

بررسی روابط بین ویژگی‌های طبیعی و طول و حجم آبکندهای جهان آباد در شمال شرقی بویین زهرا

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

۱- پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۲- گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

۳- مرکز تحقیقات و آموزش منابع طبیعی و کشاورزی استان فارس، شیراز، ایران

۴- گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

۵- گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

(پژوهشی)

پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۲/۱۶ تأیید نهایی مقاله: ۱۴۰۱/۱۰/۲۹

چکیده

گسترش کشاورزی و توسعه فعالیت‌های عمرانی، تعادل هیدرولوژیک طبیعت را تغییر داده و باعث شده تا برخی پدیده‌ها از حالت طبیعی خارج و با شکل تشدیدشده بروز نمایند. فرسایش آبی با شکل‌های مختلفی به روی زمین ظاهر می‌شود که فرسایش آبکندی شکل مخرب فرسایش آبی است. هدف پژوهش، تعیین ویژگی‌های مؤثر آبکندها بر طول و حجم آن‌ها در منطقه جهان آباد بویین‌زهرا (استان قزوین) بود. محل بالاکندها ۳۳ آبکند، ثبت و طول، عرض بالا و پایین و عمق آن‌ها تعیین شد. حجم کانال محاسبه و نمونه خاک سطحی از بالاکندها تهیه و آنالیز شد. محیط، مساحت، ضریب شکل و شیب آبکندها از مدل رقومی ارتفاع حاصل از پهپاد استخراج شد. با روش PCA، و با رگرسیون چند متغیره به روش گام‌به‌گام در محیط Minitab عوامل مؤثر بر طول و حجم تعیین شدند. نتایج نشان داد که مؤلفه اول و دوم نزدیک به ۴۱ درصد درصد تغییرات را به عهده دارند. کلر، هدایت الکتریکی و سدیم با اثر منفی و پایداری خاکدانه، تاج پوشش و مقدار شن با بار مثبت در محور اول بیشترین وزن را دارند در حالی که در محور دوم شن، تاج پوشش و مقدار سنگریزه با اثر مثبت و مقدار مواد خنثی شونده، ماده آلی و درصد اشباع نقش مهم‌تری ایفا می‌کنند. ویژگی‌های مؤثر بر هدررفت خاک توسط آبکندهای منطقه به ترتیب کربنات، منیزیم، پتاسیم، ماده آلی، درصد اشباع، مقدار شن، شیب کف آبکند، شیب آبراهه ورودی به بالاکندها، لاشبرگ، محیط حوضه و ضریب گردی به ترتیب بیشترین تأثیر را در هدررفت خاک داشته و در معادله پیش‌بینی هدررفت خاک با ضریب تبیین ۰/۸۳۷ وارد شدند. رگرسیون گام‌به‌گام با متغیر وابسته طول آبکند نشان داد که رابطه دارای ضریب تبیین ۷۲/۹۸ درصد و در سطح پنج درصد معنی‌دار است.

واژه‌های کلیدی: آبخیز، بالاکندها، پهپاد، رگرسیون، قزوین.

مقدمه

افزایش جمعیت و مترتب بر آن، افزایش نیاز به غذا از طریق گسترش کشاورزی و توسعه فعالیت‌های عمرانی، تعادل هیدرولوژیک طبیعت را تغییر داده و باعث شده تا برخی پدیده‌ها از حالت طبیعی خارج و با شکل تشدیدشده^۱ بروز نمایند. فرسایش آبی با شکل‌های مختلفی به روی زمین ظاهر می‌شود که نوع پیشرفته آن، فرسایش آبکندی^۲ است که از فرایندهای مهم تخریب و یکی از انواع مؤثر آن‌ها در هدررفت خاک است. فرسایش آبکندی یکی از شکل‌های تشدیدشده فرسایش آبی است که ایجاد و گسترش آن توسط دامنه وسیعی از عوامل کنترل می‌شود. در مورد فرسایش آبکندی تحقیقات کمتری نسبت به فرسایش‌های سطحی و شیاری انجام شده است، هرچند با توجه به گسترش آن در مناطق و اقلیم‌های متنوع دنیا، سهم قابل توجه آن در تولید رسوب و تسریع انتقال رسوبات و مواد آلاینده بالادست حوضه به خروجی از طریق برقراری شبکه زهکشی، دارای اهمیت ویژه‌ای است (Poesen et al, 2003). آبکندها مشکل جدی برای توسعه این نواحی بوده و باعث کاهش تولیدات کشاورزی از طریق فرسایش خاک‌های مستعد کشاورزی، بیابان‌زایی، وقوع سیلاب، رسوب و افزایش آلودگی در پایین دست شده است (Frankl et al, 2011). همچنین باعث ایجاد خسارت شدید به اراضی زراعی، مسیرهای ارتباطی و سکونتگاه‌ها شده و مشکلات بزرگی را برای مردم روستا ایجاد کرده است (صوفی ۱۳۹۴؛ Mansour, 2014). برای برآورد حجم فرسایش آبکندی، صوفی و عیسایی (۱۳۸۹) کانال آبکندها را در مقاطع ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد طول آبکندها تقسیم و برای هر بخش سطح مقطع و عمق متوسط تعیین و حجم آن را محاسبه و از مجموع احجام مقاطع جزئی، حجم کل را محاسبه نمودند. بررسی آماری نشان داد که در

این تحقیق، حجم آبکندها با متغیرهای طول، عمق و عرض فوقانی آبکندها، دارای یک رابطه خطی معنی‌داری در سطح یک درصد و برای تعیین حجم آبکندها روش مناسبی است. بررسی وضعیت گسترش و اثرات آبکندهای مناطق خشک در شمال اتیوپی توسط فرانکل و همکاران (Frankl et al, 2011) نشان داد که شیب زیاد و از بین بردن پوشش گیاهی، عامل ایجاد آبکندهای عمیق و عریض در منطقه است. همچنین توسعه کشاورزی در این منطقه، به دلیل گسترش آبکندها با مشکل جدی روبرو بوده و آبکندها باعث کاهش تولیدات کشاورزی از طریق هدر دادن خاک‌های مستعد کشاورزی و توسعه بیابان‌زایی، وقوع سیلاب، افزایش تولید رسوب و افزایش آلودگی در پایین دست شده‌اند. نتایج پژوهش دیگری در اسپانیا نشان داد که فعالیت‌های انسانی و تغییر کاربری، نقش مؤثری در افزایش رواناب و ایجاد آبکندها و گسترش آنها داشته‌اند. این محققین بر اهمیت تهیه و استفاده از داده‌های سه‌بعدی مکانی با وضوح بالا برای پایش دقیق آبکندها تأکید نموده است (Marzolf et al, 2011). پژوهش سلیمانپور و همکاران (۱۳۹۴) برای تعیین رابطه بین مشخصات آبکندها با گسترش طولی آنها نشان داد که شیب واقع در بالادست پیشانی آبکندها، EC و pH رابطه مثبت و پوشش گیاهی رابطه منفی معنی‌داری در سطح یک درصد با پیشروی طولی آبکندها داشتند. براساس پژوهش منصور (Mansour, 2014) در حوزه آبخیز Jgawa نیجریه، مقدار کم شن و مواد آلی خاک دیواره آبکندها، عامل افزایش فرسایش‌پذیری بوده و باعث هدررفت بیشتر خاک و رشد آبکندها بوده است که خسارات مالی به اراضی کشاورزی، ساختمان‌های مسکونی و راه‌های ارتباطی را سبب شده است. مطالعه منطقه آبکندها دره شهر استان ایلام با ۳۶ رشته آبکندها منتخب و اندازه‌گیری مشخصات

