فصلنامه علوم محیطی، دوره پانزدهم، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۶

۱۹۲-۱۷۷

ارزیابی پارامترهای موثر بر هزینه ساخت لاینر رُسی متراکم‌شده در محل‌های دفن پسماند شهری

مریم فروغ‌الدین[۱]، مهدی جلیلی قاضی زاده*[۲]، مریم میرابی[۱] و محمدرضا نظری[۳]

[۱] گروه مهندسی آب و فاضلاب و محیط زیست، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

[۲] گروه فناوری‌های محیط زیست، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

[۳] گروه اقتصاد محیط زیست، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

تاریخ دریافت: ۹۶/۶/۱۴ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۰/۴

فروغ‌الدین، م.، جلیلی قاضی‌زاده، م.، میرابی، م. و نظری، م.ر. ۱۳۹۶. ارزیابی پارامترهای موثر بر هزینه ساخت لاینر رُسی متراکم شده در محل‌های دفن پسماند شهری. فصلنامه علوم محیطی. ۱۵(۴): ۱۹۲-۱۷۷.

سابقه و هدف: لاینر رسی متراکم‌شده یکی از مهمترین اجزای خاک‌چال‌های دفن بهداشتی پسماند است که اصلی‌ترین وظیفه آن محدود کردن نفوذ شیرابه ناشی از پسماند از کف محل دفن است. از آنجا که هزینه سیستم لاینینگ بخش قابل‌توجهی از هزینه‌های یک محل دفن را در بر می‌گیرد، لازم است طراحی لاینر رسی متراکم‌شده با در نظر گرفتن توامان ملاحظات محیط زیستی و اقتصادی انجام شود که مستلزم شناسایی عوامل موثر بر هزینه‌های ساخت لاینر رسی متراکم‌شده است.

مواد و روش‌ها: با استفاده از رویکرد عملکردگرا، ضمن بررسی عوامل موثر بر عملکرد هیدرولیکی لاینر رسی متراکم‌شده در جلوگیری از نفوذ شیرابه، چهار متغیر شامل ارتفاع ترانشه دفن، عمر ترانشه دفن، قیمت زمین و فاصله از منبع قرضه خاک به‌عنوان متغیرهای موثر بر هزینه ساخت لاینر رسی شناسایی و سناریوهای مختلف برای بررسی هر کدام از عوامل تاثیرگذار تعریف شد. بر اساس شرایط موجود در اکثر خاک‌چال‌های کشور، تغییرات ارتفاع ترانشه بین ۱۰ تا ۳۰ متر، تغییرات طول عمر ترانشه بین یک ماه تا دو سال و تغییرات فاصله از محل قرضه بین صفر تا ۱۰۰ کیلومتر در نظر گرفته شده است. در ادامه با استفاده از مدل کالیبره‌شده یک‌بعدی HYDRUS، ضخامت مناسب لاینر در سناریوهای مختلف برای ترانشه دفن تعیین شده است و بر اساس آن، هزینه‌های مرتبط با ساخت لاینر رسی متراکم‌شده در سناریوهای محتمل برای محل دفن پسماند برآورد شده است.

نتایج و بحث: بررسی الگوی تغییرات هزینه‌ها نشان می‌دهد که افزایش ارتفاع ترانشه دفن در بخش‌های مختلف منجر به کاهش هزینه‌های ساخت می‌شود. این در حالی است که تغییرات هزینه ساخت لاینر در طول عمرهای مختلف ترانشه، ابتدا روندی نزولی و در ادامه روند صعودی داشته است. ضمن آنکه روند تغییرات هزینه کل متاثر از تغییرات هزینه زمین و نشان‌دهنده اهمیت قیمت زمین در ارزیابی هزینه‌های کلی احداث لاینر است. همچنین افزایش فاصله از محل قرضه منجر به افزایش چشمگیر هزینه‌های ساخت لاینر رسی می‌شود. از این‌رو اگر خاک مناسب برای ساخت لاینر رسی در فاصله‌ای بیش از ۱۰۰ کیلومتر از محل خاک‌چال موجود باشد، استفاده از لاینرهای

* Corresponding Author. *E-mail Address*: ma_jalili@sbu.ac.ir

Archive of SID

www.SID.ir

رسی ژئوسنتتیک صرفه اقتصادی بیشتری نسبت به لاینر رسی متراکم‌شده دارد. عمر ترانشه دفن متغیری است که محدودیت کمتری برای طراح ایجاد می‌کند بنابراین می‌تواند با توجه به هزینه سایر بخش‌ها مقادیر مختلفی برای آن لحاظ شود.

نتیجه‌گیری: بررسی هزینه‌ها در بخش‌های مختلف ساخت لاینر رسی متراکم‌شده حاکی از آن است که تغییرات پارامترهای مختلف به شکل معنی‌داری در تغییرات هزینه ساخت لاینر موثر بوده و برای تعیین حد بهینه برای هر پارامتر باید با استفاده از یک مدل اقتصادی، توابع هزینه استخراج و نسبت به بهینه‌سازی آن در هر منطقه اقدام شود.

واژه‌های کلیدی: لاینر رسی متراکم‌شده، پسماند، خاک‌چال، برآورد هزینه.

مقدمه

دفن بهداشتی یک روش مهندسی برای دفع پسماند در زمین است که در این روش پسماندها در لایه‌هایی با ضخامت مناسب پخش و سپس فشرده شده و در انتهای هر روز با خاک پوشانده می‌شوند. این روش در بسیاری از کشورهای پیشرفته، اغلب به عنوان اقتصادی‌ترین راه‌حل درازمدت برای رفع مشکل مواد زاید جامد انتخاب شده است (Badv and Khalili, 2010). در کنار مزایای متعدد سیستم دفن بهداشتی، تولید و انتشار شیرابه یکی از مهم‌ترین آثار سوء محل‌های دفن است که در صورت ورود به آب‌های زیرزمینی خسارات جبران‌ناپذیری را ایجاد می‌کند. بر این اساس طراحی تجهیزات دفن پسماند به‌طور معمول شامل انواع خاصی از سیستم‌های نفوذناپذیر تحت عنوان لاینر است که در کف و دیواره‌های خاک‌چال کارگذاری می‌شود تا مانع نفوذ شیرابه به لایه‌های زیرین خاک و در نهایت آب‌های زیرزمینی شود. در این راستا استفاده از لاینرهای رسی متراکم‌شده به دلیل وجود مصالح مناسب در محل‌های دفن پسماند در ایران، عدم نیاز به تکنولوژی‌های پیچیده برای ساخت و همچنین هزینه کمتر نسبت به سایر لاینرها، می‌تواند تا چند دهه آینده گزینه مناسب‌تری نسبت به لاینرهای رسی ژئوسنتتیک باشد (Jalili Ghazizade *et al.*, 2010). در این بین عوامل محدودکننده متعددی در استفاده از لاینرهای رسی متراکم‌شده در محل‌های دفن پسماند وجود دارد که مهم‌ترین آن عدم وجود رویکرد جامع در طراحی لاینر و همچنین هزینه‌های قابل‌توجه نصب و اجرای آن در مقایسه با سایر اجزای محل دفن پسماند است. به‌طور کلی طراحی لاینر در خاک‌چال اساساً طبق رویکردهای محصول‌محور و عملکردگرا صورت می‌گیرد. در رویکرد محصول‌محور استانداردهای طراحی، تمامی مشخصات قابل‌اجرا نظیر تعداد لایه‌ها، ضخامت و نوع آنها را مشخص می‌کند. این استانداردها شرایط یکسانی برای تمام مجریان ساخت خاک‌چال فراهم می‌کند (Workman and Keeble,1989). در این رویکرد، طراحی مشخصات لاینر به‌ویژه ضخامت به‌صورت قابل‌ملاحظه‌ای در کشورهای مختلف با هم اختلاف دارد. بررسی استانداردهای موجود در کشورهای مختلف نشان می‌دهد که ضخامت مورد نیاز برای استفاده از لاینر رسی متراکم‌شده به همراه ژئوممبرین بین ۶۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر و بدون ژئوممبرین بین ۸۰ تا ۲۰۰ سانتی‌متر، بسته به قوانین کشورهای مختلف متفاوت است (Jalili Ghazizade, 2012). از این رو استفاده از این رویکرد برای کشورهای فاقد استاندارد (همانند ایران) پاسخ‌گو نبوده و می‌تواند منجر به سردرگمی در انتخاب ضخامت مناسب لاینر و اتلاف هزینه‌ها شود (Rowe, 1995). در این شرایط رویکرد دوم تحت عنوان رویکرد عملکردگرا مطرح می‌شود که در آن کلیه مشخصات فنی لاینر بر اساس شرایط موجود در محل تعیین می‌شود. استفاده از این رویکرد انعطاف‌پذیری بیشتری داشته و به طراح اجازه می‌دهد که بر اساس مشخصات و ویژگی‌های خاص محل خاک‌چال، لاینر را طراحی کند که این مساله باعث صرفه‌جویی قابل‌توجهی در هزینه‌ها می‌شود. بدیهی است این روش الگوی منطقی‌تری نسبت به استانداردهای تجویزی دارد (Safari *et al.*, 2012).

