد	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr > t	Variance Inflation
Intercept	عرض از مبدأ	مترمکعب	۱	-۳۸۳/۰۸۰۵	۱۰۵/۶۴۸۰	-۳/۶۳	۰/۰۰۱۹	۰
C12	درصد اشباع	درصد	۱	۷/۴۴۹۰	۲/۰۷۹۷	۳/۵۸	۰/۰۰۲۱	۴/۲۹۹۹
C13	مقدار ماسه	درصد	۱	۴/۵۸۸۰	۰/۸۷۸۸	۵/۲۲	<۰/۰۰۰۱	۳/۰۸۰۴
C30	طول حوضه	متر	۱	-۰/۶۷۶۰	۰/۱۹۸۶	-۳/۴۰	۰/۰۰۳۲	۹/۰۵۰۵
C31	مساحت حوضه	مترمربع	۱	۰/۰۱۱۵	۰/۰۰۲۴	۴/۷۶	۰/۰۰۰۲	۹/۵۹۸۱
C36	ضریب گردی	-	۱	-۲۳/۱۹۵۸	۱۰/۵۸۷۵	-۲/۱۹	۰/۰۴۱۹	۱/۶۰۰۱

تحلیل آماری داده‌های پژوهش نشان داد که مهمترین عوامل در هدررفت خاک و گسترش آبکندها، ویژگی‌های آبخیز واقع در بالادست پیشانی آبکند

(مانند مساحت و طول آبخیز) و همچنین، جرم مخصوص و درصد اشباع و درصد ماسه است که این عوامل در کنار فقر پوشش گیاهی بستر مناسبی برای

مدیریت رواناب ورودی به آبکندها به خصوص در موارد دارای حوزه آبخیز بزرگ را ضروری می‌کند که به این منظور، اجرای اقدامات مناسب برای تقسیم مساحت آبخیز واقع در بالای پیشانی آبکندها توصیه می‌شود.

نتایج ماتریس همبستگی ایجاد شده بین حجم هدررفت خاک با دیگر متغیرهای برداشت شده نشان داد که به جز مشخصات شکلی آبکند (عمق، عرض و طول که رابطه مستقیم ریاضی دارند) مقدار شن، جرم مخصوص ظاهری، مساحت، محیط و طول حوضه آبخیز واقع در بالادست پیشانی آبکند داری رابطه مثبت و معنی‌دار در سطح یک درصد است. هرچند درصد اشباع نیز با ضریب تبیین ضعیفی نقش منفی داشته و در سطح پنج درصد معنی‌دار بوده است.

سپاسگزاری

از پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری و به خصوص آقایان دکتر داودی و دکتر نوروزی بابت همکاری در انجام پرواز و پردازش تصاویر پهپاد قدردانی می‌شود.

پیشروی طولی و افزایش تولید رسوب آبکندها ایجاد کرده‌اند. نقطه اشتراک هر دو روش تعیین عوامل مهم و مؤثر بر حجم آبکند (رگرسیون گام‌به‌گام و تجزیه و تحلیل مؤلفه اصلی)، انتخاب خصوصیات مساحت حوضه و درصد شن است.

در شرایطی که عرض بالا و پایین آبکند، همبستگی بیشتری نسبت به عمق با تلفات خاک دارند و متوسط نسبت عرض بالا به عمق آبکند برابر ۲/۸، به این معنی است که آبکندها در حال گسترش عرضی بوده، عاملی نظیر لایه هاردپن یا نمک سخت شده عمق را محدود کرده و در مدیریت آبکندها بایستی از روش‌های کنترل فرسایش در اراضی واقع در کناره‌های آبکندها استفاده کرد و رسوب تولیدی در این مورد بیشتر از زمانی است که عمق زیاد می‌شود.

همچنین، مساحت حوزه آبخیز و نقش شکل آن، به‌عنوان یکی از عوامل مؤثر در افزایش هدررفت خاک شناخته شده است که دلیل آن تولید حجم بالای رواناب از مساحت بیشتر و ورود آن به قسمت بالاکندها و تخریب هر چه بیشتر است. این موضوع

منابع مورد استفاده

- Farid Giglou, B. and R. Ghazavi. 2018. The role of physicochemical characteristics of gully soil and environmental factors of its upper-catchment area in the development of gully erosion. *Journal of Water and Soil Science (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)*, 22(3): 273-286 (in Persian).
- Farshad, A. and A. Farzaneh. 2017. Remote Sensing (RS) and Geographic Information System (GIS) and their application in natural resources, agriculture and environmental studies in Iran. *Iranian Watershed Association*, 487 pages (in Persian).
- Frankl, A., J. Nyssen, M. De Dapper, P. Billi, R.N. Munro, J. Deckers and J. Poesen. 2011. Linking long-term gully and river channel dynamics to environmental change using repeat photography (North Ethiopia). *Geomorphology*, 129(3-4): 238-251.
- Frankl, A., J. Poesen, N. Scholiers, M. Jacob, M. Haile and J. Deckers and Nyssen. 2013. Factors controlling the morphology and Volume (V)-Length (L) relations of permanent gullies in the Northern Ethiopian Highlands. *Earth Surface Process Landforms*: online early view.
- Hazelton, P. and B. Murphy. 2007. *Interpreting soil test results: what do all the numbers mean?* CSIRO Publishing, Australia, 152 pages.
- Jahantigh, M., and M. Tabe. 2017. Comparing soil physico-chemical characteristics and trapezoidal and v-shaped gully morphology with different land uses in dry areas, case study: Hossinzahi and Nalint regions of Chabahar. *Watershed Engineering and Management*, 9(3): 308-317 (in Persian).
- Koci, J., B. Jarihani, J.X. Leon, R.C. Sidle, S.N. Wilkinson and R. Bartley. 2017. Assessment of UAV and ground-based structure from motion with multi-view stereo photogrammetry in a gullied savanna catchment. *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, International Journal of Geo-Information*, 6(328): 2-23.
- Krenz, J. and N. Kuhn. 2018. Badlands dynamics in the context of global change presents the newest ideas concerning badland formation and relates them to the larger context of global change. *Assessing Badland Sediment Sources Using Unmanned Aerial Vehicles*, (Chapter 8), Elsevier, 336 pages.
- Kukal, S.S. and G.S. Matharu. 2002. Behaviour of gully erosion in relation to catchment characteristics in foothills of lower Shivaliks. 17th World Congress of Soil Science, Thailand.