۹۳۳ رشته آبکند، حاصل از ۷۰ پژوهش مستقل در کشورهای مختلف را بررسی نمودند. نتیجه تحلیلی حاکی از این بود که در روابط رگرسیونی، رابطه معنی‌داری بین رشد بالاکنند با سطح آبخیز آبکند (رواناب ناشی از آن) و روزهای بارانی نرمال وجود داشت ولی در این تحلیل، رابطه معنی‌داری بین کاربری اراضی و نوع خاک با رشد آبکند بدست نیامد. نیسی و همکاران (۱۳۹۶) رابطه بین مشخصات منطقه و رشد طولی آبکندها در منطقه درب خزینه استان خوزستان مطالعه نمودند. آنها ۳۰ رشته آبکند نمونه در منطقه تحقیق را انتخاب و از طریق عکس هوایی و پیمایش‌های میدانی و با استفاده از مدل رگرسیونی نشان دادند که بین عوامل مؤثر بر تغییرات رشد آبکندها، سدیم محلول، ماده آلی و هدایت الکتریکی بیشترین اثرگذاری را داشته‌اند. فریدگیلو و قضاوی (۱۳۹۷) 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 بالاکنند هر آبکند را تعیین نمودند. نتایج تحلیل رگرسیونی نشان داد که گسترش طولی آبکند بیشتر تحت تأثیر مساحت پیرامون هر آبکند و مقدار 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. صفاری و همکاران (۱۳۹۸) ویژگی‌های خاک آبکندهای حوضه رودخانه مهران لامرد، فارس را تعیین و رابطه آن با مورفولوژی و گسترش فرسایش آبکندی را بررسی نمودند. تفاوت معناداری در سطح $P < 0.01$ ، بین ویژگی‌های خاک در واحدهای مختلف و تفاوت آبکندهای با شکل مقاطع مختلف از نظر ویژگی‌های گچ، EC، SAR، OC و TNV با هم وجود داشت. تفاوت و تاثیرگذاری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی

طبیعی مؤثر بر گسترش آن‌ها انجام و با استفاده از نرم‌افزار SPSS تحلیل شد. براساس نتایج تحلیل‌های آماری، تغییرات حجم آبکند تابع سطح مقطع آبکند، درصد آهک و ضریب کشیدگی حوزه آبخیز بالادست آبکند و تغییرات طول آن به نسبت جذب سدیم، درصد شن و میزان انحنا دامنه مرتبط بود (رستمیزاد و همکاران، ۱۳۹۴). مکرم و محمودی (۱۳۹۵) ارتباط بین ویژگی‌ها شکلی و خصوصیات خاک آبکندها را بررسی نمودند. 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 et al, 2016). همچنین زگیه و همکاران (Zegeye et al, 2016) با انتخاب و اندازه‌گیری مشخصات ۱۳ آبکند دائمی، شدت گسترش آن‌ها را ارزیابی و بیان نموده‌اند که شناخت عوامل کنترل توسعه بالاکنند^۲ و توسعه جانبی آبکند برای طراحی اقدامات مناسب کنترل آن بسیار مهم است. در این منطقه نرخ عقب‌نشینی بالاکنند (سرعت هدررفت) به شدت 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 بالاکنند و منطقه زهکشی (مساحت آبخیز) که نماینده مقدار رواناب سطحی است از دیگر عوامل کنترل‌کننده فرسایش آبکندی در حوضه دبر ماوی^۴ بود. محققین مذکور در نتایج پژوهش تأکید نمودند که شیوه‌هایی از حفاظت خاک که این پارامترها را مورد توجه قرار می‌دهند، بیشتر مؤثر خواهند بود. وان مارکه و همکاران (Vanmaercke et al, 2016) داده‌های

و دولت از اقدامات کنترلی مهندسی برای مهار این مشکل استفاده می‌کنند. اما هر دو اقدام کنترلی شکست خوردند و ضرورت دارد تا اقدامات تلفیقی همراه با آموزش بهره‌برداران با هم انجام شود. از دیگر الزامات در حصول نتیجه مناسب از اقدامات مهار آبکند، داشتن اطلاعات درست، دقیق و به موقع از مورفولوژی و دیگر خصوصیات آبکندها است. روش استخراج اطلاعات پدیده‌هایی مثل آبکند به میزان توسعه اطلاعات جغرافیایی و فن‌آوری زمان بستگی دارد. پهپاد (پرنده هدایت‌پذیر از دور یا وسیله پرنده بدون سرنشین^۵) فن‌آوری 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 نقشه‌ی 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 محاسبه‌ی شاخص^۶ (NDVI) که از تصاویری با کمک دوربین‌های مادون‌قرمز نصب‌شده بر روی پهپاد و بسیاری کاربردهای دیگر در حوزه‌های آبخیز استفاده می‌شود (فرشاد و فرزانه، ۱۳۹۶). برای استخراج ویژگی‌های آبکندهای فلات لسی چین که تحت‌تأثیر شدید این پدیده است، لئو و همکاران، (Lio et al, 2017) برای اولین بار از پهپاد استفاده نمودند. نتایج نشان داد که متوسط جذر میانگین مربعات خط‌های افقی و عمودی به ترتیب 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 سنجش‌ازدور مبتنی بر ماهواره و اندازه‌گیری‌های زمینی را پر کرده و باعث

خاک در تشکیل اراضی بدلند (مناطق‌ی که فرسایش آبکندی شدید گسترش یافته و متراکم است) در حوزه آبخیز زنونچای توسط مرادی و همکاران (۱۴۰۰) بررسی شد. نتایج حاصل از مقایسه میانگین با استفاده از آزمون t غیر جفتی و Leven نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در مشخصات pH، SAR، گچ، درصد رس، درصد سیلت و ماده آلی خاک اراضی بدلند با خاک شاهد در سطح احتمال یک درصد است. دمی زاده و شادفر (۱۴۰۰) با بررسی شدت گسترش فرسایش آبکندی در حوضه کندوران استان هرمزگان به این نتیجه رسیدند که در طی دوره چهار ساله ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۶ سطح آبکندها از ۳۱۶/۳ هکتار به ۳۷۰/۵ هکتار یعنی معادل ۵۴/۲ هکتار افزایش یافته است. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش رس و کاهش سیلت، رشد آبکندها کاهش یافته و در مقابل در مناطق مارنی حاوی شوری و گچ بالا سرعت گسترش بیشتر بوده است. از طرفی پوشش گیاهی فقیر در این منطقه نیز یکی از عوامل موثر بر گسترش آبکندها است. مهم‌ترین عوامل موثر در توسعه آبکندهای منطقه آلو (مرکز پرتغال) مطالعه و براساس تجزیه و تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) مورد بررسی قرار گرفته است. عوامل اصلی کنترل‌کننده تغییرات مکانی فرسایش آبکندی در این مطالعه شامل نفوذ خاک، شیب، شکل شیب و پوشش گیاهی بودند (Martins et al, 2022). ماینا (Maina, 2022) در بررسی آبکندهای منطقه در اتیوپی و نتایج حاصله از اعمال روش‌های مهار آنها اعلام می‌دارد که فرسایش آبکندی به یک معضل جهانی تبدیل و یکی از شدیدترین مشکلات زیست‌محیطی است که افراد بهره‌بردار در محیط خود را با از بین بردن زمین‌های کشاورزی، اموال، جاده و بناها تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. این تحقیق نشان داد که مردم از اقدامات کنترل بیولوژیکی و کیسه‌سنی

تأثیر آنها در مناطق مختلف به شکل متفاوتی است (Rafaello and Reis 2016). بنابراین گوناگونی و تأثیر متفاوت ویژگی‌های طبیعی در مناطق مختلف، ضرورت دارد تا تحقیقات متفاوتی در مناطق مختلف انجام شود. این تحقیق با مد نظر قرار دادن ویژگی‌های حوزه آبخیز هر آبکند و مشخصات خاک، قصد دارد تا با دخیل نمودن عوامل قابل مدیریت در گسترش آبکند، مهمترین آنها را در منطقه شناسایی کند. از طرفی دشواری مطالعات میدانی و عدم دقت برخی اندازه‌گیری‌ها به خصوص ترسیم مرز حوزه آبخیز آبکندها سبب شد تا با هدف تعیین رابطه مشخصات خاک و حوزه آبخیز آبکندها با طول و حجم آبکند، از فناوری جدید تصویربرداری با پهپاد در منطقه استفاده شود.

