دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

# بررسی تاثیر نانوزئولیت در کاهش فرسایش خاک با استفاده از باران ساز FEL3

**مهدی بروغنی[۱]، سید خلاق میرنیا[۲]، جلیل وهابی[۳] و سید جواد احمدی[۴]**

۱- دانشجوی دکتری، دانشگاه تربیت مدرس، (نویسنده مسوول: mboroghani@yahoo.com)
۲- دانشیار، دانشگاه تربیت مدرس
۳- استادیار پژوهشی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور
۴- استادیار، سازمان انرژی اتمی ایران

تاریخ دریافت: ۹۱/۱/۱۶ تاریخ پذیرش: ۹۲/۲/۳

**چکیده**

**فرسایش خاک یک مشکل جهانی است که به طور جدی منابع طبیعی را تهدید می‌کند و یکی از مهمترین مسائل زیست محیطی، کشاورزی و تولید غذا در جهان است. به واسطه گسترش فناوری نانو استفاده از آن در دست یابی به اهداف مذکور اجتناب ناپذیر می‌باشد. نانو تکنولوژی یکی از مدرن‌ترین فناوری‌های موجود است که به علت پتانسیل بالا و خصوصیات منحصر به فرد آن در تمام زمینه‌های علوم و تحقیقات از جمله منابع طبیعی و حفاظت خاک کاربرد دارد. در این تحقیق به بررسی تاثیر مقادیر مختلف نانوزئولیت (۰، ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۶ گرم بر مترمربع) بر روی مقدار فرسایش خاک در سه شیب ۷، ۹ و ۱۴ درجه با استفاده از باران ساز FEL3 بر روی خاک مارنی پرداخته شد. آزمایشات در خاک با بافت مارنی و در پلات با عرض ۰/۵ متر، طول ۱ متر و ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر انجام گردید. در هر آزمایش، ۳۰ سانتی‌متر ارتفاع پلات به عنوان زهکش و ۱۰ سانتی‌متر بالایی آن را خاک با بافت مورد نظر پر شد. ماده نانوزئولیت به سطح خاک اضافه شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه تحت شدت بارش ۹۰ میلی‌متر در ساعت قرار داده شد. نتایج نشان داد که کلیه سطوح نانوزئولیت (۰، ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۶) نسبت به شاهد در سه شیب ۷، ۹ و ۱۴ درجه اختلاف معنی‌داری در کاهش فرسایش خاک نداشته است.**

**واژه‌های کلیدی: نانوزئولیت، فرسایش خاک، باران ساز FEL3**

**مقدمه**

فرسایش خاک یکی از مهم‌ترین مسائل زیست محیطی، کشاورزی و تولید غذا در جهان است که در سال‌های اخیر با افزایش جمعیت و دگرگونی فعالیت‌های انسانی شدت یافته است، به گونه‌ای که هر ساله ۷۵ میلیارد تن خاک از اراضی کشاورزی فرسایش می‌یابد (۱۲،۷،۲). با تشدید روند فرسایش‌پذیری، در مناطق حاوی خاک‌های حاصلخیز، خاک‌هایی که در طول هزاران سال تشکیل یافته‌اند از بین رفته و

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-21 ]

این‌گونه اراضی حاصل‌خیزی خود را از دست می‌دهند. فرسایش نه تنها باعث فقیر شدن خاک‌ها و بدون کشت شدن اراضی و کاهش تولید می‌شود، بلکه با رسوب‌گذاری خاک‌های فرسایش یافته در مخازن سدها و کانال‌های آبیاری موجب کاهش راندمان بهره‌برداری و عمر مفید آنها شده و هزینه بهره‌برداری را افزایش می‌دهد. بنابراین در استفاده از اراضی ملی و کشاورزی نباید استعداد و توان اراضی و روش‌های حفاظت خاک را نادیده گرفت. امروزه حفاظت خاک و مبارزه با فرسایش از ضروری‌ترین اقداماتی است که در هر کشوری بایستی به آن توجه خاصی مبذول داشت (۱۵، ۱۶). اصلاح‌کننده خاکدانه‌های خاک یکی از این مواردی است که می‌تواند در کنترل فرسایش خاک و افزایش نفوذپذیری موثر باشد. اولین اصلاح‌کننده خاکدانه‌های خاک در سال ۱۹۵۱ تولید شد و در قالب مقاله ویژه‌ای در مجله علوم خاک گزارش داده شد (۲۰،۳). قبل از سال۱۹۹۰ اصلاح‌کننده خاکدانه‌های خاک به طور مستقیم روی خاک موثر بودند، که بعضی از این اصلاح‌کننده‌ها به علت گران قیمت بودن مورد استفاده قرار نگرفتند. بعد از سال ۱۹۹۰ اصلاح‌کننده خاکدانه‌های خاک روی نفوذ آب و فرسایش خاک و شکل پوشش موثر بودند (۶،۵،۴). اخیرا روش‌های نوینی در تولید اصلاح‌کننده خاکدانه‌های خاک بکار می‌رود که از طریق فناوری نانو بدست می‌آید (۱). فناوری نانو علمی است که دارای سه خاصیّت توسعه فناوری و تحقیقات در سطوح: اتمی، مولکولی و ماکرومولکولی در اندازه‌ای ۱ تا ۱۰۰ نانومتر می باشد که با استفاده از آن می‌توان، ساختارها و سامانه‌هایی جدید که دارای توانایی کنترل یا دستکاری در سطوح اتمی می‌باشند را ابداع کرد. در واقع فناوی نانو محل تلاقی تمامی علوم و صنایع مختلف می‌باشد. فناوری نانو در علوم مختلفی از قبیل پزشکی، داروسازی، صنعت، شیمی، زیست شناسی، محیط زیست، کشاورزی و منابع طبیعی کاربرد دارد. فناوری نانو کاربردهای مختلفی در کشاورزی و منابع طبیعی دارد که از جمله می‌توان در کشاورزی هیدروژل‌های بر پایه نانورس که در گیاهان گلدانی و مقیاس کم استفاده می‌شود را نام برد (۱۱،۱۰). در زمینه منابع طبیعی نیز فناوری نانو کاربردهای مختلفی دارد از آن جمله می توان به سنتز موادی که در کنترل فرسایش و تثبیت شن‌های روان و نگه‌داشت آب در خاک نقش دارند اشاره نمود (۱). در زمینه کاربرد مواد مختلف در کنترل فرسایش خاک مطالعات زیادی صورت گرفته اما هیچ گونه مطالعه‌ای در ارتباط با فناوری نانو در حفاظت خاک و کنترل فرسایش خاک در ایران انجام نشده است.

