

مهار نشت آب از آب‌بندان با استفاده از نانورس، سیمان و آهک

مرضیه بهاری^۱، علی شاهنظری^{۲*}، علی‌رضا عمادی^۳

۱. دانشجوی دکترای آبیاری و زهکشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۲. دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۳. دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۷/۸ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۱/۲۴)

چکیده

کارایی آب‌بندان‌ها با نشت آب از آن‌ها کاهش می‌یابد لذا یک راهکار افزودن مواد مختلف به خاک آب‌بندان است. در این پژوهش از درصدهای مختلف نانورس، ۱۰٪ سیمان و ۵٪ وزنی آهک برای کاهش هدایت هیدرولیکی خاک آب‌بندان استفاده گردید. هدایت هیدرولیکی خاک از $10^{-4} * 1/58$ به $10^{-5} * 2/88$ با افزودن ۰/۵٪ نانورس کاهش یافت. اندازه‌گیری فشار پیژومتریک مربوط به هر ماده نشان‌دهنده پایین افتادن خط آزاد جریان در دیواره آب‌بندان می‌باشد. ترکیب خاک با نانورس، سیمان و آهک به ترتیب باعث کاهش ۵۸٪، ۵۱٪ و ۲۸٪ تلفات گردید که بیشترین کاهش نشت مربوط به خاک حاوی نانورس می‌باشد. از نظر آماری بین نشت آب خاک معمولی با هر یک از مصالح تفاوت معنی‌داری در سطح اعتماد ۹۵٪ وجود دارد. لذا استفاده از مصالح مختلف مانند نانورس، سیمان و آهک، به ترتیب تأثیر آن‌ها در کاهش نشت، برای مهار نشت در آب‌بندان توصیه می‌گردد که افزودن آهک در شرایط مورد مطالعه اقتصادی تر بود.

واژه‌های کلیدی: زهاب، مدل آزمایشگاهی، نانو مواد، هدایت هیدرولیکی

مقدمه

استخرهای خاکی ذخیره آب که در استان‌های شمالی آب‌بندان نامیده می‌شوند نمونه‌های با ارزشی از دانش بومی و تکنولوژی مردم این نواحی برای استفاده بهینه آب هستند. این سیستم‌های آبی برای ذخایر آب کشاورزی و تغذیه چشمه‌ها و آب‌های زیرزمینی استفاده می‌شوند، همچنین از دیدگاه اکولوژیکی، محیط‌زیست پرنده‌ها و حیات‌وحش را فراهم می‌کنند. آب‌بندان‌ها علاوه بر ایجاد چشم‌اندازهای زیبا موجب جمع‌آوری حجم زیادی از زهاب‌ها و نیز آب‌های مازاد چاه‌های کشاورزی و آب‌های سطحی مازاد در فصول زراعی و غیر زراعی می‌گردند (Safaian and Shokri, 2003). استفاده بی‌رویه از چاه‌ها، پیشروی آب‌های شور در اراضی ساحلی، ورود آب‌های سطحی حاصل از بارندگی و رودخانه‌ها به دریا، اهمیت آب‌بندان‌ها را به‌عنوان استخرهای ذخیره آب در نواحی شمالی صدچندان کرده است (Boghrat et al., 2009). در مناطق شور نیز برای فائق آمدن بر مشکلات خشک‌سالی از استخرهای ذخیره آب کشاورزی استفاده شد (Mahalle and Adhau, 2014). لذا با توجه به اهمیت آب شیرین باید تا حد امکان از

هدر رفتن آب از آب‌بندان‌ها جلوگیری به عمل آورد. نشت آب از کف و دیواره‌های آب‌بندان که در طول سال اتفاق می‌افتد علاوه بر کاهش حجم آب ذخیره‌شده باعث تشدید مسئله زهدارشدن اراضی مجاور آن که یکی از مسائل مهم در اراضی شمالی کشور است، نیز می‌شود. تلفات زیادی به‌صورت پدیده نشت از دیواره‌های آب‌بندان به وقوع می‌پیوندد که این امر موجب اشباع شدن خاک دیواره و لغزش آن خواهد شد. پایداری دیواره‌های خاکی آب‌بندان رابطه‌ای معکوس با مقدار نشت دارد (Telang, 2012). میزان تلفات نشت آب در آب‌بندان‌های مناطق شمالی بین ۴۰ تا ۶۰٪ متغیر است (Arabzadeh and Rahbar, 2012). Duesterhaus et al. (2008)، میزان تلفات نشت از استخر ذخیره آب در ناحیه فلینت هیل کنزاس را برابر ۳۱ درصد کل تلفات سالانه آب از این استخر بیان نمودند. با کاهش تلفات نفوذ آب کارایی آب‌بندان‌ها به میزان زیادی افزایش می‌یابد (Telang, 2012)؛ بنابراین با افزودن مواد مختلف به خاک باید نفوذناپذیری آن را بهبود بخشید تا بدین‌وسیله از تلفات نشت آب کاسته شود.

Nila Rekha et al (2005)، برای کاهش نشت استخر پرورش ماهی از روش‌های ۱- تراکم استخر با الف- فضولات دامی (کود حیوانی)، ب- برگ‌های نخل و ج- تفاله نیشکر ۲- پوشش استخر با الف- سیمان و ماسه (۱:۸)، ب- آهک و ماسه

هیدرولیکی خاک محل دفن زباله کهریزک را از 10^{-9} cm/s به 10^{-11} cm/s در شرایط معمولی رساندند. ذرات نانو با توجه به سطح ویژه بالای خود (به علت ریز بودن ذرات) و بار سطحی که دارند بسیار واکنش‌پذیرتر از خود ذرات خاک می‌باشند و باعث فعل‌وانفعالات بین‌ذره‌ای و قفل و بست دهندگی ذرات خاک می‌شوند (Kadivar et al., 2011) که در نتیجه این امر، هدایت هیدرولیکی خاک را کاهش می‌دهند. همچنین افزایش نانورس به خاک از یک طرف سبب افزایش بخش ریزدانه و قرارگیری ذرات ریز در بین ذرات درشت خاک می‌شود که با کاهش تخلخل مفید خاک سبب کاهش هدایت هیدرولیکی می‌شود. از طرف دیگر هیدراسیون و انبساط نانورس در حضور آب سبب پر شدن فضاهای خالی، کاهش سهولت حرکت آب از بین ذرات خاک و در نتیجه کاهش هدایت هیدرولیکی نمونه‌ها می‌شود. همچنین باید متذکر شد که در صورت استفاده از نانورس برای بهبود خصوصیات خاک، نگرانی بابت آلودگی محیطی توسط این افزودنی نخواهد بود چراکه منشأ این ذرات در اصل یک خاک طبیعی می‌باشد (Taha, 2009).