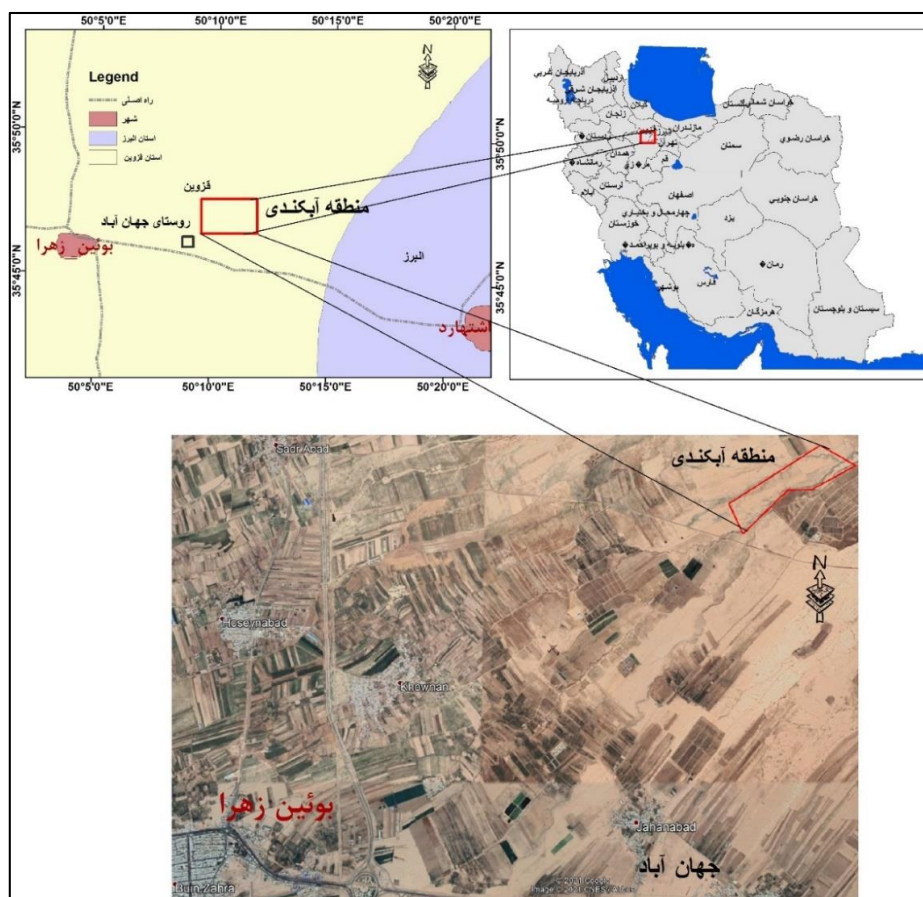
منطقه مورد مطالعه

روستای جهان‌آباد در پنج کیلومتری شمال شرق بوئین‌زهر (استان قزوین) واقع است و از نظر تولید پسته و کشاورزی پتانسیل خوبی دارد. با توجه به آب‌وهوای مساعد منطقه برای کشت پسته، ظرف چند سال گذشته سرمایه‌گذاری‌های عمده‌ای توسط بخش خصوصی برای توسعه اراضی کشت پسته صورت گرفته است. منطقه آبکندی در فاصله حدود سه کیلومتری شمال روستا با مساحتی حدود ۱۲۰ هکتار و در مختصات ۴۲۲۰۳۳ تا ۴۲۴۵۳۷ طول شرقی و ۳۹۶۲۷۹۴ تا ۳۹۶۴۵۲۸ عرض شمالی سیستم مختصات UTM قرار دارد (شکل ۱). شاخص‌های حداقل، حداکثر و میانگین ارتفاع در منطقه به ترتیب ۱۱۶۰، ۱۱۷۷ و ۱۱۶۸ متر هستند. متوسط شیب در محدوده مورد بررسی برابر ۳/۸ درصد و بارش و دمای متوسط سالانه به ترتیب ۱۹۸ میلی‌متر و ۱۳ درجه سانتی‌گراد است. برحسب متوسط درازمدت دما و بارش و در اقلیم

افزایش کارایی داده‌ها برای تحقیقات فرسایش آبکندی در مقیاس حوضه شود. میجانی و همکاران (Meijani et al, 2016) کارایی تصاویر پهپاد برای تولید مدل رقومی ارتفاع را بررسی و بیان نمودند که عملکرد (SIFT)^۷ 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 چندمنظوره (از طریق دوربین دیجیتال دستی) در آبکندهای دامنه‌ای در ساوانا خشک و گرمسیری شمال شرقی استرالیا توسط کوسی و همکاران، (Koci et al, 2017) بررسی 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 کرنز و کوهن، (Krenz and Kuhn, 2018) بیان نمودند 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 باند 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 نمودند که برای شناسایی و تعیین حجم بدلندها و حتی فرسایش‌های سطحی و شیارری به‌عنوان منابع تولید رسوب مناسب بود. با توجه به بررسی منابع، هرچند پژوهش‌های مختلفی در زمینه بررسی عوامل موثر بر گسترش فرسایش آبکندی انجام شده، اما عوامل متنوعی بر این پدیده مؤثرند و

شوری، قلیائیت خاک و نیز محدودیت زهکشی، به صورت بایر است. منطقه در تیپ اراضی تپه که اراضی نسبتاً مسطحی هستند و خاک آنها خیلی عمیق با بافت ریز و شوری نسبتاً زیاد است، واقع شده و در بعضی قسمت‌ها دارای سطوح پف‌کرده و شوره زده است. منطقه روی واحد Qft1 (رسوبات بادبزی شکل کوهپایه‌ای) با حساسیت زیاد (درجه ۷ از ۱۰) به فرسایش قرار دارد (پیروان، ۱۳۹۵).

نمای دمارتن، اقلیم منطقه خشک تعیین شده است. از نظر منابع اراضی، تیپ اراضی دشت دامنه‌ای هستند. تنوع ناهمواری، شرایط آب و هوایی و خاک موجب شکل‌گیری انواع پوشش گیاهی شده است. بدین ترتیب بیشتر منطقه مرتعی بوده و از تراکم پوشش کمی برخوردار است و در بعضی مناطق به شکل درختچه‌های منفرد مشاهده می‌شود. قسمت‌هایی از این اراضی زیر کشت باغ پسته و در بعضی قسمت‌های با پستی و بلندی و



شکل ۱: موقعیت منطقه در استان قزوین و کشور

مواد و روش‌ها

ابتدا براساس گزارشات مطالعاتی موجود، بازدید میدانی از مناطق آبکندی انجام و تصویر گوگل ارث^۸ آنها بررسی و تفسیر شد. سپس مرز محدوده آبکندی در منطقه روی تصاویر مذکور شناسایی،

ترسیم و تعداد ۳۳ رشته از آبکندهای نمونه در منطقه انتخاب شد. در مرحله بعد با حضور در صحرا و با استفاده از سامانه موقعیت‌یابی جهانی^۹ (GPS)، موقعیت و مختصات محل بالکند آبکندها ثبت و لایه رقومی پراکنش آبکندها در محیط نرم افزار

با تازه‌سازی ترانشه بالاکنند تهیه و مشخصات شیمیایی و فیزیکی شامل بافت، EC، pH، ماده آلی، آنیون‌ها و کاتیون‌های کربنات، بی‌کربنات، کلر، کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم با روش‌های استاندارد (علی‌احیایی و بهبهانی زاده، ۱۳۷۲) در آزمایشگاه خاک‌شناسی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری اندازه‌گیری شدند. نمونه لازم برای تعیین جرم مخصوص ظاهری نیز به کمک سیلندر از محل بالاکنند تهیه و پس از خشک شدن در آون، توزین و مقدار آن تعیین شد. برای ترسیم مرز آبخیز آبنکدها، مدل رقومی ارتفاعی تولید شد که پایه آن تصاویر حاصل از پهپاد Dji Phantom 3 Professional (شکل ۲) بود (Phantom 3 User Manual, 2016).