Archive of SID
www.SID.ir

استفاده از رویکرد دوم در طراحی لاینرهای رسی متراکم‌شده نیازمند شناخت عوامل و شاخص‌های تاثیرگذار در عملکرد هیدرولیکی لاینر در جلوگیری از نفوذ شیرابه است که این مهم در پژوهش‌های مختلفی بررسی شده است. مهم‌ترین ویژگی لاینر رسی متراکم‌شده که باعث محدود کردن جریان و جلوگیری از نفوذ شیرابه تولیدی می‌شود، میزان هدایت هیدرولیکی یا نفوذپذیری آن است (Badv and Khalili, 2010; Benson and Trast, 1995). بر اساس استانداردهای موجود حداکثر مقدار نفوذپذیری برای لاینرهای رسی متراکم‌شده ۱×۱۰^{-۹} متر بر ثانیه است (U.S.EPA, 1993; Bagchi, 1994). در پژوهشی توسط بدو و سعدآبادی گزینه‌های مختلف برای طرح خاک‌چال با لایه‌های زهکش شیرابه همراه با لاینر و بدون لاینر مدل‌سازی شد و بر اساس نتایج آن سیستمی که علاوه بر یک لایه زهکش، دارای یک لایه رسی به ضخامت یک متر به عنوان لاینر باشد، به عنوان مدفن نیمه‌مهندسی با یک استاندارد حداقل معرفی شده است(Badv and Saadabadi, 2007). در بررسی‌های Mathur *et al.* (2008) ضخامت لاینر رسی براساس شرایط و درجه اشباع خاک، طراحی شده و ضخامت بهینه براساس زمان عبور شیرابه از لاینر تعیین شده است. مدل‌سازی لاینر رسی با استفاده از مدل polluted 3.3 ، استفاده از مواد جاذب در ساخت لاینر و حل عددی آن توسط Chi Lo (1996) انجام شد و نتایج حاکی از آن است که ضخامت لاینر رسی به ظرفیت جذب مواد جاذب، هدایت هیدرولیکی و هندسه خاک‌چال بستگی دارد. بدو و دهقانیان گزینه‌های مختلف طراحی لاینر را بررسی کرده و نشان دادند افزایش ضخامت لاینر رسی به مقدار قابل‌توجهی میزان شیرابه عبوری از مدفن به سفره آب زیرزمینی را کاهش می‌دهد، اما توجیه اقتصادی این حالت (به‌ویژه در نقاطی که خاک رس در دسترس نیست)، مورد سوال است (Badv and Dehghanian, 2008). از طرفی در حال حاضر یکی از مهم‌ترین عوامل موثر در عدم اجرای اصولی سیستم‌های نفوذناپذیر تحتانی در محل‌های دفن پسماند کشور، هزینه قابل‌توجه احداث لاینر است. با توجه به اینکه تاکنون تحقیق جامعی درباره مباحث اقتصادی طراحی لاینر رسی متراکم‌شده صورت نگرفته لازم است عوامل موثر در طراحی لاینرهای رسی متراکم‌شده که بر هزینه‌های ساخت لاینر نیز تاثیرگذار است، شناسایی و نسبت به بهینه‌سازی طراحی لاینر رسی متراکم‌شده از منظر محیط زیستی و اقتصادی (به‌صورت توامان) اقدام شود. بنابراین هدف از انجام این تحقیق، طراحی لاینر رسی متراکم‌شده (از طریق تعیین ضخامت بهینه) در سناریوهای مختلف و با در نظرگرفتن مسائل محیط زیستی و در عین حال برآورد هزینه‌های مرتبط با هر سناریو است تا از این طریق ضمن شناسایی عوامل موثر در طراحی لاینر، زمینه برای بهینه‌سازی پارامترهای شاخص از طریق به‌کارگیری مدل‌های اقتصادی فراهم شود.

مواد و روش‌ها

بررسی سوابق پژوهش نشان می‌دهد برای ارزیابی عوامل تاثیرگذار بر هزینه‌های ساخت لاینر رسی متراکم‌شده، با در نظر گرفتن مباحث فنی در طراحی لاینر به‌منظور جلوگیری از نفوذ شیرابه، باید سه عامل کلی زیر در نظر گرفته شود:

هزینه تامین زمین موردنیاز که به قیمت زمین و مساحت زمین موردنیاز برای ساخت خاک‌چال بستگی دارد که این پارامتر خود تابعی از ابعاد ترانشه‌های دفن پسماند است.

هزینه تامین مواد اولیه برای ساخت لاینر که از نظر دسترسی به خاک مناسب برای ساخت و مقدار خاک مورد نیاز اهمیت پیدا می‌کند. هزینه‌های مرتبط با تامین خاک مورد نیاز برای ساخت لاینر رسی متراکم تحت عنوان متغیری به نام فاصله از قرضه تعریف می‌شود. همچنین

Archive of SID
www.SID.ir

مقدار خاک مورد نیاز به ضخامت لاینر رسی بستگی دارد و طراحی ضخامت لاینر باید طوری باشد که عملکرد کافی برای جلوگیری از نفوذ شیرابه را تامین کند.

هزینه عملیات اجرایی برای ساخت لاینر که به حجم عملیات خاکی، ضخامت و مساحت لاینر طراحی‌شده وابسته است.

با توجه به موارد فوق شش متغیر شامل هد شیرابه، نفوذپذیری خاک، فاصله از قرضه، ارتفاع ترانشه، عمر ترانشه و قیمت متر مربع زمین به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم بر هزینه‌های ساخت لاینر رسی متراکم تاثیرگذار هستند. در این پژوهش با توجه با متغیرهای فوق، بررسی عوامل تاثیرگذار بر هزینه‌های ساخت لاینر رسی در دو مرحله صورت گرفته است:

مدل‌سازی نفوذ شیرابه

اولین گام برای طراحی ضخامت مناسب برای لاینر رسی متراکم‌شده، پیش‌بینی مقدار نفوذ شیرابه در لاینر است. با توجه به اینکه لاینر رسی در شرایط غیراشباع متراکم می‌شود، باید از مدلی استفاده شود که توانایی شبیه‌سازی مفاهیم و چگونگی حرکت آب و انتقال املاح و آلاینده‌ها را در محیط غیراشباع داشته باشد. مدل HYDRUS1D شامل حل عددی معادله ریچاردز برای بررسی حرکت آب در خاک و حل معادلات انتقال-انتشار برای بررسی حرکت املاح و گرما در محیط خاک است و به روش اجزا محدود گالرکین حل شده است. این مدل قادر به شبیه‌سازی جریان در شرایط اشباع و غیراشباع بوده و توانایی تخمین ویژگی‌های هیدرولیکی خاک به روش مدل‌سازی معکوس را نیز دارد. در این مدل حرکت یک‌بعدی آب در خاک با استفاده از معادله ریچاردز به صورت رابطه (۱) بیان می‌شود (Jalili Ghazizade, 2012):

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}(k(\theta)(\frac{\partial h}{\partial x} + \cos\alpha)) - s \qquad (۱)$$

