

## مطالعه آزمایشگاهی و عددی تأثیر نانورس بر کاهش تلفات نشت آب از آب‌بندان

مرضیه بهاری<sup>۱</sup>، علی‌رضا عمادی<sup>۲</sup>، علی شاهنظری<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۷/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۰/۰۷

### چکیده

یکی از راه‌کارهای مؤثر برای مقابله با بحران کم‌آبی و مهار رواناب بارش، احداث استخرهای ذخیره آب است که در استان‌های شمالی به آن آب‌بندان می‌گویند. نشت آب از آب‌بندان علاوه بر کاهش حجم آب ذخیره شده باعث تشدید مسئله‌ی زهدارشدن اراضی مجاور آن و همچنین اشباع شدن خاک دیواره و لغزش آن خواهد شد. در نتیجه برای کاهش نشت آب از آب‌بندان باید به کمک افزودن مواد مختلف مانند نانورس نفوذناپذیری خاک را بهبود بخشید. در این پژوهش ابتدا با آزمایش نفوذپذیری در آزمایشگاه تأثیر درصدهای وزنی مختلف نانورس (۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲٪) بر هدایت هیدرولیکی خاک ارزیابی شد. با ساخت مدل فیزیکی از آب‌بندان عملکرد ماده‌ی نانورس در کاهش نشت آب بررسی گردید. همچنین با کمک نرم‌افزار seep/w آب‌بندان شبیه‌سازی شد و اثر نانورس بر میزان نشت و خط آزاد جریان مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که نفوذپذیری خاک از  $10^{-4} * 1/58$  به  $10^{-5} * 2/88$  با افزودن ۰/۵ درصد وزنی نانورس کاهش یافت و بعد از آن افزایش مقدار نانورس تأثیر کمتری بر ضریب آگذری خاک دارد، بنابراین ۰/۵٪ نانورس به‌عنوان درصد بهینه برای ترکیب خاک به‌منظور کاهش آگذری آن انتخاب گردید. تلفات نشت آب از آب‌بندان در مدل فیزیکی و عددی بعد از افزودن نانورس به خاک به ترتیب برابر ۵۸٪ و ۲۲٪ کاهش یافت. ترکیب خاک با نانورس به‌طور متوسط باعث کاهش ۲/۷۳ و ۴/۵۳ سانتی‌متری خط آزاد جریان به ترتیب در مدل فیزیکی و عددی شده است. بنابراین با کمک نانورس می‌توان تلفات نشت آب از آب‌بندان را که از ابنیه‌های مهم سیستم مدیریت منابع آب هستند، کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: آگذری، استخر آب، زهاب، مدل آزمایشگاهی، نانورس.

<sup>۱</sup> دانشجوی دکترای آبیاری و زهکشی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، کیلومتر ۹ جاده دریا، ۰۹۳۵۲۴۹۳۸۰۷

Mbahari198551@yahoo.com

<sup>۲</sup> دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ۰۹۱۲۳۹۳۱۳۱۱، [Emadia355@yahoo.com](mailto:Emadia355@yahoo.com) (مسئول مکاتبه)

<sup>۳</sup> دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ۰۹۱۱۳۳۲۹۴۵۵، [Aliponh@yahoo.com](mailto:Aliponh@yahoo.com)

## مقدمه

یکی از مشکلاتی که همواره کشاورزان با آن مواجه هستند بحران کم آبی و اثرات منفی ناشی از آن می باشد که با توجه به شرایط جغرافیایی هر منطقه، تدابیر ویژه‌ای برای برون رفت از این مشکل اندیشیده می شود. در استان‌های شمالی کشور به دلیل وجود بارش‌های فراوان و پراکنش نامنظم آن‌ها امکان مهار صددرد رواناب وجود ندارد. یکی از راه‌کارهای مؤثر برای استفاده از این منابع آبی، احداث آب‌بندان است. آب‌بندان که در واقع یک استخر خاکی ذخیره آب است که از خاکبرداری یک محدوده، کوبیدن و ایجاد دیواره و حصار در این محدوده به وجود می آید. در برخی موارد نیز توپوگرافی منطقه، محل آب‌بندان را به طور طبیعی به وجود آورده و با کمی گود کردن و محصور کردن، آب‌بندان ساخته شده است. تلفات آب به وسیله‌ی نشت عبارت است از مقدار آبی که از کف و دیواره‌های آب‌بندان خارج می شود. نشت آب از آب‌بندان‌ها علاوه بر کاهش حجم آب ذخیره شده باعث تشدید مسئله‌ی زهدار شدن اراضی مجاور آن‌ها و اشباع شدن خاک دیواره و لغزش آن خواهد شد، در نتیجه تعیین مقدار نشت از دیواره‌ها و بستر آب‌بندان بسیار ضروری به نظر می رسد. یکی از روش‌های کاهش نشت از دیواره‌ی آب‌بندان افزودن نانوسر‌ها به مصالح بکار رفته در ساخت این سازه می باشد. نانوسر‌ها کانی‌هایی در مقیاس نانومتر هستند که از سطح ویژه‌ای در حدود ۷۵۰ مترمربع بر گرم برخوردارند (Carmen, 1996). با توجه به پیشرفت‌های اخیر در استفاده از موادی با مقیاس نانو بررسی عملکرد استفاده از این مواد و موارد پیرامون آن مانند درصد اختلاط، روش اختلاط و غیره در کاهش نفوذ آب از آب‌بندان‌ها ضروری می باشد. ذرات نانو با توجه به سطح ویژه‌ی بالای خود (که ناشی از ریز بودن ذرات آن است) و بار سطحی که دارند بسیار واکنش‌پذیرتر از خود ذرات خاک می باشند و باعث فعل و انفعالات بین ذره‌ای و قفل و بست دهندگی ذرات خاک می شوند

(Kadivar et al., 2011) که در نتیجه‌ی این امر، نفوذپذیری خاک را کاهش می دهند. همچنین افزایش نانوسر به خاک از یک طرف سبب افزایش بخش ریزدانه و قرارگیری ذرات ریز در بین ذرات درشت خاک می شود که با کاهش تخلخل مفید خاک سبب کاهش ضریب نفوذپذیری می شود. از طرف دیگر هیدراسیون و انبساط نانوسر در حضور آب سبب پرشدن فضاهای خالی، کاهش سهولت حرکت آب از بین ذرات خاک و در نتیجه کاهش هدایت هیدرولیکی نمونه‌ها می شود.

