مجله سلامت و محیط زیست، فصلنامه‌ی علمی پژوهشی
انجمن علمی بهداشت محیط ایران
دوره چهاردهم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۰، صفحات ۳۱۹ تا ۳۳۴

Available online: https://ijhe.tums.ac.ir
مقاله پژوهشی

مدلسازی کمی تولید شیرابه در مرکز دفن حلقه‌دره کرج با استفاده از مدل HELP

آزاد ملائی، رضا رفیعی*، مظاهر معین‌الدینی، سید حسین خزاعی

گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۰۹
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۰/۰۶/۲۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۲۴
تاریخ انتشار: ۱۴۰۰/۰۶/۳۱

واژگان کلیدی: مدیریت پسماند، لندفیل، مدلسازی تولید شیرابه، مدل HELP

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:
rzarafiee@gmail.com

چکیده

زمینه و هدف: هدف از این پژوهش برآورد میزان تولید شیرابه با استفاده از مدل HELP و بررسی عملکرد آن در مناطق نیمه‌خشک ایران و همچنین مشخص شدن الگوی تولید شیرابه در دو نیم سال و تعیین مهمترین پارامتر مؤثر در مقدار تولید شیرابه است.

روش بررسی: به جهت اینکه مدل HELP براساس الزامات ایالات متحده آمریکا طراحی و فقط داده‌های این کشور در آن گنجانده شده است. داده‌های ورودی نرم‌افزار با استفاده از تحقیق میدانی آماده شد و با استفاده از این داده‌ها مدل اجرا شد. برای بررسی صحت نتایج مدل، مقدار تولید واقعی شیرابه ۱۰ ماه برداشت شد (آذر ماه ۱۳۹۸ تا شهریور ماه ۱۳۹۹). بعد از مدلسازی، تحلیل حساسیت هر یک از مهمترین پارامترهای ورودی برای مشخص شدن مهمترین پارامتر موثر در تولید شیرابه انجام گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد مدل توانسته مقدار تولید شیرابه را با دقت ۷۵/۵ درصد و مقدار ضریب تعیین (R) ۶۰ درصد نسبت به مقدار واقعی برآورد کند. همچنین با توجه به نتایج آنالیز حساسیت، مهمترین عوامل موثر در تولید شیرابه به ترتیب رطوبت پسماند و بارش باران و کم اهمیت‌ترین پارامتر مساحت سلول لندفیل فعال تعیین شد.

نتیجه‌گیری: در یک جمع‌بندی می‌توان بیان کرد که کارآیی مدل HELP در برآورد تولید شیرابه در منطقه مورد پژوهش، رضایت بخش بود. نتایج مدل نشان داد که میزان رطوبت پسماند یکی از عوامل مهم در تولید شیرابه در لندفیل کرج است پیشنهاد می‌شود که راهکارهای کاهش رطوبت پسماند ورودی شناسایی شوند و مدل برای لندفیل‌های روباز نیز اجرا شود.

Please cite this article as: Mollaei A, Rafie R, Moeinaddini M, Khazaei SH. Modeling of leachate generation in Karaj landfill using HELP model. Iranian Journal of Health and Environment. 2021;14(2):319-34.

Copyright © 2021 Iranian Association of Environmental Health, and Tehran University of Medical Sciences. Published by Tehran University of Medical Sciences. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Noncommercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-11-21]

مقدمه

افزایش نرخ رشد جمعیت شهری در جهان و در کشورهای مختلف مخصوصا در سال‌های اخیر موجب افزایش بیش از حد به مصرف و در نتیجه افزایش تولید انواع پسماند در مناطق شهری شده است. عدم توجه به مسائل محیط‌زیستی در بسیاری از شهرهای کشور به عنوان یک دشمن پنهان محیط‌زیست انسانی را تهدید می‌کند. اما آنچه جمع‌آوری و دفع پسماند را به کار ضروری و اجتناب‌ناپذیر تبدیل کرده است رعایت بهداشت است چون بخش زیادی از پسماند شهری خصوصیاتی دارند که بنا بر آن خصوصیات، ماندنشان در محیط زندگی و سلامت انسان و موجودات زنده را به خطر انداخته و موجب ایجاد مشکلاتی در محیط‌های انسانی می‌شود (۱). بنابراین، امروزه مدیریت پسماند به یک نگرانی جدی تبدیل شده است. این در حالی است که تولید پسماند به طور مداوم در حال افزایش است (۲). از این‌رو دفع پسماند همواره موضوع مهمی برای جوامع بشری بوده است (۳). روش‌های مختلفی برای پردازش پسماندهای شهری ارائه شده است و همیشه سعی بر این بوده که بیشترین میزان پسماند بازیافت یا پردازش شود (۴). با این وجود، بخشی از پسماند باید در زمین دفن شوند. دفن پسماندها از ساده‌ترین و ارزان‌ترین روش‌های مدیریت پسماند است (۵) و در بسیاری از کشورها و از جمله ایران، مهم‌ترین روش برای مدیریت پسماندها، دفن آن است (۶) از این رو دفن یک گزینه حتمی و اجباری است. اما مدیریت نامناسب آن می‌تواند منجر به آلودگی محیط اطراف شود (۷).