که در رابطه فوق θ رطوبت حجمی خاک بر حسب (L^3L^{-3})، t زمان (T)، $k(\theta)$ هدایت هیدرولیکی غیراشباع (LT^{-1})، h هد فشاری (L) که در خاک‌های غیراشباع مقدار آن منفی بوده و به آن مکش ماتریک نیز می‌گویند، α زاویه بین مسیر جریان و محور عمودی است (برای حرکت عمودی سیال در خاک برابر با صفر، برای حرکت افقی جریان برابر با ۹۰ و برای سایر مسیرهای حرکت بین صفر تا ۹۰ درجه است). S میزان برداشت و جذب آب توسط ریشه گیاه بر حسب $(L^3L^{-3}T^{-1})$ و x محور عمودی مختصات است که در آن حرکت رو به بالا مثبت و حرکت رو به پایین منفی در نظر گرفته می‌شود. لازم به ذکر است که این مدل در بررسی‌های Jalili) (Ghazizade, 2012ساخته شد و نتایج آن با استفاده از یک مدل فیزیکی کالیبره شده است. در این پژوهش برای مدل‌سازی و تعیین میزان نفوذ شیرابه در لاینر از مشخصات هیدرولیکی خاک منطقه کهریزک، که از مدل‌سازی معکوس به دست آمده‌اند، استفاده شده است. در جدول ۱ مشخصات هیدرولیکی خاک مورد استفاده برای طراحی لاینر رسی نشان داده شده است.

جدول ۱- مشخصات هیدرولیکی خاک منطقه کهریزک (Jalili Ghazizade, 2012)

Table 1. Soil hydraulic properties in kahrizak area (Jalili Ghazizade, 2012)

هد شیرابه (سانتی‌متر) Leachate head (cm)	درصدرطوبت باقی‌مانده (٪) Remaining moisture content (%)	درصد رطوبت اشباع (٪) Saturation moisture content (%)	زاویه بین مسیر جریان و محور عمودی between flow Angle path and vertical axis (cm^{-1})	تخلخل Porosity	هدایت هیدرولیکی (سانتی‌متر بر روز) Hydraulic conductivity (cm/day)	پارامتر شکل Shape parameter
30	6.8	39	0.01	1.5	0.005	0.5

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۲- شرایط مدل‌سازی برای سناریوهای زمانی
Table 2. Modeling conditions for time scenarios

شماره سناریو Scenario no.	مدت زمان حضور شیرابه با هد ۳۰ سانتی‌متری (روز) Exposure time for 30 cm leachate head (day)	مدت زمان حضور شیرابه با هد ۵ سانتیمتری (روز) Exposure time for 5 cm leachate head (day)	مدت زمان عدم وجود شیرابه (روز) No leachate head time (day)	درصد رطوبت اولیه Initial water content (%)	شرایط مرزی بالایی Upper boundary conditions	شرایط مرزی پایینی Lower boundary conditions
1	30	720	1770	20	هد فشاری متغیر	زهکش آزاد
2	60	720	1740	20	هد فشاری متغیر	زهکش آزاد
3	180	720	1440	20	هد فشاری متغیر	زهکش آزاد
4	360	720	720	20	هد فشاری متغیر	زهکش آزاد
5	720	720	360	20	هد فشاری متغیر	زهکش آزاد
6	1080	720	0	20	هد فشاری متغیر	زهکش آزاد

بر اساس فرضیات فوق در سناریوهای مدل HYDRUS1D، کل مدت زمان مدل‌سازی پنج سال در نظر گرفته شده و مدت زمان قرارگیری شیرابه با هد ۳۰ سانتی‌متری روی لاینر در قالب سناریوهای ۳۰، ۶۰، ۱۸۰، ۳۶۰، ۷۲۰ و ۱۰۸۰ روزه تعریف شده است. در هر یک از سناریوها با توجه به بحث بیلان جرمی شیرابه، تا دو سال بعد از زمان بسته شدن ترانشه، هد پنج سانتی‌متری روی لاینر اعمال شده و پس از آن تا پایان زمان مدل‌سازی مقدار هد شیرابه، صفر در نظر گرفته شده است. در جدول ۲ شرایط مدل‌سازی برای تمامی سناریوهای زمانی ترانشه دفن نشان داده شده است.

برآورد هزینه‌های ساخت لاینر رسی متراکم‌شده

علاوه بر ضخامت لاینر رسی، عمر ترانشه دفن، ارتفاع ترانشه و ابعاد آن از نظر مساحتی که برای ساخت مورد نیاز است و همچنین دسترسی به خاک رس مناسب برای ساخت لاینر از عوامل مهم تأثیرگذار در هزینه‌های اجرایی ساخت لاینر است. از این رو، پس از تعیین ضخامت مورد نیاز برای طراحی لاینر رسی متراکم‌شده، سناریوهای جدیدی برای برآورد هزینه مراحل مختلف آماده‌سازی محل دفن تعریف شده است. هزینه‌ها در مجموع شامل سه بخش کلی هزینه زمین، هزینه ساخت ترانشه دفن و هزینه ساخت لاینر رسی متراکم‌شده است که در ادامه فرضیات مربوط به هر کدام تشریح می‌شود.

زمین مورد نیاز

مساحت زمین موردنیاز برای ساخت ترانشه‌های دفن به ابعاد و تعداد آنها بستگی دارد. چنانچه هزینه‌های مربوط به طراحی، ساخت و بهره‌برداری از خاک‌چال‌های مهندسی توسط شهرداری‌ها پرداخت شود، زمین مورد نیاز باید توسط سازمان‌های دولتی تامین و در اختیار شهرداری‌ها قرار گیرد. در غیر این صورت، به دلیل قابل‌توجه بودن هزینه زمین، باید مقادیر آن در محاسبات اقتصادی لحاظ شود. از این‌رو قیمت هر مترمربع از زمین در منطقه کهریزک تهران به منظور ساخت خاک‌چال و ترانشه‌های دفن، استعلام و به مقدار ۱۲۰۰۰۰۰ ریال به ازای هر متر مربع در نظر گرفته شده است.

ارتفاع ترانشه دفن

یکی از پارامترهای تأثیرگذار در هزینه‌های ساخت ترانشه، ارتفاع آن است که متأثر از سطح آب زیرزمینی در محل دفن و همچنین توانایی تجهیزات حفاری و ماشین‌آلات موجود است. در سناریوهای زمانی تعریف‌شده، ارتفاع ترانشه در سه حالت ۱۰، ۲۰ و ۳۰ متری در نظر گرفته شده است.

فاصله از محل قرضه

دسترسی به مصالح مناسب برای ساخت لاینر رسی دیگر عامل مهم تأثیرگذار در هزینه‌های مربوط

Archive of SID
www.SID.ir

به ساخت لاینر رسی متراکم است. برای لحاظ کردن اثر آن، سناریوهای زمانی در دو حالت طراحی لاینر با استفاده از خاک محل و طراحی لاینر با استفاده از خاک قرضه محاسبه شده‌اند. در حالت دوم فرض شده است که خاک محل برای احداث لاینر مناسب نبوده و از منبع قرضه‌ای که به طور متداول در فواصل ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ کیلومتری محل دفن واقع شده است، تأمین می‌شود.

فرضیات سناریوهای طراحی

برآورد هزینه‌های احداث ترانشه دفن و لاینر رسی نیازمند در نظر گرفتن فرضیاتی درباره حجم مورد نیاز و عمر طراحی است. بدین منظور محاسبات ابعاد ترانشه‌های دفن در هریک از سناریوهای زمانی با فرض یک خاک‌چال برای شهری با جمعیت ۱۰۰۰۰۰ نفر و نرخ ورود پسماند، روزانه ۱۰۰۰ تن با چگالی ۸۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب برای مدت ۲۵ سال طراحی شده است (جدول ۳).