ArcMap10.2 تهیه شد. با پیمایش صحرائی آبنکدهای منتخب، مشخصات شکل‌شناسی شامل طول، عرض بالا، عرض پایین و عمق هر آبنکند در محل بالاکنند، ۲۵ درصد از طول، ۵۰ درصد در صد از طول و خروجی کانال آبنکند توسط متر دستی برداشت و به بانک اطلاعاتی مختصات آبنکدها اضافه شد. براساس اندازه‌گیری‌های مذکور و محاسبه حجم جزئی^{۱۰} هر مقطع حاصل از برآورد سطح مقطع متوسط در طول و جمعیت حجم مقاطع، حجم کل آبنکند محاسبه و معادل هدررفت خاک توسط آبنکند در نظر گرفته شد (صوفی و عیسانی، ۱۳۸۹). وضعیت پوشش سطح زمین (تاج پوشش، لاش‌برگ و سنگریزه) به کمک پلات اندازه‌ی تصادفی با ابعاد یک متر در یک متر تعیین شد. نمونه خاک سطحی (۳۰-۰ سانتی‌متری) در محل



شکل ۲: سمت راست، دسته کنترل (هدایت‌کننده) و سمت چپ، پهپاد Dji Phantom 3 Professional

^{۱۳}(GIS) در محیط ArcMap10.2 فراخوانی شده و با استفاده از الگوریتم‌های موجود، مراحل استخراج اطلاعات مثل بستن مرز حوزه آبخیز هر آبنکند و استخراج مشخصات مورفولوژیک حوزه آبخیز هر آبنکند (محیط، مساحت، شیب، ضریب گردی و ضریب شکل) انجام شد.

به منظور تهیه مدل رقومی ارتفاع^{۱۱} منطقه آبنکندی، ابتدا تصاویر برداشت شده با دوربین پهپاد با نرم‌افزار Agisoft.Photoscan.Professional.V1.4.3.Buil d.6506 پردازش شده و پس از تولید ابر نقاط متراکم^{۱۲}، مدل رقومی ارتفاع و ارتوفتو تولید شد. DEM حاصله با ابعاد سلولی ۱۰×۱۰ سانتی‌متر بوده و به‌عنوان ورودی در سامانه اطلاعات جغرافیایی

کلی آنها را نشان می‌دهد. مشخصات آماری ویژگی‌های آبکندهای منطقه (جدول ۱) نشان می‌دهد که بالاکندها عمودی و عمق متوسط آنها ۳۵ سانتی‌متر است. آبکندهای بررسی‌شده از نوع دائمی، خطی و پیوسته هستند که دارای مقطع عرضی دوزنقه شکل و پلان عمومی آنها از نوع خطی است (شکل ۳). متوسط عمق آبکندها ۴۶/۷ سانتی‌متر بوده و بزرگ‌ترین آبکنده منطقه دارای عمق ۹۸/۰ سانتی‌متر و کم‌عمق‌ترین آن ۲۸/۶ سانتی‌متر بوده است که براساس روش طبقه‌بندی آبکندها در طبقه کوچک قرار دارند. درحالی که متوسط عمق آبکندهای استان قزوین معادل یک متر است (صوفی، ۱۳۹۴). متوسط طول کل آبکندهای منطقه حدود ۱۳/۴ متر و طولانی‌ترین و کوتاه‌ترین آنها به ترتیب حدود ۴۱/۱ و ۲۸/۲ متر بودند.

طبقه‌بندی آبکندها براساس شاخص عمق و به روش فائو انجام شد (صوفی ۱۳۹۴ به نقل از FAO, 1982). جدول ضریب همبستگی پیرسون که یکی از مشهورترین شیوه‌های اندازه‌گیری وابستگی بین دو متغیر کمی است، در محیط MINITAB18 برای متغیرهای وابسته طول و حجم آبکندها با سایر ویژگی‌های مستقل محاسبه شد. با استفاده از روش تجزیه به مولفه‌های اصلی و رگرسیون چند متغیره به روش گام‌به‌گام، عواملی که بیشترین تاثیر را بر متغیرهای وابسته (طول و حجم آبکندها) دارند را شناسایی و رابطه بین آنها تعیین شد.

بحث و نتایج

آبکندهای منطقه عموماً جزو آبکندهای جانبی^{۱۴} بوده که در حاشیه آبراهه اصلی ایجاد و گسترش یافته‌اند که نمونه تصویر پهپاد در شکل ۳، نمای



شکل ۳: نمای سطح زمین و مسیر آب در بالای بالاکندها (بالا راست)، بالاکندهای یکی از آبکندهای منطقه (بالا چپ) و نمونه تصویر پهپاد (پایین)

مترمکعب بود. نحوه گسترش آبکندها نشان می‌دهد که حذف پوشش گیاهی طبیعی در اثر چرای دام و یا از طریق کشت دیم و یا ایجاد جاده‌های

حداکثر و حداقل حجم آبکندهای منطقه به ترتیب ۲۵/۲ و حدود ۰/۴ مترمکعب و متوسط حجم هدررفت خاک ناشی از هر رشته آبکنده حدود ۷/۵

بیشتری برای تخریب و هدر رفت خاک و نهایتاً توسعه آنها می‌شود. وجود سطح کافی برای گسترش طولی، عرضی و عمقی آبکندها نشانگر این واقعیت است که در حوضه‌های کشیده‌تر با ضریب فرم کمتر، مقدار گسترش آبکندها بیشتر است (جدول ۱).

دسترسی به باغات تازه تاسیس پسته باعث گسترش آبکندها شده است (صوفی، ۱۳۹۴). همان‌طوری که سلیمان‌پور و همکاران (۱۳۹۸) تاکید کردند، هر چه در محدوده مساحتی آبخیز آبکندها و سطح خاک بدون پوشش، بیشتر باشد موجب تولید رواناب بیشتر و ایجاد فرصت و قدرت

جدول ۱: مشخصات آماری برخی ویژگی‌های شکلی آبکندها

ردیف	ویژگی	کمینه	بیشینه	متوسط
۱	عرض بالا به عمق در ۵۰٪ طول	1.2	2.8	2.6
۲	محیط آبخیز m	31.6	842.6	230.5
۳	مساحت آبخیز (m ²)	0.005	1.34	0.18
۴	طول آبخیز m	11.00	209.00	58.38
۵	متوسط طول cm	282	4110	1346
۶	متوسط حجم m ³	0.43	25.26	7.47

شده است. متوسط EC خاک منطقه برابر ۱۱/۲۷ دسی زیمنس بر متر و با pH متوسط ۸/۷ نشان می‌دهد که شور و قلیا بودن خاک منطقه بر گسترش فرسایش آبکندی موثر است. در بسیاری از منابع، شوری و قلیابیت خاک از عوامل مؤثر در گسترش آبکندها معرفی شده‌اند که نتایج تحقیقات نوحه گر و حیدرزاده (۱۳۹۰)، سلیمان‌پور و همکاران (۱۳۹۴)، نیسی و همکاران (۱۳۹۶) و سلیمان‌پور و همکاران (۱۳۹۸) نیز بر اهمیت و اثر شوری و قلیابیت خاک بر میزان پیشروی طولی آبکندها در مقایسه با دیگر عوامل تأکید کردند. همچنین نتایج تحقیق هدایت فرد و همکاران (۱۴۰۰) نشان می‌دهد که ایجاد آبکندها در حوزه آبخیز بیان استان فارس تابع عوامل سیلت، اسیدیته، خاک لخت، سنگریزه و ماده آلی است که عموماً با شرایط این منطقه همخوانی دارد و تأکید دارد که ضعف ساختمان و حساسیت خاک و نبود پوشش گیاهی مناسب از عوامل مهم ایجاد و گسترش آبکندها هستند که در تعیین راهکارهای مدیریتی مهار آبکندها، بایست اقدامات متناسب برای تقویت این موارد انجام داد.