در اینجا به برخی تحقیقاتی که در زمینه کنترل فرسایش خاک با استفاده از مواد مختلف انجام شده است اشاره می شود. اوزتاس و همکاران (۱۴) طی تحقیقی اثر نسبت‌های (۰، ۰/۰۰۱، ۰/۰۰۳ و ۰/۰۰۵ وزن ماده در ۱۰۰ گرم آب) پلی وینیل الکل در تثبیت خاک را در خاک‌های رسی، لوم رسی ماسه‌ای و ماسه‌ای

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-21 ]

بررسی کردند. نتایج نشان داد که مقدار ۰/۰۰۵ در خاک رسی بیشترین تاثیر را دارد و تا ۹۵ درصد خاک را نسبت به نمونه شاهد تثبیت می‌کند. خوبین و ژاندین (۲۱) مشخص نموده‌اند که خاک دارای زئولیت می‌تواند نفوذ آب در خاک را بین ۷ تا ۲۰ درصد در شیب ملایم افزایش دهد، در حالی که در شیب‌های تند این مقدار به ۳۰ درصد افزایش می‌یابد. همچنین بررسی‌های محققان یاد شده نشان می‌دهد که رطوبت ۰/۴ تا ۱/۸درصد در شرایط بسیار خشک و بین ۵ تا ۱۵ درصد در شرایط معمولی افزایش داشته است. سپاسخواه و همکاران (۱۷) به بررسی اثرات سطوح مختلف پلی اکریل آمید (۰، ۱، ۲، ۴ و ۶ کیلوگرم در هکتار) در شیب‌های مختلف (۲/۵، ۵ و ۷/۵ درصد) با استفاده از باران ساز در آزمایشگاه دانشگاه شیراز پرداختند. نتایج حاکی از آن است که در شیب تند (۷/۵ درصد) مقدار ۶ کیلوگرم در هکتار برای کاهش رواناب بیشترین تاثیر را دارد و مقدار ۴ کیلوگرم در هکتار بیشترین تاثیر را در کاهش فرسایش در شیب‌های ۵ و ۷/۵ درصد دارد. شکفته و همکاران (۱۹) طی تحقیقی به بررسی اثر مقادیر مختلف پلی اکریل آمید (۰، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ کیلوگرم در هکتار) در سه خاک با بافت ماسه لومی، لوم و لوم رسی و بارندگی با شدت ۳۹ و ۷۹ میلی‌متر بر ساعت پرداختند. نتایج نشان داد که در شدت ۳۹ میلی‌متر بر ساعت خاک‌های لومی و ماسه لومی کمترین مقدار رسوب را در مقدار ۱۰ کیلوگرم در هکتار و خاک لوم رسی در مقدار ۲۰ کیلوگرم در هکتار داشته است. شدت بارندگی ۷۹ میلی‌متر بر ساعت کم‌ترین مقدار رسوب در تمام نمونه خاک‌ها در مقدار ۳۰ کیلوگرم در هکتار پلی اکریل آمید بوده است. در مورد رواناب در بارش‌های ۳۹ و ۷۹ میلی‌متر بر ساعت کم‌ترین مقدار رواناب در تیمار ۱۰ کیلوگرم در هکتار پلی اکریل آمید در تمام خاک‌ها می‌باشد و خاک شن لومی در بارندگی با شدت ۳۹ میلی‌متر در ساعت هیچگونه روانابی مشاهده نشد. شهبازی و همکاران (۱۸) به بررسی مقادیر مختلف پلی اکریل آمید (۰، ۱۰، ۲۰، ۳۰ کیلوگرم در هکتار) و با شدت بارندگی ۳۰ و ۴۰ میلی‌متر در ساعت و در خاک‌های با بافت رسی، شوری و قلیائیت متفاوت پرداختند. نتایج نشان داد که مقدار ۳۰ کیلوگرم در هکتار پلی اکریل آمید در تمام خاک‌ها بیش‌ترین تاثیر را در کاهش رواناب و رسوب دارد، به طوری که رواناب را نسبت به شاهد ۹۸ درصد و رسوب را نسبت به شاهد ۸۶ درصد کاهش داد. در این تحقیق برای اولین بار از فناوری نانو (نانوزئولیت) در کاهش رواناب استفاده به عمل آمد. هدف از این تحقیق بررسی تاثیر مقادیر مختلف نانوزئولیت (۰، ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۶ گرم در مترمربع) در کاهش فرسایش خاک در سه شیب ۷، ۹ و ۱۴ درجه در شدت بارندگی ۹۰ میلی‌متر در ساعت با استفاده از باران ساز FEL3 می‌باشد.