(Mahalle and Adhau, 2014) برای غلبه بر خشکسالی‌ها در مناطق شور احداث استخرهای ذخیره‌ی آب کشاورزی را پیشنهاد نمودند و میزان تلفات نشت آب از یک استخر آب پوشش نشده در طول سه ماه را برابر ۱۲/۶ cm به دست آوردند. (Haman et al., 2003). برای آب‌بندی آب‌بندان‌ها در فلوریدا، روش‌هایی از قبیل تراکم، بلانکت رسی، بنتونیت، مواد شیمیایی و غشاهای انعطاف‌پذیر را شرح داده و مورد مقایسه قرار دادند و بیان کردند که انتخاب روش مناسب آب‌بندی به درشت دانه بودن یا ریزدانه بودن خاک آب‌بندان بستگی دارد. (Swistock, 2008) تراکم مواد موجود، استفاده از فیلم‌های پلاستیکی، افزودن رس، بنتونیت، مواد شیمیایی مانند سدیم فسفات را جزء راه‌های کاهش نشت از استخرهای نشتی بیان نمود. (Kananizadeh and khoshniat, 2011) در بررسی تأثیر نانوسر بر نفوذپذیری محل دفن زباله کهریزک مشاهده نمودند که افزودن ۰.۴٪ نانوسر به خاک، باعث کاهش نفوذپذیری خاک از  $10^{-9}$  \* ۳ به  $10^{-11}$  \* ۷/۷۴ سانتی‌متر بر ثانیه در شرایط معمولی شده است. شفیعی دستجردی (۱۳۹۲)، با افزودن ۳ تا ۹ درصد نانوذرات رسی، نفوذپذیری بدنه دپوی مدفن زباله‌های شهری شهرستان سراوان را از  $10^{-6}$  \* ۳/۲۵ به  $10^{-7}$  \* ۴/۲۲ سانتی‌متر بر ثانیه در شرایط معمولی رساند.

### مواد و روش‌ها

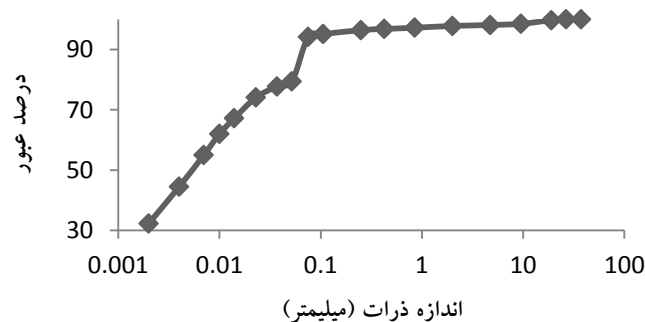
#### خاک مورد استفاده

نمونه خاک مورد استفاده در این پژوهش از خاک آب‌بندان افرا واقع در شهرستان قائمشهر در استان مازندران تهیه شد. با انجام آزمایش دانه‌بندی نوع خاک منطقه مشخص گردید. شکل (۱) منحنی دانه‌بندی خاک را نشان می‌دهد.

هدف از این پژوهش بررسی امکان استفاده از ماده‌ی نانورس در خاک دیواره و بستر آب‌بندان‌ها و مسائل مربوط به آن در کاهش پدیده‌ی نشست از آب‌بندان‌ها می‌باشد که با ساخت یک مدل فیزیکی از آب‌بندان، عملکرد این ماده ارزیابی شد. سپس با کمک نرم‌افزار seep/w مورد شبیه‌سازی و تحلیل قرار گرفت.

#### نانورس

در این پژوهش نانورس مونت موریلونیت به‌منظور کاهش نفوذپذیری مورد استفاده قرار گرفت. که مشخصات فیزیکی و شیمیایی آن به ترتیب در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است.



شکل (۱): منحنی دانه بندی خاک

جدول (۱): مشخصات فیزیکی نانورس مورد استفاده در پژوهش

نوع کانی	رنگ	چگالی ( $\text{kg/m}^3$ )	رطوبت (%)	اندازه ذرات (nm)	سطح ویژه ( $\text{m}^2/\text{gr}$ )	فاصله خالی بین ذرات ( $\text{A}^0$ )	هدایت الکتریکی (MV)	ضریب تبادل یونی (meq/100gr)
مونت موریلونیت	زرد	۳۷۰ - ۳۰۰	۱-۲	۱-۲	۲۷۰ - ۲۲۰	۶۰	۲۵	۴۸

جدول (۲): نتایج آنالیز شیمیایی نانورس مصرفی

ترکیب شیمیایی	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	LOI
درصد	۰/۹۸	۳/۲۹	۱۹/۶۰	۵۰/۹۵	۰/۸۶	۱/۹۷	۰/۶۲	۵/۶۲	۱۵/۴۵

## آزمایش تراکم

آزمایش تراکم استاندارد برای تعیین درصد رطوبت بهینه و وزن مخصوص خشک بیشینه خاک انجام شد. سپس خاک با درصد بهینه‌ی نانورس که از آزمایش نفوذپذیری با بار افتان به دست آمد، ترکیب گردید و از آنجایی که افزودن نانورس باعث تغییر در میزان رطوبت بهینه و حداکثر دانسیته خشک خاک می‌شود لذا آزمایش تراکم استاندارد روی این خاک نیز انجام شد.

## آزمایش نفوذپذیری با بار افتان

به دلیل ریزدانه بودن خاک، آزمایش نفوذپذیری با بار افتان روی نمونه خاک انجام شد. برای تهیه نمونه در قالب پروکتور (قالب نفوذپذیری) ابتدا نمونه خاک با استفاده از اسپری آبپاش تا حد امکان به صورت یکنواخت مرطوب شد. در این پژوهش نمونه‌ی خاک، ۲٪ بیشتر از رطوبت بهینه مرطوب شد؛ زیرا در این حالت مجموعه‌ای از مولکول‌های رس در حالت مرطوب ترشکسته شده و قرارگیری آن‌ها در کنار هم هنگام تراکم مناسب‌تر بوده و نفوذپذیری کمتری ایجاد می‌کند (اسمعیلی و فخاریان، ۱۳۸۳ و Bjerrum and Huder, 1957). بعد از آن نمونه به مدت ۲۴ ساعت در داخل پلاستیک در بسته نگهداری شد تا فرصت کافی برای هیدراته شدن ذرات خاک قبل از تراکم فراهم باشد. پس از آن حجم خاک لازم برای تراکم ۹۸٪، توسط چکش پروکتور استاندارد در سه لایه مساوی درون قالب استوانه‌ای دستگاه اندازه‌گیری نفوذپذیری جای داده و متراکم شد. بعد از قرار دادن صافی کاغذی در زیر و بالای نمونه، نمونه به مدت ۲۴ ساعت در سطل پر از آب قرار گرفت تا کاملاً اشباع و