با توجه به اینکه عمده‌ترین مشکل لندفیل‌های پسماند شهری، شیرابه و گاز تولید شده است، در این بین مهمترین عامل آلودگی در لندفیل‌ها، شیرابه‌ای است که با ورود به آب‌های سطحی و یا زیرزمینی مخاطرات بهداشتی و محیط‌زیستی برای انسان و موجودات ایجاد می‌کند (۸) به‌طوری‌که در صورت بالا بودن سطح ایستابی آب زیرزمینی باعث آلودگی آب زیرزمینی می‌شود (۹، ۱۰). به همین جهت زمانی که شیرابه به منابع آبی و خاکی ورود پیدا می‌کند. این منابع در معرض آلاینده‌های نظیر هیدروکربن‌ها و فلزات سنگین قرار می‌گیرد (۱۱). منابع آبی یک منطقه معمولا مهمترین منبع تامین آب مصرفی است لذا در صورتی که آلودگی در این آب‌ها پخش شود سلامت استفاده‌کنندگان به خطر خواهد افتاد (۱۲). پس از آلوده شدن آب‌های زیرزمینی به دلیل زمان ماند بالا، عدم دسترسی فیزیکی به آن جهت تصفیه کردن، هزینه‌های بالای تصفیه و برگشت ناپذیر بودن آن، تلاش برای بهبود شرایط آب‌های زیرزمینی آلوده به ترکیبات شیرابه را محدود می‌سازد (۱۳). لذا پیش‌بینی حجم شیرابه برای مدیریت پایدار پسماند و فرایندهای تصفیه شیرابه ضروری است. در دهه‌های اخیر مدل‌های مختلف ریاضی برای شبیه‌سازی تولید شیرابه تولید شده است اما پرکاربردترین مدل برای برآورد حجم شیرابه تولیدی در لندفیل‌های شهری جهت اقدامات مدیریتی و تصمیم‌گیری مدل ارزیابی هیدرولوژی مراکز دفن (Hydrologic Evaluation of Landfill Performance) است که به اختصار HELP نامیده می‌شود (۱۴). در اکثر مطالعات جهت برآورد شیرابه و تصمیم‌گیری‌های مدیریتی، مدل HELP و روش موازنه آب بکار گرفته شده است. مدل HELP یک مدل شبیه‌ساز تعادل آب است که جریان آب از طریق لایه‌ها را در لندفیل به صورت شبه دو بعدی مدلسازی می‌کند. در واقع مدل HELP مبتنی بر مفاهیم اصلی روش تعادل آب است اما از محاسبات دقیق‌تر استفاده می‌کند. Ghiasinejad و همکاران (۱۵) مدل موازنه آب را برای لندفیل‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک (لندفیل آرادکوه) توسعه دادند که جهت برآورد تبخیر و تعرق و رواناب از مدل HELP استفاده شد. نتایج نشان داد که تبخیر نقش اساسی در کاهش تولید شیرابه اولیه داشت و تقریبا ۳۰ درصد بارش به دلیل تبخیر از بین رفته است. علاوه بر این، پسماندهای متراکم شده در لایه‌های نازک و مصرف آب از طریق واکنش بی‌هوازی، شیرابه تخلیه شده را ۱۰/۸۲ درصد کاهش داد. Alslaibi و همکاران (۱۶) در لندفیل Deir Al Balah نوار غزه به بررسی تخمین نشت شیرابه به آب‌های زیرزمینی با استفاده از روش موازنه آب و روش HELP پرداختند. نتایج این مطالعه نشان

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-11-21]