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-21 ]

## مواد و روش‌ها

### خصوصیات خاک مورد آزمایش

این مطالعه در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور انجام شد. خاک مورد آزمایش از نوع مارنی بوده است. و دلیل انتخاب این نوع خاک نیز وجود اراضی مارنی با گسترش زیاد در نواحی زاگرس، ایران مرکزی و البرز است که سطح وسیعی از کشور را به خود اختصاص داده‌اند (۸). نهشته‌های مارنی به دلیل ماهیت ساختمانی، نظیر وجود ذرات تخریبی (سیلت بالا و رس کم) و مواد شیمیایی (کربنات کلسیم، ژیپس، اندریت و نمک) نسبت به سایر نهشته‌ها از فرسایش‌پذیری بالاتری برخوردارند. در حوضه‌هایی که دارای واحدهای مارنی هستند، قسمت عمده از رسوبات از این واحدها تولید می‌شود، از این رو نقش مهمی در کاهش عمر مفید سدها دارند. به عنوان مثال سد سفیدرود، سد ساوه، سد پانزده خرداد و ... اشاره نمود. با توجه به پتانسل بالای وقوع انواع رخساره‌های فرسایشی اعم از سطحی، شیاری، آبراهه‌ای خندقی و تونلی و رسوبزایی بالا، شناخت جامع مارن‌ها از دیدگاه فرسایش‌پذیری، امری لازم و ضروری است. با شناخت شاخص‌های موثر بر فرسایش‌پذیری مارن‌ها و طبقه‌بندی آنها می‌توان در الویت‌بندی واحدها جهت اصلاح و بهبود این اراضی به منظور کاهش فرسایش و تولید اقدام نمود (۹). محل نمونه‌برداری خاک مورد آزمایش، ۴۰ کیلومتری اتوبان تهران- قم بود. شیب محل نمونه‌برداری بین ۵ تا ۱۵ درصد بوده و نمونه خاک از عمق ۱۰ سانتی‌متری سطح خاک برداشت و به پژوهشکده حفاظت خاک کشور انتقال داده شد. خصوصیات خاک مورد آزمایش در آزمایشگاه خاک پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور بررسی و تعیین شد که به اختصار در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- خصوصیات خاک مورد آزمایش

| توزیع اندازه ذرات | | | pH | هدایت الکتریکی (ds/m) | آهک (درصد) | ماده آلی (درصد) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| لوم | رس | سیلت | | | | |
| ۴۸/۰ | ۱۷/۲ | ۳۴/۸ | ۷/۵۲ | ۱۶/۹۶ | ۷/۰۳ | ۰/۳۳۳ |

### مشخصات و کالیبراسیون دستگاه باران‌ساز مدل FEL3

استفاده از شبیه ساز باران در مطالعات فرسایش خاک و رواناب سرعت تحقیقات را بالا برده و هزینه‌ها را کاهش داده و متغیرها را نیز هرچه بیشتر و بهتر تحت کنترل در می‌آورد. با استفاده از شبیه‌ساز باران می‌توان باران را با شدت‌های مختلف، در زمان‌های مختلف و در پلات‌هایی با شرایط متفاوت تولید کرد. باران ساز مدل FEL3 یک باران ساز صحفه گردان است که توزیع خوبی از اندازه قطرات باران و انرژی جنبشی حاصل از آن را ایجاد می‌کند. می‌توان از FEL3 برای اندازه‌گیری نفوذپذیری تحت شرایط آبیاری بارانی و برای تخمین تلفات خاک در شدت بارش‌هایی حتی بسیار بالا (مشابه باران‌های تروپیکال) نیز استفاده کرد. برای

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-21 ]

مطالعه دقیق رواناب، بارانی که توسط دستگاه تولید می‌شود باید مشخصاتی کاملا شبیه به باران‌های طبیعی داشته باشد. این مشخصات شامل شدت بارش، یکنواختی شدت بارش، اندازه قطرات باران و سرعت برخورد قطرات باران می‌باشد. باران ساز FEL3 دارای فشار، جریان آب ورودی به باران ساز، سرعت دیسک و روزنه می‌باشد که با استفاده از این‌ها شدت بارش تنظیم می‌شود. روش‌های مختلفی برای کالیبره کردن شبیه‌ساز باران FEL3 وجود دارد. در این تحقیق از روش ارزیابی تغییرات شدت و یکنواختی شدت بارش به وسیله افزایش درجه دیسک (درجه دیسک از ۵ تا ۴۰ درجه قابل تغییر است) برای کالیبراسیون شبیه ساز باران مدل FEL3 استفاده شد. اگر فشار، جریان و سرعت دیسک ثابت فرض شود شدت باران شبیه‌سازی شده با اندازه روزنه روی دیسک ارتباط مستقیم دارد. در صورتیکه روزنه بزرگتر باشد باران بیشتری روی صفحه آزمایش می‌ریزد. یکنواختی توزیع بارندگی نیز در حین آزمایش مهم است زیرا در غیر این صورت نمی‌توان به نتایج آزمایش اطمینان کرد. یکنواختی با تغییر فشار، سرعت دیسک و اندازه منافذ تغییر می‌کند. اندازه‌گیری یکنواختی با استفاده از ضریب (CU) محاسبه شد. با استفاده از شاقول مرکز صحفه آزمایش را دقیقاً زیر نازل قرار داده و شبکه‌ای از ظروف روی صفحه آزمایش قرار می‌گیرد (در این مطالعه از ظروفی با سطح مقطع دایره‌ای ($A=۲۲۷/۶۶\ cm^2$) استفاده شد).