اگرچه تحقیقات محدودی به منظور ارزیابی مزیت‌های افزودن نانوذرات مختلف به خاک انجام شده است، اما خلأ بزرگی در انجام آزمایش‌های تجربی و داده‌های عملی در این زمینه، به چشم می‌خورد. لذا هدف از این پژوهش، بررسی امکان استفاده از مواد مختلف در آب‌بندان و تأثیر آن‌ها بر کاهش پدیده نشت از آب‌بندان‌ها می‌باشد که علاوه بر مصالح معمول مانند سیمان و آهک از ماده جدیدی بنام نانورس در این پژوهش استفاده گردید. عملکرد این مواد با ساخت مدل آزمایشگاهی آب‌بندان بررسی شد و تأثیر آن‌ها بر خط آزاد جریان و همچنین میزان نشت از دیواره و کف آب‌بندان مورد مطالعه قرار گرفت. در نهایت فشار پیژومتریکی و میزان نشت مربوط به کاربرد هر ماده در مدل آزمایشگاهی مورد تحلیل و مقایسه آماری قرار گرفتند.

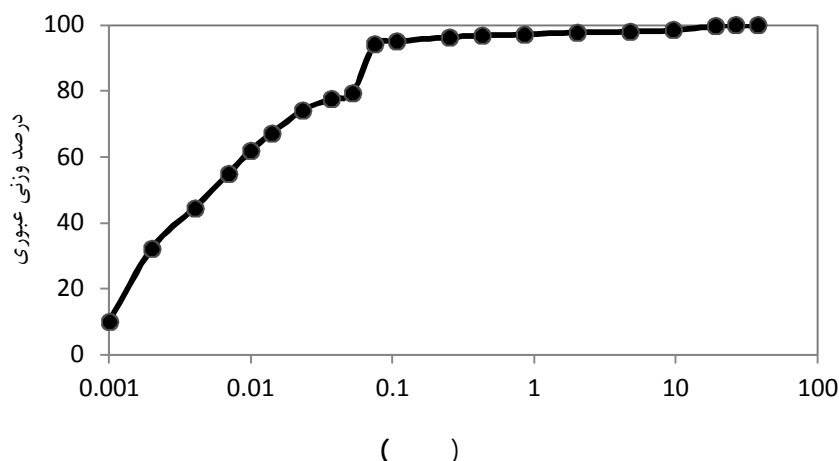
مواد و روش‌ها

بررسی‌های آزمایشگاهی اولیه

آب‌بندان جاده نظامی در شهرستان قائم‌شهر واقع در استان مازندران می‌باشد و در عرض جغرافیایی $83^\circ 36'$ شمالی و طول جغرافیایی $53^\circ 52'$ شرقی قرار گرفته است. از محل قرصه خاک استفاده‌شده در دیواره‌های آب‌بندان، نمونه‌های خاک برداشت شد. با دو بار انجام آزمایش دانه‌بندی به روش تر و رسم منحنی دانه‌بندی (شکل ۱) نوع خاک منطقه مشخص گردید.

(۱:۲) و ج- آهک، ماسه و صدف دریایی (۱:۳:۳) استفاده نمودند که میزان نشت به ترتیب $6/3$ ، $2/4$ ، $7/1$ ، $7/3$ ، $6/9$ در $14/9 \text{ cm}^3/\text{day}/\text{cm}^2$ در استخر شاهد برآورد شد که به‌طور متوسط افزودن این مواد باعث کاهش بیش از ۵۰ درصدی مقدار نشت گردید. Jat et al. (2011)، پوشش خاک آهکی را تکنیک کاملاً اقتصادی برای کاهش نشت از استخر کشاورزی در اکوسیستم اراضی خشک بیان نمودند و با کاربرد این خاک ۶۲٪ از میزان نشت استخر کاسته شد. در تحقیقی تأثیر آهک و بنتونیت بر هدایت هیدرولیکی دو نوع خاک ماسه‌ای و رسی بررسی شد. مصالح افزودنی بین صفر تا حداکثر ۹ درصد وزن خشک خاک متغیر بود. به‌کارگیری بنتونیت باعث کاهش هدایت هیدرولیکی ماسه شده است، در صورتی که آهک کارایی در کاهش این خصوصیت نداشته است. در نمونه رسی، آهک مصالح مؤثرتری نسبت به بنتونیت در کاهش هدایت هیدرولیکی بوده است. برای کاهش هدایت هیدرولیکی ماسه به کمتر از 10^{-7} cm/s مقدار بهینه بنتونیت ۸/۵ درصد و برای خاک رس مقادیر بهینه آهک و بنتونیت به ترتیب ۱/۷ و ۲/۷ درصد تعیین شد (Abdi and Parsapajoo, 2009). Yarahmadi (2011)، با آزمایش نفوذپذیری بار افتان روی نمونه‌های خاک مخلوط شده با درصد‌های مختلف آهک (۱۲، ۸، ۶، ۴ و ۰) نتیجه گرفت که هدایت هیدرولیکی در حالت بدون آهک از 10^{-5} cm/s تا $3/65 \text{ cm/s}$ به ازای افزایش ۱۲٪ آهک کاهش پیدا کرد. Afsharnejad et al. (2012)، با افزودن سیمان به خاک رس محل سعی نمودند که از همان خاک به‌عنوان دیوار آب‌بند استفاده کنند که با انجام آزمایش نفوذپذیری با بار افتان روی نمونه‌ها مشخص شد که نمونه‌های با نسبت سیمان ۱۰٪ وزنی دارای کمترین هدایت هیدرولیکی می‌باشند. Phani Kumar et al. (2013)، برای آب‌بندی استخرهای خاکی ماسه‌ای با استفاده از لایه رسی به ضخامت ۱۰ سانتی‌متر میزان هدایت هیدرولیکی خاک را از $3/2 \text{ cm/s}$ به 10^{-6} cm/s کاهش دادند.

تابه حال از افزودنی‌هایی مانند قیر، آهک، کلسیم کلرید، سیمان (Ebadi et al., 2006)، خاکستر آتش‌فشانی (Dermatas and Meng, 2003; Pathan et al., 2003 Skousen) (Theng, 1982; Daniels and et al., 1997)، ترکیبات پلیمری (Inyang, 2004 and Naderi nia and Naeini, 2009) برای بهبود خواص خاک استفاده گردید. یکی از روش‌هایی که کم‌تر بدان پرداخته شده است نانو مواد می‌باشد. Kananizadeh and khoshniat (2011)، با افزودن ۴٪ نانورس به خاک، هدایت



شکل ۱- منحنی دانه‌بندی خاک

اضافه شد و به مدت ۱۰ دقیقه فرآیند اختلاط با همزن برقی ادامه یافت و نمونه‌های همگن و یکنواختی حاصل شد. درصدی از ماده نانورس که بیشترین نسبت تغییرات کاهش هدایت هیدرولیکی را داشته است به‌عنوان درصد بهینه انتخاب شد. در این پژوهش نانورس مونت موریلونیت به‌منظور کاهش هدایت هیدرولیکی مورد استفاده قرار گرفت. نانورس‌ها کانی‌هایی در مقیاس نانومتر هستند که اغلب به‌عنوان پرکننده‌ها در اصلاح خواص پلیمرها به کار گرفته شده‌اند (Daniels et al., 2009 and Zhongzhong, 2008). نانورس مورد استفاده در این پژوهش از شرکت پیشگامان نانومواد ایرانیان تهیه شد. مشخصات فیزیکی و شیمیایی این نانورس به ترتیب در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است.