نتایج حاصل از آزمایش نمونه خاک سطحی بالاکندها آبکندها در قالب سه شاخص آماری کمینه، بیشینه و متوسط هر ویژگی در جدول ۲ ارائه شده است. آزمایش تعیین توزیع اجزای ذرات خاک نشان داد که بافت خاک در نمونه‌ها لوم و بیشینه مقادیر ماسه، سیلت و رس به ترتیب ۵۷، ۵۵ و ۴۰ درصد و کمینه مقادیر ماسه، سیلت و رس به ترتیب ۱۷، ۲۱ و ۱۲ درصد است. متوسط مقادیر اجزای بافت نشان داد که درصد سیلت بیشتر از دو جزء دیگر بود که مقدار زیاد سیلت باعث افزایش حساسیت خاک به فرسایش می‌شود. متوسط کربن آلی خاک سطحی در منطقه معادل ۰/۲۶ درصد تعیین و نشان می‌دهد که خاک‌های منطقه تحقیق در شرایط ناپایداری از لحاظ این شاخص کیفیت خاک قرار دارند (Hazelton and Murphy, 2007) که باعث سستی خاکدانه‌ها، کاهش مقاومت خاک (افزایش فرسایش پذیری) و نهایتاً گسترش آبکندها می‌شود. مکرم و محمودی (۱۳۹۵) نیز رابطه عکس بین میزان ماده آلی و حجم آبکندها را گزارش نمودند. منصور (Mansour, 2014) بیان کرده که سیلت زیاد و ماده آلی کم در خاک سطحی باعث افزایش فرسایش‌پذیری و نهایتاً گسترش آبکندها

جدول ۲: مشخصات آماری نتیجه آزمایش نمونه‌های خاک

Maximum	Minimum	StDev	Mean	Name Unit
53.80	1.07	12.88	11.27	EC ds/m
9.02	8.35	0.1820	8.73	pH
1.50	0.00	0.349	0.21	Co3-- meq/l
6.75	2.00	1.047	3.23	Hco3- meq/l
545.0	3.3	122.5	84.7	Cl- meq/l
70.00	8.00	14.63	29.65	Ca++ meq/l
38.00	0.40	9.98	11.26	Mg++ meq/l
950.0	2.3	192.9	108.9	Na+ meq/l
2.25	0.23	0.57	0.73	K+ meq/l
19.20	14.02	1.14	16.26	TNV %
0.64	0.02	0.17	0.26	OC %
46.53	21.73	5.69	37.58	SP %
57.00	17.00	12.11	37.76	Sand%
55.00	21.00	9.90	38.03	Silt%
40.00	12.00	5.33	24.20	Clay%
1.71	1.300	0.11	1.49	Bd
0.39	0.24	0.04	0.31	K epic
1.94	0.06	0.48	0.71	SI

مشخصات مورفومتری آبکند که بدیهی است از ضریب بالایی برخوردار هستند، مقدار سیلت و ضریب اشباع و فرسایش پذیری بیشترین همبستگی را با حجم و طول آبکند داشتند.

جدول ۳ نشان می‌دهد که در بررسی همبستگی دو طرفه (r پیرسون)، صرف نظر از مشخصات شکل شناسی آبکند، کدام عوامل همبستگی بیشتری با حجم و طول آبکند داشته‌اند. صرف نظر از

جدول ۳: ویژگی‌های مهم دارای همبستگی (r پیرسون) بالا با عامل حجم آبکند

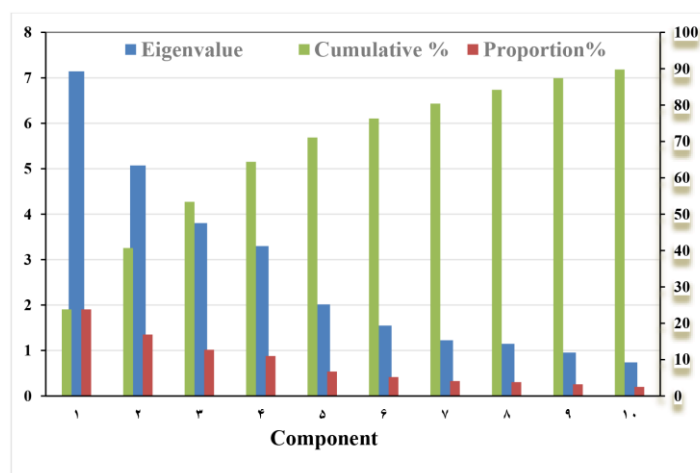
R ²	سطح معنی‌داری	همبستگی	زوج ویژگی	ردیف
21.62	0.006	0.465	حجم* Silt	۱
20.61	0.007	0.454	حجم* SP	۲
17.81	0.013	-0.422	حجم* Sand	۳
20.61	0.007	0.454	حجم* K epic	۴
11.76	0.047	0.343	حجم* ضریب فشردگی حوضه	۵
14.59	0.026	-0.382	حجم* شیب روی بالاکند	۶
19.98	0.008	0.447	طول* SP	۷
20.43	0.007	-0.452	طول* Sand	۸
26.01	0.002	0.510	طول* Silt	۹
25.60	0.002	0.506	طول* K epic	۱۰
22.75	0.004	-0.477	طول* شیب روی بالاکند	۱۱

مشخصات مشابه است و فقط در مقدار ضریب و یا سطح معنی‌داری تفاوت دارند. شکل حوضه از پارامترهای مؤثر بر شدت رواناب سطحی است و هرچه شکل حوضه نسبت به یک حوضه دایره‌ای شکل، کشیده‌تر باشد، دبی اوج کمتر خواهد بود.

بررسی نتیجه همبستگی دو طرفه و تعیین r پیرسون نشان می‌دهد که با توجه به منطقی و بدیهی بودن رابطه بین طول و حجم، عوامل مؤثر بر آنها نیز به جز در ضریب فشردگی حوضه که فقط با حجم آبکند رابطه معنی‌داری داشته، سایر

آبکندها مشهود است که در نتایج نیز خود را نشان داده است. یافته‌های تحقیقات دیگر محققین مثل سلیمان‌پور و همکاران (۱۳۹۴) و کوکال و همکاران (Kukal et al, 2002) از نظر تأثیر شیب و مساحت آبخیز و عامل شکل بر گسترش آبکندها مشابهت داشت. همچنین در نتایج تحقیقات فریدگیلو و قضاوی (۱۳۹۷)، وان مارکه و همکاران (Vanmaercke et al, 2016)، رستمیزاد و همکاران (۱۳۹۴) و منصور (Mansour, 2014) بیان شده که عوامل شیب روی بالا کند، مقدار Silt، مقدار شن و فرسایش‌پذیری با طول و حجم آبکند ارتباط معنی‌داری دارند. نتیجه تجزیه به مؤلفه‌های اصلی با متغیرهای مستقل مشخصات خاک و خصوصیات آبخیز، نشان داد که دو جزء اصلی (مؤلفه اول و دوم) نزدیک به ۴۱ درصد در مجموع هشت بعد دارای مقدار ویژه بیشتر از یک، مجموعاً ۸۴/۲ درصد تغییرات را به عهده دارند و دیگر ابعاد، نماینده سهم باقی‌مانده تغییرات هستند که تغییرات مقدار ویژه و سهم جزئی و تجمعی ابعاد اصلی در شکل ۴ نمایش داده شده است. شکل ۴ نشان می‌دهد که در محور اول با ۲۳/۸ درصد از کل واریانس و محور دوم با ۱۶/۹ درصد بیشترین تغییرات را در دو بعد اصلی نشان دادند.