ظروف را شماره‌گذاری کرده و موقعیت هر کدام دقیقا مشخص گردید. ظروف جمع کننده را با تخته چوبی به ابعاد ۰/۶×۰/۶ متر پوشانده، سپس باران ساز را با فشار ۰/۴ بار (bar)، سرعت چرخش دیسک ۱۰۰ rev/min و زاویه دیسک ۱۰ درجه به کار انداخته تا مقدار ثابتی از بارندگی حاصل شود. تخته چوبی را برداشته و هم‌زمان کرنومتر روشن گردید. اجازه داده شد تا باران به مدت ۱۰ دقیقه ادامه پیدا کند. در پایان ۱۰ دقیقه دوباره تخته چوبی را روی ظرف گذاشته و هم‌زمان دستگاه خاموش گردید. حجم باران هر ظرف با استوانه مدرج اندازه‌گیری شد و آزمایش برای درجه زاویه‌های ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درجه نیز تکرار گردید. میزان شدت باران در هر ظرف و یکنواختی شدت در هر زاویه دیسک با استفاده از رابطه ۱ و ۲ بدست آمد.

رابطه (۱)
$$I = \frac{Q}{A \times t} \times 600$$

در رابطه (۱) I: شدت باران به میلی‌متر بر ساعت، $Q$: حجم آب جمع آوری شده در هر ظرف به میلی‌متر، $A$: سطح مقطع ظرف به سانتی‌متر مربع، $t$: زمان به دقیقه است.

رابطه (۲)
$$CU = 100\left[1 - \frac{\sum|x|}{m \times n}\right]$$

در این رابطه، $CU$: ضریب یکنواختی، $m$: متوسط عمق مشاهده شده به سانتی‌متر، n: تعداد مشاهدات، $x$: انحراف از میانگین هر یک از عمق‌های مشاهده شده است.

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-21 ]

**روش تهیه نانوزئولیت**

نانوذرات زئولیتی به روش هیدروترمال، محلول شفاف و با ترکیب درصد مولی

O: 389H2O:3.00iPr2O x≤10.8, 0.5≤y≤6.1) Al2O3:0.17Na2O :( 7-y) (TMA) 2 (1.1≤ (5+x) SiO2

سنتز شد. در این روش، ابتدا آلومینیوم تری-ایزوپروکساید، آب و هیدرو اکسید سدیم آبدار (1M, p.A., MERCK) مخلوط شده و سپس نصف TMAOH (۹۷/۵٪، GC، ACROS) به مخلوط مذکور اضافه گردید. نصف باقی‌مانده TMAOH به مقدار مشخصی از سیلیکای کلوئیدی افزوده شد. سپس دو مخلوط مذکور با یکدیگر مخلوط شده، پس از یک شبانه روز به اتوکلاو اضافه شد. اتوکلاو مذکور در دمای ثابت ۸۰ درجه سانتی‌گراد و به‌مدت ۸ روز درون آون قرار گرفت. پس از پایان این مدت کریستال‌های تولید شده از محلول سنتز توسط سانتریفیوژ با دور ۱۵۰۰۰rpm جدا شد. عمل شست و شو کریستال‌های مذکور در آب مقطر سپس سانتریفیوژ مجدد آن برای ۳ بار انجام شد. به منظور حذف طاق‌ساز آلی TMAOH از درون شبکه کریستالی زئولیتی، ۲ گرم از نمونه زئولیت را در ۱۰۰ میلی‌متر از محلول نیترات سدیم یک مولار مخلوط می‌کنیم. عمل تبادل یون در ۸۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۱۰ ساعت اجرا شد. در پایان بعد از شستن نمونه‌ها، نانوزئولیت‌های سدیم فرم توسط سانتریفیوژ دور بالا جدا گردید و در دمای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد خشک شد (۱۳).