آزمایش تراکم استاندارد نیز برای تعیین درصد رطوبت بهینه و وزن مخصوص خشک بیشینه خاک روی نمونه خاک انجام شد. آزمایش نفوذپذیری با بار افتان به دلیل ریزدانه بودن خاک، روی نمونه خاک آب‌بندان صورت گرفت و هدایت هیدرولیکی خاک محاسبه گردید. در مرحله بعد خاک با درصد‌های وزنی متفاوتی از ماده نانورس (۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲/۰) مخلوط و آزمایش نفوذپذیری با بار افتان روی آن انجام شد. نحوه اختلاط بدین شکل بود که ابتدا نمونه نانورس با خاک به‌صورت خشک به مدت ۲۰ دقیقه به‌وسیله همزن برقی با سرعت پایین به‌طوری که سبب جداسازی نانورس به شکل غبار نگردد مخلوط شد؛ پس از آن به‌منظور رساندن رطوبت خاک به حد رطوبت بهینه تراکم، مقداری آب به مخلوط نانورس و خاک

جدول ۱- مشخصات فیزیکی نانورس مورد استفاده در پژوهش (برگرفته از کاتالوگ تولیدکننده)

PH	ضرب تبادلی یونی (meq/100gr)	هدایت الکتریکی (MV)	فاصله خالی بین ذرات (A ⁰)	سطح ویژه (m ² /gr)	اندازه ذرات (nm)	رطوبت (%)	چگالی (kg/m ³)	رنگ	نوع کانی
۲/۵-۳/۵	۴۸	۲۵	۶۰	۲۲۰-۲۷۰	۱-۲	۱-۲	۳۰۰-۳۷۰	زرد	مونت موریلونیت

جدول ۲- نتایج آنالیز شیمیایی نانورس مصرفی (برگرفته از کاتالوگ تولیدکننده)

LOI	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	K ₂ O	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	ترکیب شیمیایی درصد
۱۵/۴۵	۵/۶۲	۰/۶۲	۱/۹۷	۰/۱۸۶	۵۰/۹۵	۱۹/۶۰	۳/۲۹	۰/۹۸	

می‌باشد کف مدل از توری مشبک ساخته شد روی آن چند لایه پوشش کنفی قرار داده شد. در ابتدا یک لایه از خاک به ضخامت ۱۰ سانتی‌متر در کف مدل قرار داده شد و با رطوبت بهینه و انرژی تراکم استاندارد متراکم گردید. شیب دیواره خاکی بالادست و پایین دست به ترتیب ۱:۲/۵ و ۱:۲ بود. برای جدا کردن مقدار نشت دیواره از بستر در زیر مدل صفحات

مدل آزمایشگاهی آب‌بندان

به‌منظور ساخت مدل آزمایشگاهی آب‌بندان، محفظه‌ای با استفاده از ورق‌های گالوانیزه و آهن به طول ۲۵۵، عرض ۵۰ و ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر در آزمایشگاه گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری ساخته شد. به دلیل اینکه در این پژوهش بررسی هدایت هیدرولیکی در بستر نیز مدنظر

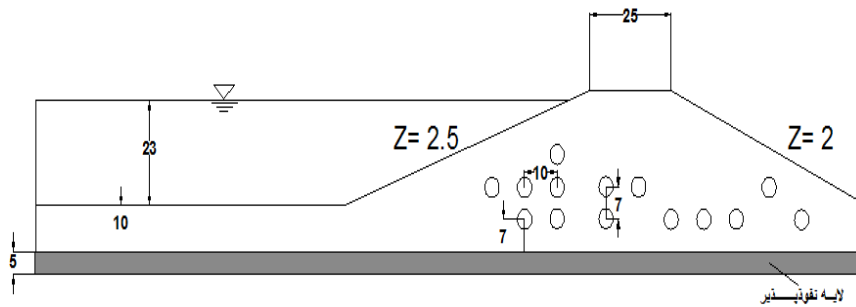
پیزومترها در داخل خاک در مدل آزمایشگاهی آب‌بندان نشان داده شده است.



شکل ۲- نماهایی از مدل آزمایشگاهی آب‌بندان

شیب‌داری تعبیه گردید. دیواره خاکی با ریختن و کوبیدن لایه‌های متوالی خاک عبوری از الک شماره ۱۰ 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 آزمایشگاهی به یک اندازه کوبیده و متراکم گردد (شکل ۲).

تعداد ۱۴ پیزومتر برای اندازه‌گیری فشار آب منفذی به‌صورت شبکه‌بندی شده روی بدنه مدل آزمایشگاهی قرار گرفت. فاصله افقی و عمودی پیزومترها به ترتیب ۱۰ و ۷ سانتیمتر بود. برای تعیین محل مناسب تعبیه پیزومترها از مدل نرم‌افزاری نشت استفاده شد. همچنین برای جلوگیری از ورود ذرات خاک به درون پیزومترها و مسدود شدن آن‌ها، در دهانه ورودی هر یک از پیزومترها فیلتر نصب شد. 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 (۳) محل نصب پیزومترها در مدل آزمایشگاهی را به‌صورت شماتیک نشان می‌دهد و در شکل (۴) محل نصب پیزومترها در مدل آزمایشگاهی و نیز نحوه قرارگیری



شکل ۳- طرح شماتیک مدل آزمایشگاهی و محل قرارگیری پیزومترها



شکل ۴- الف) محل نصب پیزومترها در مدل آزمایشگاهی و ب) نحوه قرارگیری پیزومترها در داخل خاک

برای ترکیب خاک با نانورس به همان شکل عمل گردید. سپس نمونه خاک‌ها در کف و دیواره مدل آزمایشگاهی 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 پیژومترها و دبی زه‌آب خروجی از مدل خاکی اندازه‌گیری شد. قابل ذکر است که این آزمایش یک‌بار دیگر نیز تکرار شد.

از جمله مواد قابل استفاده در بهسازی خاک‌ها، آهک است (Hashemi tabatabaei and Aghaei Araei, 2006) که در این قسمت از پژوهش از این ماده به منظور کاهش هدایت هیدرولیکی خاک و به تبع آن کاهش تلفات نشت آب از آب‌بندان استفاده شد. در این مرحله نیز بعد از خارج نمودن کامل آب آب‌بندان، لایه‌ای ۵ سانتی‌متری از خاک سطحی بستر و شیب بالادست آب‌بندان برداشته و دور ریخته شد. سپس به میزان ۵ درصد وزنی خاک، آهک به نمونه خاک اضافه گردید. نحوه اختلاط و تراکم خاک مانند مرحله قبل بود. سپس پمپ تأمین آب روشن گردیده و بعد از رسیدن آب به ارتفاع ۲۳ سانتی‌متر به کمک شناور پمپ قطع شد. در ادامه نیز مانند دفعات قبل، مقدار دبی تراوش آب از بستر و دیواره آب‌بندان و همچنین خط آزاد جریان به کمک پیژومترها محاسبه گردید. باید یادآوری نمود که این آزمایش یک‌بار دیگر نیز انجام شد.

آهک شکفته شده‌ای که در این مطالعه استفاده شد از شرکت سیمان و آهک همدان تهیه شد. آهک استفاده شده بسیار نرم و از الک شماره ۷۰ گذرانده شد. آنالیز شیمیایی آهک مورد نظر در جدول (۳) آورده شده است.