همه حباب‌های هوا از آن خارج شود. آزمون نفوذپذیری با بار افتان روی نمونه استوانه‌ای شکل به ابعاد (L:10 cm, D:82 mm) انجام شد. در دو طرف نمونه آماده شده سنگ‌های متخلخل قرار داده شد، بعد نمونه در دستگاه آزمون قرار داده شد تا آزمون اجرا گردد. یک صافی کاغذی روی صفحه پایه مشبک و قالب نمونه روی آن قرار گرفت. این صفحه پایه دارای ۴ میله فلزی برای محکم نگهداشتن قالب بین صفحه پایه و درپوش بالایی می‌باشد؛ که با محکم نمودن پیچ‌های مربوط به صفحه پایه، قالب نمونه بین درپوش و صفحه پایه کاملاً محکم گردید (شکل ۲). لوله‌ی شیشه‌ای بالای نمونه (لوله‌ی پیتوت) با قطر ۱۵ میلی‌متر از آب پر گردید و حین پایین آمدن آب در استوانه، ارتفاع آن در فواصل زمانی مساوی قرائت و یادداشت شد و هدایت هیدرولیکی خاک طبق رابطه زیر محاسبه گردید (طاحونی، ۱۳۸۳):

$$(1) \quad K = \frac{2.3aL}{At} \log \frac{h_1}{h_2}$$

که در آن:

K: ضریب نفوذپذیری (cm/s)

a: سطح مقطع لوله (cm<sup>2</sup>)

L: طول نمونه خاک (cm)

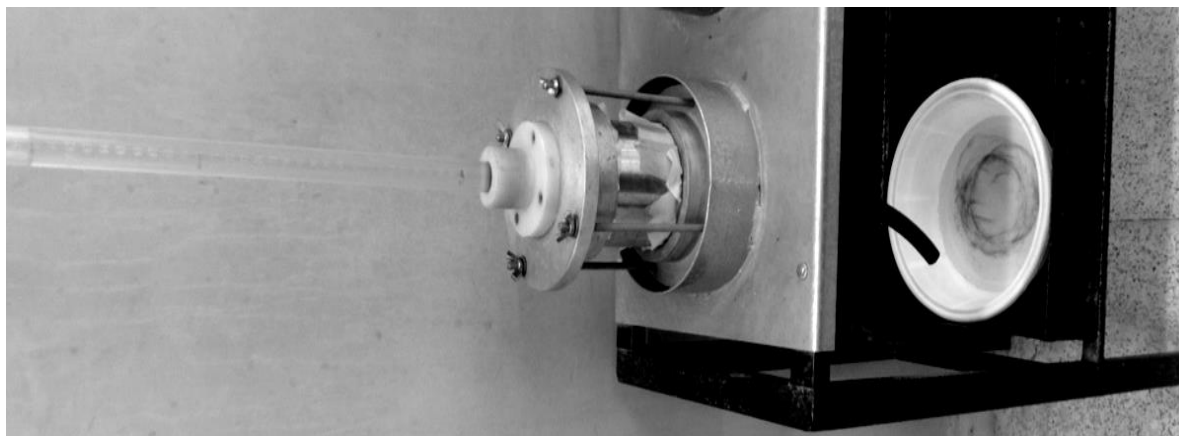
h<sub>1</sub>: بار آبی در آغاز آزمایش (cm)

h<sub>2</sub>: بار آبی در پایان آزمایش (cm)

t: کل زمان برای پایین افتادن آب در لوله از h<sub>1</sub> به

h<sub>2</sub>(s)

A: سطح مقطع نمونه خاک (cm<sup>2</sup>) می‌باشد.



شکل (۲): دستگاه اندازه گیری نفوذپذیری به روش بار افتان در آزمایشگاه

کنفی قرار داده شد. در ابتدا یک لایه از خاک به ضخامت ۱۰ سانتی‌متر در کف مدل ریخته شد و با رطوبت بهینه و انرژی تراکم استاندارد متراکم گردید. شیب دیواره‌ی خاکی بالادست و پایین دست به ترتیب ۱:۲/۵ و ۱:۲ می‌باشد. برای جدا کردن مقدار نشت دیواره از بستر در زیر مدل صفحات شیب‌داری تعبیه شد. دیواره خاکی با ریختن و کوبیدن لایه‌های متوالی خاک ساخته شد. به این دلیل که برای متراکم نمودن خاک آب‌بندان با چکش تراکم استوانه‌ای شکل معمول، هم‌پوشانی لازم صورت نمی‌گرفت لذا چکش تراکمی با سطح مقطع مربع هم‌وزن با چکش تراکم دایره‌ای ساخته شد تا تمام نقاط خاک در مدل فیزیکی به یک اندازه کوبیده و متراکم گردد (شکل ۳).

در مرحله‌ی بعد خاک با درصدهای وزنی متفاوتی از ماده‌ی نانورس (۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲٪) مخلوط شده و آزمایش نفوذپذیری با بار افتان روی آن انجام شد. درصدی از ماده‌ی نانورس که بیشترین نسبت تغییرات کاهش نفوذپذیری را داشته است به‌عنوان درصد بهینه انتخاب شد.

### مدل فیزیکی

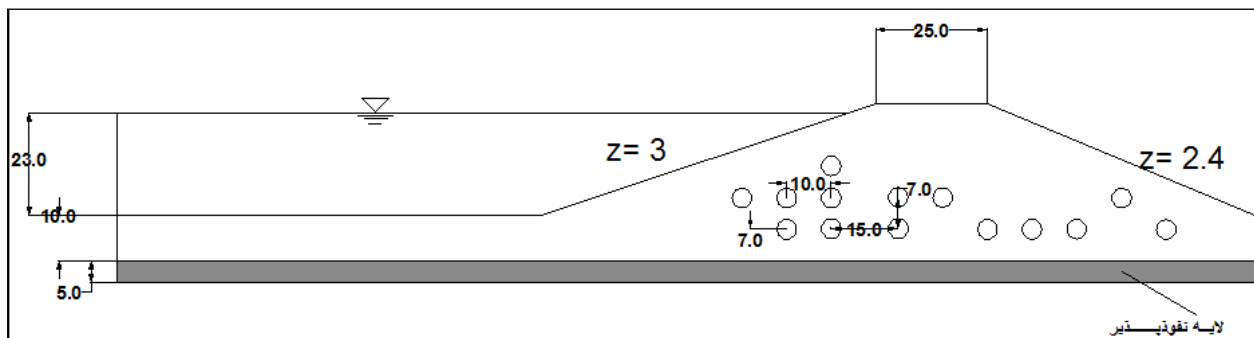
به‌منظور ساخت مدل فیزیکی آب‌بندان، محفظه‌ای با استفاده از ورق‌های گالوانیزه و آهن به طول ۲۵۵، عرض ۵۰ و ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر در آزمایشگاه ساخته شد. این محفظه روی پایه‌های آهنی به ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر قرار گرفت. به دلیل اینکه در این پژوهش بررسی آبگذری در بستر نیز مدنظر می‌باشد کف مدل از توری مشبک ساخته شد روی آن چند لایه پوشش



شکل (۳): تصویری از کوبیدن خاک در مدل فیزیکی با چکش تراکم مکعبی

قابل ذکر است که برای اندازه‌گیری دقیق‌تر خط نشت و نیز حذف اثر جداره‌ها بر نشت آب از آب‌بندان، پیزومترها تا وسط مدل در داخل خاک امتداد یافتند. شکل (۴) محل نصب پیزومترها در مدل آزمایشگاهی را نشان می‌دهد.