**روش انجام آزمایشات**

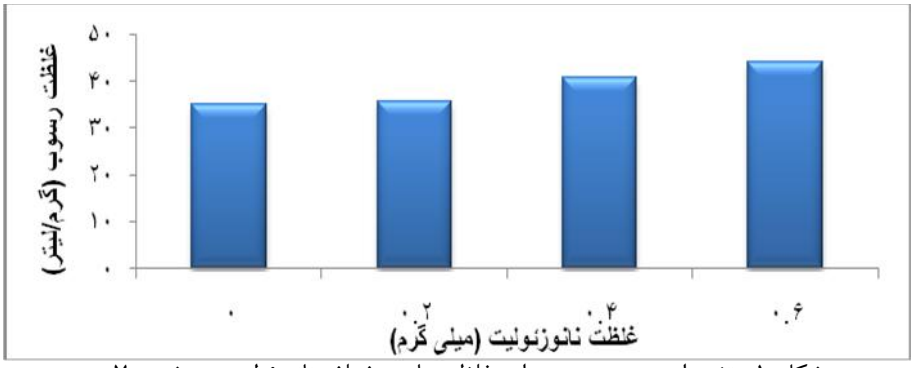
برای انجام این آزمایشات از پلات با ابعاد ۴۰ × ۵۰ ×۱۰۰ سانتی‌متر استفاده شد. نمونه خاک پس از انتقال به آزمایشگاه و خشک شدن در معرض هوا، از الک ۴ میلی‌متری عبور داده شد (به دلیل اثر خاکدانه‌های بزرگتر از ۲ میلی‌متر در رواناب). سپس مقداری از این خاک در پلات باران ساز که کف آن قبلا توسط زهکشی با خصوصیات ۲۰ سانتی‌متر قلوه سنگ و شن بزرگ و ۱۰ سانتی‌متر شن ریز پوشانده شده بود، ریخته شد، به طوری که سطح نمونه خاک با سطح پلات باران ساز یکسان گردید. در نتیجه خاکی به ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر در پلات ریخته شد. ۵۰۰ میلی‌لیتر نانوزئولیت با غلظت‌های ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۶ گرم در مترمربع تهیه شده بود به طور یکنواخت به سطح نمونه‌ها اضافه شد که برای هر تیمار ۳ تکرار در نظر گرفته شد. نمونه تیمار شاهد نیز مانند آنچه قبلا گفته شد، با اضافه نمودن ۵۰۰ میلی‌لیتر آب، آماده گردید. سپس نمونه‌ها را در معرض باران با شدت ۹۰ میلی‌لیتر در ساعت به مدت ۳۰ دقیقه در شیب‌های ۷، ۹ و ۱۴ درجه قرار داده و در پایان بارندگی، رسوب خارج شده از انتهای پلات باران ساز جمع آوری نموده و اندازه‌گیری گردید. بعد از هر آزمایش، خاک و قسمتی از زهکش بالایی برداشته شد. برای انجام آزمایش‌های بعدی زهکش و خاک مانند شرایط اول آماده گردید و دوباره مراحل بالا تکرار شد. یعنی برای هر شیب ۱۲ آزمایش انجام شد که

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-21 ]

جمعاً ۳۶ آزمایش صورت گرفت. همان گونه که قبلا اشاره گردید هدف از این تحقیق بررسی تاثیر نانوزئولیت در کاهش فرسایش خاک در خاک لومی با استفاده از باران ساز FEL3 بود. سطوح مورد استفاده نانوزئولیت در خاک (۰، ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۶ گرم در مترمربع) و در سه شیب ۷، ۹ و ۱۴ درجه و با شدت بارندگی ۹۰ میلی‌متر در ساعت بود. برای انجام تجزیه واریانس داده‌های حاصل از اندازه‌گیری وزن رسوب از بلوک کاملا تصادفی استفاده شد. نتایج بدست آمده در شیب‌های مختلف در زیر بیان شده است.

**الف) شیب ۷ درجه**

جدول ۲ تحلیل آماری حاصل از تاثیر نانوزئولیت در کاهش فرسایش خاک در شیب‌های مختلف را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود مقادیر مختلف نانوزئولیت (۰/۲، ۰/۴ و ۰/۶) در کاهش رسوب در شیب ۷ درجه نسبت به تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری نداشته است. شکل ۱ تغییرات وزن رسوب را در غلظت‌های مختلف نانوزئولیت در شیب ۷ درجه را نشان می‌دهد. همان‌طور که نشان داده شده است در وزن رسوب بین مقادیر مختلف نانوزئولیت اختلاف زیادی مشاهده نشده است و تقریبا وزن رسوب در تمام مقادیر یکسان می‌باشد. نتیجه می‌گیریم مقادیر مختلف نانوزئولیت (۰/۲، ۰/۴ و ۰/۶) در مقایسه با تیمار شاهد در کاهش فرسایش خاک موثر نبوده‌اند.