در مرحله بعد نیز بعد از زهکشی کامل آب آب‌بندان، لایه‌ای ۵ سانتی‌متری از خاک سطحی کف و خاک‌ریز بالادست آب‌بندان برداشته و دور ریخته شد. سپس به میزان ۱۰ درصد وزنی خاک، سیمان به نمونه خاک آماده شده برای آب‌بندان اضافه گردید. نحوه اختلاط و تراکم خاک مانند مرحله قبل بود. سپس مخزن آب‌بندان تا تراز ۲۳ سانتی‌متر از آب پر و مقدار دبی تراوش و ارتفاع آب پیژومترها قرائت گردید. لازم به ذکر است که این آزمایش برای بار دوم نیز تکرار گردید. سیمان مصرف شده در این پژوهش، از نوع سیمان تیپ دو کارخانه سیمان مازندران (نکا) می‌باشد. چگالی نسبی سیمان مذکور ۳/۱۵ بوده و زمان گیرش اولیه و نهایی آن به ترتیب ۱۰۰ و ۱۸۰ دقیقه می‌باشد. سیمان مصرفی در ابتدا از الک نمره ۲۰۰ عبور داده شد و سپس مورد استفاده قرار گرفت. خواص شیمیایی این سیمان در جدول (۴) آورده شده است.

آب مورد استفاده در این آزمایش به وسیله یک پمپ تأمین شد. به منظور ثابت نگه داشتن سطح آب در مخزن در تراز ۲۳ سانتی‌متری از یک شناور استفاده شد. پیژومترها توسط شیلنگ‌های مخصوص به تابلوی مدرج وصل گردیدند. همه پیژومترها هواگیری شد؛ پس از این که سطح آب در پیژومترها به حالت تعادل رسید ارتفاع آب آن‌ها ثبت شد. برای اندازه‌گیری جریان نشت بستر از روش حجمی که دقیق‌ترین روش اندازه‌گیری دبی جریان است، استفاده شد و با به کارگیری یک استوانه مدرج و کرنومتر دبی نشت که از لوله خروجی از صفحه شیب‌دار تعبیه شده در زیر مدل خارج می‌شد، در چند نوبت زمانی اندازه‌گیری شد و متوسط آن‌ها به منزله دبی نشت از بستر به کار رفت. مقدار آب نشتی دیواره نیز به صورت حجمی در طول این مدت با قرار دادن ظرفی در زیر دیواره آب‌بندان در مدل آزمایشگاهی محاسبه گردید که این زمان در آزمایش‌های مختلف از شش ساعت تا هشت ساعت متغیر بوده است. در شکل (۵) نحوه اندازه‌گیری دبی نشت از بستر و دیواره آب‌بندان در مدل آزمایشگاهی نشان داده شده است.



شکل ۵- اندازه‌گیری دبی نشت از بستر و دیواره آب‌بندان در مدل آزمایشگاهی

ترکیب نانورس، آهک و سیمان با خاک آب‌بندان

برای بررسی تأثیر افزودن نانورس بعد از تخلیه کامل آب موجود در مخزن، لایه‌ای ۵ سانتی‌متری از خاک سطحی بستر و شیروانی بالادست آب‌بندان برداشته و بعد از خشک شدن کوبیده شد. سپس به میزان نیم درصد وزنی خاک، نانورس به آن اضافه گردید. قابل ذکر است که ۰/۵ درصد وزنی نانورس به عنوان درصد مناسب از آزمایش نفوذپذیری با بار افتان به دست آمد. قابل ذکر است که همان‌گونه که خاک در آزمایش نفوذپذیری بار افتان با نانورس مخلوط شد در این قسمت نیز

جدول ۳- مشخصات شیمیایی آهک استفاده شده (برگرفته از کاتالوگ تولیدکننده)

ترکیب شیمیایی	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	LOI	SrO	MnO	K ₂ O
درصد	۷۱/۴	۰/۵۳	۰/۱	۰/۱	۱/۱۹	۰/۶۹	۰/۱۲	۲۵/۸۶	۰/۱	۰/۱	۰/۱

جدول ۴- مشخصات شیمیایی سیمان مصرفی (برگرفته از کاتالوگ تولیدکننده)

ترکیب شیمیایی	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O
درصد	۶۴/۰۷	۱/۲۰	۲/۰۴	۰/۳۸	۲۱/۲۵	۴/۹۵	۳/۱۹	۰/۶۳

برنج، درآمد حاصل از تقلیل هزینه زهکشی اراضی اطراف آبیندان نیز در نظر گرفته شده است که هزینه زهکشی در واحد سطح اراضی ۴۰۰۰ ریال در نظر گرفته شده است.

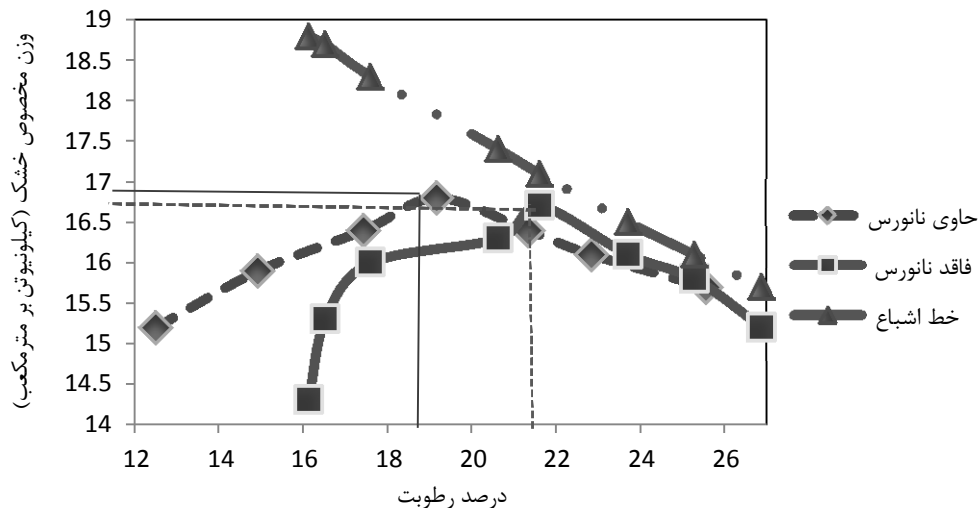
نتایج و بحث

با رسم منحنی دانه بندی مشخص گردید که مقادیر شن، ماسه، سیلت و رس خاک منطقه به ترتیب برابر ۲/۲، ۱۸/۴، ۴۷/۱ و ۳۲/۳ درصد بوده که با توجه به مثلث بافت خاک، نوع خاک منطقه در سیستم طبقه بندی سازمان کشاورزی آمریکا (USDA) از نوع سیلتی رسی (SiC) بوده است.

در شکل (۶) منحنی تراکم برای تعیین رطوبت بهینه و وزن مخصوص خشک ماکزیمم در نمونه خاک و خط اشباع رسم شده است. 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 جرم مخصوص خشک ماکزیمم خاک قبل و بعد از تزریق نانورس به ترتیب برابر با ۱/۶۷ و ۱/۶۸ گرم بر سانتی متر مکعب بود.

