

## تأثیر پخش سیلاب بر روند تغییرات حاصل خیزی خاک در ایستگاه‌های پخش سیلاب

کوروش کمالی<sup>۱\*</sup>، محمدحسین مهدیان<sup>۲</sup>، محمود عرب‌خردی<sup>۱</sup>، امیرحسین چرخابی<sup>۱</sup>

نجفقلی غیائی<sup>۱</sup> و امیر سررشته‌داری<sup>۱</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۹/۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۷/۳۰)

### چکیده

پخش سیلاب نقش مؤثری در بهبود و حاصل‌خیزی خاک، تغذیه آب‌های زیرزمینی، احیا و تقویت پوشش گیاهی و کنترل بیابان‌زایی دارد. از آنجایی که سیلاب زمینه انتقال ذرات خاک را فراهم می‌آورد، در صورت مناسب بودن مواد معلق موجود در سیلاب، پخش آن سبب افزایش حاصل‌خیزی خاک می‌شود. در نتیجه لازم است تا میزان این تغییرات و روند آن در طول زمان بررسی و روش مناسب در راستای افزایش بهره‌وری این طرح‌ها ارائه شود. به همین منظور با نمونه‌برداری از نقاط مختلف عرصه پخش سیلاب و تجزیه فیزیکی و شیمیایی این نمونه‌ها، این روند در طول ۵ سال دوره رسوب‌گذاری بررسی شد. در این رابطه، نمونه‌برداری به روش سیستماتیک - تصادفی و با شبکه‌بندی نوارها از سه نوار اول سیلگیری شده مربوط به ۱۳ ایستگاه منتخب پخش سیلاب در سراسر کشور انجام و شاخص‌های نیتروژن کل، فسفر قابل جذب، پتاسیم قابل جذب و کربن آلی خاک اندازه‌گیری شد. برای مقایسه میانگین‌ها، به دلیل عدم تطابق داده‌ها با توزیع نرمال، از آزمون ناپارامتری استفاده گردید. هم‌چنین، به منظور دست‌یابی به اهداف مورد نظر و تحلیل صحیح داده‌های جمع‌آوری شده، مبادرت به گروه‌بندی ایستگاه‌ها شد. بدین منظور، با استفاده از تجزیه خوشه‌ای، میانگین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، ایستگاه‌های منتخب در سه دسته قرار گرفت. نتایج نشان داد که تغییرات شاخص‌های حاصل‌خیزی در نوارهای پخش در سال‌های مختلف، دارای تغییرات نامنظم و هم‌چنین بین گروه‌های سه‌گانه ایستگاه‌ها نیز تا حدی متفاوت بوده است. به نظر می‌رسد این موضوع می‌تواند متأثر از عوامل مختلفی از جمله متفاوت بودن کمیّت و کیفیت سیلاب منحرف شده، متفاوت بودن بستر عرصه‌های پخش سیلاب و عدم توزیع یک‌نواخت سیلاب روی عرصه‌ها باشد. اگرچه بستر اولیه عرصه‌های پخش سیلاب از نظر مواد آلی و حاصل‌خیزی خاک فقیر است، ولی در مجموع پخش سیلاب باعث بهبود شاخص‌های حاصل‌خیزی در خاک سطحی عرصه‌های پخش سیلاب شده است، البته برای رسیدن به شرایط ایدئال نیاز به گذشت زمان بیشتری می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک، ایستگاه‌های پخش سیلاب، رسوب، حاصل‌خیزی

۱. به ترتیب کارشناس ارشد و اعضای هیئت علمی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران

۲. دانشیار پژوهشی سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران

\*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: kamali\_kourosh@yahoo.com

## مقدمه

در اکثر مناطق خشک، بهره‌برداری از سیلاب به روش‌های متنوع و متعدد سنتی و نوین انجام می‌گیرد. در شبکه‌های پخش سیلاب، ورود حجم زیادی از سیلاب که اغلب دارای برخاستگاه متفاوتی است، به مرور زمان سبب بروز تغییراتی در خواص خاک و در نتیجه تأثیر بر فرآیند خاکسازي و تغییر شرایط زیست محیطی می‌شود. هم‌چنین در خاک‌های حاصل‌خیزی کم و بافت درشت، ذرات معلق موجود در سیلاب ممکن است سبب افزایش حاصل‌خیزی خاک و بهبود ساختمان خاک شود. با توجه به برآیند نتایج متفاوت حاصل از پروژه‌های پخش سیلاب در محل‌های مختلف، بررسی میزان متوسط این تغییرات و روند آن در طول زمان و استفاده از روشی مناسب در راستای افزایش بهره‌وری طرح‌های پخش سیلاب ضرورت دارد.

نتایج به دست آمده از پژوهش‌های انجام شده، نشان‌دهنده بهبود کیفیت حاصل‌خیزی خاک در اثر گسترش سیلاب است. اهمیت پخش سیلاب در ارتباط با منابع خاکی، بیشتر به این دلیل است که ته‌نشینی مواد معلق با کیفیت خوب روی خاک‌های جوان و زمین‌های فرسوده، آنها را به زمین‌های بارور تبدیل نموده و موجب رونق کشاورزی می‌شود. به عنوان نمونه در مطالعه موردی که در اراضی دامنه‌ای دهانه شور نیشابور انجام شد، گسترش سیلاب باعث افزایش میزان کربن آلی، نیتروژن، فسفر و آهک در افق‌های  $B_{2Ca}$ ،  $Ap$  نسبت به افق‌های  $C_2$  و  $C_3$  گردید (۵). سکوتی اسکوتی (۳) در عرصه پخش سیلاب پلدشت در استان آذربایجان غربی نشان داد که در خاک عرصه، مقدار کربن آلی و نیتروژن در طول چهار سال به ترتیب ۱/۲۹ و ۰/۳۴ برابر نسبت به سال اول افزایش یافت.

نتایج تحقیق کوثر (۱۲) حاکی از افزایش مقدار کربن آلی خاک از ۰/۱۷ درصد در عرصه شاهد به ۲/۰۶ درصد در عرصه پخش سیلاب گربایگان فسا بود. وی فراوانی نیتروژن در مارن‌ها، سیلت استون و مواد مادری شنی حوزه آبخیز بالادست و تجمع فضولات دام‌ها در محل عرصه به دلیل افزایش پوشش

گیاهی را از دلایل افزایش مقدار نیتروژن خاک عرصه در اثر پخش سیلاب نام برده و ریزش و تجزیه برگ‌های درختان اکالیپتوس را از دلایل افزایش فسفر قابل جذب خاک برشمرده است. وی بیان نمود که ریزش متوالی برگ درختان و ترسیب رسوب، سبب توزیع یک‌نواخت مواد آلی، نیتروژن و فسفر قابل دسترس در طول پروفیل خاک گردیده و محیط مناسبی را برای کشت محصولات به‌خصوص غلات به‌وجود آورده است. هم‌چنین نتایج تحقیقات رهبر و کوثر (۲) نشان داد که در نتیجه گسترش سیلاب در گربایگان فسا، میزان اسیدیته خاک به علت افزایش موادآلی خاک به میزان یک واحد کاهش و میزان نیتروژن کل و عناصر کم مصرف (مس، آهن، روی، منگنز) و پرمصرف نسبت به شاهد افزایش یافت.