تعداد ۱۴ پیزومتر برای اندازه‌گیری فشار آب منفذی به صورت شبکه بندی شده روی بدنه مدل قرار دارد. فاصله افقی و عمودی پیزومترها به ترتیب ۱۰ و ۷ سانتیمتر است. همچنین برای جلوگیری از ورود ذرات خاک به درون پیزومترها و مسدود شدن آن‌ها، در دهانه ورودی هر یک از پیزومترها فیلتر نصب شد.



شکل (۴): محل نصب پیزومترها در مدل آزمایشگاهی

مدت با قرار دادن ظرفی در زیر آن محاسبه گردید که این زمان در آزمایشات مختلف از شش ساعت تا هشت ساعت متغیر بوده است. در شکل (۵) نحوه‌ی اندازه‌گیری دبی نشت از بستر و دیواره‌ی آب‌بندان در مدل فیزیکی مشخص شده است.

به منظور ثابت نگهداشتن سطح آب در مخزن از یک شناور استفاده شد. پیزومترها توسط شیلنگ‌های مخصوص به تابلوی مدرج وصل گردیدند. همگی پیزومترها هواگیری شد؛ پس از این که سطح آب در پیزومترها به حالت تعادل رسید ارتفاع آب آن‌ها ثبت شد و مقدار آب نشتی به صورت حجمی در طول این



شکل (۵): اندازه‌گیری دبی نشت از بستر و دیواره‌ی آب‌بندان در مدل فیزیکی

Seep/W، پس از جمع‌آوری اطلاعات اولیه مسئله در مدل تعریف شد. این نرم‌افزار از سری نرم‌افزارهای GeoStudio 2007 است که از روش المان محدود برای شبیه‌سازی جریان استفاده می‌کند. با استفاده از توابع درونیابی یا توابع شکل و جایگذاری در مشتق معادله دیفرانسیلی تراوش و اعمال شرایط مرزی، فرم ماتریسی معادله تراوش در تحلیل‌های پایدار طبق رابطه‌ی زیر به‌دست می‌آید:

$$[K]\{H\} = \{Q\} \quad (2)$$

با محاسبه ماتریس‌های فوق به روش انتگرال‌گیری عددی و اعمال شرایط مرزی و حل دستگاه معادلات، مقادیر بار آبی در نقاط مورد نظر گره‌های شبکه به‌دست می‌آید (Krahn, 2012).

قابل ذکر است که شرایط مرزی استفاده شده در مدل seep/w در این پژوهش، شامل شرط مرزی سطح پتانسیل نشت در شیروانی پایین دست دیواره آب‌بندان، شرط مرزی فشار صفر در پنجه‌ی دیواره خاکی و شرط مرزی بار آبی مخزن در شیروانی بالادست دیواره می‌باشد. در شکل (۶) این پارامترها بعد از افزودن نانورس نشان داده شده است، همچنین در این شکل، مدل شبکه خورده مثلثی (سه نقطه)

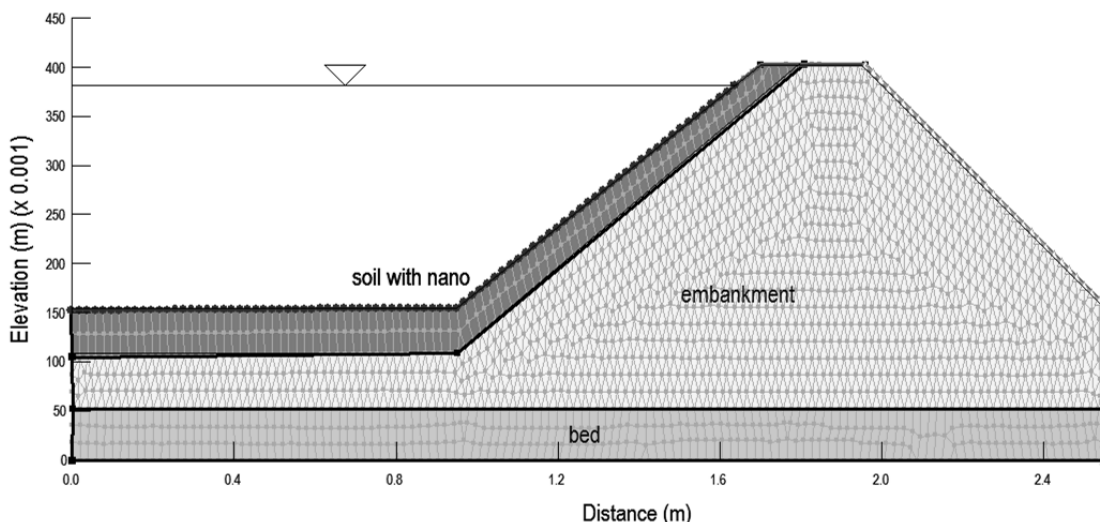
برای بررسی تاثیر افزودن نانورس بعد از تخلیه کامل آب موجود در مخزن، لایه‌ای ۵ سانتی‌متری از خاک سطحی بستر و شیروانی بالادست آب‌بندان برداشت شد. این خاک در کیسه‌های پلاستیکی جداگانه قرارداده شد و با توجه به میزان رطوبت آن، خشک یا مرطوب شد تا رطوبت خاک به حد رطوبت بهینه‌ی تراکم برسد. سپس به میزان نیم درصد وزنی هرکدام از کیسه‌ها نانورس به آن‌ها اضافه گردید و بعد از بستن کامل، کیسه‌ها به شدت تکان داده شد تا عمل اختلاط به خوبی صورت گیرد. قابل ذکر است که ۰/۵٪ نانورس به‌عنوان درصد بهینه از آزمایش نفوذپذیری با بار افتان به‌دست آمد. سپس نمونه خاک‌ها در کف و دیواره‌ی مدل فیزیکی پهن گردید و بعد از انجام چند بار عمل تراکم و اطمینان از خوب متراکم شدن خاک، مدل ساخته شده تا ارتفاع ۲۳ سانتی‌متر آبیگری شد و ارتفاع آب در پیزومترها و دبی زهاب خروجی از مدل خاکی اندازه‌گیری شد.

### مدل عددی

در این پژوهش، با کمک نرم‌افزار Seep/W تأثیر نانورس بر کاهش نشت آب از آب‌بندان و همچنین موقعیت سطح آزاد نشت (خط اشباع یا آزاد جریان) نیز تعیین گردید. برای استفاده از مدل نرم‌افزاری

نفوذپذیری ۰/۰۰۰۵ متر بر ثانیه در نظر گرفته شد.