در نهایت با کمک نرم افزار SPSS نسخه ۱۶ نتایج دبی تراوش و فشار پیژومتری با اختلاط هر یک از مواد مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند. با توجه تعداد نمونه های مورد بررسی (بیش از ۲ گروه) از آزمون F (فیشر) استفاده شد. از آنجایی که این آزمون تنها معنی داری تفاوت بین میانگین گروه ها را مورد بررسی قرار می دهد و مشخص نمی کند این تفاوت ها در بین کدام یک از گروه های مورد بررسی وجود دارد به همین منظور از آزمون تعقیبی توکی (Tukey) استفاده شد (Habibpour and Safari, 2009).

به منظور تحلیل اقتصادی استفاده از مواد مختلف در آبیندان ابتدا هزینه های استفاده از نانورس، سیمان و آهک در واحد سطح آبیندان محاسبه گردید. هزینه نگهداری سالیانه ۰/۳٪ هزینه های خاک برداری و کوبیدن لایه های خاک ریزی (هزینه های اولیه) در نظر گرفته شد. ارزش حال برای یک دوره ۵ ساله که معمولاً لایروبی ها انجام می شود، محاسبه گردید. نرخ بهره برابر ۸٪ و قیمت آب کشاورزی برای کشت برنج نیز ۲۵۰ ریال در نظر گرفته شده است. در بخش درآمدها علاوه بر درآمد حاصل از ارزش اقتصادی آب ذخیره شده در آبیندان برای کشت

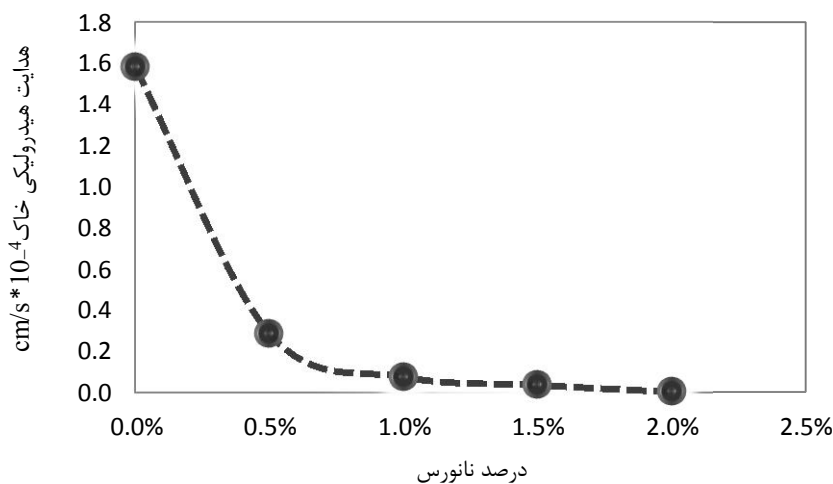


شکل ۶- منحنی تراکم نمونه خاک قبل و بعد از افزودن نانورس

میانگین چند آزمایش را نشان می‌دهد؛ بنابراین طبق نتایج، ۰/۵٪ نانورس به‌عنوان درصد مناسب برای کاهش هدایت هیدرولیکی خاک برای ادامه پژوهش در مدل آزمایشگاهی انتخاب گردید.

در پژوهش‌های دیگر نیز کاهش هدایت هیدرولیکی خاک ترکیب‌شده با درصد‌های مختلف نانورس بر اساس نتایج آزمایش نفوذپذیری بار افتان در آزمایشگاه به چشم می‌خورد، از جمله این تحقیقات می‌توان به تحقیقات (Kananizadeh and Khoshniat, 2011; Neethu and Remya, 2013 and Azarafza and Asghari koljahi, 2012;) و همچنین تحقیقات (Ebrahimi et al., 2014 and Bagherieh et al., 2014) اشاره نمود که در این پژوهش‌ها هدایت هیدرولیکی خاک به ترتیب ۰/۹۶٪، ۰/۹۷٪، ۰/۸۷٪، ۰/۸۴٪ و ۰/۸۶٪ کاهش یافته است.

با انجام آزمایش نفوذپذیری با بار افتان روی نمونه خاک، هدایت هیدرولیکی خاک برابر $10^{-4} \times 1/58 \text{ cm/s}$ به دست آمد. شکل (۷) هدایت هیدرولیکی 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 هدایت هیدرولیکی خاک نشان می‌دهد، هدایت هیدرولیکی از $10^{-4} \times 1/58 \text{ cm/s}$ به $10^{-5} \times 2/88 \text{ cm/s}$ با افزودن ۰/۵٪ نانورس کاهش یافت، به عبارتی هدایت هیدرولیکی ۸۲٪ کاهش یافت، بعد از این مقدار به نظر می‌رسد که افزایش مقدار نانورس تأثیر کمتری بر هدایت هیدرولیکی خاک دارد. به عبارت دیگر در درصد‌های بالاتر از نانورس اضافه شده، خاک‌ها از نظر وضعیت هدایت هیدرولیکی به هم نزدیک شده‌اند. قابل ذکر است که هر نقطه (داده) در این نمودار



شکل ۷- اثر نانورس بر هدایت هیدرولیکی خاک

نانورس باعث کاهش ۵۸ درصدی دبی تراوش از بستر و دیواره آب‌بندان در مقایسه با آب‌بندان معمولی و به عبارتی کاهش کل دبی تراوش 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 هدایت هیدرولیکی کاهش می‌یابد (Majeed and Taha, 2013) نانورس با توجه به ریزدانه بودن ذرات و همچنین قابلیت جذب رطوبت و تورم فراوان، در کاهش هدایت هیدرولیکی خاک بسیار مؤثر عمل می‌کند. از طرف دیگر، با توجه به این‌که نانورس مصرف‌شده در این پژوهش از نوع مونت‌موریلونیت می‌باشد و خصوصیات تورمی مونت‌موریلونیت نیز به کاهش هدایت هیدرولیکی آن کمک

دبی تراوش از آب‌بندان و ارتفاع آب در پی‌زومترها در مدل آزمایشگاهی برای هر یک از مواد اندازه‌گیری گردید که نتایج دبی تراوش از آب‌بندان در جدول (۵) آمده است. همان‌طور که از این جدول مشخص است ترکیب خاک آب‌بندان با نانورس، آهک و سیمان به ترتیب باعث کاهش ۵۸٪، ۲۸٪ و ۵۱٪ دبی تراوش آب از آب‌بندان در مقایسه با آب‌بندان بدون پوشش می‌شود که بیشترین کاهش مربوط به نانورس می‌باشد.