نتایج بررسی‌های سررشته‌داری و اسکیدمور (۱۶) نشان داد که در اثر اجرای طرح پخش سیلاب آب باریک بم در استان کرمان، مقدار فسفر و کربن آلی در حد معنی‌داری افزایش یافت. هم‌چنین در فواصل بین خاکریزها نیز تغییرات معنی‌داری در میزان هر کدام از این عوامل دیده شد. رگرسیون خطی انجام شده برای نیتروژن و کربن آلی یک ارتباط قوی ( $R^2=87/6$ ) را نشان داد، در حالی‌که به طور هم‌زمان یک ارتباط متوسط بین کربن آلی و فسفر ( $R^2=62/3$ ) مشاهده گردید.

کیا حیرتی (۶) علت افزایش میزان مواد آلی و عناصر غذایی در رسوبات انباشته شده نوارهای پخش سیلاب موغار استان اصفهان در مقایسه با خاک عرصه پخش را به شرایط اقلیمی مناسب (بارندگی بیشتر)، برخوردار بودن وضعیت پوشش گیاهی مناسب و در نتیجه غنی بودن خاک حوزه آبخیز به مواد غذایی نسبت داده است. نتایج به دست آمده از پژوهش سلیمانی (۴) در ایستگاه پخش سیلاب موسیان استان ایلام نیز نشان داد که کربن آلی و نیتروژن در عرصه پخش نسبت به شاهد به ترتیب ۳۰/۱ و ۳۳/۳ درصد افزایش یافته و فسفر قابل استفاده با ۵۴/۵ درصد افزایش از ۱/۵۴ میلی‌گرم در کیلوگرم در شاهد به ۲/۳۸ میلی‌گرم در عرصه پخش رسید.

مک داوول و شارپلی (۱۳) گزارش کردند که رسوبات ناشی

گونه‌های درختی، ته‌نشست رسوب و افزایش باروری خاک و دیگر فعل و انفعالات محسوب می‌شود، بنابراین محل‌های نمونه‌برداری و بررسی روند تغییرات حاصل‌خیزی خاک در داخل عرصه پخش و در حد فاصل نهرهای گسترش سیلاب، انجام شد. چنانچه کل عرصه پخش به صورت نسبتاً یکپارچه سیلگیری می‌شد، نمونه‌برداری از نوارهای ابتدایی، وسط و انتهایی شبکه‌های پخش سیلاب انجام می‌گرفت، اما به دلایلی همچون خشک‌سالی و میزان سیلگیری متفاوت نوارها در سال‌های مختلف، محل‌های نمونه‌برداری محدود به سه نوار اول شبکه پخش سیلاب شد.

از آنجا که نمونه‌های برداشت شده باید بیانگر ویژگی‌های نقاط مختلف عرصه پخش سیلاب باشد، بنابراین پس از انتخاب نوارهای اول، دوم و سوم سیلگیری شده، با استفاده از شبکه‌بندی نوارها مبادرت به نمونه‌برداری شد. بدین منظور طول هر نوار به سه قسمت (قطعه) مساوی تقسیم گردید. عرض هر قطعه نیز ۱۰ متر کمتر از عرض نوار انتخاب شد. به‌عبارت دیگر فاصله شبکه‌های ترسیمی (عرض هر قطعه) از نهرهای گسترشی و پشته‌های خاکریز حدود پنج متر است (شکل ۱). این امر به دلیل حذف شرایط مرزی و عدم دخالت عوامل حاشیه‌ای از جمله ریزش خاکریزها و یا تردد وسایل نقلیه موتوری در اطراف لبه‌های پخش می‌باشد. مبنای پنج متر کاهش عرض نوار از طرفین شبکه‌های ترسیمی بستگی به میزان اثرگذاری شرایط مرزی دارد. بدیهی است با توجه به شرایط مختلف احداث ایستگاه‌های پخش سیلاب، این میزان ممکن است افزایش و یا کاهش یابد و یا الزاماً در طرفین شبکه‌ها برابر نباشد.

بنابراین سه شبکه مستطیل شکل در هر نوار تشکیل شد که قطرهای آنها به عنوان ترانسکت‌های دائمی و نقاط نمونه‌برداری انتخاب شدند. در این تحقیق به منظور نمونه‌برداری سالانه، از سه نقطه واقع در روی هر ترانسکت نمونه‌برداری شد. نمونه‌های برداشت شده مربوط به لایه‌های مشابه رسوب و یا افق خاک با یکدیگر مخلوط و یک نمونه معرف از اعماق

از رواناب، غنی از فسفر هستند. جداسازی و انتقال مواد و عناصر غذایی از طریق رسوبات، به وسیله جوردن و همکاران (۱۱) گزارش شد. هم‌چنین فونسکا و همکاران (۸) گزارش کردند که رسوبات حاصل از رواناب، شاخص حاصل‌خیزی بالایی داشته، به طوری که نیتروژن، فسفر و پتاسیم بیشتری نسبت به میانگین خاک‌های منطقه مورد آزمایش داشت. هم‌چنین با افزایش ذرات رس ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) رسوبات نسبت به خاک محل افزایش پیدا کرد. طبق تحقیقات رادو و ویتون (۱۵)، فعالیت نیتروژناز پس از پخش سیلاب افزایش یافت. هیرست و ابراهیم (۱۵) مشخص کردند که رسوبات ته‌نشست شده در اثر پخش سیلاب، دارای ماده آلی، نیتروژن، پتاسیم، کلسیم، سولفور، منیزیم و منگنز بیشتر و مس و روی کمتر نسبت به خاک سطحی محل آزمایش بود.

بررسی منابع علمی موجود نشان‌دهنده آثار پخش سیلاب بر منابع خاکی است. از این‌رو استفاده از سیلاب‌ها در مناطق مختلف، مستلزم شناخت کامل از چگونگی این آثار است. هدف از این پژوهش، بررسی تأثیر پخش سیلاب و تعیین آثار احتمالی مواد معلق سیلاب‌ها روی حاصل‌خیزی خاک سیزده ایستگاه منتخب پخش سیلاب بود.