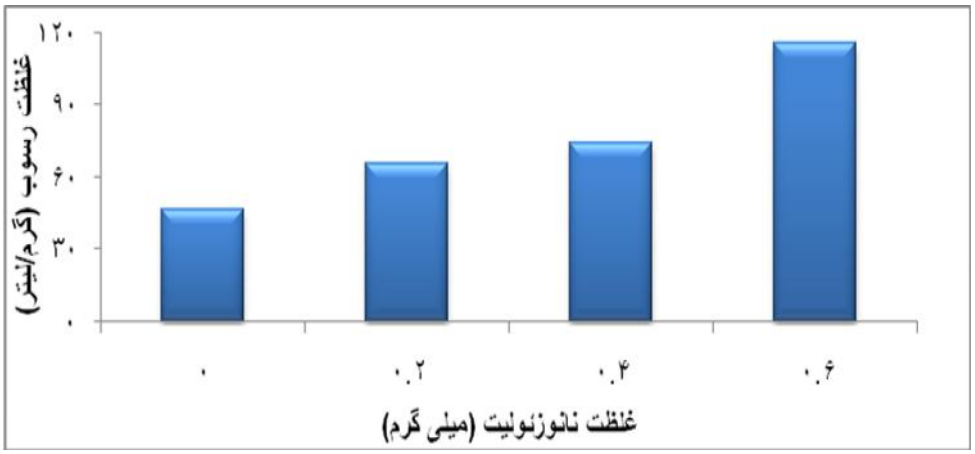

شکل ۱- تغییرات وزن رسوب برای غلظت‌های مختلف نانوزئولیت در شیب ۷ درجه

**ب) شیب ۹ درجه**

تجزیه و تحلیل آماری حاصل از تاثیر مقادیر مختلف نانوزئولیت (۰، ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۶) در شیب ۹ درجه در جدول ۲ ارائه شده است. نتایج نشان‌دهنده‌ی آن است که بین مقادیر مختلف نانوزئولیت ذکر شده با تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری مشاهده نشده است. شکل ۲ نتایج حاصل از اندازه‌گیری وزن رسوب در شیب ۹ درجه را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌کنید وزن رسوب با افزایش مقدار نانوزئولیت

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-21 ]

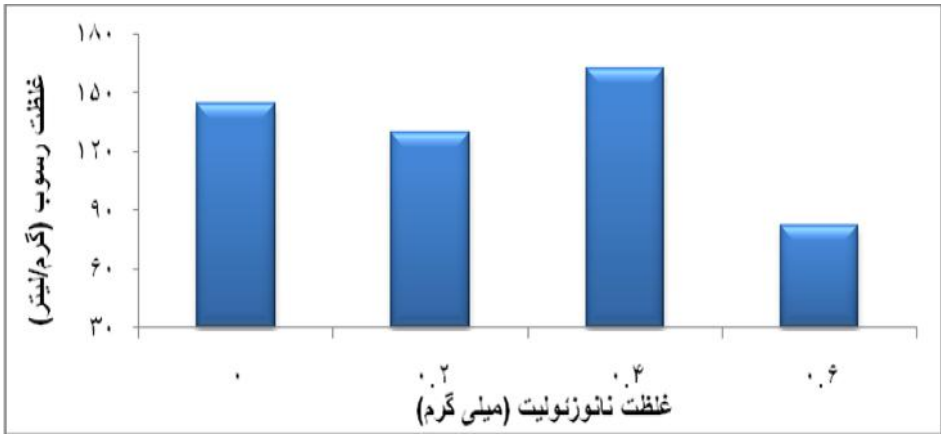
افزایش پیدا کرده است اما این افزایش از نظر آماری معنی‌دار نشده است.




شکل ۲- تغییرات وزن رسوب برای غلظت‌های مختلف نانوزئولیت در شیب ۹ درجه

**ج) شیب ۱۴ درجه**

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل آماری مقادیر مختلف نانوزئولیت (۰، ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۶) در شیب ۱۴ درجه بیان‌گر آن است که در بین مقادیر مختلف نانوزئولیت و تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری مشاهده نشده است. این نتایج حاکی از آن است که مقادیر مختلف نانوزئولیت بکار برده شده (۰، ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۶) در کاهش فرسایش خاک موثر نبوده است. همان‌گونه که در شکل ۳ مشاهده می‌کنید بین مقادیر مختلف نانوزئولیت ذکر شده و تیمار شاهد یک روند منظمی وجود ندارد و با افزایش مقدار نانوزئولیت میزان فرسایش کاهش نیافته است.




شکل ۳- تغییرات وزن رسوب برای غلظت‌های مختلف نانوزئولیت در شیب ۱۴ درجه

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-21 ]

جدول ۲- مشخصات آماری حاصل از اندازه‌گیری رسوب در تیمارهای مختلف نانوزئولیت

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| ۳ | ۵/۲۱ | ۳۵/۱۸ | ۷ | ۰ |
| ۳ | ۲۱/۲۷ | ۴۶/۸۲ | ۹ | |
| ۳ | ۵۸/۱۵ | ۱۴۴/۲۷ | ۱۴ | |
| ۹ | ۶۰/۴۷ | ۷۵/۴۲ | مجموع | |
| ۳ | ۴/۵۵ | ۳۵/۵۴ | ۷ | ۰/۲ |
| ۳ | ۲۴/۹۸ | ۶۵/۷۲ | ۹ | |
| ۳ | ۷۴/۵۸ | ۱۲۹/۵۲ | ۱۴ | |
| ۹ | ۵۷/۲۶ | ۷۶/۹۳ | مجموع | |
| ۳ | ۲/۱۸ | ۴۰/۸۲ | ۷ | ۰/۴ |
| ۳ | ۲۹/۴۹ | ۷۴/۵۰ | ۹ | |
| ۳ | ۵۵/۶۱ | ۱۶۱/۹۹ | ۱۴ | |
| ۹ | ۶۲/۶۵ | ۹۲/۴۴ | مجموع | |
| ۳ | ۸/۷۷ | ۴۴/۱۲ | ۷ | ۰/۶ |
| ۳ | ۷۱/۲۸۶ | ۱۱۶/۰۲ | ۹ | |
| ۳ | ۸/۰۶ | ۸۱/۸۶ | ۱۴ | |
| ۹ | ۴۷/۷۱ | ۸۰/۶۷ | مجموع | |
| ۳ | ۶/۲۳ | ۳۸/۹۲ | ۷ | مجموع |
| ۳ | ۴۴/۴۶ | ۷۵/۷۷ | ۹ | |
| ۳ | ۵۶/۲۷ | ۱۲۹/۴۱ | ۱۴ | |
| ۹ | ۵۵/۲۱ | ۸۱/۳۶ | مجموع | |