مشاهده می‌شود. برای شبیه سازی بستر نفوذپذیر آب‌بندان در نرم افزار seep/w، لایه‌ای ۵ سانتی متری با



شکل (۶): شرایط مرزی به کار رفته و المان‌های مثلثی آب‌بندان در نرم افزار seep/w بعد از افزودن نانورس

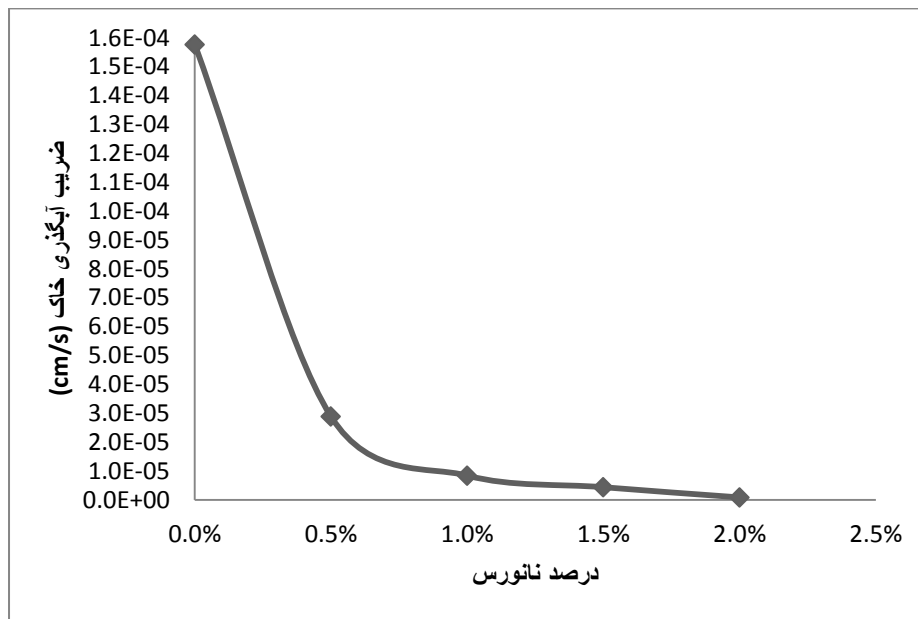
نانورس به عنوان درصد مناسب برای کاهش نفوذپذیری انتخاب گردید.

با انجام آزمایش تراکم استاندارد، میزان رطوبت بهینه خاک قبل و بعد از افزودن ۰/۵٪ نانورس به ترتیب برابر با ۲۱/۵۹ و ۱۹/۱۶ درصد و میزان وزن مخصوص خشک ماکزیمم خاک قبل و بعد از تزریق نانورس به ترتیب برابر با ۱/۶۷ و ۱/۶۸ گرم بر سانتی متر مکعب می‌باشد. شکل (۸) پروفیل خط آزاد جریان در مدل فیزیکی را در دو حالت خاک معمولی و خاک همراه با نانورس نشان می‌دهد. با توجه به این شکل می‌توان مشاهده نمود در حالتی که لایه‌ای از خاک حاوی نانورس استفاده شده است خط آزاد جریان پایین تر رفته که در نتیجه‌ی آن از خطر اشباع شدن و لغزش خاک دیواره‌ی آب‌بندان کاسته شده است.

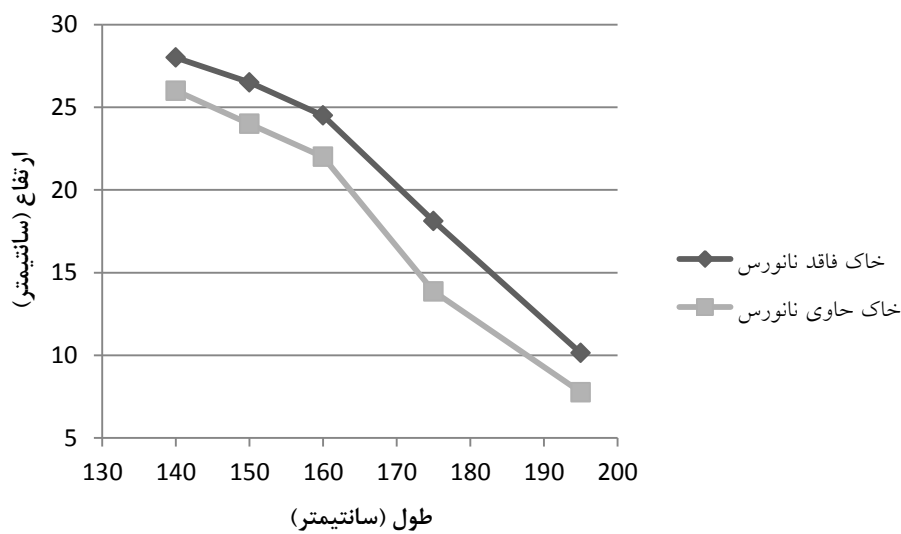
## نتایج و بحث

شکل (۷) ضریب آب‌گذری خاک مخلوط شده با درصد‌های متفاوت از نانورس که با استفاده از آزمایش نفوذپذیری به دست آمده است را نشان می‌دهد. بر اساس این شکل که اثر مقدار نانورس را بر آب‌گذری خاک نشان می‌دهد، هدایت هیدرولیکی خاک از  $10^{-4} * 1/58$  به  $10^{-5} * 2/88$  با افزودن ۰/۵ درصد وزنی نانورس کاهش یافت، بعد از این مقدار به نظر می‌رسد که افزایش مقدار نانورس تأثیر کمتری بر ضریب آب‌گذری خاک دارد. به عبارت دیگر در درصد‌های بالاتر از نانورس اضافه شده، خاک‌ها از نظر وضعیت نفوذپذیری به هم نزدیک شده‌اند. قابل ذکر است که هر نقطه (داده) در این نمودار میانگین چند آزمایش را نشان می‌دهد. بنابراین طبق نتایج، ۰/۵٪