جدول ۳- فرضیات و مشخصات طراحی ترانشه‌های دفن پسماند
Table3 . Assumptions and design specifications for landfill trenches

ارتفاع ترانشه (متر) Trench height (m)	طول عمر ترانشه دفن (روز) Trench (day) lifespan	فاصله تا منبع قرضه (کیلومتر) Distance to borrow pit (Km)
10	30	0
	60	20
20	180	40
	360	60
30	720	80
	1080	100

برآورد هزینه‌ها به منظور آماده‌سازی محل دفن برای ساخت ترانشه لاینر رسی متراکم‌شده، شامل عملیات خاکی و ساخت و نصب سیستم لاینینگ است. کلیه هزینه‌ها با استفاده از «فهرست بهای واحد پایه رشته ابنیه سال ۱۳۹۵» و «فهرست بهای واحد پایه رشته آبیاری و زهکشی سال ۱۳۹۵» محاسبه شده است. در جداول ۴ و ۵ محاسبه هزینه ساخت ترانشه و احداث سیستم لاینینگ در سناریو زمانی ۳۰ روزه به‌عنوان نمونه ارائه شده است. لازم به ذکر است که در سایر سناریوهای زمانی نیز محاسبات به همین منوال صورت گرفته است.

جدول ۴- هزینه‌های عملیات خاکی برای ساخت ترانشه دفن
Table 4. Waste trench construction costs

کد فهرست بها Price List no.	شرح Description	واحد Unit	بهای واحد (ریال) Unit price (Rial)	مقدار Amount	بهای کل (ریال) Total price (Rial)
10101	بوته‌کنی در زمین‌های پوشیده از بوته و خارج کردن ریشه‌ها از محل عملیات	M^2	185	9216	1704960
030104	خاک‌برداری در زمین‌های سخت با هر وسیله مکانیکی،حمل مواد حاصل از خاک‌برداری	M^3	11000	46875	515625000
***031104**	اضافه بها به ردیف ۰۳۰۱۰۴ هرگاه فاصله حمل بیش از ۲۰ متر و حداکثر ۵۰ متر باشد	M^3	3360	46875	157500000
	هزینه کل برای یک ترانشهTotal cost for one trench				674829960
	تعداد ترانشهTrench number				300
	مجموع هزینه عملیات خاکی برای کل ترانشه‌ها (ریال)Total cost for trench construction (Rial)				20244898800

*با فرض آنکه خاک کنده‌شده در این بخش برای استفاده در پوشش موقت و نهایی استفاده شود، لازم است خاک حفاری‌شده به اطراف ترانشه منتقل شود.

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۵- هزینه‌های احداث سیستم لاینینگ
Table 5. Lining system construction costs

کد فهرست بها Price List no.	شرح Description	واحد Unit	بهای واحد (ریال) Unit price (Rial)	مقدار Amount	بهای کل (ریال) Total price (Rial)
030104	خاک‌برداری در زمین‌های سخت با هر وسیله مکانیکی، حمل مواد حاصل از خاک‌برداری	M^3	11000	3348	36828000
*031104	اضافه بها به ردیف ۰۳۰۱۰۴ هرگاه فاصله حمل بیش از ۲۰ متر و حداکثر ۵۰ متر باشد.	M^3	3360	3348	11249280
031601	تسطیح بستر خاک‌ریزها با گریدر	M^2	350	9638.4	3373440
031603	آب‌پاشی و کوبیدن بستر خاک‌ریزها یا کف ترانشه تا عمق ۱۵ سانتی‌متر با تراکم ۹۰ درصد به روش پراکتور استاندارد	M^2	910	9638.4	8770944
031607	پخش، آب‌پاشی، تسطیح، پروفیله کردن، رگلاژ و کوبیدن قشرهای خاک‌ریزی با ۹۰ درصد کوبیدگی به روش پراکتور استاندارد، وقتی که ضخامت قشرهای خاک‌ریزی پس از کوبیده شدن حداکثر ۱۵ سانتی‌متر باشد.	M^3	14000	3348	46782000
	- هزینه کل برای یک ترانشه Total cost for one trench				107093644
	- تعداد ترانشه Trench number				300
	- مجموع هزینه احداث سیستم لاینینگ برای کل ترانشه‌ها (ریال) Total cost for trench construction(Rial)				32128099200

*با فرض آنکه خاک کنده‌شده در این بخش برای ساخت لاینر رسی متراکم شده استفاده شود، لازم است خاک حفاری‌شده به اطراف ترانشه منتقل شود.

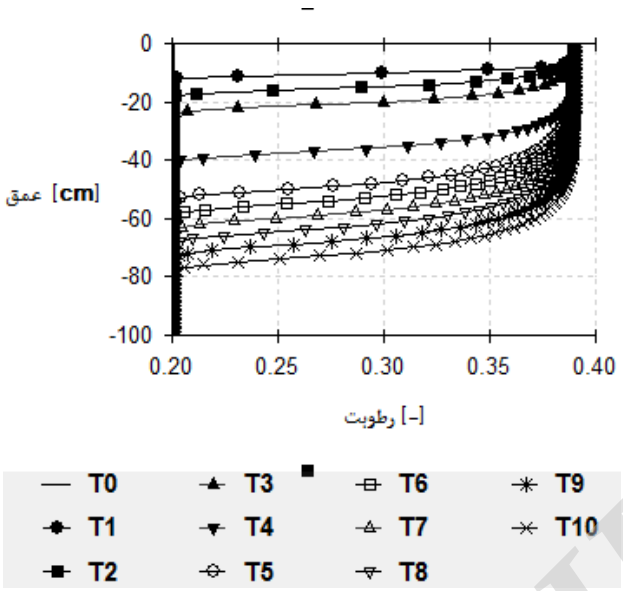
نتایج و بحث

تعیین ضخامت مورد نیاز لاینر

برای تعیین ضخامت بهینه لاینر باید عمق اشباع که بیان‌کننده میزان نفوذ شیرابه است، تعیین شود. برای تعیین عمق اشباع در مدل‌سازی HYDRUS 1D، شرایط اولیه بر اساس درصد رطوبت اولیه به میزان ۲۰ درصد و رطوبت اشباع به میزان ۳۹ درصد اعمال شده است. به‌عنوان نمونه در شکل ۱ تغییرات درصد رطوبت در سناریو زمانی ۳۰ روزه در پروفیل عمقی خاک برای ۱۰ زمان مختلف بین روز ۳۰ ام تا روز ۱۸۰۰ام مدل‌سازی، نشان داده شده است.

درصد رطوبت اولیه تمامی نقاط قبل از اعمال هد شیرابه ۳۰ سانتی‌متری و در ابتدای مدل‌سازی به میزان ۲۰ درصد است. هریک از نمودارها تغییرات رطوبت را در یک روز خاص نشان می‌دهد که به ترتیب از T1 تا T10 مربوط به روز ۳۰ ام مدل‌سازی تا روز ۱۸۰۰ ام هستند. به‌طور مثال پس از گذشت ۳۰ روز از شروع مدل‌سازی عمق ۱۰ سانتی‌متری از لاینر به رطوبت اشباع رسیده است. از طرفی باتوجه به اینکه حداکثر عمق اشباع در پایان مدل‌سازی مبنای تعیین ضخامت مناسب برای لاینر در این سناریو زمانی است، باید بیشترین عمق اشباع در روز ۱۸۰۰ام از شروع مدل‌سازی تعیین شود. بر اساس این جزئیات داده‌های مربوط به نمودار T10 در روز ۱۸۰۰ ام از مدل‌سازی، بررسی شده و بر اساس آن حداکثر عمق اشباع، معادل با ۲۹ سانتی‌متر تعیین می‌شود و این عمق مبنای تعیین ضخامت لاینر در سناریوهای زمانی ۳۰ روزه است. به همین ترتیب حداکثر عمق اشباع در سایر سناریوهای زمانی نیز تعیین شده‌اند که نتایج آن مطابق با جدول ۶ است. قابل ذکر است که در برآورد هزینه‌های مرتبط با لاینینگ، برای لحاظ کردن خطاهای محاسباتی و مسائل مربوط به زمان ساخت، ضخامت مورد نیاز لاینر با اعمال ضریب اطمینان ۱/۲ در نظر گرفته شده است.