جدول ۳- میانگین میزان رسوب در شیب‌های مختلف به تفکیک مقدار نانوزئولیت

| منبع | مجموع مربعات | درجه آزادی | میانگین مربعات | مقدار F | سطح معنی‌داری |
|---|---|---|---|---|---|
| مقدار | ۱۶۰۳/۰۳ | ۳ | ۵۳۴/۳۴ | ۰/۳۳ | ۰/۸۰* |
| شیب | ۴۹۶۹۸/۷۳ | ۲ | ۲۴۸۴۹/۳۶ | ۱۵/۴۸ | ۰/۰۰** |
| مقدار× شیب | ۱۶۸۷۹/۴۴ | ۶ | ۲۸۱۳/۲۴ | ۱/۷۵ | ۰/۱۵* |
| خطا | ۳۸۵۱۶/۱۳ | ۲۴ | ۱۶۰۴/۸۴ | | |

*: عدم معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد **: سطح معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد

## نتایج و بحث

استفاده از مواد شیمیایی جهت کنترل فرسایش خاک در ایران سابقه طولانی ندارد. این تحقیق با نتایج تحقیقات سپاس‌خواه و همکاران (۱۷) و شکفته و همکاران (۱۹) که از پلی‌اکریل‌آمید در کنترل فرسایش خاک استفاده کرده‌اند انطباق ندارد. سپاسخواه و شکفته از ترکیبات شیمیایی مصنوعی جهت کنترل فرسایش خاک استفاده نمودند، اما در این پژوهش برای اولین بار در کشور از نانوزئولیت

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-21 ]

جهت کاهش و کنترل فرسایش با کمک باران‌ساز استفاده گردیده است. ساختمان این ماده به گونه‌ای است که دارای فضای متخلخل زیادی بوده و در نتیجه می‌توان بعنوان جاذب آب مورد استفاده قرار گیرد که از نقاط قوت این ماده می‌باشد. مشکلی که سایر مواد شیمیایی دارند این است که تجزیه نمی شوند و در نتیجه باعث آلودگی محیط زیست می‌گردند، اما نانوزئولیت‌ها کاملا طبیعی بوده و در نتیجه به محیط‌زیست آسیبی وارد نمی‌کنند. این ماده دارای فضای متخلخل زیادی بوده که با جذب آب باعث کاهش رواناب شده و در نتیجه از هدر رفتن خاک جلوگیری و باعث کنترل فرسایش خاک می‌گردند. با اشباع شده این فضای متخلخل نانوزئولیت کارایی خود را از دست می‌دهد که این حالت از ویژگی‌های منفی این ماده است. علت اینکه این ماده در کنترل فرسایش موثر نبوده، مقدار کم نانوزئولیت استفاده شده و هم‌چنین عدم واکنش نانوزئولیت با آب و خاک می‌باشد. نتایج حاکی از آن است که مقادیر مختلف نانوزئولیت (۰/۲، ۰/۴، ۰/۶ گرم در مترمربع) در کاهش فرسایش خاک در شیب‌های ۷، ۹ و ۱۴ درجه با شدت بارندگی ۹۰ میلی‌متر در ساعت نسبت به تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری را نشان نمی‌دهد. نتایج نشان داد که در شیب ۷ و ۹ درجه با افزایش مقدار نانوزئولیت میزان فرسایش نسبت به تیمار شاهد کمی افزایش نشان داد که این افزایش معنی‌دار نبوده است و در شیب ۱۴ درجه با افزایش مقدار نانوزئولیت نسبت به تیمار شاهد در مقدار ۰/۲ کاهش فرسایش و در ۰/۴ افزایش و در ۰/۶ کاهش فرسایش را داریم که این کاهش فرسایش نیز معنی‌دار نبوده است. با توجه به اینکه فناوری نانو، نو پا بوده و امکانات آن در کشور در حال حاضر ناچیز می‌باشد در نتیجه هزینه حاصل از تولید این مواد زیاد است. امید است که با پیشرفت این علم بتوان به طور گسترده در رفع مشکلات منابع طبیعی کشور بویژه در زمینه کنترل فرسایش خاک و نفوذپذیری گامی مثبت برداشت.

## تشکر و قدردانی

بدین وسیله در پایان بر خود لازم می‌دانیم از کمک‌های فنی و علمی سازمان انرژی اتمی که با در اختیار قرار دادن امکانات آزمایشگاهی انجام این تحقیق را تسهیل نموده تشکر و قدردانی نماییم.