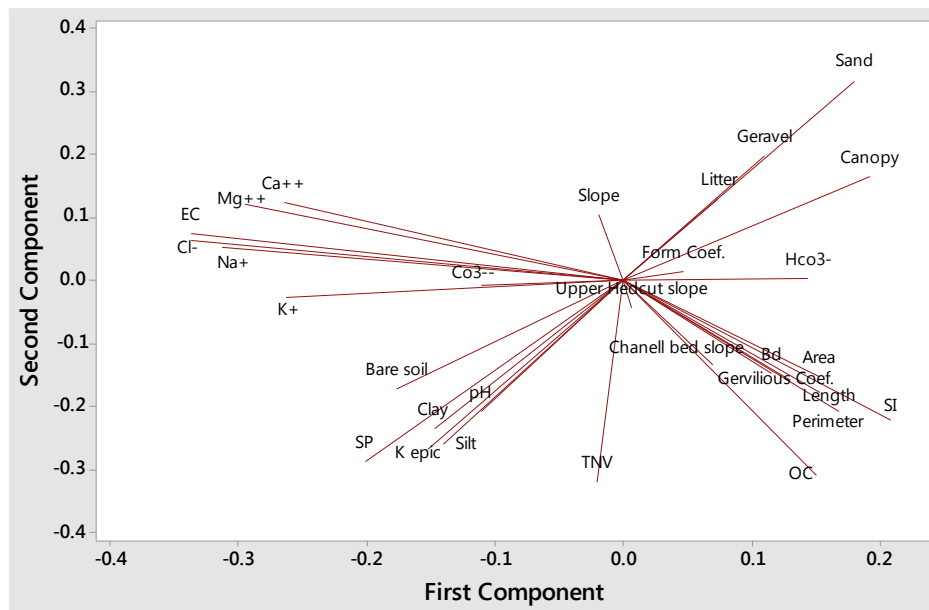
مقدار متوسط ضریب شکل و ضریب فشردگی (به ترتیب ۰/۳۸ و ۱/۵) نشان می‌دهد که شکل حوزه آبخیز آبکندهای منطقه، کشیده است ولی حساست خاک و نبود پوشش گیاهی باعث شده که حتی در این شرایط که دبی پیک پایین است، کنش و گسترش آبکند اتفاق بیوفتد. کاربری اراضی نقش موثری بر فرسایش آبکندی دارد که در این منطقه علت آن تخریب مراتع و تبدیل وضعیت مراتع از خوب یا متوسط به وضعیت فقیر، و یا تبدیل مراتع به دیمزارهای کم بازده است. وقتی کاربری اراضی مشابه است، ولی در بخشی از آن آبکند ایجاد می‌شود، در این حالت سایر عوامل نظیر پستی و بلندی می‌تواند نقش ایفاء کند. در چنین حالتی احتمالاً شیب قسمتی از کاربری بیش‌تر از سایر بخش‌ها است. مطالعات مشابهی مثل یثربی و همکاران (۱۳۹۲) و سلیمان‌پور و همکاران (۱۳۹۲) دلالت بر تأثیر شیب بر ایجاد آبکندهای عمیق‌تر دارد. همچنین رستمی زاد و همکاران (۱۳۹۳) و شهبازی و وکیلی تجره (۱۴۰۰) نیز لایه‌های لیتولوژی، شیب، ارتفاع و تراکم آبراهه را به ترتیب مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر فرسایش آبکندی معرفی کرده‌اند که در این منطقه نیز اثر حساسیت خاک ناشی از مواد مادری و تأثیر شیب بر ایجاد و گسترش



شکل ۴: نمودار سنگریزه‌ای تغییرات و سهم جزئی و تجمعی ابعاد اصلی

مثبت در محور اول بیشترین وزن را دارند در حالی که در محور دوم شن، تاج پوشش و مقدار سنگریزه با اثر مثبت و مقدار مواد خنثی شونده، ماده آلی و درصد اشباع نقش مهم تری ایفا می‌کنند (جهانتیغ و تابع، ۱۳۹۶؛ صفاری و همکاران، ۱۳۹۸).

با استفاده از تحلیل مولفه‌های اصلی، مهم‌ترین عواملی که در گسترش آبکندها نقش داشته‌اند به صورت دو بعد مهم‌تر در شکل ۵ نمایش داده شده‌اند. کلر، هدایت الکتریکی و سدیم با اثر منفی و پایداری خاکدانه، تاج پوشش و مقدار شن با بار



شکل ۵: نمایش توزیع بار عاملی در دو مولفه اصلی حاصل از PCA

حوضه و ضریب گردی کنترل می‌شود (جدول ۴). ضریب دوربین واتسون این معادله ۲/۴۲ بدست آمد که مبین اعتبار کافی رابطه است. ضرایب معادله و شاخص‌های آماری آن در جدول ۴ ارائه شده است.

رابطه (۱)

$$Y = -12.62 - 2.65 \text{ Co3--} + 0.378 \text{ Mg++} - 4.40 \text{ K+} + 21.04 \text{ OC} + 0.461 \text{ SP} + 0.01910 \text{ Perimeter} - 4.26 \text{ Gervilious Coef.} - 1.579 \text{ Chanel bed slope} - 0.315 \text{ Hedcut up slope} + 3.348 \text{ Litter}$$

این در حالی است که براساس نتیجه رگرسیون گام‌به‌گام برای تعیین مهم‌ترین عوامل موثر، رابطه ۱ به دست آمد که در سطح کمتر از یک درصد معنی‌دار بوده و از ضریب تبیین بالایی (۰/۸۳۷) برخوردار است و به این معنی است ۸۳/۷ درصد از تغییرات حجم کل آبکند توسط مشخصات مختلفی از خاک و آبخیز مثل کربنات، منیزیم، پتاسیم، ماده آلی، درصد اشباع، مقدار شن، شیب کف آبکند، شیب آبراهه ورودی به بالاکند، لاشبرگ، محیط

جدول ۴: نتایج آماری ضرایب معادله و شاخص‌های آماری رگرسیون مربوط به حجم آبکند

VIF	P-Value	Coef	Source Regression
	0	-12.62	
1.46	0.184	-2.65	Co3--
4.31	0.003	0.378	Mg++
2.94	0.014	-4.4	K+

2.93	0.001	21.04	OC
1.56	0.001	0.461	SP
2.22	0	0.0191	Perimeter
2.12	0.139	-4.26	Gervilious Coef.
1.6	0	-1.579	Chanel bed slope
1.66	0.644	-0.315	Hedcut up slope
1.6	0	3.348	Litter

برای رابطه گسترش طول آبکند و مشخصات موثر بر آن این معادله $۲/۴۸$ بدست آمد که نشان می دهد رابطه از اعتبار کافی برخوردار است. ضرایب معادله و شاخص های آماری آن در جدول ۵ ارائه شده است.

$$Y = 5137 + 9.4 SP - 45.0 Sand - 1497 Bd + 1392 Hectares + 89.4 Slope - 185.1 Chanel bed slope - 185 Hedcut up slope + 812 Geravel$$

انجام رگرسیون گام به گام با متغیر وابسته طول آبکند نشان داد که رابطه دارای ضریب تبیین $۷۲/۹۸$ درصد و در سطح کمتر از یک درصد معنی - دار است. عوامل موثر بر طول آبکند شامل درصد اشباع، مقدار شن، جرم مخصوص، شیب کف آبکند، شیب آبراهه ورودی به بالاکند، سنگریزه، مساحت حوضه و شیب حوضه است. ضریب دوربین واتسون

جدول ۵: نتایج آماری ضرایب معادله و شاخص های آماری رگرسیون مربوط به طول آبکند

VIF	P-Value	Coef	Source
	0	5137	Regression
4.08	0.799	9.4	SP
4.62	0.022	-45	Sand
1.07	0.157	-1497	Bd
1.41	0.004	1392	Hectares
1.17	0.033	89.4	Slope
1.62	0.004	-185.1	Chanel bed slope
1.42	0.118	-185	Hedcut up slope
1.23	0.012	812	Geravel

نتیجه گیری

جمع بندی نتایج آنالیز نمونه ها نشان می دهد که مقادیر بالای سیلت، سدیم، کلر و در مقابل ماده آلی پایین از جمله مشخصات بارز این مناطق و نشانه فرسایش پذیری خاک است. فرسایش پذیر بودن خاک، نبود پوشش گیاهی و چرای بی رویه منطقه را مستعد ایجاد و گسترش انواع فرسایش های آبی (به ویژه فرسایش آبکندی) و در پی آن، تولید

فرانکل و همکاران (Frankl et al, 2013) نیز دریافتند که عرض کانال رابطه قوی و مثبتی با مقدار دبی (مساحت حوزه آبخیز) دارد. همچنین سلیمانپور و همکاران (۱۳۹۴)، کوکال و همکاران (Kukal et al, 2002)، فریدگیگلو و قضاوی (۱۳۹۷)، با نتایج مشابه اعلام نمودند که عامل مساحت آبخیز بالادست پیشانی بر حجم آبکند مؤثر است.