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۱- تغییرات درصد رطوبت در عمق پروفیل خاکی در سناریو زمانی ۳۰ روزه

Fig. 1- water content variations in soil profile for 30-day scenario

جدول ۶- عمق اشباع و ضخامت مورد نیاز لاینر رسی برای سناریوهای مختلف طول عمر ترانشه

Table 6. Saturation depth and required thickness for CCL in different trench lifespan scenarios

طول عمر ترانشه (روز) Trench lifespan (day)	عمق اشباع (cm) Saturation depth(cm)	ضخامت مورد نیاز لاینر (cm) Required liner thickness(cm)
30	29	35
60	30	36
180	33	40
360	38	46
720	46	56
1080	55	66

مشاهده می‌شود که با افزایش طول عمر ترانشه، ضخامت مورد نیاز لاینر برای جلوگیری از نفوذ شیرابه افزایش می‌یابد. به‌طور مثال در یک ترانشه با طول عمر یک ماه (با فرض هد ۳۰ سانتی‌متری شیرابه)، ضخامتی از لاینر رسی که می‌تواند مانع از نفوذ شیرابه به خارج از خاک‌چال شود، ۳۵ سانتی‌متر است. حال آنکه این ضخامت برای ترانشه‌ای با طول عمر سه سال، به ۶۶ سانتی‌متر افزایش می‌یابد. به‌طور مشابه در مطالعات (Jalili Ghazizade, 2012) به منظور تعیین عمق اشباع خاک در سناریوهای مختلف، هد شیرابه و مدت زمان قرارگیری آن بر روی لاینر رسی متراکم بررسی و ضخامت لاینر بر اساس هدهای ۱۰، ۱۵، ۲۵، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ سانتی‌متری تعیین شده است. در این پژوهش ضخامت محاسبه‌شده برای لاینر رسی متراکم با هد شیرابه ۳۰ سانتی‌متری در طول عمر شش ماه تا سه سال بین ۱۵ تا ۶۰ سانتی‌متر اندازه‌گیری شده است و نتایج به‌دست‌آمده در سناریوهای با عمر ترانشه دو سال و سه سال با نتایج به‌دست آمده در این پژوهش همخوانی دارد.

نتایج برآورد هزینه‌های ساخت لاینر رسی متراکم‌شده و ترانشه دفن پسماند

پس از تعیین ضخامت مورد نیاز برای ساخت لاینر رسی متراکم‌شده، برآورد هزینه‌های ساخت لاینر و ترانشه دفن پسماند با لحاظ کردن پارامترهای مهم و تاثیرگذار در دستور کار قرار گرفت. بدین منظور سناریوهای جدیدی با در نظر گرفتن پارامترهای ارتفاع ترانشه، عمر ترانشه، فاصله از محل قرضه برای ساخت لاینر تعریف شد. هزینه‌ها در مجموع شامل سه بخش کلی هزینه زمین، هزینه ساخت ترانشه دفن و هزینه ساخت لاینر رسی متراکم‌شده است. همچنین هزینه استفاده از لاینر رسی ژئوسنتتیک به ازای هر متر مربع ۳۰۰۰۰۰ ریال به منظور

Archive of SID
www.SID.ir

مقایسه با هزینه لاینر رسی متراکم‌شده در نظر گرفته شده است. در جدول ۷ هزینه‌های محاسبه شده برای کلیه سناریوهای زمانی در حالت استفاده از خاک محل (قرضه صفر کیلومتر) مشاهده می‌شود. باتوجه به اینکه در هر سناریو زمانی با ارتفاع مشخص، سایر ابعاد ترانشه برای حجم مشخصی از پسماند محاسبه می‌شوند و از طرفی با افزایش ارتفاع ترانشه حجم بیشتری از پسماند در آن دفن می‌شود، در مورد ارتفاع ۲۰ و ۳۰ متر، با توجه به هندسه ترانشه و لزوم اجرای شیب ۱ به ۳ در دیواره‌های آن حجم پسماند قابل دفن بیشتر از حجم ترانشه‌های مربوط به سناریوهای ۱ماهه ، ۲ ماهه و ۶ ماهه بوده و به همین دلیل ساخت ترانشه‌های ۱ و ۲ ماهه در ارتفاع ۲۰ متر و همچنین ترانشه ۶ ماهه در ارتفاع ۳۰ متر امکان‌پذیر نیست.

جدول ۷- نتایج برآورد هزینه در بخش‌های مختلف ساخت لاینر رسی متراکم با استفاده از خاک محل

Table 7. Estimated cost for different parts of clay Liner construction using On-site Soil

ارتفاع ترانشه (متر) Trench height (m)	طول عمر ترانشه (روز) Trench lifespan (day)	هزینه زمین (میلیون ریال) land cost (million rials)	هزینه ترانشه (میلیون ریال) Trench cost (million rials)	هزینه لاینر رسی متراکم (میلیون ریال) CCL cost (million rials)	هزینه کل (میلیون ریال) Total cost (million rials)	هزینه لاینررسی ژئوسنتتیک (میلیون ریال) GCL cost (million rials)
10	30	3998016	202448.9	32128	4232593	722880
	60	3240120	202371	27815.8	3470306.9	610875
	180	2533800	202296.4	24897.4	2760993.9	497475
	360	2258860.8	202265.7	25738.3	2486864.8	453012.5
	720	1919313.6	202222	26635	2148170.7	391224
	1080	1867862.4	202215.6	32389.8	2222487.8	408204
20	180	1976520	202215.6	19808.5	2198544.1	394275
	360	1620292.8	202170.3	18681.5	1841144.7	328081.2
	720	1357920	202137.3	19040.6	1579097.9	279360
	1080	1245873.6	202122.9	20500.9	1468497.5	258276
30	360	1505280	202153.2	17520.3	1724953.6	306718.7
	720	1186800	202111.5	16745.8	1405657.4	246144
	1080	998174	202095.1	17666.2	1217935.4	222152

تجزیه‌وتحلیل هزینه‌ها

پس از برآورد هزینه‌های مرتبط با بخش‌های مختلف ساخت لاینر رسی، در این بخش تغییرات هزینه‌ها در قالب نمودارهای هزینه-عمر ترانشه برای ارتفاعات مختلف بررسی می‌شود.

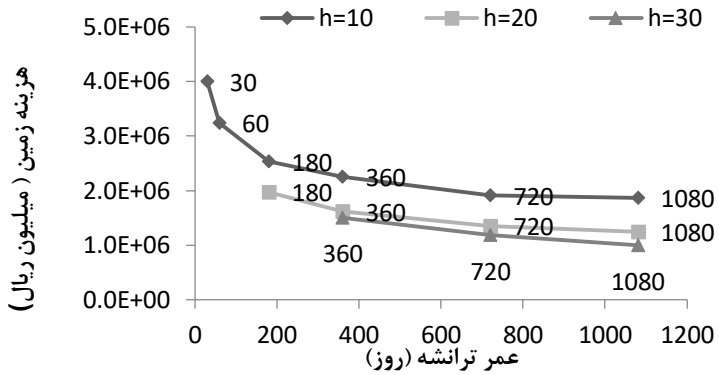
هزینه زمین

با توجه به اینکه هزینه زمین مستقل از فاصله حمل خاک و محل قرضه است، کلیه نمودارهای هزینه زمین در حالت استفاده از خاک محل و یا انتقال خاک از محل قرضه از الگوی یکسانی پیروی می‌کنند. با توجه به شکل ۲ با افزایش عمر ترانشه‌ها از ۳۰ روز تا ۱۰۸۰ روز تعداد آنها از ۳۰۰ ترانشه به ۸ ترانشه کاهش یافته و زمین کمتری مورد نیاز است. از این‌رو در ترانشه‌هایی با ارتفاع ۱۰ متر، هزینه زمین برای ساخت ترانشه‌های ۳۰ روزه نسبت به ترانشه‌های ۱۰۸۰ روزه به میزان ۲/۱ برابر و در مورد ارتفاع ۲۰ و ۳۰ متر به میزان ۱/۵ برابر کاهش می‌یابد. گفتنی است که بررسی الگوی تغییرات هزینه زمین به منظور ارزیابی میزان اثر آن در هزینه کل است.