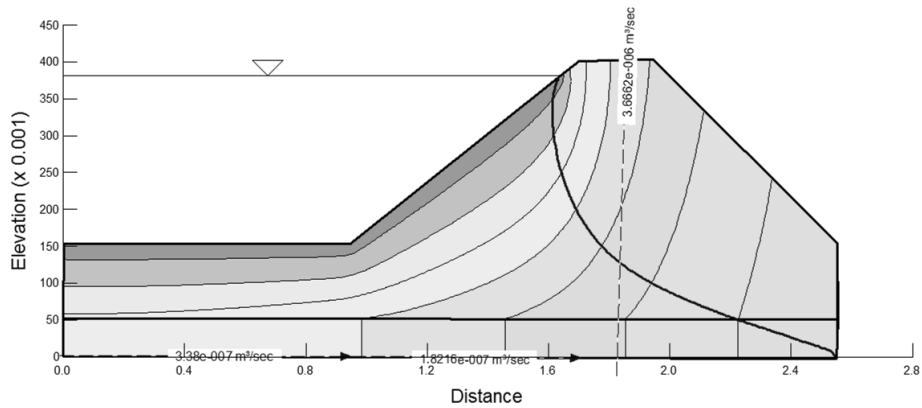
شکل (۷): اثر نانوسیل بر آبگری خاک



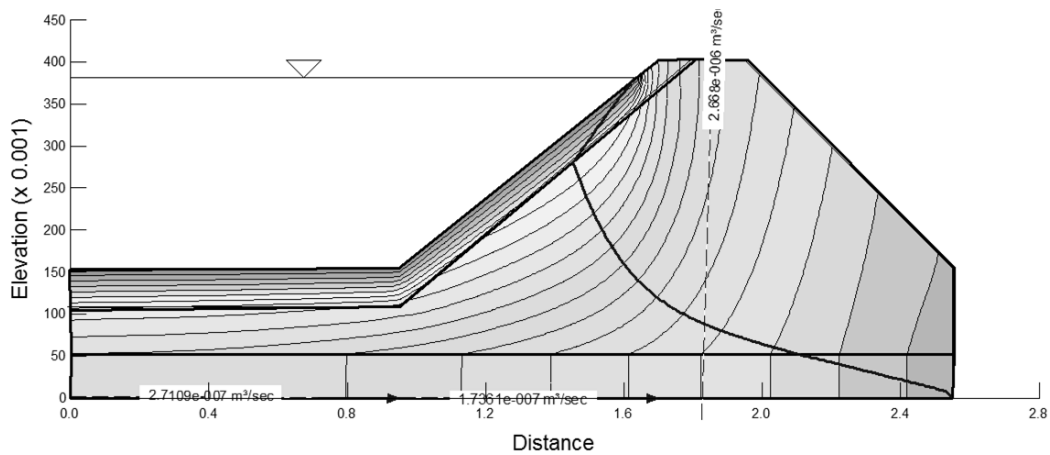
شکل (۸): تغییر خط آزاد جریان در دو حالت خاک معمولی و خاک حاوی نانوسیل در مدل فیزیکی

دیواره و بستر آب‌بندان، خطوط هم‌پتانسیل و نیز خط آزاد جریان قبل و بعد از افزودن نانوسیل نشان داده شده است.

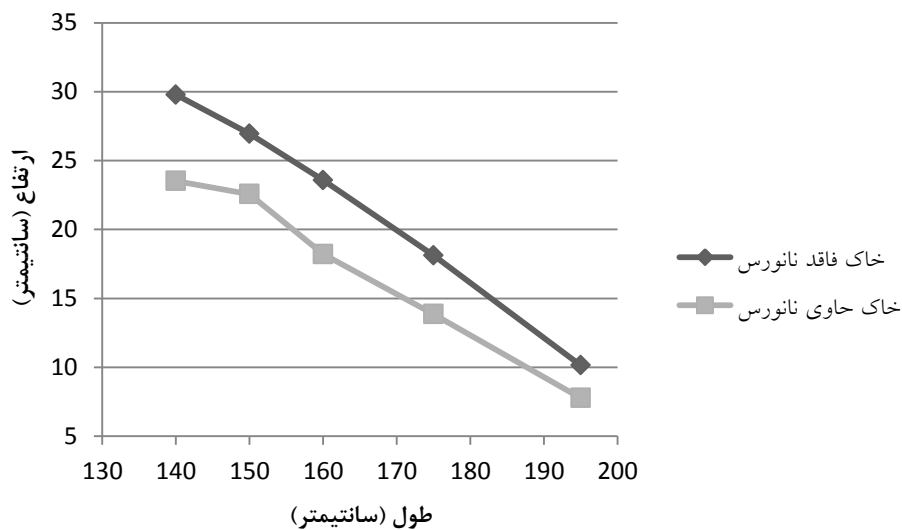
نرم افزار seep/w بعد از تجزیه و تحلیل مسئله، میزان دبی نشت گذرنده از هر مقطعی را نشان می‌دهد که در شکل‌های ۹ و ۱۰ مقدار نشت آب از



شکل (۹): خطوط هم پتانسیل، خط آزاد جریان و مقدار نشت از دیواره و بستر آب‌بندان در حالت بدون نانورس



شکل (۱۰): خطوط هم پتانسیل، خط آزاد جریان و مقدار نشت از دیواره و بستر آب‌بندان در حالت حاوی نانورس