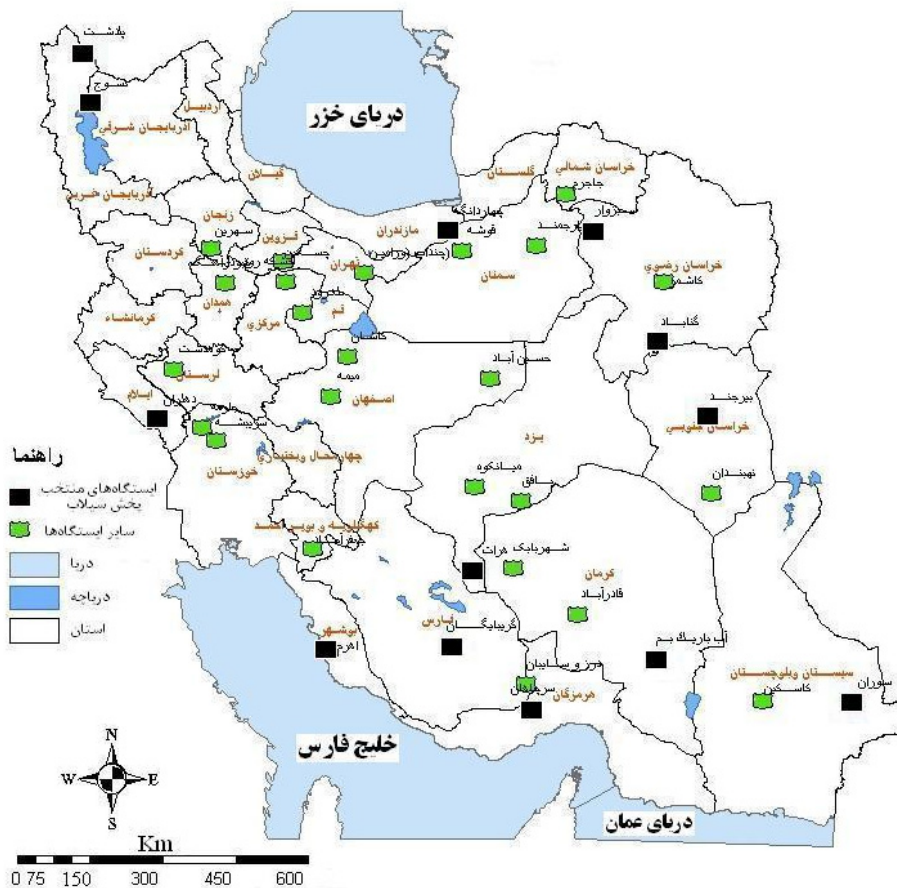
## مواد و روش‌ها

یک شبکه پخش سیلاب، عمدتاً شامل سازه‌های آبیگری، نهر آبرسان، نهر آبرسان-گسترشی، نهرهای گسترشی پخش سیلاب، خاکریزهای تنظیم‌کننده شیب، دروازه‌ها و نهر تخلیه آب مازاد است. یکی از برجسته‌ترین مزیت این شبکه‌ها، سادگی فن‌آوری و روش اجرای آن است. به دنبال احداث ۳۷ ایستگاه تحقیقاتی، آموزشی و ترویجی پخش سیلاب در سطح کشور و لزوم رفتارسنجی خصوصیات خاک در آنها، این تحقیق در ۱۳ ایستگاه منتخب پخش سیلاب انجام شد. جدول ۱ موقعیت جغرافیایی و نقشه (۱) پراکنش این ایستگاه‌ها را در سطح کشور نشان می‌دهد.

عرصه پخش سیلاب به عنوان مکان‌های اصلی نفوذ، کاشت

جدول ۱. اسامی و موقعیت جغرافیایی ۱۳ ایستگاه منتخب پخش سیلاب

ردیف	نام ایستگاه پخش سیلاب- استان	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۱	گریباگان- فارس	۵۳° ۵۱' تا ۵۴° ۵۲'	۲۸° ۳۵' تا ۲۸° ۴۱'
۲	سراوان- سیستان و بلوچستان	۲۷° ۲۳' تا ۲۷° ۲۸'	۶۰° ۱۶' تا ۶۰° ۲۳'
۳	اهرم - بوشهر	۵۱° ۱۵' تا ۵۱° ۱۷'	۲۹° ۵۵' تا ۲۸° ۵۵'
۴	آب باریک بم - کرمان	۵۸° ۷' تا ۵۸° ۱۴'	۲۸° ۱۳' تا ۲۸° ۲۵'
۵	پشتکوه - مازندران	۵۳° ۴۰' تا ۵۳° ۵۸'	۳۶° ۰۷' تا ۳۶° ۲۴'
۶	تسوج - آذربایجان شرقی	۴۵° ۱۹' تا ۴۵° ۲۱'	۳۸° ۲۱' تا ۳۸° ۲۸'
۷	سبزوار - خراسان رضوی	۵۶° ۴۱' تا ۵۷° ۳۰'	۳۶° ۱۳' تا ۳۶° ۲۵'
۸	گناباد - خراسان رضوی	۵۸° ۲۳' تا ۵۸° ۳۷'	۳۴° ۰۲' تا ۳۴° ۱۷'
۹	دهلران - ایلام	۴۷° ۲۵' تا ۴۷° ۴۲'	۳۲° ۲۷' تا ۳۲° ۳۵'
۱۰	پلدشت - آذربایجان غربی	۴۴° ۴۸' تا ۴۵° ۰۸'	۳۹° ۱۴' تا ۳۹° ۱۳'
۱۱	بیرجند - خراسان جنوبی	۵۸° ۴۳' تا ۵۹° ۴۵'	۳۳° ۰۸' تا ۳۳° ۳۴'
۱۲	هرات - یزد	۵۵° ۱۲' تا ۵۵° ۳۰'	۳۱° ۰۳' تا ۳۱° ۳۳'
۱۳	سرچاهان - هرمزگان	۵۵° ۵۲' تا ۵۵° ۵۳'	۲۷° ۵۷' تا ۲۸° ۰۱'



نقشه ۱. پراکنش ایستگاه‌های پخش سیلاب در سطح کشور

مقایسه از زمین شاهد نیز نمونه‌برداری انجام شد. زمین شاهد زمینی است در اطراف عرصه پخش سیلاب که در آن سیلی پخش نشده باشد. همچنین این اراضی می‌بایست تحت مدیریت مشابهی بوده و در آنها کشت و کار و یا دیگر عملیات صورت نگرفته باشد. لازم به ذکر است زمان نمونه‌برداری نیز پایان سال آبی (شهریورماه) بود.