داد مدل HELP در مناطق خارج از آمریکا مقدار برآورد شیرابه را دست بالا پیش‌بینی می‌کند. در مطالعه دیگر، Manandhar و همکاران (۱۷) به بررسی تخمین شیرابه تولیدی در لندفیل نپال پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد مهمترین پارامتری که بر تولید شیرابه اثر گذشته است بارش باران بوده است. با توجه به اهمیت نتایج مطالعات پیشین و برآورد شیرابه در مدیریت شیرابه و از همه مهم‌تر نبود مطالعه‌ای مبنی بر تخمین شیرابه در لندفیل حلقه‌دره به‌صورت میدانی و مدلسازی، هدف از این مطالعه، بررسی کارایی مدل HELP و برآورد شیرابه با استفاده از آن جهت اقدمات مدیریتی، کنترل، طراحی سامانه تصفیه‌خانه، بازچرخانی و از همه مهم‌تر مشخص شدن الگوی تولید شیرابه در دو نیم سال در مرکز دفن حلقه‌دره استان البرز است. زیرا بدون برآورد حجم شیرابه، طراحی سیستم‌های جمع‌آوری، هدایت، کنترل و مدیریت شیرابه امکان‌پذیر نیست. علاوه بر این برای سلول دفن آتی در لندفیل حلقه‌دره به یک مدل نیاز است که در برآورد شیرابه راستی آزمایی شده باشد. نتایج این مدل کمک خواهد کرد به داده‌های پایه‌ای در جهت ارزیابی قابلیت مدل در برآورد شیرابه برای شرایط آب‌وهوایی نیمه‌خشک برسیم. همچنین علاوه بر برآورد شیرابه، نتایج آنالیز حساسیت نشان می‌دهد که در لندفیل‌های نیمه‌خشک ایران، مهمترین پارامتر تاثیرگذار در تولید شیرابه کدام عامل بوده و سهم اجزای بیلان آب در تولید شیرابه چقدر است. در نهایت این پژوهش انجام مطالعات بعدی به جهت معین شدن صحت مدلسازی در مقایسه با مقدار واقعی تسهیل خواهد بخشید.

مواد و روش‌ها

_ *منطقه مورد مطالعه*

لندفیل حلقه‌دره مرکز دفن زباله‌های استان البرز است لندفیل حلقه‌دره با مختصات طول جغرافیایی ۵۰° و ′۴۸ و ″۲۶ و عرض جغرافیایی ۳۵° و ′۴۶ و ″۳۶ قرار گرفته است. این مرکز زیر نظر سازمان پسماند بازیافت شهرداری کرج فعالیت می‌کند و در جنوب غربی شهر کرج واقع شده و تنها لندفیل شهری این کلان‌شهر محسوب می‌شود که روزانه ton ۱۲۰۰-۱۵۰۰ پسماند در این محل دفن می‌شود. از نظر توپوگرافی مرکز دفن حلقه‌دره در ارتفاع m ۱۲۵۶ از سطح دریا قرار گرفته است و شیب عمومی زمین در این محدوده ۵ الی ۲۰ درصد است. متوسط میانگین بارندگی منطقه m ۲۲۴/۱ در سال و میانگین دمای سالانه °۷/۱۵ است همچنین مساحت سلول لندفیل فعال ha ۱۵ است. براساس گزارشات و مطالعات صورت گرفته در ارتباط با حلقه دره، شیب سطح لندفیل کمتر از ۵ درصد، مواد آلی زباله شهری‌حدود ۷۱/۵۶ درصد، متوسط سرانه پسماند g/day ۶۹۹، رطوبت پسماند ۵۸ درصد، چگالی پسماند kg/m^3 ۵۵۰ و میزان مواد تراکم پذیر ۹۰/۵ درصد است (۱۸) .

_ *مدل HELP*

مدل HELP یک مدل شبه دو بعدی است که جریان یک بعدی در خاک محصور شده و لایه‌های پسماند را شبیه‌سازی می‌کند و جریان دو بعدی را در لایه زهکشی شبیه‌سازی می‌کند این یک روش سریع و مقرون به صرفه برای مدلسازی تعادل آب درون لندفیل است و از ترکیبی از مدلسازی تجربی و عددی برای تخمین ورودی‌های رطوبت، انتقال رطوبت به داخل و خارج از لندفیل استفاده می‌کند. مقطع عمودی لندفیل در پرونده ورودی خصوصیات خاک به عنوان لایه‌هایی تعریف شده است که در یکی از چهار نوع لایه از پیش تعریف شده در مدل طبقه‌بندی شده‌اند. این مدل برای داده‌های ورودی نیازمند داده‌های هواشناسی، خصوصیات هیدرولوژیکی خاک و داده‌های طراحی محل لندفیل است. این مقادیر برای مکان‌های خاصی در ایالات متحده آمریکا در مدل گنجانده شده است. براساس مقادیر انتخاب شده، مدل HELP پس از آن میزان تراز آب روزانه را براساس طراحی لندفیل مشخص شده در آن شرایط محیطی محاسبه می‌کند نسخه ۳/۰۷ نرم‌افزار تحت Dos است به همین جهت بدون محیط Dos، قابلیت اجرا در ویندوزهای ۷، ۸ و ۱۰ را ندارد (۷، ۱۹-۲۱). اساس مدل HELP، در نظر گرفتن یک بیلان آبی است که برای این منظور داده‌های ورودی هواشناسی که شامل بارش،