طبیعی و طول و حجم آبکند (هدررفت خاک) از اعتبار کافی و عدم هم خطی بین اجزا برخوردار هستند. نتایج هر چند بخش عمده‌ای از مشخصات وارد شده به معادله همبستگی و تحلیل به مولفه‌های اصلی مثل شیب، سیلت یا مقادیر یون‌های خاک به راحتی قابل دستکاری و اصلاح نیستند ولی می‌توان با طراحی اقدامات مکانیکی مناسب برای اصلاح شیب یا مساحت و عملیات بیولوژیکی برای افزایش ماده آلی و مقاوت خاک سطحی، نهایتاً باعث کاهش سرعت و قدرت برشی رواناب شد تا از گسترش آبکندها جلوگیری شود. بنابراین، حسب شرایط موجود در منطقه ضروری است که حتی المقدور با ایجاد و استقرار پوشش گیاهی دائم و سازگار، برای افزایش ماده آلی و متعاقباً بهبود پایداری ساختمان خاک اقدام شود و برنامه‌های کنترلی و مدیریتی، با دقت بیشتری عملیاتی شود (هدایت فرد و همکاران، ۱۴۰۰؛ سلیمان‌پور و همکاران، ۱۳۹۴؛ نیسی و همکاران، ۱۳۹۶). کاربرد پهنپای باعث تسریع در انجام کار ترسیم مرز و تعیین مشخصات آبخیز آبکندها و فراهم شدن یک دید کلی از منطقه شد، همان‌طور که لیو و همکاران (Liu et al, 2016) و میجانی و همکاران (Meijani et al, 2017) به اهمیت آن اعلام نمودند. لذا می‌توان از پهنپای برای پایش‌های دوره‌ای و تعیین سرعت گسترش و شناسایی تغییرات کاربری و مناطق پرخطر از نظر گسترش آبکند اقدام نمود.

رسوب فراوان نموده است. مشابهت عواملی چون EC، Na⁺، Cl⁻، Sand، OC بیان کننده اثرات عوامل شوری، فقر پوشش گیاهی و حساسیت بافت خاک بود که در کاهش مقاومت خاک و افزایش تاثیرپذیری آن در مقابل نیروهای فرساینده موثر هستند. بنابراین اقداماتی مثل اصلاح خاک، مدیریت چرا و پیشگیری از تغییرات کاربری می‌تواند بر کاهش گسترش آبکندها موثر باشد. با توجه به نتایج تحقیق مبنی بر فقر پوشش گیاهی و به منظور کاهش پیشروی آبکندها، تقویت و احیاء پوشش گیاهی پیشنهاد می‌شود. در صورت عدم امکان اجرای این راهکار، بایستی رواناب ایجاد شده در بالای پیشانی آبکندها را منحرف نمود و در بخشی از بدنه‌ی آبکند یا آبراهه‌های انتهایی مسیر وارد کرد. همچنین اجرای کارهای احتیاطی برای جلوگیری از ایجاد آبکندهای جدید در محل ورود رواناب به بدنه آبکند ضروری است. از سوی دیگر می‌توان با اقدامات مکانیکی محدود مانند بانکت-بندی و یا احداث بندهای خاکی به ارتفاع یک متر در انتهای آبکندها، علاوه بر ایجاد سامانه‌هایی برای استحصال آب باران، حجم و ارتفاع رواناب ورودی به پیشانی آبکند را کاهش داد و از این راه آب را جمع‌آوری و برای استقرار پوشش گیاهی در اطراف آبکندها به کار گرفت. ضریب دوربین واتسون بالا و عامل تورم واریانس پایین به ترتیب نشان می‌دهد که معادلات بدست آمده در رابطه بیم مشخصات

پانوش

- 1-Acelerated
- 2-Gully Erosion
- 3-Head cut
- 4-Debre Mawi
- 5-UAV: Unmanned Aerial Vehicle
- 6-Normalized Difference Vegetation Index
- 7-Scale Invariant Feature Transform

- 8-Google earth
- 9-Global Positioning System (GPS)
- 10-Partial Volume
- 11-Digital Elevation Model (DEM)
- 12-Dense Cloud
- 13-Geographic Information System (GIS)
- 14-Bank gully

منابع

- داده کاوی در منطقه ماهور میلانی استان فارس، مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، سال ۹، شماره ۲۹، ص ۴۷-۵۶.
- سلیمان پور، س.م.، صوفی، م.، روستا، م.ج.، شادفر، ص.، جوکار، ل. و کشاورزی، ح.، ۱۳۹۸. تعیین عوامل مؤثر بر گسترش طول آبکندها در حوزه آبخیز قاضیان استان فارس، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، شماره ۱۰ (۲۰)، ص ۷۲-۸۲.
- شهبازی، خ.، وکیلی، ف. و تجربه، ف.، ۱۴۰۰. اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر فرسایش خندقی و تعیین پهنه‌های حساس در استان کرمانشاه با استفاده از مدل MaxEnt. مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، شماره ۱۵ (۵۴)، ص ۴۸-۵۸.
- صفاری، ا.، کرم، ا.، شادفر، ص. و احمدی، م.، ۱۳۹۸. تأثیر ویژگی‌های خاک بر مورفولوژی و گسترش فرسایش خندقی (مطالعه موردی: حوضه رودخانه مهران لامرد، فارس)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال ۸، شماره ۱، ص ۱۴۶-۱۳۰.
- صوفی، م.، ۱۳۹۴. بررسی و طبقه‌بندی مورفوکلیماتیک آبکندهای ایران، فاز ۲: استان‌های قزوین، خوزستان، مازندران، ایلام و تهران، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ۸۲ ص.
- صوفی، م. و عیسیایی، ح.، ۱۳۸۹. برآورد حجم فرسایش آبکندهای با استفاده از ویژگی‌های مورفومتریک و خاک در آبکندهای استان گلستان، مجله مهندسی و مدیریت آبخیز، جلد ۲، شماره ۲، ص ۷۳-۸۲.
- علی‌احیایی، م. و بهبهانی زاده، ع.ا.، ۱۳۷۲. شرح روش‌های تجزیه شیمیایی خاک، نشریه موسسه تحقیقات خاک و آب، شماره ۸۹۲، ص ۷۷-۹۶.
- فرشاد، ع. و فرزانه، ع.، ۱۳۹۶. سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی و کاربرد آنها در منابع
- پیروان، ح.ر.، ۱۳۹۵. بازنگری، تکمیل و انتشار اطلس سیمای حوزه‌های آبخیز کشور (حوزه دریاچه نمک مرکزی)، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ۱۳۵ ص.
- جهان‌تیغ، م. و تابع، م.، ۱۳۹۶. مقایسه خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک و مورفولوژی خندق‌های دوزنقه‌ای و ۷- شکل با کاربری‌های متفاوت در مناطق خشک، مطالعه موردی: مناطق حسین زهی و نالینت شهرستان چابهار، نشریه علمی پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، جلد ۹، شماره ۳، ص ۳۰۸-۳۱۷.
- دمی زاده، م. و شادفر، ص.، ۱۴۰۰. بررسی تغییرات بلندمدت رشد فرسایش خندقی در حوضه کندوران، استان هرمزگان، پژوهش‌های فرسایش محیطی، شماره ۳ (۴۳)، ص ۱۴۰-۱۵۹.
- رستمیزاد، ق.، سلاجقه، ع.، نظری سامانی، ع.ا. و قدوسی، ج.، ۱۳۹۴. تعیین عوامل مؤثر بر رشد طولی خندق‌ها و پیش‌بینی گسترش آن (مطالعه موردی: شهرستان دره شهر)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال ۴، شماره ۱، ص ۴۶-۵۸.
- رستمیزاد، ق.، سلاجقه، ع.، نظری سامانی، ع.ا. و قدوسی، ج.، ۱۳۹۴. تعیین عوامل مؤثر در ژئومتری فرسایش خندقی (مطالعه موردی: شهرستان دره‌شهر)، پژوهش‌های فرسایش محیطی، شماره ۴ (۱)، ص ۵۰-۶۱.
- سلیمان پور، س.م.، صوفی، م. و احمدی ح.، ۱۳۹۲. بررسی تاثیر ویژگی‌های خاک سطحی بر گسترش طولی آبکندها در اقلیم‌های مختلف استان فارس، علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، جلد ۷، شماره ۲۲، ص ۷۵-۷۷.
- سلیمانپور، س.م.، هدایتی، ب.، صوفی، م. و احمدی، ح.، ۱۳۹۴. تعیین آستانه‌ی عوامل مؤثر بر گسترش طولی آبکندها با استفاده از تکنیک‌های