### نتایج

برای تجزیه و تحلیل نتایج به دست آمده، ابتدا نرمال بودن داده‌ها بررسی شد. آزمون نرمال بودن داده‌ها بر اساس تست کولموگروف-سمیرنوف (K-S) انجام شد. با توجه به این آزمون اگر مقدار p-value بیشتر از ۰.۰۵ باشد، فرضیه  $H_0$  یعنی نرمال بودن داده‌ها مورد تأیید قرار می‌گیرد. از آنجا که هیچ‌یک از داده‌های حاصل‌خیزی ایستگاه‌های پخش سیلاب دارای توزیع نرمال نبودند برای تجزیه و تحلیل داده‌ها، از آزمون ناپارامتری کروسکال والیس (Nonparametric Test- Kruskal & Wallis) استفاده شد. این آزمون یک نوع مقایسه میانگین‌ها است که معنی‌دار بودن یا نبودن اختلاف میانگین گروه‌ها را مشخص می‌کند (۱). برای گروه‌بندی مناسب ایستگاه‌های پخش سیلاب نیز، ابتدا با استفاده از تحلیل خوشه‌ای (Cluster analysis) در برنامه آماری SPSS، مبادرت به دسته‌بندی داده‌ها با استفاده از میانگین ویژگی‌های خاک شد.

### تجزیه و تحلیل عاملی

با استفاده از روش تجزیه و تحلیل عاملی (Principal Component Analysis) می‌توان تعداد زیادی از متغیرها را در چند عامل محدود و در واقع تعداد آنها را کاهش داده و به این ترتیب خلاصه‌ای از داده‌های اصلی را تهیه کرد. این روش با فرض بالای یک بودن ریشه پنهان ماتریس هم‌بستگی به کار برده شد که نتایج حاصل از کاربرد آن در جدول ۲ ارائه شده است. در این جدول درصد مشارکت هر

مربوط به هر ترانسکت به منظور انجام آزمایش‌های مربوطه به آزمایشگاه ارسال گردید. به عبارت دیگر از هر شبکه مستطیل شکل دو نمونه تهیه شد. بدین ترتیب تعداد نمونه‌های مرکب تهیه شده مربوط به هر لایه و یا افق خاک در هر نوار شش نمونه است.

توضیح این نکته ضروری است که به منظور نمونه‌برداری سالانه طول ترانسکت به ۱۲ قسمت مساوی تقسیم شد. اگر L طول ترانسکت بر حسب متر و n سال نمونه‌برداری باشد، نقاط نمونه‌برداری در هر سال از روابط زیر تعیین شدند:

$$\text{نقطه اول} \quad [(n-1)L + L] / 12$$

$$\text{نقطه دوم} \quad [(n-1)L + 5L] / 12$$

$$\text{نقطه سوم} \quad [(n-1)L + 9L] / 12$$

با توجه به روابط سه‌گانه فوق نقاط نمونه‌برداری روی هر ترانسکت در طی سال‌های مختلف به شرح زیر و مطابق شکل ۲ است.

$$\text{نقاط نمونه‌برداری در سال اول} \quad L/12, 5L/12, 9L/12$$

$$\text{نقاط نمونه‌برداری در سال دوم} \quad 2L/12, 6L/12, 10L/12$$

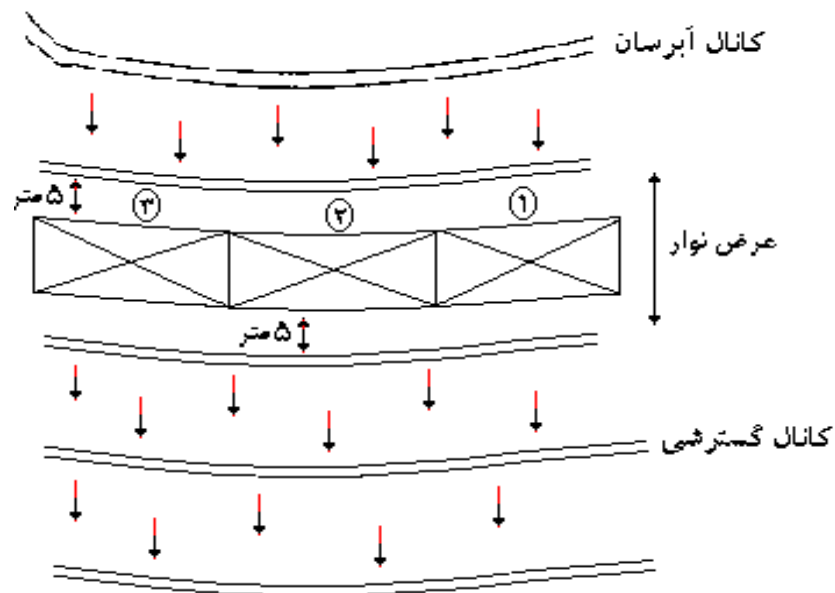
$$\text{نقاط نمونه‌برداری در سال سوم} \quad 3L/12, 7L/12, 11L/12$$

$$\text{نقاط نمونه‌برداری در سال چهارم} \quad 4L/12, 8L/12, 12L/12$$

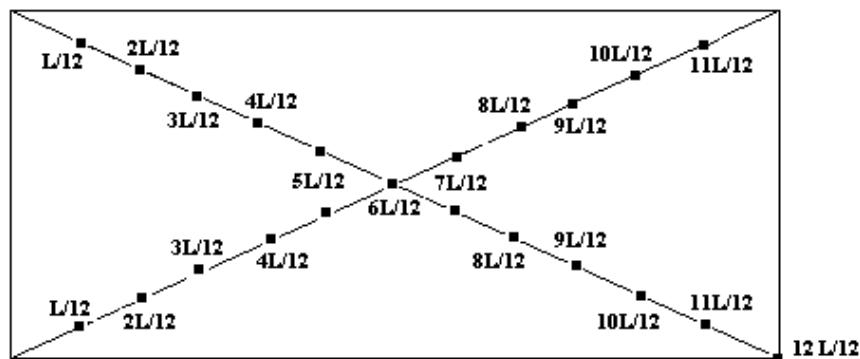
$$\text{نقاط نمونه‌برداری در سال پنجم} \quad L/12, 5L/12, 9L/12$$

الگوی نمونه‌برداری در این تحقیق به صورت سیستماتیک تصادفی است، به نحوی که خطوط ترانسکت و محل نمونه طبق الگوی از پیش تعیین شده انتخاب شدند. نقاط نمونه‌برداری نیز به صورت سیستماتیک و با استفاده از نقاط پایه انجام گرفت. نقطه پایه نقطه شروع نمونه‌برداری بوده و منطبق با رئوس شبکه‌های مستطیل شکل است.