هزینه ساخت ترانشه دفن

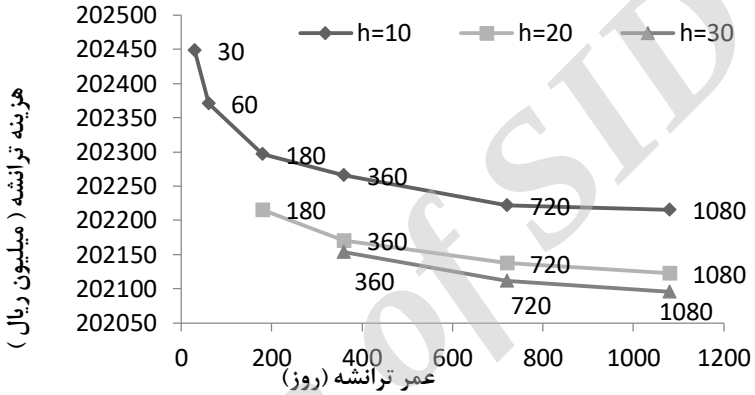
در شکل ۳ هزینه عملیات خاکی مرتبط با حفاری و ساخت ترانشه‌ها در سناریوهای زمانی مختلف باهم مقایسه شده‌اند. به‌دلیل مستقل بودن هزینه ساخت ترانشه از محل خاک قرضه، نمودارهای مرتبط با آن برای فواصل مختلف قرضه یکسان و منطبق بر هم است. کاهش تعداد ترانشه‌های دفن با افزایش عمر ترانشه در سناریوهای زمانی منجر به روند نزولی تغییرات هزینه ترانشه شده است.

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۲- الگوی تغییرات هزینه زمین نسبت به عمر ترانشه

Fig. 2- Land cost variations versus trench lifespan



شکل ۳- الگوی تغییرات هزینه ساخت ترانشه دفن نسبت به عمر ترانشه

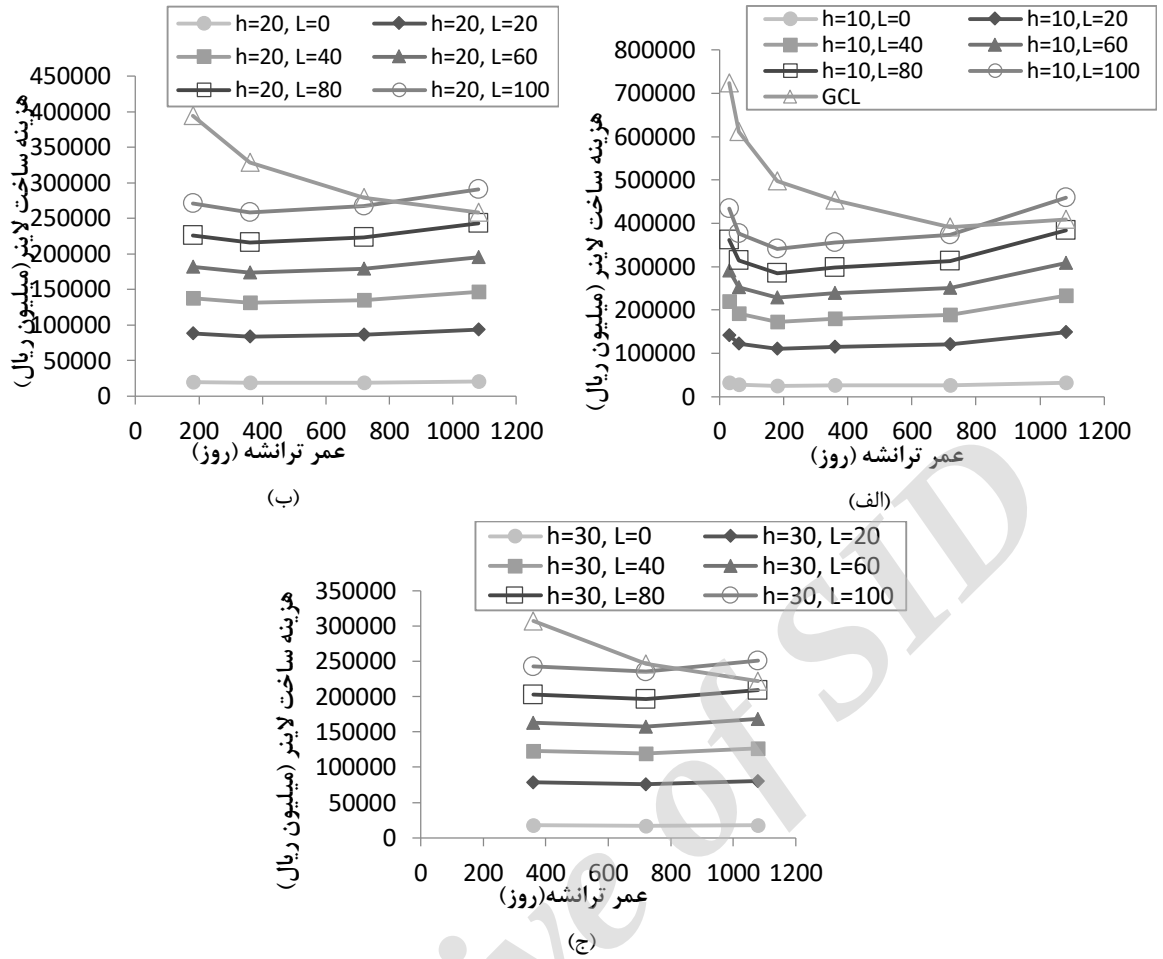
Fig. 3- Trench cost variations versus trench lifespan

شکل ۳ نشان می‌دهد که اولاً با افزایش ارتفاع ترانشه دفن، هزینه‌ها کاهش می‌یابد، بدین معنی که در صورت پایین بودن سطح آب زیرزمینی و توانایی تجهیزات حفاری در محل احداث خاک‌چال، هرچه ترانشه‌ها با ارتفاع بیشتری حفر شوند، هزینه‌های مرتبط با بخش‌های مختلف کاهش می‌یابد. چرا که در طراحی ترانشه به منظور دفن حجم مشخصی از پسماند هرچقدر که عمق ترانشه دفن در یک سناریو زمانی ثابت بیشتر باشد، اندازه ابعاد کف ترانشه (طول و عرض) کاهش یافته و به دنبال آن هزینه‌های مرتبط با مساحت مورد نیاز زمین و تسطیح بستر در ساخت لاینر و ترانشه کاهش می‌یابد. ثانیاً مشاهده می‌شود که الگوی تغییرات هزینه‌ها در ارتفاع ۲۰ و ۳۰ متر به یکدیگر نزدیک بوده و با ارتفاع ۱۰ متر اختلاف قابل‌توجهی دارد. علت این اختلاف نیز به میزان تغییر ابعاد ترانشه‌ها مرتبط می‌شود، چرا که با افزایش ارتفاع ترانشه از ۱۰ متر به ۲۰ متر، تغییر اندازه طول و عرض ترانشه بیشتر از میزان تغییرات آنها از ارتفاع ۲۰ به ۳۰ متر است.

هزینه ساخت لاینر رسی متراکم

با توجه به اینکه فاصله از قرضه متغیری است که به‌طور مستقیم در هزینه‌های ساخت لاینر رسی متراکم‌شده و به تبع آن در هزینه کل تاثیرگذار است، در شکل ۴ تغییرات هزینه ساخت لاینر رسی متراکم در حال استفاده از خاک محل و استفاده از خاک منبع قرضه برای ارتفاع‌های مختلف ترانشه نشان داده شده است. همچنین هزینه استفاده از لاینرهای رسی ژئوسنتتیک برای کلیه سناریوهای زمانی عمر ترانشه آورده شده است.