-مرادی، ح.ر.، رضایی، و. و عرفانیان، م.، ۱۴۰۰. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در تشکیل اراضی بدلدن، پژوهش‌های دانش زمین، Doi: 10.29252/esrj.2021.213717.0

-نیسی، س.، خلیلی مقدم، ب. و ذرتی پور، ا.، ۱۳۹۶. مدل‌سازی عوامل مؤثر بر رشد طولی خندق‌های مارنی و تعیین سهم تولید رسوب حاصل از آن‌ها (مطالعه موردی: حوزه درب خزینه، خوزستان)، مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران، دوره ۷۰، شماره ۲، ص ۵۳۱-۵۴۱.

-هدایت فرد، م.، غلامی، ح.، سلیمان پور، س.م. و حلی ساز، ا.، ۱۴۰۰. تعیین عوامل مؤثر بر ایجاد فرسایش آبکندهی با استفاده از روش‌های داده‌کاوی در حوزه آبخیز بیان، استان فارس، مهندسی و مدیریت آبخیز، دوره ۱۳، شماره ۲، ص ۳۶۸-۳۷۸.

-یثربی، ب.، صوفی، م.، میرنیا، س.خ. و محمدی، ج.، ۱۳۹۲. بررسی تاثیر ویژگی‌های توپوگرافی و خاک بر گسترش آبکندهای جبهه‌ای در کاربری کشاورزی، مطالعه موردی: استان ایلام، مهندسی و مدیریت آبخیز، دوره ۵، شماره ۱، ص ۳۱-۴۰.

طبیعی، کشاورزی و محیط زیست (کاربرد عکس-های هوایی آنالوگ/ رقومی، تصاویر ماهواره‌ای-فراطیفی، موقعیت‌یاب ماهواره‌ای، رادار، لیدار و پهپاد)، انجمن آبخیزداری ایران، ۴۸۷ ص.

-فریدگیگلو، ب. و قضاوی، ر.، ۱۳۹۷. بررسی نقش ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک آبکند و عوامل زمین محیطی حوضه بالادست آن بر گسترش فرسایش آبکندهی، نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی) سال ۲۲، شماره ۳، ص ۲۷۳-۲۸۶.

-مکرم، م. و محمودی، ع.، ۱۳۹۵. بررسی ویژگی‌های مورفومتری خندق‌ها و ارتباط آن با ویژگی‌های خاک، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره ۳، ص ۱۳۳-۱۴۵.

-نوحه گر، ا. و حیدرزاده، م.، ۱۳۹۰. مطالعه خصوصیات فیزیکی- شیمیایی و مورفومتری مناطق خندقی (مطالعه موردی: گزیر، استان هرمزگان)، پژوهش‌های فرسایش محیطی، شماره ۱، ص ۲۹-۳۴.

-Frankl, A., Poesen J., Scholiers, N., Jacob, M., Haile, M., Deckers, J. and Nyssen, J., 2013. Factors controlling the morphology and volume (V) – length (L) relations of permanent gullies in the Northern Ethiopian Highlands. *Earth Surf Process Landforms*: online early view.

-Frankl, A., Nyssen, J., De Dapper, M., Haile, M., Billi, P., Munro, R.N., Deckers, J. and Poesen, J., 2011. Linking long-term gully and river channel dynamics to environmental change using repeat photography (North Ethiopia). *Geomorphology*, v. 129(3-4), p. 238-251.

-Hazelton, P. and Murphy, B., 2007. *Interpreting soil test results: what do all the numbers mean?* CSIRO publishing, Australia, 152 p.

-Koci, J., Jarihani, B., Leon, J.X., Sidle, R.C., Wilkinson, S.N. and Bartley, R., 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*, v. 6(328), p. 2-23.

-Krenz, J. and Kuhn, N., 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*, v. 8, 336 p.

-Kukul, S.S. and Matharu, G.S., 2002. Behaviour of gully erosion in relation to catchment characteristics in foothills of

- lower Shivaliks. 17th world congress of soil science, Thailand.
- Liu, K.D., Tang, H.G., Na, J., Huang, X., Xue, Z., Yang, X. and Li, F., 2016. Detection of catchment-scale gully-affected areas using unmanned aerial vehicle (UAV) on the Chinese loess plateau. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, v. 5(238), p. 1-21.
- 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*, v. 3(3), p. 17-25.
- Maina, M.B., 2022. Effects of gully erosion in Damagum town and environs, Fune Local Government area, Yobe state of Nigeria. *Dutse Journal of Pure and Applied Sciences (DUJOPAS)*, v. 8(2b), p. 105-115.
- Martins, B., Nunes, A., Meira-Castro, A., Lourenço, L. and Hermenegildo, C., 2022. Local factors controlling gully development in a Mediterranean environment. *Land*, v. 11(204), p. 1-13.
- Marzolff, I., Poesen, J. and Ries, J.B., 2011. Short to medium-term gully development, human activity and gully erosion variability in selected Spanish gully catchments. *Journal of Landform Analysis*, v. 17, p. 111-116.
- Meijani, N., Kiawarzmoghadam, M. and Karimi Firouzajai, M., 2017. Survey the performance of UAV images to generation a digital surface model. *Journal of Geographical Information System Usage and Remote Sensing in Planning*, v. 8(1), p. 25-36.
- Oyegun, C.U., Ereka, U.N. and Eludoyin, O.S., 2016. Gully characterization and soil properties in selected communities in Ideato South LGA, Imo State, Nigeria. *Nature and Science*, v. 14(2), p. 78-86.
- Phantom 3 User Manual., 2016. https://dl.djicdn.com/downloads/phantom_3/en/Phantom+3+Professional+User+Manual+v1.8_en_20160719.pdf.
- Poesen, J., Nachtergaele, J., Verstraeten, G. and Valentin, C., 2003. Gully erosion and environmental change: importance and research needs. *Catena*, v. 50, p. 91-133.
- Rafaello, B. and Reis, E., 2016. Controlling factors of the size and location of large gully systems: A regression based exploration using reconstructed pre-erosion topography. *CATENA*, v. 147, p. 621-631.
- Vanmaercke, M., Poesen, J., Van Mele, B., Demuzere, M., Bruynseels, A., Golosov, V., Bezerra, J.F.R., Bolysov, S., Dvinskih, A. and Frankl, A., 2016. How fast do gully headcuts retreat?, *Earth-Science Reviews*, v. 154, p. 336-355.
- Zegeye, A.D., Langendoen, E.D., Stoof, C., Seifu, A., Tilahun, S.A., Dagnaw, D.C., Zimale, F.A., Guzman, C.D., Yitaferu, B. and Steenhuis, T.S., 2016. Morphological dynamics of gully systems in the subhumid Ethiopian Highlands: The Debre Mawi watershed. *Soil*, v. 2, p. 443-458.