نمونه‌برداری‌ها در سال‌های اول، سوم و پنجم از طریق حفر پروفیل و برداشت از لایه‌های مورد نظر انجام شد. از آنجا که پروفیل خاک افق‌بندی مشخصی نداشت، از سه عمق ۰-۳۰، ۳۰-۶۰ و ۶۰-۹۰ سانتی‌متری خاک به همراه لایه رسوب نمونه‌برداری انجام گرفت. در سال‌های دوم و چهارم نیز فقط از عمق رسوب نهشته شده نمونه برداشت شد. همچنین به دلیل



شکل ۱. نمای شماتیک از شبکه بندی یک نوار و محل های نمونه برداری در عرصه پخش سیلاب



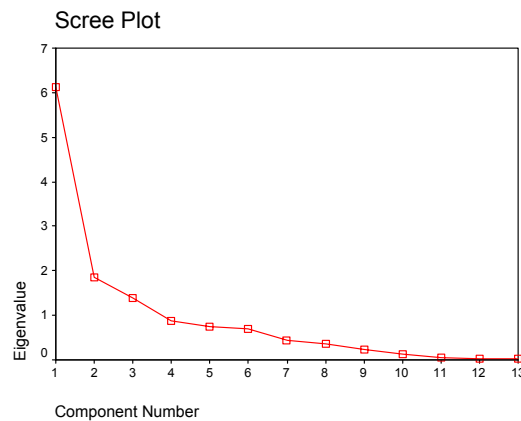
شکل ۲. نمای شماتیک نقاط نمونه برداری بر روی ترانسکت در طی سال های انجام طرح

جدول ۲. ریشه پنهان ماتریس هم بستگی

عامل (شماره گروه ایستگاه های پخش سیلاب)	ریشه پنهان ماتریس هم بستگی بالای یک		
	کل	درصد از واریانس	درصد تجمعی
۱	۶/۱	۴۷/۲	۴۷/۲
۲	۱/۹	۱۴/۳	۶۱/۵
۳	۱/۴	۱۰/۸	۷۲/۳

پخش سیلاب مورد مطالعه را بر اساس مشخصه های فیزیکی و شیمیایی خاک های آنها می توان حداکثر در ۱۳ و حداقل در ۳ محور خلاصه نمود. محور یا عامل اول ۴۷/۲ درصد واریانس داده را توضیح می دهد. به همین ترتیب عامل دوم ۱۴/۳ و عامل

عامل به طور مجزا مشخص شده است. شکل ۳ نیز تعداد محورهای قابل تفکیک بر اساس ریشه پنهان ماتریس هم بستگی بالای ۱ را نشان می دهد. جدول ۱ به همراه شکل ۳ نشان می دهد که ایستگاه های



شکل ۳. تعداد محورهای قابل تفکیک بر اساس ریشه پنهان ماتریس هم‌بستگی بالای یک

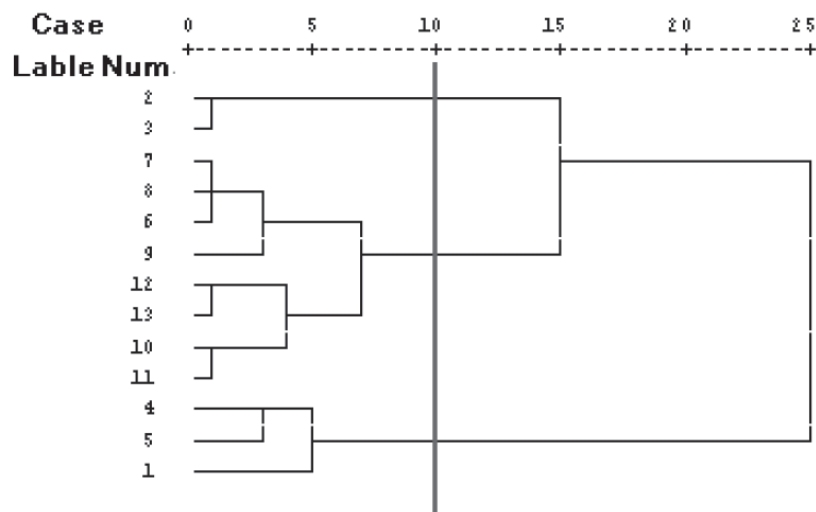
خاک در گروه‌های سه‌گانه ایستگاه‌های پخش سیلاب بررسی شده است.

الف) بررسی تغییرات حاصل خیزی خاک نوارهای پخش سیلاب در طی سه دوره نمونه‌برداری در ایستگاه‌های گروه یک

بررسی میانگین شاخص‌های حاصل خیزی خاک در سال‌های مختلف مربوط به نوار اول نشان داد که میزان نیتروژن و فسفر، روند افزایشی و سایر شاخص‌ها تغییرات نامنظمی در سال‌های اجرای تحقیق داشته‌اند (شکل ۵). بررسی تغییرات شاخص‌های حاصل خیزی خاک نوار اول طی سه سال نشان داد که میزان فسفر و پتاسیم و درصد کربن آلی خاک نوار اول در سال اول با سال دوم در سطح ۹۹ درصد اختلاف معنی‌دار وجود داشت. هم‌چنین بین درصد نیتروژن و کربن آلی در سال اول و سوم و میزان پتاسیم در سال دوم و سوم اختلاف معنی‌داری دیده شد.

شکل ۶ میانگین شاخص‌های حاصل خیزی خاک در سال‌های مختلف مربوط به نوار دوم را نشان می‌دهد. نتایج مقایسه آماری این تغییرات نیز نشان داد که بین سال اول و دوم، شاخص‌های درصد کربن آلی و پتاسیم در سطح ۹۹ درصد اختلاف معنی‌داری وجود داشته است. هم‌چنین بین سال اول و سوم، میزان درصد کربن آلی در سطح ۹۹ درصد نیز اختلاف