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۴-الگوی تغییرات هزینه لاینر نسبت به عمر ترانشه (الف): ترانشه با ارتفاع ۱۰ متر،(ب): ترانشه با ارتفاع ۲۰ متر، (ج):ترانشه با ارتفاع ۳۰ متر

Fig. 4- Liner cost variations versus trench lifespan, (a): trenches with a height of 10 meters, (b): trenches with a height of 20 meters, (c): trenches with a height of 30 meters

با توجه به شکل بدیهی است که با افزایش فاصله از محل قرضه، هزینه حمل خاک مورد نیاز بیشتر شده و به دنبال آن هزینه ساخت لاینر نیز افزایش می‌یابد. این الگو در تمامی ارتفاعات ترانشه ۱۰، ۲۰ و ۳۰ متری یکسان است، به نحوی که اگر از خاک قرضه‌ای واقع در ۱۰۰ کیلومتری محل خاک‌چال استفاده شود، هزینه ساخت لاینر رسی به میزان ۱۴ برابر بیشتر از حالتی است که خاک موردنیاز از محل خاک‌چال تامین شود. همچنین محل تقاطع نمودار لاینر رسی ژئوسنتتیک با نمودار استفاده از خاک محل قرضه واقع در ۱۰۰ کیلومتری، نشان می‌دهد که با افزایش فاصله منبع قرضه به بیش از ۱۰۰ کیلومتر استفاده از لاینرهای ژئوسنتتیک برای ترانشه‌هایی با عمر بیش از دو سال هزینه کمتری داشته و در این صورت ساخت لاینرهای رسی متراکم‌شده مقرون به صرفه نیست، چرا که هزینه‌های ناشی از حمل خاک مورد نیاز از محل قرضه به حدی افزایش می‌یابد که از هزینه استفاده از لاینرهای ژئوسنتتیک بیشتر می‌شود. بنابراین در این شرایط استفاده از لاینرهای ژئوسنتتیک توصیه می‌شود.

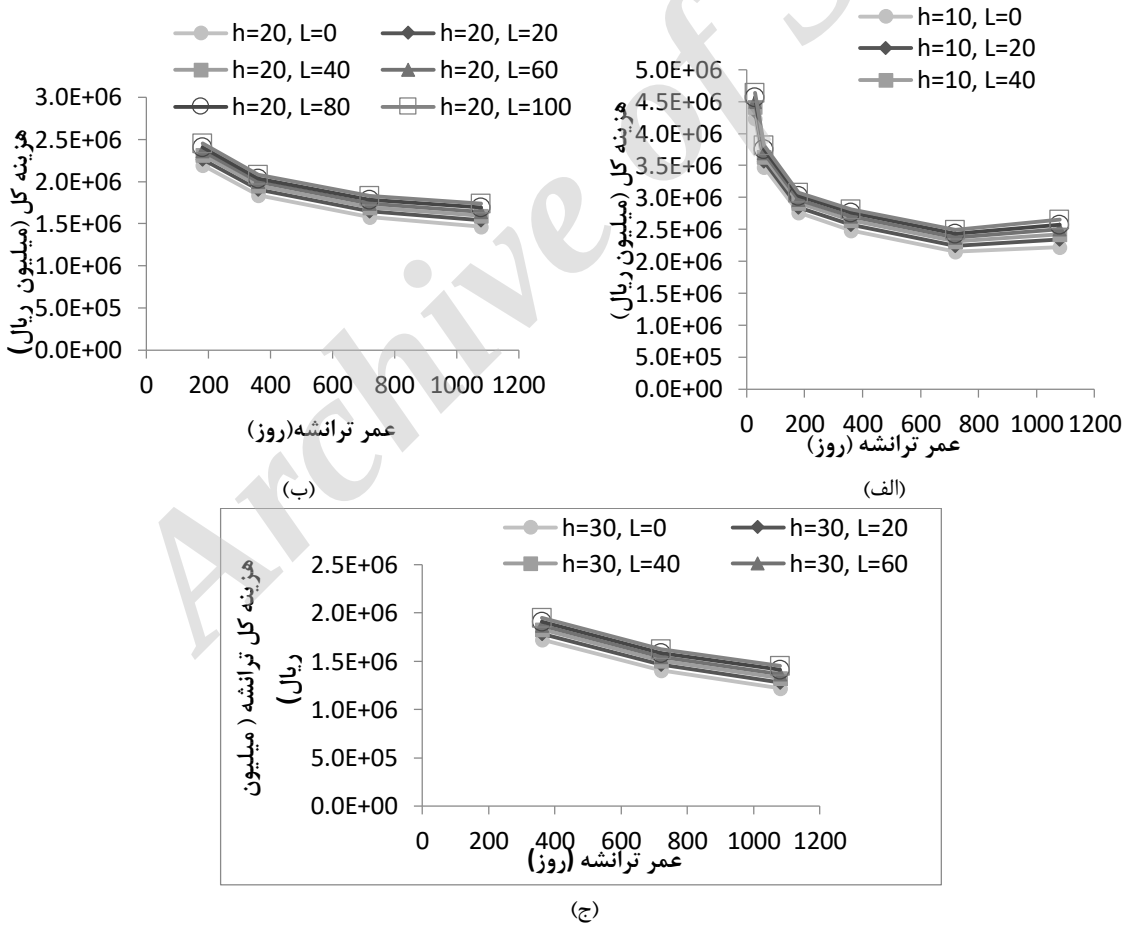
بررسی روند تغییرات هزینه نسبت به عمر ترانشه نشان می‌دهد، هزینه لاینر با افزایش عمر ترانشه‌ها از ۳۰ روز به ۱۸۰ روز، روند نزولی و سپس الگوی صعودی دارد. دلیل اصلی این موضوع وابستگی هزینه‌ها به ابعاد و تعداد ترانشه‌های دفن در هر سناریو زمانی است. با افزایش عمر ترانشه‌ها تعداد ترانشه‌های دفن کاهش یافته و به

Archive of SID
www.SID.ir

دنبال آن مساحت لاینر و هزینه‌های مرتبط با ساخت آن کاهش می‌یابد. اما از سناریو ۱۸۰ روز تا ۱۰۸۰ تغییرات هزینه‌ها روند صعودی به خود گرفته است، چراکه در این حالت افزایش ابعاد ترانشه‌ها به حدی است که مساحت لاینر مورد نیاز را افزایش می‌دهد. از این‌رو اگر تغییرات هزینه لاینر صرفاً از دیدگاه پیمانکار ساخت لاینر رسی بررسی شود، اهمیت عمر ترانشه‌های دفن و ابعاد آنها در بهینه‌سازی هزینه‌های ساخت لاینر را نشان می‌دهد.

هزینه کل

هزینه کل در واقع مجموع هزینه زمین، ترانشه و لاینر را نشان می‌دهد. شکل ۵ نشان می‌دهد که اولاً نمودار هزینه کل برای تمامی سناریوهای زمانی در محدوده تغییرات هزینه زمین، تغییر می‌کند. در واقع این الگو نشان می‌دهد که در ارزیابی کلی هزینه‌های ساخت لاینر رسی متراکم، هزینه زمین بر سایر هزینه‌ها غالب است. ثانیاً، فشردگی نمودارها حاکی از آن است که میزان تاثیر هزینه زمین به نحوی است که اختلاف هزینه‌های ناشی از فاصله از قرضه خاک، که در نمودارهای مرتبط با هزینه لاینر مشاهده می‌شود، در اینجا عملاً ناچیز است. از این‌رو اگر هزینه‌ها از دیدگاه پیمانکار دفن پسماند ارزیابی شود (و نه صرفاً پیمانکار ساخت لاینر)، اهمیت قیمت واحد زمین در بهینه‌سازی هزینه‌های کلی مشخص خواهد شد.