10. Liu, K., H. Ding, G. Tang, J. Na, X. Huang, Z. Xue, X. Yang and F. Li. 2016. Detection of catchment-scale gully-affected areas using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) on the Chinese Loess Plateau. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 5(238): 1-21.
11. Mansour, A. 2014. An assessment of gully erosion in Dutse Sahelian zone of Jigawa State, Nigeria, and its adverse consequences on the socio-economic development of the state. *Journal of Agriculture and Environmental Sciences*, 3(3): 17-25.
12. Marzolf, I., J. Poesen and J.B. Ries. 2011. Short to medium-term gully development, human activity and gully erosion variability in selected Spanish gully catchments. *Journal of Landform Analysis*, 17: 111-116.
13. Meijani, N., M. Kiawarzmoghadam and M. Karimi Firouzajai. 2017. Survey the performance of UAV images to generation a digital surface model. *Journal of Geographical Information System Usage and Remote Sensing in Planning*, 8(1): 25-36.
14. Mokram, M. and A. Mahmoudi. 2016. Investigation of morphometric properties of gullies and their relation with soil properties. *Quantitative Geomorphology Research*, 5(3): 145-133 (in Persian).
15. Neisi, S., B. Khalili Moghadam and A. Zoratipour. 2017. Modeling factors impacting on marl gullies length development and defining their contribution to sedimentation, case study: DarbKhazine Basin of Khuzestan Province. *Journal of Range and Watershed Management*, 70(2): 531-541 (in Persian).
16. Nowhegar, A. and M. Heydarzadeh. 2011. The study of physical-chemical characteristics and morphometry of gullying area, case study: Gezir, Hormozgan Province. *Environmental Erosion Research Journal*, 1(1): 29-44. (in Persian).
17. Oyegun, C.U., U.N. Ereka and O.S. Eludoyin. 2016. Gully characterization and soil properties in selected communities in ideato south Lga, Imo State, Nigeria. *Nature and Science*, 14(2): 78-86.
18. Peyrowan, H.R., B. Ghermezcheshmeh, M. Shariat Jafari, M. Arabkhedri, R. Bayat, A. Jafari Ardekani and A.A. Noroozi. 2015. Revision, completion and publishing of erosion and flood atlas for river basins of Iran (Daryacheh Namak Basin). Research Final Report, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, 125 pages (in Persian).
19. Poesen, J., J. Nachtergaele, G. Verstraeten and C. Valentin. 2003. Gully erosion and environmental change: importance and research needs. *Catena*, 50: 91– 133.
20. Rostamyazad, G.H., A. Salajegheh, A.A. Nazari Samani and J. Qodduzi. 2015. Determining the factors affecting the longitudinal growth of the gullies and predicting its development, case study: Dareh Shahr City. *Quantitative Geomorphology Research*, 4(1): 58-46 (in Persian).
21. Saffari, A., A. Karam, S. Shadfar and M. Ahmadi. 2019. The influence of soil characteristics on the morphology and expansion of gully erosion, case study: Lamerd River Basin, Mehran, Fars. *Quantitative Geomorphology Research*, 8(1): 130-146 (in Persian).
22. ShahabArkazloo, H., H. Emami, Gh.H. Haghnia and A. Esmali. 2017. Determination the most important physical and mechanical soil properties on increasing cross sections in Ardebil Province. *Journal of Water and Soil*, 30(6): 2060-2077 (in Persian).
23. Soleimanpour, S.M., M. Soufi and H. Ahmadi. 2013. Investigating the effect of surface soil properties on longitudinal development of gullies in different climates of Fars Province. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 2(1): 75-77 (in Persian).
24. Soufi, M. and R. Bayat. 2016. Morphoclimatic classification of gullies in different climates of I.R. Iran (phase 3: Ardabil and Qazvin provinces). Research Final Report, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, 89 pages (in Persian).
25. Soufi, M. and H. Isaei. 2010. Estimation of gully erosion volume using morphometric and soil properties in Golestan Province. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 2(2): 73-83 (in Persian).
26. Tajari, A.R., and F. Kardel. 2015. Influence of gully erosion on soil moisture of abandoned farming dry land and rangeland in loess land, case study: Kale-Shour Watershed, Golestan Province. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 5(2): 181-195 (in Persian).
27. Vanmaercke, M., J. Poesen, B. Van Mele, M. Demuzere, A. Bruynseels, V. Golosov, J.F.R. Bezerra, S. Bolysov, A. Dvinskikh and A. Frankl. 2016. How fast do gully headcuts retreat? *Earth-Science Reviews*, 154: 336–355.
28. Zegeye, A.D., E.D. Langendoen, C. Stoof, A. Seifu, S.A. Tilahun, D.C. Dagne, F.A. Zimale, C.D. Guzman, B. Yitaferu and T.S. Steenhuis. 2016. Morphological dynamics of gully systems in the subhumid Ethiopian Highlands: the Debre Mawi Watershed. *Soil*, 2: 443–458.