سوم ۱۰/۸ درصد واریانس خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های ایستگاه‌های پخش سیلاب را توضیح می‌دهند. به این ترتیب مشخص می‌شود که این سه محور حدود ۷۲ درصد تغییرات داده‌های اصلی را توضیح می‌دهند. با استفاده از اطلاعات مربوط به خصوصیات شیمیایی و فیزیکی نمونه‌ها، تجزیه و تحلیل خوشه‌ای به منظور طبقه‌بندی آنها انجام شد. در این رابطه، از میانگین ویژگی‌های خاک شامل درصد سنگریزه، شن، سیلت، رس، هدایت الکتریکی عصاره اشباع، درصد آهک، وزن مخصوص ظاهری، آنیون‌ها و کاتیون‌های محلول، نسبت جذب سدیم، گچ، اسیدیت، کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر قابل استفاده، پتاسیم قابل استفاده، نقاط رطوبتی ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم و سرعت نفوذ در ایستگاه‌های پخش سیلاب استفاده شد. از این طریق می‌توان خلاصه‌ای از مشابهت‌ها را بر اساس متغیرهای اندازه‌گیری شده از تمامی نمونه‌ها بیان نمود. بر اساس تحلیل خوشه‌ای داده‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در ایستگاه‌های پخش سیلاب (شکل ۴)، این ایستگاه‌ها در سه گروه به شرح جدول (۳) دسته‌بندی شدند. با گروه‌بندی ایستگاه‌ها، داده‌های اخذ شده مربوط به هر یک از ایستگاه‌های پخش سیلاب در گروه مربوط به خود، در جداولی به منظور آنالیزهای آماری، آماده‌سازی شد. داده‌های مورد نظر بر اساس سال، نوارها و اعماق نمونه‌برداری تنظیم شدند. در ادامه تغییرات حاصل خیزی



شکل ۴. دندروگرام خوشه‌ای برای طبقه‌بندی ایستگاه‌های پخش سیلاب

جدول ۳. گروه‌بندی ایستگاه‌های طرح بر اساس دسته‌بندی شاخص‌های خاک

شماره گروه	نام ایستگاه
یک	تسوج، سبزواری، هرات، گناباد، پلدشت، بیرجند، موسیان، سرچاهان
دو	آب باریک بم، پشتکوه، گریبایگان
سه	سراوان، اهرم

میزان فسفر، تغییرات سایر شاخص‌ها در سال‌های اجرای تحقیق روند منظمی نداشته است (شکل ۸)؛ به طوری که مقایسه آماری این شاخص، تغییرات معنی‌داری را بین سال‌های مختلف در سطح ۹۵ درصد نشان نداد.

در شکل ۹ میانگین شاخص‌های حاصل‌خیزی خاک در سال‌های مختلف مربوط به نوار دوم آمده است. نتایج مقایسه آماری تغییرات این شاخص‌ها نیز نشان داد که بین سال اول و سوم، شاخص‌های درصد کربن آلی، فسفر و CEC در سطح ۹۵ درصد، اختلاف معنی‌داری وجود داشت. هم‌چنین بین سال دوم و سوم، میزان درصد کربن آلی و CEC در سطح ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری دیده شده است.

بررسی میانگین شاخص‌های حاصل‌خیزی خاک در سال‌های مختلف مربوط به نوار سوم نشان داد که این شاخص‌ها در سال دوم، افزایش قابل ملاحظه‌ای نسبت به سال‌های اول و سوم داشته است (شکل ۱۰). نتایج مقایسه

معنی‌داری دیده شده است.

هم‌چنین شکل ۷ میانگین شاخص‌های حاصل‌خیزی خاک در سال‌های مختلف مربوط به نوار سوم را نشان می‌دهد. نتایج مقایسه آماری تغییرات شاخص‌های حاصل‌خیزی خاک نوار سوم در طی سه سال اجرای تحقیق نیز بین سال اول و دوم شاخص‌های درصد کربن آلی و پتاسیم در سطح ۹۹ درصد اختلاف معنی‌داری نشان داده است. هم‌چنین بین سال اول و سوم، میزان درصد کربن آلی در سطح ۹۹ درصد و نیتروژن در سطح ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری بود. بین سال دوم و سوم نیز تغییرات شاخص نیتروژن در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار گردید.

(ب) بررسی تغییرات حاصل‌خیزی خاک نوارهای پخش در طی سه دوره نمونه‌برداری در ایستگاه‌های گروه دو

بررسی میانگین شاخص‌های حاصل‌خیزی خاک در سال‌های مختلف مربوط به نوار اول نشان داد که به غیر از افزایش منظم





غذایی مورد نیاز گیاهان می‌باشد، تابعی از خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک است. بررسی نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که تغییرات شاخص‌های حاصل خیزی در نوارهای پخش در سال‌های مختلف دارای تغییرات نامنظم و هم‌چنین بین گروه‌های سه‌گانه ایستگاه‌ها نیز تا حدی متفاوت بوده است. این موضوع می‌تواند متأثر از عوامل مختلفی از جمله متفاوت بودن کمیت و کیفیت سیلاب منحرف شده به عرصه پخش سیلاب، وقوع خشک‌سالی و میزان سیلگیری متفاوت نوارها در سال‌های مختلف اجرای تحقیق، انجام عملیات بیولوژیک و قرق بودن برخی از عرصه‌های پخش سیلاب، متفاوت بودن بستر عرصه‌های پخش سیلاب و عدم توزیع یک‌نواخت سیلاب روی عرصه‌ها باشد.

در این پژوهش سه عنصر پرمصرف نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل جذب و عوامل کربن آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی به عنوان شاخص‌های حاصل خیزی خاک بررسی شدند. ماده آلی یکی از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده خصوصیات شیمیایی خاک به‌خصوص در بحث حاصل خیزی خاک است. هر گونه تغییراتی در این شاخص باعث تغییر در سایر ویژگی‌های شیمیایی خاک خواهد شد. میانگین درصد کربن آلی در ایستگاه‌های گروه یک و سه بر اساس معیارهای موجود در طبقه کم و در ایستگاه‌های گروه دو در طبقه خوب قرار دارد. بررسی روند تغییرات این شاخص در سنوات اجرای تحقیق در هر یک از نوارهای پخش سیلاب برای ایستگاه‌های گروه یک و سه افزایشی و برای ایستگاه‌های گروه دو کاهش می‌باشد. رخداد خشک‌سالی و عدم سیلگیری نوارهای پخش سیلاب از جمله دلایل عمده روند کاهش کربن آلی در ایستگاه‌های گروه دو است.

درصد کربن آلی در عرصه پخش سیلاب ایستگاه‌های گروه یک و سه روند افزایشی نشان داد. به‌طوری‌که با ادامه این روند، افزایش بیشتر ماده آلی در سال‌های آتی مورد انتظار است. از آنجایی که ماده آلی، خود منبع چند عنصر ضروری به خصوص نیتروژن و فسفر و فراهم‌کننده کربن و انرژی برای

آماری تغییرات شاخص‌های حاصل خیزی خاک نوار سوم در سه سال اجرای تحقیق نیز حاکی از آن است که بین سال اول و سوم از نظر شاخص‌های فسفر و CEC در سطح ۹۵ درصد، اختلاف معنی‌داری وجود داشت. هم‌چنین بین سال دوم و سوم، تغییرات میزان CEC در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار شد.