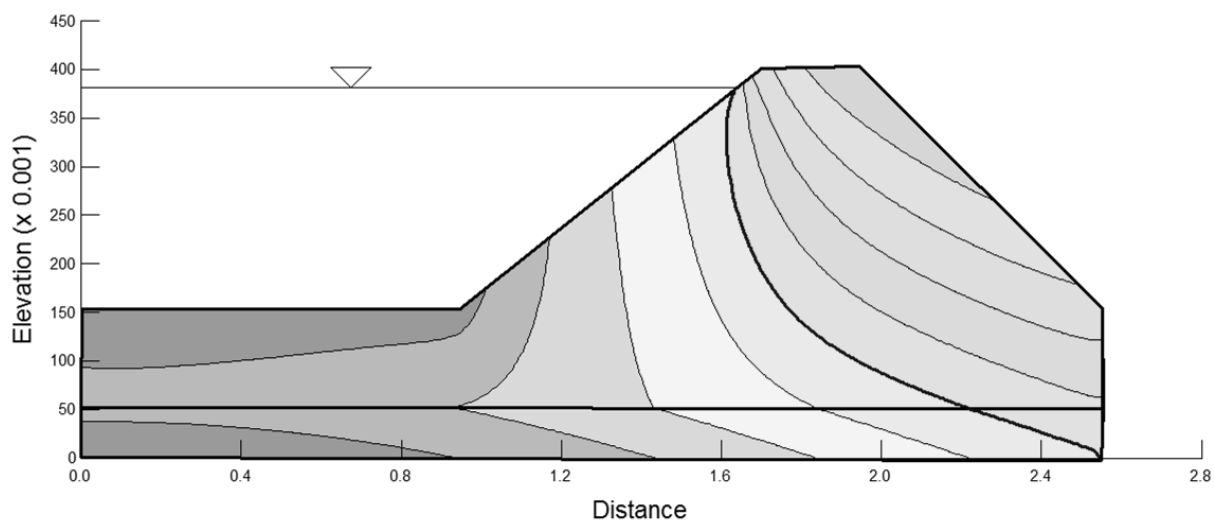


شکل (۱۱): تغییر خط آزاد جریان بعد از افزودن نانورس به خاک آب‌بندان در مدل عددی

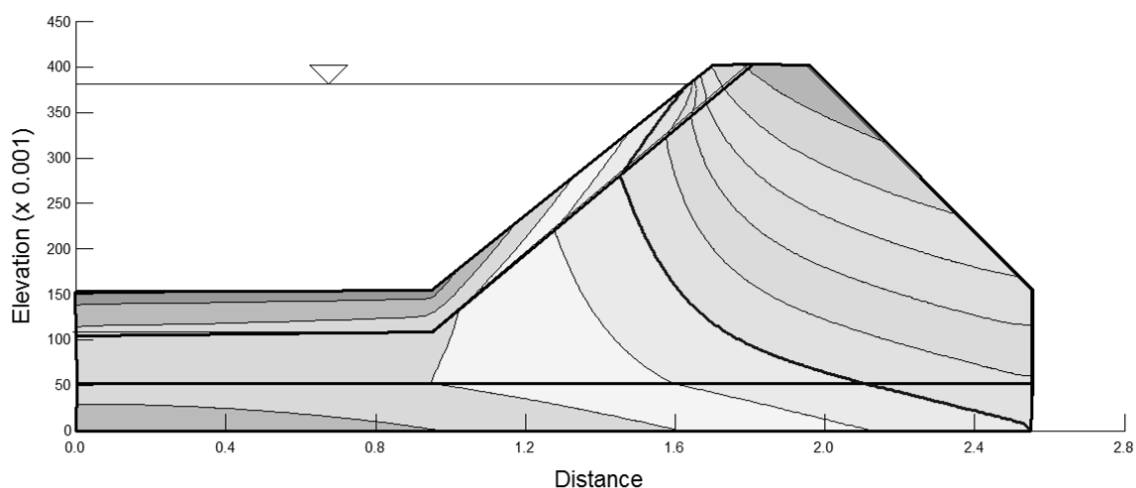
میزان این کاهش از حداقل ۲ تا حداکثر ۴/۲۶ سانتی‌متر در مدل فیزیکی و نیز از حداقل ۲/۳۷ تا حداکثر ۶/۲۶ سانتی‌متر در مدل عددی متغیر بوده است. به‌طور متوسط بعد از افزودن نانورس به خاک، خط آزاد جریان در مدل فیزیکی و عددی به ترتیب ۲/۷۲۶ و ۴/۵۲۸ سانتی‌متر کاهش یافته است.

همچنین در شکل‌های ۱۲ و ۱۳ خطوط تراز برای پارامتر فشار آب منفذی به ترتیب قبل و بعد از افزودن نانورس نیز نشان داده شده است.

همان‌طور که در شکل‌های بالا مشخص است مسیر نشت آب می‌شکند و دلیل آن، این است که هنگامی که آب از درون لایه‌ی ۵ سانتی‌متری نانورس با نفوذپذیری کم، تراوش می‌کند، بار آبی به دلیل وجود اصطکاک میان آب و دانه‌های جامد خاک، رفته رفته کاهش می‌یابد که این مسئله باعث کاهش نشت و پایین افتادن خط آزاد جریان می‌شود. به عبارت دیگر بعد از ترکیب شدن خاک با نانورس میزان افت و پایین افتادگی خط آزاد جریان بیشتر شده است که



شکل (۱۲): خطوط تراز فشار آب منفذی آب‌بندان مدل شده قبل از افزودن نانورس



شکل (۱۳): خطوط تراز فشار آب منفذی آب‌بندان مدل شده بعد از افزودن نانورس

همچنین قابلیت جذب رطوبت و تور مقابل ملاحظه، در کاهش نفوذپذیری خاک بسیار مؤثر عمل می‌کند. از طرف دیگر، با توجه به این‌که نانورس مصرف شده در این پژوهش از نوع مونت‌موریلونیت می‌باشد و خصوصیات تورمی مونت‌موریلونیت نیز به کاهش نفوذپذیری آن کمک ویژه‌ای می‌کند (اوحدی و نوری، ۱۳۹۲ و Montes et al. 2005) در نتیجه‌ی این ویژگی، نانورس باعث کاهش تلفات نشت آب از آب‌بندان شده است.

کاهش نفوذپذیری خاک بعد از افزودن نانورس به آن، با نتایج تحقیقات آذرافزا و اصغری کلجاهی (۱۳۹۱)، شفیعی دستجردی (۱۳۹۲)، باقریه و همکاران (۱۳۹۳)، ابراهیمی و همکاران (۱۳۹۳)، Kananzadeh and Khoshniat (2011) و Neethu and Remya (2013) مطابقت دارد.

در جدول ۳ دبی زهاب بستر و دیواره آب‌بندان در مدل فیزیکی و مدل عددی در دو حالت خاک حاوی و فاقد نانورس ارائه شده است. دبی کل نشت از آب‌بندان در مدل فیزیکی قبل و بعد از افزودن نانورس به ترتیب برابر ۱۰/۴۷ و ۴/۳۸ سانتی‌متر بر روز به دست آمد، در مدل عددی نیز دبی کل نشت از ۸/۸۳ به ۶/۹۱ سانتی‌متر بر روز کاهش یافت. بنابراین می‌توان دریافت که افزودن لایه حاوی نانورس باعث کاهش دبی تراوش از بستر و دیواره‌ی آب‌بندان و به عبارتی کاهش کل تلفات نشت آب از آب‌بندان شده است. این امر به این دلیل می‌باشد که بعد از افزودن نانورس با افزایش میزان ذرات جامد خاک در واحد حجم و کاهش حجم فضاهای خالی بین ذرات، دانسیته خشک افزایش و ضریب آبگذری خاک کاهش می‌یابد (Majeed and Taha, 2013). نانورس با توجه به ریزدانه بودن ذرات و

جدول (۳): مقایسه پارامتر مقدار نشت در مدل عددی و فیزیکی در خاک حاوی و فاقد نانورس

وضعیت خاک	مدل فیزیکی		مدل عددی	
	نشت بستر (cc/s)	نشت دیواره (cc/s)	نشت بستر (cc/s)	نشت دیواره (cc/s)
خاک فاقد نانورس	۰/۹۷۵	۴/۴۱	۰/۳۳۸	۳/۸۴
خاک حاوی نانورس	۰/۵۱	۱/۸۲	۰/۲۷۱	۲/۸۴
درصد تغییرات	-۴۸	-۵۹	-۲۰	-۲۶

### نتیجه گیری

در این پژوهش امکان استفاده از ماده‌ی نانورس در خاک دیواره و بستر آب‌بندان‌ها و مسائل مربوطه به آن در کاهش پدیده‌ی نشت از آب‌بندان‌ها مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا در آزمایشگاه آزمایش نفوذپذیری برای تعیین درصد مناسب نانورس انجام شد و با ساخت یک مدل فیزیکی از آب‌بندان عملکرد این ماده ارزیابی گردید. در نهایت با کمک نرم‌افزار نتایج آزمایشگاهی شامل فشار، دبی جریان و خط آزاد جریان در دو حالت قبل و بعد از افزودن نانورس به خاک مورد شبیه سازی و تحلیل قرار گرفتند. نتایج

نشان داد که افزودن نانورس باعث کاهش نفوذپذیری خاک شده است. همچنین دبی زهاب بستر و دیواره‌ی آب‌بندان بعد از ترکیب خاک با نانورس ۵۸٪ کاهش یافته است. با توجه به این‌که آب‌بندان نقش بسیار مهمی در تأمین آب کشاورزی در مناطق شمالی دارد، کاهش ۵۸ درصدی تلفات نشت آب از این سازه بسیار با ارزش می‌باشد. همچنین اختلاط خاک با نانورس به‌طور متوسط باعث کاهش ۲/۷۳ و ۴/۵۳ سانتی‌متری خط آزاد جریان به ترتیب در مدل فیزیکی و عددی شده است.