شکل ۵-الگوی تغییرات هزینه لاینر نسبت به عمر ترانشه (الف): ترانشه با ارتفاع ۱۰ متر،(ب): ترانشه با ارتفاع ۲۰ متر، (ج): ترانشه با ارتفاع ۳۰ متر

Fig. 5- Total cost variations versus trench lifespan, (a): trenches with a height of 10 meters, (b): trenches with a height of 20 meters, (c): trenches with a height of 30 meters

Archive of SID
www.SID.ir

نتیجه‌گیری

برای اطمینان از عملکرد مناسب لاینر رسی متراکم‌شده در خاک‌چال دفن پسماند، بررسی عملکرد هیدرولیکی لاینر برای جلوگیری از نفوذ شیرابه ضروری است. از طرف دیگر طراحی لاینر رسی متراکم‌شده بدون در نظر گرفتن هزینه‌های ساخت و صرفاً با لحاظ کردن مباحث محیط زیستی، منجر به تحمیل هزینه‌های قابل‌توجهی به سیستم مدیریت پسماند می‌شود که در بسیاری از موارد نتیجه آن عدم احداث سیستم‌های نفوذناپذیر تحتانی در کف خاک‌چال است. از این‌رو ضروری است که لاینر رسی متراکم‌شده با در نظر گرفتن توامان ملاحظات محیط زیستی و اقتصادی طراحی شود. بدین منظور لازم است ابتدا پارامترهای تاثیرگذار بر عملکرد فنی و اقتصادی لاینر شناسایی شده و هزینه‌های ساخت لاینر در سناریوهای مختلف تعیین و نسبت به بهینه‌سازی آن اقدام شود. شش متغیر شامل هد شیرابه، نفوذپذیری خاک، فاصله از قرضه، ارتفاع ترانشه، عمر ترانشه و قیمت زمین به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم بر هزینه‌های ساخت لاینر رسی متراکم تاثیرگذار هستند که در این پژوهش اثر تغییر متغیرهای فاصله از قرضه، ارتفاع ترانشه و عمر ترانشه برای ساخت لاینر رسی متراکم با استفاده از خاک محل دفن کهریزک بررسی شده است. نتایج برآورد هزینه نشان می‌دهد که به‌طور کلی هرقدر ارتفاع ترانشه دفن بیشتر باشد، هزینه مرتبط با بخش‌های مختلف دفن پسماند کاهش می‌یابد. همچنین الگوی تغییرات هزینه کل متاثر از تغییرات هزینه زمین است که این موضوع نشان‌دهنده اهمیت قیمت واحد زمین در ارزیابی هزینه‌های کلی است. از طرفی ممکن است عواملی چون سطح آب زیرزمینی و توانایی تجهیزات حفاری، امکان طراحی حداکثر ارتفاع را با محدودیت مواجه کند که در چنین شرایطی می‌توان با در نظر گرفتن حداکثر ارتفاع برای ترانشه، طول عمر ترانشه‌ای را که در آن هزینه‌های ساخت لاینر حداقل می‌شود، محاسبه کرد. تغییرات هزینه ساخت لاینر نسبت به متغیرهای مختلف حاکی از آن است که تعیین مقدار بهینه هر پارامتر مستلزم مدل‌سازی اقتصادی و برآورد توابع هزینه در هر بخش است.

منابع

Abdoli, M.A. and Jalili Ghazizade, M., 2007. Investigation of compacted clayey liner proficiency for natural removal of generated leachate pollutants in municipal solid waste landfill (case study: Kahrizak landfill), Environmental science and technology. 11(1),71-76 (In Persian with English abstract).

Badv, K. and Khalili, A., 2010. Cheking design criteria for solid waste landfill elements in the country, 4th Environmental Engineering Conference, Tehran, University of Tehran, Tehran, Iran.

Badv, K. and Dehghanian, K., 2008. Equivalent the use of clay liner or clay-geosynthetic liner in engineering waste landfills, 7th Iranian Hydraulic Conference, Hydraulic Society, Water and Power Industry University, Tehran, Iran

Badv, K. and Saadabadi, F., 2007. Study of the parameters governing the movement of contaminant to groundwater in various landfill options, 6th Iranian Hydraulic Conference, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

Bagchi, A., 1994. Design, Construction, and Monitoring of Landfills, second Edition, John Wiley and Sons, Inc.

Benson, C.H. and Trast, J.M., 1995. Hydraulic Conductivity of Thirteen Compacted Clays, Clays and Clay Minerals. 43(6), 669-681.

Archive of SID
www.SID.ir

Chi Lo, I.M., 1996. Optimization in thickness of a liner composed of claymax and organo-clay, Water Science and Technology. 34, 421–427.

Jalili Ghazizade, M., 2012. Hydraulic performance of liner in contrast to leachate in municipal waste landfill (For arid and semi-arid climate), Ph.D. Thesis. University of Tehran, Tehran, Iran.

Jalili Ghazizade, M., Abdoli, M. A. and Safari, E., 2009. Investigation of Clay Liner Permeability Changes Subject to Municipal Waste Leachate (Case Study: Kahrizak Landfill), Journal of Ecology. 36(54), 35-42. (In Persian with English abstract)

Mathur, S. and Jayawardena, L.P., 2008. Thickness of Compacted Natural Clay Barriers in MSW Landfills, Practice Periodical of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste Management, Volume 12, Issue 1.

Rowe, R. K., Quigley, R. M. and Booker, J. R., 1995. Clayey Barrier Systems for Waste Disposal Facilities, E & FN Spoon.

Safari, E., Jalili Ghazizade, M. and Abdoli, M.A., 2012. A performance-based method for calculating the design thickness of compacted clay liners exposed to high strength leachate under simulated landfill conditions, Waste Management & Research. 30, pp. 898–907.

U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA)., 1993. QA-QC for waste containment facilities, Report No. EPA/600/R-93/182.

Workman, J.P. and Keeble, R.L., 1989. Design and Construction of Liner Systems, Sanitary Landfilling: Process, Technology and Environment Impact, Academic Press, New York, pp. 301-309.

Archive of SID

www.SID.ir

Environmental Sciences Vol.15 / No.4 / Winter 2018

177-192

Evaluation of effective parameters for the construction cost of compacted clay liner in municipal solid waste landfills

Maryam Foroughedin[1], Mahdi Jalili Ghazizade[* 2], Maryam Mirabi[1] and Mohammad Reza Nazari[3]

[1] Department of Water, Wastewater and Environmental Engineering, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
[2] Department of Environmental Technologies, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
[3] Department of Environmental Economics, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Received: 2017.09.05 **Accepted:** 2017.12.25

Foroughedin, M., Jalili Ghazizade, M., Mirabi, M. and Nazari, M.R., 2018. Evaluation of effective parameters on the construction cost of compacted clay liner in municipal solid waste landfills. Environmental Sciences. 15(4):177-192.

Introduction: Lining is one of the most important components of waste landfills, whose main function is to limit the penetration of leachate from waste from the landfill base. Since the cost of a lining system is a significant part of a landfill's total cost, therefore, it is necessary to design the compacted clay lining with environmental and economic considerations equally in mind, which requires identification of factors affecting the construction cost of clay lining.

Materials and methods: For this purpose, using a performance-based approach, the factors affecting the technical design and hydraulic performance of clay linings in preventing leachate leakage, four variables include of trench height, trench lifespan, land price and distance from the soil loan, have been identified as the variables affecting the cost of clay lining construction. Using the HYDRUS one-dimensional model, the appropriate lining thickness was determined in the scenarios of 30, 60,180,360,720 and 1080 days for the trench lifespan. Then, by defining design scenarios based on the effective variables, the cost of different parts is estimated.

Results and discussion: Investigating the cost variations shows that increasing the height of the trench in different parts leads to lower costs of construction. While changes in the cost of lining construction over the lifespan of the trench initially had a downward trend, it then showed an incremental pattern. The variation in total cost is affected by land cost variations and indicates the importance of land prices in assessing the overall

* Corresponding Author. *E-mail Address*: ma_jalili@sbu.ac.ir

Archive of SID

www.SID.ir

costs of constructing the lining. Also, an increase in the distance from the loan increases the cost of lining construction significantly and, if suitable soil for lining can only be located more than 100 km from the site, then the use of a Geosynthetic clay lining is more cost-effective. The trench lifetime can be considered as a variable with less design constraints, depending on the cost of other parts.

Conclusion: Investigating the costs in different parts of compacted clay lining construction shows the necessity for economic modelling and creation of cost functions for the optimal design of compacted clay linings in every area.

Keywords: Compacted clay lining, Waste, Landfill, Cost estimation.

Archive of SID

www.SID.ir