### ج) بررسی تغییرات حاصل خیزی خاک نوارهای پخش در طی سه دوره نمونه‌برداری در ایستگاه‌های گروه سه

بررسی میانگین شاخص‌های حاصل خیزی خاک در سال‌های مختلف مربوط به نوار اول نشان داد که میزان تمامی شاخص‌ها، روند افزایشی در سال‌های اجرای تحقیق داشته‌اند (شکل ۱۱). هم‌چنین تغییرات شاخص‌های حاصل خیزی خاک نوار اول، طی سه سال نشان داد که بین میزان فسفر در سال اول با دوم در سطح ۹۹ درصد اختلاف معنی‌دار وجود داشت. بین درصد فسفر و پتاسیم در سال اول و سوم و میزان پتاسیم در سال دوم و سوم اختلاف معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد دیده شد.

بررسی میانگین شاخص‌های حاصل خیزی خاک در سال‌های مختلف مربوط به نوار دوم (شکل ۱۲)، نشان داد که میزان تمامی شاخص‌ها تقریباً روند افزایشی در سال‌های اجرای تحقیق داشته‌اند. هم‌چنین تغییرات شاخص‌های حاصل خیزی خاک نوار دوم طی سه سال اجرای تحقیق حاکی از آن است که تغییرات میزان پتاسیم در سال اول با سوم و سال دوم و سوم در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار بود.

شکل ۱۳ میانگین شاخص‌های حاصل خیزی خاک در سال‌های مختلف مربوط به نوار سوم را نشان می‌دهد. تغییرات شاخص‌های حاصل خیزی خاک نوار سوم طی سه سال اجرای تحقیق نشان داد که در سال اول با سوم تغییرات میزان نیتروژن و CEC در سطح ۹۵ درصد و تغییرات درصد کربن آلی در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار شده است.

## بحث و نتیجه‌گیری

حاصل خیزی خاک که نشان‌دهنده قابلیت تأمین عناصر و مواد

غیرممکن بوده و به وسیله ذرات و کانی‌های معدنی و یا کلوئیدهای آلی خاک جابه‌جا می‌شود.

بررسی‌های سررشته‌داری و اسکیدمور (۱۶) و صادقی و فریدون فرهی (۵) روشن ساخته است که پخش سیلاب باعث تجمع بیشتر فسفر در خاک شده و مقدار این عنصر در حد معنی‌داری افزایش می‌یابد که با نتایج این تحقیق در ایستگاه‌های گروه یک و دو مطابقت دارد. بی‌شک افزایش میزان فسفر، ناشی از جداسازی و حمل مواد از بالادست حوضه و انتقال به پایین دست است. به طوری‌که در منطقه مورد مطالعه روز و نایجیگی (۱۴) در رواندا، سالانه ۸۰ تا ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و ۳ کیلوگرم در هکتار فسفر در اثر رواناب و فرسایش حاصل از آن حمل و به پایین دست سرازیر شد. به عقیده هاکر (۹) از یک طرف سیلت‌های ناشی از سیل که همراه با مواد غذایی هستند باعث افزایش حاصل خیزی خاک و از طرف دیگر فرسایش در بالا دست، موجب تخریب و کاهش باروری خاک می‌شود.

میانگین پتاسیم خاک بر اساس معیارهای موجود در ایستگاه‌های گروه یک در طبقه فقیر تا متوسط، در ایستگاه‌های گروه دو در طبقه متوسط و در ایستگاه‌های گروه سه در طبقه فقیر قرار دارد. بررسی روند تغییرات این شاخص در سنوات اجرای تحقیق برای ایستگاه‌های گروه یک و سه نشان داد که مقدار این شاخص در نوارهای سه‌گانه پخش سیلاب روند کاهشی و سپس افزایشی داشته است. برای ایستگاه‌های گروه دو نیز این روند ابتدا افزایشی و سپس کاهشی بوده است. متحرک بودن عنصر پتاسیم، شرایط اقلیمی حاکم بر ایستگاه‌های پخش سیلاب و میزان مصرف این عنصر به وسیله گیاهان از جمله دلایل تغییرات پتاسیم قابل جذب اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های پخش سیلاب می‌باشد. نتایج حاصل از تحقیقات نادری (۷) هم نشان از عدم تغییر معنی‌دار مقدار یون پتاسیم داشته است.

میانگین ظرفیت تبادل کاتیونی خاک بر اساس معیارهای موجود در ایستگاه‌های گروه یک و سه در طبقه کم و در ایستگاه‌های گروه دو در طبقه متوسط قرار دارد. بررسی روند

میکروارگانیزم‌های خاک بوده و ضمن کاهش موضعی pH خاک، باعث افزایش شکل‌های قابل استفاده عناصر غذایی می‌گردد، بنابراین هر گونه تغییری در ماده آلی، سایر ویژگی‌های مربوط به حاصل خیزی را نیز تحت تأثیر قرار داده است. از جمله این‌که نیتروژن کل در خاک ایستگاه‌های سه‌گانه رفتاری مشابه کربن آلی نشان دادند.

نتایج تحقیقات کوثر (۱۲)، صادقی و فریدون فرهی (۵)، سررشته‌داری و اسکیدمور (۱۶) و سکوتی اسکویی (۳) نشان داد که مقدار کربن آلی در اثر پخش سیلاب در حد معنی‌داری افزایش یافته است. نتایج تحقیق حاضر در ایستگاه‌های گروه یک و سه نیز با این نتایج همخوانی دارد. علت این موضوع را می‌توان به شستشوی مواد آلی از خاک سطحی اراضی بالادست و نهشته‌گذاری آنها در عرصه پخش سیلاب نسبت داد.

بررسی و مقایسه میانگین درصد نیتروژن خاک با معیارهای موجود، نشان داد که مقدار این شاخص در خاک عرصه ایستگاه‌های سه‌گانه در کلاس فقیر قرار دارد. بررسی روند تغییرات این شاخص در سنوات اجرای تحقیق در هر یک از نوارهای پخش سیلاب برای ایستگاه‌های گروه یک و سه افزایشی و برای ایستگاه‌های گروه دو کاهشی بوده است. متحرک بودن نیتروژن در خاک، وقوع خشکسالی و تغییرات میزان بارش، دنیتریفیکاسیون و مصرف نیتروژن به وسیله گیاهان مرتعی موجود در عرصه‌ها از جمله دلایل روند کاهشی این شاخص در خاک ایستگاه‌های گروه دو بوده است.