## منابع

1. Anonymous. 2006. Soil bind and revegetation composition and methods of making and using such composition. 5-27, http://patft.uspto.gov/netahtml/PTO/search-bool.html.
2. Bayramin, I.O., D. Baskan and M. Parlak. 2003. Soil erosion assessment with CONA model: case study Beypazri area. Turk Journal of Agriculture (27): 105-116.
3. Bear, FE. 1952. Soil Science, 73: 419-495.
4. Ben-Hur, M. and R. Keren. 1997. Polymer effects on water infiltration and soil aggregation. Soil Science Society of America Journal, 61: 565-570

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-21 ]

5. Bowyer-Bower, TAS and TP. Bun. 1989. Rainfall simulators for investigating soil - response to rainfall. Soil Technology, 2: 1-16.
6. Brandasma, R.T. 1997. Soil conditioner effects on soil erosion, soil structure and crop performance. Ph.D. thesis, University of Wolverhampton. UK, pp: 143.
7. Brown, A.G. and T.A. Quine. 1999. Fluvial processes and environmental change, John Wiley and Sons Publications, pp: 413.
8. Feiznia, S., M. Heshmaty and J. Qodosy. 2009. Investigation of gully erosion in marl Agha-Jari formation in Zagross (case study: Ghasre-shirin, Kermanshah), Journal of constituent research in natural resource. 74: 32-40. (In Persian)
9. Hasan zade Naqavy, M., S. Feiznia, H. Ahmady, H.R. Peirovan and J. Qayomian. 2010. Investigation effect chemical and physical characteristic marl on the measure sediment with use rainfall simulator physical model, Journal of geology Institute Iran ingenerating. 1: 35-48. (In Persian)
10. Jaffary Samimy, A., M. Jahanshahy and A.F. Fargang Mehr. 2010. Nano Economy. Mazandaran province official Sari, pp: 384. (In Persian)
11. Jahanshahy, M. 2009. Nano tecnology & Nano Biotecnology. Mazandaran university Publication. Babolsar, pp: 457. (In Persian)
12. Lafen, J.M. and E.J. Roose. 1998. Methodologies for assessment of soil degradation due to water erosion. In: Law R. Balum, W.E. and Valentine, C. (Eds.), Soil degrading, CRC press, Bo Ca Ration, pp: 320.
13. Mintova, S., M. Reinelt, T.H. Metzger, J. Senker and T. Bein. 2002. Pure silica BETA colloidal zeolite assembled in thin films. The Royal Society of Chemistry, 326-327 pp.
14. Oztas, T., AK. Ozbek and E. Aksakal. 2002. Structural developments in soil treated with Polyvinylalcohol, International Conference on Sustainable Land Use and Management, Soil Science. Soc. Of Turkey Int. Symp, pp: 143-148.
15. Pimentel, D. and N. Kounang. 1998. Ecology of soil Erosion in Ecosystem, Ecosystems of Disturbed Ground 1: 416-426.
16. Pimentel, D. and C. Harvey. 1999. Ecological Effects of Erosion. In: Walker, L.R(ed), Ecosystems of Disturbed Ground. 123-135 pp.
17. Sepaskhah, A.R. and A.R. Bazrafshan-Jahromi. 2006. Controlling runoff and erosion in sloping land with polyacrylamide under a Rainfall Simulator. Biosystems Engineering, 93: 474-497.
18. Shahbazy, A., F. Sarmadian, H.Q. Refahy and M. Qorjy. 2007. Effect of polyacrylamide on control erosion and runoff salt-sodium soil. Iranian Journal of Science and Agriculture, 36: 1103-1112. (In Persian)
19. Shekofte, H., H.Q. Refahy and M. Qorjy. 2007. Effect of polyacrylamide on control erosion and soil runoff. Journal of Iranian Agricultural Sciences, 36(1): 177-186. (In Persian)
20. Tripathi, R.P. and H.P. Singh. 2001. Soil erosion and conservation, New Delhi: New Age International Limited Publication, India, 210 pp.
21. Xiubin, H.E. and H. Zhandin. 2001. Zeolite application for enhancing water infiltration and retention in loess soil. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences Resources Conservation and Recycling, 34: 45-52.

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-21 ]

# Investigation of Nanozeolite Effects on Soil Erosion Decreasing using FEL3 Rainfall Simulator

**Mehdi Boroghani[1], Seyed Khalagh Mirnia[2], Jalil Vahhabi[3] and Seyed Javad Ahmadi[4]**

1- PhD student, University of Tarbiat Modares (Corresponding author: mboroghani@yahoo.com)
2- Associate Professor, University of Tarbiat Modares
3- Assistant Professor, in soil conversation and watershed management institute
4- Assistant Professor, In Atomic Energy Organization of Iran
Received: April 4, 2012 Accepted: April 23, 2013

**Abstract**

One of the most important problems in the world is soil erosion that threats the natural resource and it numerates as an important troublesome in environmental and agricultural aspects. In order to obtain these goals it is inevitable to use new techniques such as nanotechnology. Nanotechnology is one of the modern technologies that because of its high potential and particular characteristics, it has extensive application in all aspects of science such as natural resources and soil conservation. This study has been done in order to assess the effects of different percentages of Nanozeolite (0, 0.2, 0.4 and 0.6 gram per square meter) on malry soils in several slopes degree (7, 9 and 14 degree) using FEL3 rainfall simulator. The plot had 50 centimeter width, 100 cm length and 40 cm height that 30 cm of height was used for drainage and 10 cm of height was used by especial soil texture. After adding Nanozeolite to soil surface, the samples were influenced by 90 millimeters per hour rainfall intensity during 30 minutes. Results show that the all of the Nanozeolite levels (0, 0.2, 0.4 and 0.6) in the three levels of steepness (7, 9 and 14 degrees) had not significant differences in decreasing of soil erosion in comparison of control treatment.

**Keywords:** Nanozeolite, Soil erosion, FEL3 rainfall simulator

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-21 ]