جدول ۵- تأثیر سیمان، آهک و نانورس بر دبی تراوش از آب‌بندان

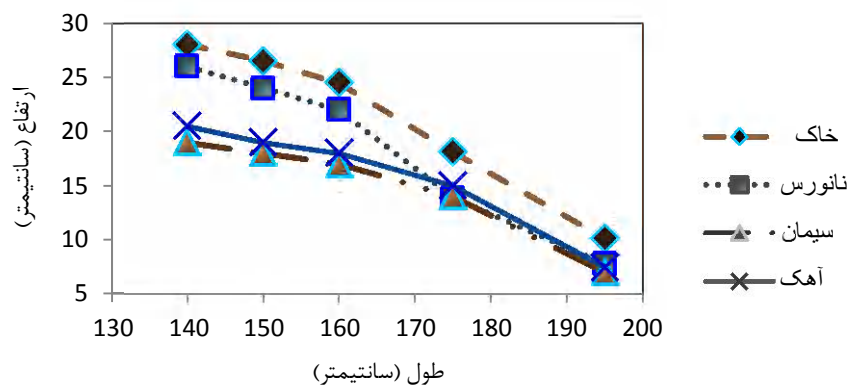
دبی تراوش (cm ³ /day/cm ²)	درصد کاهش نشت	خاک
۱۰/۴۷		خاک
۴/۳۸	۵۸	خاک + نانورس
۷/۵۸	۲۸	خاک + آهک
۵/۱	۵۱	خاک + سیمان

در نتیجه آن، کاهش ۵۱٪ دبی تراوش آب از آب‌بندان ناشی از تشکیل ژل‌های سیمانی است. در نتیجه تشکیل این ژل‌ها اندازه حفره‌های ریزتر و در نتیجه به صورت کلی پوکی خاک کاهش می‌یابد. در چنین سیستم‌هایی که توزیع گسترده‌ای در اندازه حفره‌ها وجود دارد، هدایت هیدرولیکی بیشتر تحت تأثیر حجم حفرات بزرگ‌تر قرار گرفته و حفرات ریزتر تأثیر خیلی کمی بر جریان دارند (Nyam and Illston, 1981 and Marsh *et al.*, 1985) در تحقیقات (Nila Rekha *et al.*, 2005; Subudhi and Senapati, 2013 and Panigrahi, 2011) نیز با اضافه نمودن سیمان به خاک، میزان نشت آب از استخر کشاورزی به ترتیب ۹۸٪، ۸۴٪ و ۹۵/۴٪ کاهش یافته است.

بالاترین خط نشت یعنی خط آزاد جریان در مدل آزمایشگاهی با افزودن نانورس، آهک و سیمان به خاک تغییر کرد (شکل ۸). با توجه به این شکل می‌توان نتیجه گرفت که نانورس، سیمان و آهک باعث پایین افتادن خط آزاد جریان دیواره آب‌بندان و در نتیجه کاهش خطر اشباع شدن و لغزش خاک دیواره می‌شوند، که نقش سیمان در این امر بیشتر مشهود است. پایین افتادن خط آزاد جریان در حالت استفاده از نانورس نسبت به سیمان و آهک کمتر بوده است که این امر می‌تواند به دلیل مقاومت بیشتر خاک ترکیب‌شده با نانورس در مقابل نفوذ آب باشد. همچنین در شیروانی پایین دست دیواره خاکی آب‌بندان بعد از استفاده از نانورس، سیمان و آهک افت زیادی مشاهده نمی‌شود ولی در شیروانی بالادست دیواره، محیط خیس شده کمتری شکل می‌گیرد و خط آزاد جریان نیز به طور کامل پایین کشیده می‌شود.

ویژه‌ای می‌کند (Ouhadi and Nouri, 2005 and Montes *et al.*, 2013) در نتیجه این ویژگی، نانورس باعث کاهش دبی تراوش آب از آب‌بندان شده است.

همچنین کاهش ۲۸٪ دبی تراوش آب توسط آهک به دلیل کاهش هدایت هیدرولیکی خاک توسط آهک می‌باشد که ناشی از واکنش‌های پوزولانی بین ذرات رس حاوی سیلیس و آلومین است که به شدت تحت تأثیر عواملی از قبیل درصد آهک، زمان و دمای عمل‌آوری قرار می‌گیرند. با افزودن آهک به خاک، pH محیط افزایش یافته و به طور تقریبی به ۱۲/۴ می‌رسد. افزایش pH باعث حل شدن سیلیکات و آلومینات موجود در خاک رس شده و با آزاد شدن این واحدها از خاک رس، ترکیب آن‌ها با کلسیم میسر می‌شود. این واکنش‌ها باعث تشکیل ژل‌های سیمانی هیدرات‌های سیلیکات کلسیم (C-S-H)، آلومینات کلسیم (C-A-H) همراه با کربنات کلسیم در حضور CO₂ موجود در هوا می‌شود. تشکیل و رشد این ترکیبات شیمیایی نه تنها باعث پیوند بین ذرات و افزایش مقاومت مخلوط رس - آهک شده، بلکه باعث مسدود شدن و یا اشغال بخشی از حجم حفرات نیز می‌شود که کاهش هدایت هیدرولیکی را در پی دارد (Abdi and Arabi, 1987 and Bell, 1993). در تحقیقات (Parsapajoo, 2009; Yarahmadi, 2011) نیز هدایت هیدرولیکی خاک با کاربرد آهک به ترتیب ۹۸٪ و ۹۹٪ کاهش یافت. در پژوهش‌های (Nila Rekha *et al.*, 2005 and Jat *et al.*, 2011) با کاربرد آهک در استخر آب کشاورزی از میزان نشت به ترتیب ۵۸٪ و ۶۲٪ کاسته شده است. کاهش هدایت هیدرولیکی خاک ترکیب‌شده با سیمان و



شکل ۸- تغییر خط آزاد جریان با افزودن نانورس، سیمان و آهک به خاک آب‌بندان

تجزیه واریانس (ANOVA) به دست آمده برای فشار پیژومترهای مربوط به هر ماده در نرم‌افزار SPSS، سطح معنی‌داری آزمون F بزرگ‌تر از ۰/۰۵ بود (۰/۱۶۹)، لذا بین میانگین گروه‌ها (فشار

ارتفاع آب پیژومترهای نصب‌شده در مدل آزمایشگاهی آب‌بندان در حالت کاربرد نانورس، سیمان و آهک در نرم‌افزار SPSS وارد گردید و مورد تحلیل آماری قرار گرفت. در جدول

معنادار دارد.

نتایج حاصل از ارزیابی اقتصادی ترکیب خاک با نانورس، سیمان و آهک در آببندان در پایان هر یک از سال‌های بهره‌برداری در جدول (۶) ارائه شده است. با توجه به این جدول، اختلاط خاک آببندان با آهک در شرایط مورد مطالعه توجیه اقتصادی بیشتری نسبت به ترکیب خاک با سیمان و همچنین نانورس دارد. که این امر به دلیل پایین‌تر بودن قیمت آهک در مقایسه با نانورس و سیمان، در نظر نگرفتن قیمت واقعی آب و همچنین هزینه بالای تهیه نانورس در حال حاضر می‌باشد که در صورت تولید نانورس در کشور، این ماده با قیمت مناسب‌تری در دسترس قرار خواهد گرفت.

پیزومتریک هر مصالح) تفاوت معنی‌داری در سطح ۰/۰۵٪ وجود ندارد.