## منابع

- ابراهیمی، م.، ه. نظریور و ع. جانعلی زاده. ۱۳۹۳. بررسی اثر افزودن نانوذرات رس بر نفوذپذیری خاک ماسه لای دار. هشتمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل.
- آذرافزا، م. و ا. اصغری کلجاهی. ۱۳۹۱. تاثیر نانوذرات رسی افزوده شده بر خاک در کاهش نفوذپذیری دپوهای دفن زباله. سی و یکمین گردهمایی علوم زمین. ۶ ص.
- اسمعیلی، ف. و ک. فخاریان. ۱۳۸۳. بررسی اثر شیرابه و آهک روی نفوذپذیری خاک رس موجود در محل دفن زباله‌های شهر تهران (خاک چال کهریزک). اولین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، ۹-۱.
- اوحدی، و. ر. و ا. نوری. ۱۳۹۲. تأثیر نانورس بر تحکیم پذیری و نفوذپذیری بنتونیت در حضور آلاینده‌ی فلز سنگین. مجله عمران مدرس، سال ۱۳، شماره ۳، ص ۹-۱.
- باقری، ع. ۱۳۸۷. مدیریت آب بندان و نقش آب‌بندان در ذخیره سازی و تأمین آب مورد نیاز اراضی کشاورزی شمال کشور. دومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی دانشگاه شهید چمران اهواز. ۶ ص.
- باقریه، ا. م. ع. روشن ضمیر و س. م. حجازی. ۱۳۹۳. کاربرد نانو رس در بهبود مقاومت و نفوذپذیری خاک ماسه بادی. اولین کنفرانس ملی مکانیک خاک و مهندسی پی.
- شفیعی دستجردی، ع. ا. ۱۳۹۲. بهسازی خاک لایه نفوذ ناپذیر مدفن زباله‌های شهری با استفاده از تکنولوژی نانو. اولین همایش سراسری محیط‌زیست، انرژی و پدافند زیستی، تهران، ۶-۱.
- طاحونی، ش. ۱۳۸۳. اصول مهندسی ژئوتکنیک، جلد اول: مکانیک خاک. انتشارات پارس آئین، تهران. ۸۳۰ صفحه.
- فانی حق، ع. و ک. استیری. ۱۳۹۰. بررسی مدل‌های شبیه سازی VENSIM و WEAP در تخصیص منابع آب. ماهنامه عمران آب، شماره ۴۸، ص ۵۱-۴۵.
- Bjerrum, L. and J. Huder. 1957. Measurement of the permeability of compacted clays. 4<sup>th</sup> International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, London, 1: 6-10.
- Carmen, D. H. 1996. Clay and Clay Minerals. 44(3): 424-428
- Haman, D. Z., A. G. Smajstrla, F. S. Zazueta, and G. A. Clark. 2003. Selecting a Method for Sealing Ponds in Florida. Agricultural and Biological Engineering Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. 5 p.
- Kadivar, M., K. Barkhordari and M. Kadivar. 2011. Nanotechnology in Geotechnical Engineering. Advanced Materials Research, 261: 524-528.
- Kananizadeh, N. and A. Khoshniat. 2011. Behavior of Nanoclay as an Additive in order to Reduce Kahrizak Landfill Clay Permeability. 2nd International Conference on Environmental Science and Technology, Singapore. 5 p.
- Krahn, J. 2012. Seepage Modeling with SEEP/W. Engineering Methodology, GEO-SLOPE International Ltd, 207 p.
- Mahalle, Y. R and G. W. Adhau. 2014. Study of evaporation and seepage losses from farm pond in saline area. International Journal of Agricultural Engineering. 7(2): 402-409.
- Majeed, Z .H. and M. R.Taha. 2013. A review of stabilization of soils by using nanomaterials. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 7 (2): 576-581.
- Montes, G., B.Fritza, A. Clementa and N.Michaub. 2005. Modelling of geochemical reactions and experimental cation exchange in MX80 bentonite, Journal of Environmental Management, 77: 35-46.
- Neethu, S. V. and S.Remya. 2013. Engineering behaviour of nanoclay Stabilized soil. Proceedings of Indian Geotechnical Conference, December 22-24, Roorkee. 7 p.
- Swistock, B. R. 2008. Pond Facts 3, Fixing a Leaking Pond. College of Agricultural Sciences, Cooperative Extension, School of Forest Resources, Penn State. 4 p.

## Experimental and Numerical Study of Nanoclay Effect on Reducing Seepage loss of Storage Pond

M. Bahari<sup>1</sup>, A. R. Emadi<sup>2</sup>, A. Shahnazari<sup>3</sup>

### Abstract

One of the effective ways to deal with the water crisis and control runoff is constructing of water storage ponds that named Ab-Bandan in the Northern provinces. Water seepage from Ab-Bandans, in addition to reducing the volume of water stored in them, will cause saturation and slide of banks soil; As a result, to reduce seepage from Ab-Bandan different materials such as nanoclay should be added to improve soil impermeability. In this study with permeability tests in lab, the effects of different percentages of nanoclay (0.5, 1, 1.5 and 2%) were evaluated on soil hydraulic conductivity. A physical model of the Ab-Bandan was built. nanoclay performance in reducing water leakage was evaluated. Ab-Bandan was simulated with the seep/w software and the effect of nanoclay on the amount of seepage and phreatic surface was analyzed. The results showed that the permeability reduced from  $1.58 \times 10^{-4}$  to  $2.88 \times 10^{-5}$  with the addition of %0.5 nanoclay and then the permeability was less affected by the amount of nanoclay, so 0.5% nanoclay was chosen as the optimum percentage. Water seepage losses from Ab-Bandan with physical and numerical models, reduced %58 and %22 respectively. Phreatic surface after combining soil with nanoclay, on average, respectively, 2.73 and 4.53 cm have been reduced in physical and numerical model. So with the help of nanoclay can reduce water seepage losses from Ab-Bandan.

**Keywords:** Leakage, Nonoclay, Permeability, Physical model, Water pond.

---

<sup>1</sup> phD. Student of Irrigation and Drainage, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Mbahari198551@yahoo.com

<sup>2</sup> Associate Professor, College of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Emadia355@yahoo.com

<sup>3</sup> Associate Professor, College of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Aliponh@yahoo.com