بررسی و مقایسه میانگین فسفر قابل جذب با معیارهای موجود در ایستگاه‌های گروه یک و دو نشان داد که مقدار این شاخص در خاک این عرصه‌ها در کلاس متوسط و در ایستگاه‌های گروه سه در کلاس کم قرار دارد. بررسی روند تغییرات این شاخص در سنوات اجرای تحقیق در نوارهای سه‌گانه پخش سیلاب برای ایستگاه‌های گروه یک و دو روند افزایشی و برای ایستگاه‌های گروه سه روند کاهشی داشته است. لازم به ذکر است فسفر عنصری غیرمتحرک بوده که جابه‌جایی آن در لایه‌های خاک به وسیله عوامل خارجی از جمله شستشو

در مناطق خشک و نیمه‌خشک با درصد کم پوشش گیاهی و با خاک کم حاصل‌خیز، موجب ورود رسوباتی به سامانه پخش سیلاب شده است که نتوانسته تغییرات چشم‌گیر و قابل توجهی را در شاخص‌های حاصل‌خیزی مناطق اجرای تحقیق ایجاد کند. اگرچه در مجموع پخش سیلاب باعث افزایش شاخص‌های حاصل‌خیزی در خاک سطحی عرصه‌های پخش سیلاب شده است؛ اما برای رسیدن به شرایط ایده آل نیاز به گذشت زمان بیشتری می‌باشد.

### سپاسگزاری

مقاله حاضر بخشی از نتایج طرح پژوهشی با همین عنوان بوده که در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری اجرا شده است. لذا از مساعدت مسئولین محترم این پژوهشکده و مراکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان‌های محل اجرای طرح سپاسگزاری می‌شود.

تغییرات این شاخص در سنوات اجرای تحقیق برای ایستگاه‌های گروه یک نشان داد که مقدار این شاخص در نوارهای سه‌گانه پخش سیلاب روند کاهشی و سپس افزایشی داشته است. برای ایستگاه‌های گروه دو نیز این روند کاهشی و برای ایستگاه‌های گروه سه این روند افزایشی بوده است.

افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی متأثر از پخش سیلاب یکی از شاخص‌های حاصل‌خیزی خاک و نشان‌دهنده کارایی این سامانه در زمینه رشد گیاهان است. کاتیون‌های جذب سطحی شده همراه با ذرات معلق در سیلاب وارد عرصه شده و باعث افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی می‌شوند. اما در حالت کلی پایین بودن این شاخص بیانگر فقر خاک از نظر کاتیون‌های مورد نیاز گیاهان است.

در مجموع می‌توان گفت خاک عرصه‌های پخش سیلاب از نظر مواد آلی و حاصل‌خیزی خاک فقیر هستند. با توجه به این که تغییر خصوصیات خاک عرصه پخش سیلاب بستگی به خصوصیات رسوبات وارد شده به سامانه پخش سیلاب دارد؛ واقع شدن اکثر حوضه‌های بالادست عرصه‌های پخش سیلاب

### منابع مورد استفاده

۱. اهدایی، ب. ۱۳۵۹. *آمار تجربی عمومی*. انتشارات جندی‌شاپور، اهواز.
۲. رهبر، غ. و آ. کوثر. ۱۳۸۱. بررسی برخی از تغییرات فیزیکی و شیمیایی خاک در شبکه‌های پخش سیلاب گربایگان. مجموعه مقالات کارگاه آموزشی تأثیر پخش سیلاب بر خصوصیات خاک در ایستگاه پخش سیلاب، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری. صفحه ۶۲.
۳. سکوتی اسکوتی، ر.، م. ح. مهدیان، ع. مجیدی و ج. خانی. ۱۳۸۳. بررسی تأثیر پخش سیلاب بر روند تغییرات نفوذپذیری سطحی خاک آبخوان پلدشت در آذربایجان غربی. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران.
۴. سلیمانی، ر.، ک. کمالی، ز. شفیعی، ا. پیرانی و ا. اعظمی. ۱۳۸۴. تغییرات ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در اثر پخش سیلاب در ایستگاه موسیان ایلام. مجموعه مقالات نهمین کنگره علوم خاک ایران، کرج، ایران.
۵. صادقی، ا. و حسین ف.، فرهی. ۱۳۶۳. گزارش خاک‌شناسی نیمه تفصیلی دهه شور نیشابور. مؤسسه تحقیقات خاک و آب، نشریه فنی شماره ۶۴۳، ۳۹ صفحه.
۶. کیاحیرتی، ج. ح. خادمی، س. س. اسلامیان و ا. ح. چرخابی. ۱۳۸۱. نقش ته‌نشست‌ها در تغییر برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی در شبکه پخش سیلاب موغار اردستان. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان ۳۴(۲): ۲۷-۳۵.

۷. نادری، ع. ۱۳۶۷. اثر پخش سیلاب بر روی پاره‌ای از خواص فیزیکی و شیمیایی خاک شنی گربایگان فسا. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

8. Funseca, R.M.F. 2003. Dam reservoir sediments as fertilizers and artificial soils, case studies from Portugal and Brazil. Proc. International Symp. of the Kanazawa Univ., Japan.
9. Hawker, P. 2000. World Commission on Dams. A Review of the Role of Dams and Flood Management. Burderop Park Swindon Wiltshire Press., USA.
10. Hirst, S.M. and A.M. Ibrahim. 1996. Effects of flood protection on soil fertility in a riverine floodplain area in Bangladesh. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 27: 119-156.
11. Jordan, T.E., D.F. Whigham, K.H. Hofmockel and M.A. Pittek. 2003. Nutrient and Sediment Removal by a Restored Wetland Receiving Agricultural Runoff. J. Environ. Qual. 32:1534-1547.
12. Kowsar, S.A. 1997. Aquifer management: A key to food security in the deserts of Iran. Proc. 8<sup>th</sup> Intl. Conference on Rainwater Catchment Systems, Vol. 2, Tehran, Iran, pp. 990-996.
13. McDowell, R.W. and A.N., Sharpley. 2001. Approximating phosphorus release from soils to surface runoff and subsurface drainage. J. Environ. Qual. 30: 508-520.
14. Roose, E. and F. Ndayizigiye. 1997. Agroforestry, water and soil fertility management to fight erosion in tropical mountains of Rwanda. Soil Technol. 11: 109-119.
15. Rother, J.A. and B.A. Whitton. 1989. Nitrogenous activity of blue-green algae on seasonally flooded soils in Bangladesh. Plant and Soil 113: 47-52.
16. Sarreshtehdari, A. and A. K. Skidmore. 2005. Soil Properties Changing after Flood Spreading Project (Case study in Iran). ICID 21st European Regional Conference 2005. Frankfurt (Oder) and Slubice. Germany and Poland. pp.489-490.