همچنین نتایج تجزیه واریانس مربوط به دبی تراوش از آببندان با وجود هر یک از مصالح نشان داد که سطح احتمال آزمون F خیلی نزدیک به ۰/۰۵ است (۰/۰۶) لذا بین میانگین گروه‌ها (دبی تراوش آب هر ماده) تفاوت معناداری در سطح ۰/۰۵٪ وجود دارد. برای تشخیص این که تفاوت تلفات نشت آب بین کدام ماده وجود دارد از آزمون توکی استفاده شد. نتایج آزمون توکی نشان داد که بین دبی تراوش خاک معمولی با دبی تراوش خاک به‌علاوه نانورس (۰/۱۰۳) و تلفات نشت خاک به‌علاوه آهک (۰/۲۳۴) تفاوت معنی‌داری در سطح ۰/۰۵٪ وجود ندارد ولی با دبی تراوش خاک به‌علاوه سیمان (۰/۰۵۵) تفاوت

جدول ۶- نتایج تحلیل اقتصادی مربوط به کاربرد سیمان، آهک و نانورس در آببندان

ماده	سال بهره‌برداری	ارزش حال هزینه‌های هزینه‌نگهداری اولیه (ریال)	هزینه کل (ریال)	ارزش حال درآمدها (ریال)	ارزش حال خالص (ریال)	نسبت سود به هزینه
نانورس	اول	۲۲۵۹۸۱۹	۲۲۵۹۹۰۷	۱۳۷۲۴۰	-۸۰۱۷۳۲	۰/۱۶
	دوم	۲۴۴۰۶۰۵	۲۴۴۰۷۸۱	۲۷۴۴۸۰	۴۷۵۵۶۹	۱/۲
	سوم	۲۶۳۵۸۵۳	۲۶۳۶۱۱۷	۴۱۱۷۲۰	۱۷۳۸۴۰۸	۱/۷
	چهارم	۲۸۴۶۷۲۱	۲۸۴۷۰۷۳	۵۴۸۹۶۰	۲۹۸۵۶۲۷	۲
	پنجم	۳۰۷۴۴۵۹	۳۰۷۴۸۹۹	۶۸۶۲۰۰	۴۲۱۵۹۷۶	۲/۴
سیمان	اول	۵۴۷۴۰	۵۴۸۲۸	۱۲۱۱۸۰	۱۲۳۲۷۱۰	۲۳/۵
	دوم	۵۹۱۱۹	۵۹۲۹۵	۲۴۲۳۶۰	۲۵۱۵۷۸۰	۴۳/۴
	سوم	۶۳۸۴۹	۶۴۱۱۳	۳۶۳۵۴۰	۳۷۹۸۵۰۰	۶۰/۲
	چهارم	۶۸۹۵۶	۶۹۳۰۸	۴۸۴۷۲۰	۵۰۸۰۸۴۲	۷۴/۳
	پنجم	۷۴۴۷۳	۷۵۳۵۳	۶۰۵۹۰۰	۶۳۶۲۳۳۵	۸۵/۴
آهک	اول	۹۶۰۷	۹۶۹۵	۶۵۷۰۰	۶۸۸۳۶۸	۷۲
	دوم	۱۰۳۷۵	۱۰۵۵۱	۱۳۱۴۰۰	۱۳۸۵۵۷۴	۱۳۲/۳
	سوم	۱۱۲۰۵	۱۱۴۶۹	۱۹۷۱۰۰	۲۰۸۲۷۱۸	۱۸۲/۶
	چهارم	۱۲۱۰۲	۱۲۴۵۴	۲۶۲۸۰۰	۲۷۷۹۷۹۶	۲۲۴/۲
	پنجم	۱۳۰۷۰	۱۳۵۱۰	۳۲۸۵۰۰	۳۴۷۶۸۰۳	۲۵۸/۴

نتیجه‌گیری

کاهش لغزش دیوارهٔ خاکی آببندان شده‌اند. به عبارتی اضافه نمودن مواد تثبیتی به خاک با کاهش فضاهای خالی بزرگ، ایجاد اتصال محکم‌تر بین ذرات خاک نموده و اجزا خاک را حفظ کرده و به خاطر تأثیر آن بر تغییر ابعاد و توزیع منافذ خالی در خاک باعث کاهش هدایت هیدرولیکی خاک شده است. نتایج تحلیل آماری نیز نشان داد که بین فشار پیزومتریک هر ماده تفاوت در سطح اعتماد ۰/۰۵٪ وجود ندارد ولی بین دبی تراوش آب هر یک از مصالح تفاوت معناداری در سطح اعتماد ۰/۰۵٪ وجود دارد به عبارتی انتخاب نوع مصالح به‌کاررفته برای کاهش دبی تراوش آب از آببندان که به‌عنوان منبع تکمیلی آب کشاورزی در

در این پژوهش به بررسی امکان استفاده از نانورس، سیمان، آهک در آببندان و تأثیر آن‌ها بر کاهش پدیدهٔ نشت از آببندان‌ها پرداخته شد. عملکرد این مواد با ساخت مدل آزمایشگاهی آببندان بررسی شده و مورد مقایسه آماری قرار گرفتند. نتایج نشان داد که ترکیب خاک با نانورس، سیمان و آهک به ترتیب باعث کاهش ۵۸٪، ۵۱٪ و ۲۸٪ دبی تراوش آب از آببندان می‌شود که بیشترین دبی تراوش آب مربوط به ترکیب خاک با نانورس می‌باشد. اختلاط خاک با نانورس، آهک و سیمان همچنین باعث فروافتادگی خط آزاد جریان و به‌تبع آن

توجه به این که در این تحقیق فقط ۵ سانتی متر از خاک لایه سطحی آب‌بندان برداشته شد و میزان نشت در کل آب‌بندان محاسبه گردید، لذا این موضوع و امکان کاربرد آن می‌تواند به‌عنوان یک راهکار اجرایی در منطقه مورد استفاده قرار گیرد.

استان‌های شمالی مطرح است، بسیار اهمیت دارد؛ بنابراین باید از مصالح مختلف برای مهار نشت در آب‌بندان استفاده نمود که نانورس، سیمان و آهک به ترتیب بیشترین تأثیر را در کاهش نشت دارند و استفاده از آهک اقتصادی تر می‌باشد. همچنین با

REFERENCES

- Abdi, M. R. and Parsapajoo, A. (2009). The use of bentonite and lime to reduce permeability of municipal landfill barrier layer. *Journal of Civil Engineering and Surveying*, 43 (1), 61-70. (In Farsi)
- Afsharnejad, M., Oulapour, M. and Mostaar, M. (2012). Modifying the properties of the clay soil in order to use in the barrier walls of the dams.. In: Proceeding of 9th *International Congress on Civil Engineering*, 8-10 May, Esfahan University of Technology, Esfahan, pp. 1-6. (In Farsi)
- Arabi, M. (1987). *Fabric and Strength of Clays Stabilized with Lime*. Ph.D. thesis, the Polytechnic of Wales, U.K.
- Arabzadeh, B. and Rahbar, R. (2012). Water Storage Ponds (Ab-Bandan). *International Conference on Traditional Knowledge for Water Resources Management*, 21-23 February, Yazd, pp. 1-8. (In Farsi)
- Azarafza, M. and Asghari koljahi, A. (2012). The effect of clay nanoparticles added to the soil on reducing of landfill permeability. In: Proceeding of 31st *meeting of Earth Sciences*, 1-2 Dec., Tehran, pp. 1-6. (In Farsi)
- Bagherieh, E., Roshanzamir, M. A. and Hejazi, S. M. (2014). The use of nanoclay in strength improvement and permeability of sand. In: Proceeding of 1st *National Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 3-4 Dec., Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, pp. 1-6. (In Farsi)
- Bell, F.G. (1993). *Engineering Treatment of Soils*. E & FN Spon, London
- Boghrat, T., Amirnejad, H. and Lotfi, S. (2009). The role of Ab-Bandans (artificial wetlands) East of Mazandaran in aquaculture. In: Proceeding of 1st *international conference on the water crisis*, 10-12 Mar., Zabul University, Sistan and Baluchestan, pp. 1-9. (In Farsi)
- Daniels, J.L. and Inyang, H.L. (2004). Contaminant barrier material textural response to interaction with aqueous polymers., *Journal of Material and Civil Engineering*., 16, 265-275.
- Daniels, J.M., Mehta, P., Vaden, M., Sweem, D., Mason, M. D., Zavareh, M., and Ogunro, V. (2009). Nano- Scale organo- silane applications in geotechnical and geoenvironmental engineering. *Journal of Terraspace Science and Engineering*, 1(1), 21- 30.
- Dermatas, D. and Meng, X. G. (2003). Utilization of fly ash for stabilization/ solidification of heavy metal contaminated soils. *Engineering Geology*, 70, 377-394.
- Duesterhaus, J. L., Ham, J. M., Owensby, C. E. and Murphy, J. T. (2008). Water balance of a stock-watering pond in the Flint hills of Kansas. *Rangeland Ecology & Management*, 61 (3), 329-338.
- Ebadi, T., Khazaie, H. and Soroosh, A. (2006). Effect cement on physical properties and unsaturated hydraulic of Kahrizak area clay soil (used in final cover layer of municipal solid waste landfill). *Journal of Environmental Sciences and Technology*, 8 (1), 2-13. (In Farsi)
- Ebrahimi, M., Nazarpour, H. and Janalizadeh, A. (2014). The effects of clay nanoparticles on silty clay sand soil permeability. In: Proceeding of 8th *National Congress of Civil Engineering*, 7-8 May, Babol Noshirvani University of Technology, Mazandaran, pp. 1-9. (In Farsi)
- Habibpour, K. and Safari, R. (2009). *A Comprehensive Guide to the Use of SPSS at Survey Research*, Tehran: Loye (In Farsi).
- Hashemi Tabatabaei, S. and Aghaei Araei, A. (2006). Use of Quick Lime to improve soil property with high Plasticity Index. *Earth Sciences*, 16 (61), 60-67. (In Farsi)
- Jat, M.L., Bairwa, P.C. Summuriya, R., Balyan, J.K. and Laddha, K.C. (2011). Assessment of Calcareous Soil Lining for Seepage Reduction from Farm Pond under Dryland Ecosystem. *Indian Journal of Soil Conservation*, 39 (3), 202-206.
- Kadivar, M., and Barkhordari, K. (2011). Nanotechnology in Geotechnical Engineering. *Journal of Advanced Materials Research*, 261, 524-528.
- Kananzadeh, N. and Khoshniat, A. (2011). Behavior of Nanoclay as an Additive in order to Reduce Kahrizak Landfill Clay Permeability. In: Proceeding of 2nd *International Conference on Environmental Science and Technology*, 26-28 Feb., Singapore, pp. 55-59.
- Mahalle, Y. R and Adhau, G. W. (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 Taha, M. R. (2013). A review of stabilization of soils by using nanomaterials. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 7 (2), 576-581.
- Marsh, B. K., Day, R. L. and Bonner, D. G. (1985). Pore Structure characteristics affecting the permeability of cement paste containing fly ash. *Journal of Cement and Concrete Research*, 15 (6), 1027-1038.
- Montes-Ha, G., Fritza, B., Clementa, A., and Michaub,

- N. (2005). Modelling of geochemical reactions and experimental cation exchange in MX80 bentonite. *Journal of Environmental Management*, 77, 35–46.
- Naderi Nia, B. and Naeini, S. A. (2009). The influence of polymer inclusion and plasticity index on the unconfined compression strength of clays. In: *Proceedings of 2nd International Conference on New Developments in Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, 28-30 May, Near East University, Nicosia, North Cyprus, pp. 1-8.
- Neethu, S.V. and Remya, S. (2013). Engineering behavior of nanoclay Stabilized soil. In: *Proceedings of Indian Geotechnical Conference*, 22-24 Dec., Roorkee, pp. 1- 7.
- Nila Rekha, P., Jayanthi, M. Muralidhar, M. Gupta, B. P. and Puthiavan, R. (2005). Cost Effective Seepage Control Measures for Brackishwater Aquaculture Ponds. *Indian Journal of fish*, 52 (1), 105-110.
- Nyame, B. K. and Illston, J. M. (1981). Relationship between permeability and pore structure of hardened cement paste. *Magazine of Concrete Research*, 33 (116), 139-146.
- Ouhadi, V. R. and Nouri, A. (2013). The effect of nonoclay on consolidation and permeability of bentonite in the presence of heavy metal pollution. *The Modares journal of Civil Engineering*, 13(3), 1-9. (In Farsi)
- Panigrahi, B. (2011). *Irrigation systems engineering*. New India publishing agency, India. 345 p.
- Pathan, S. M., Aylmore, L. A. G. and Colmer, T. D. (2003). Properties of several fly ash materials in relation to use as soil amendments. *Journal of Environmental Quality*, 32 (2), 687-693.
- Phani Kumar, V., Sai Krishna, G. and Swaroop, A. H. L. (2013). Sealing of Sandy Soil Ponds with Clay Layer. *International Journal of Engineering and Innovative Technology*, 3 (1), 49-52.
- Safaian, N.A. and Shokri, M. (2003). AB-BANDANS or Ponds of MAZINDARAN. *International Journal of Environmental Studies*, 29 (31), 47-70.
- Skousen, J., Bhumbra, D. K., Gorman, J. and Sencindiver, J. (1997). Hydraulic conductivity of ash mixtures and metal release upon leaching. In: *proceedings of National Meeting of the American Society for Surface Mining and Reclamation*, 10-15 May, Austin, Texas, pp. 480-495.
- Subudhi, C.R. and Senapati, S. C. (2013). Water Harvesting through Farm Pond and Utilization of conserved water for Vegetable Crops. *Elixir International Journal Advanced Engineering Informatics*, 57, 13901-13905.
- Taha, M. R. (2009). Geotechnical Properties of Soil-Ball Milled Soil Mixtures. In: *proceedings of 3rd Symposium on Nanotechnology in Construction*, 31 May - 2 June, Springer-Verlag, pp. 377-382.
- Telang, Sh. (2012). How to calculate water losses through seepage?. from [http:// www. Greencleanguide.com](http://www.Greencleanguide.com).
- Theng, B. K. G. (1982). Clay- polymer interactions: summary and perspectives. *Clay and Clay Minerals Journal*, 30 (1), 1-10.
- Yarahmadi, Sh. (2011). *The effect of lime on the permeability of clay soils*. Geotechnical Master's thesis, Department of Civil Engineering, Central Tehran Branch- Islamic Azad University (In Farsi).
- Zhongzhong, Q. (2008). Preparation and x characterization of MMT- silica nanocomposite: a sol-gel approach modifying clay surface. *Physical Bolton*, 403, 3231- 3238.