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-11-21]

دما، تابش خورشیدی و تبخیرتعرق بوده و سایر داده‌ها شامل داده‌های خاک و طراحی است مورد نیاز است با استفاده از این داده‌ها، تخمین میزان تولید روزانه، ماهانه و سالانه شیرابه در لندفیل‌های باز، نیمه‌باز و بسته صورت می‌گیرد. نحوه وارد کردن این داده‌ها بصورت اتوماتیک (فایل Notepad از پیش ساخته شده) و دستی (وارد کردن هریک از داده‌ها به مدل) است. پیشنهاد می‌شود هر یک از داده‌ها بصورت دستی به مدل معرفی شود تا از بروز خطاهای احتمالی در خروجی مدل جلوگیری شود.

_ اطلاعات هواشناسی

اگر میزان بارش در محل دفن زیاد باشد شیرابه تولید شده نیز تابعی از بارش بوده و مقدار تولید شیرابه بیشتر خواهد بود (۲۲). همچنین دما و تابش خورشیدی منطقه، از عوامل مهم تاثیرگذار بر تبخیر و تعرق است. اگر لندفیل منطقه مورد مطالعه بیش از ۱۶۰ km از شهرهای موجود در مدل فاصله داشته باشد و یا اختلاف ارتفاع بین لندفیل مورد مطالعه و شهرهای موجود در مدل بیش از ۱۵۲ m باشد. باید اطلاعات منطقه مورد مطالعه به مدل وارد شود. زیرا ممکن است هیچ یک از موقعیت‌های مکانی موجود در مدل که داده‌های هواشناسی برای آنها در دسترس است نماینده مناسبی برای لندفیل مورد مطالعه نباشد زیرا موقعیت هیچ یک از لندفیل‌های کشور به مدل معرفی نشده است. به همین جهت داده‌های روزانه بارندگی (mm)، دما ($^{\circ}C$) و تابش خورشیدی (Mj/m^2) سال‌های ۱۳۹۶-۱۳۹۸ ایستگاه سینوپتیک فرودگاه پیام استان البرز به مختصات طول جغرافیایی ۵۰° و ′۴۸ و ″۲۶ و عرض جغرافیایی ۳۵° و ′۴۶ و ″۳۶، ارتفاع از دریا ۱۲۷۸ m و فاصله از منطقه مورد پژوهش ۴ km اخذ و به مدل وارد شد. لازم به ذکر است داده‌های اخذ شده، بصورت روزانه بوده و نیازی به تبدیل، تحلیل و نرمال‌سازی ندارند.

_ اطلاعات تبخیر و تعرق

مدل HELP جهت محاسبه تبخیر و تعرق از روش اصلاح شده فائو-پنمن-مانتیث (FAO-Penman-Monteith) استفاده می‌کند که جهت تجزیه و تحلیل این پارامتر نیاز به داده‌های آب و هوایی، مشخصات خاک و طراحی است. پنج عامل عمق منطقه تبخیری، شاخص سطح برگ، زمان شروع و پایان فصل رشد، میانگین سرعت باد سالانه و میانگین رطوبت نسبی سه ماهه از مهمترین پارامترهای تاثیرگذار در تبخیر و تعرق است (۲۱). عمق منطقه تبخیری حداکثر عمقی است که از طریق آن آب با تبخیر و تعرق از سطح خاک خارج می‌شود. مقدار مشخص شده این مولفه مستقیما بر محاسبات تبخیر و تعرق و رواناب تاثیر می‌گذارد و مقدار آن بزرگتر از صفر است. درصورت وجود پوشش گیاهی در سطح، عمق ناحیه تبخیر حداقل باید با عمق متوسط نفوذ ریشه برابر باشد بنابراین با تعیین عمق تبخیر برابر با میانگین عمق ریشه، منجر به تخمین پایین "تعرق" و تخمین بالا از زهکش از طریق ناحیه "تبخیر" می‌شود. این عمق تابعی از نوع خاک و جریان گرما در سطح پوشش سلول است. این عمق در خاک شنی حدود ۱۰ cm تا ۲۰ cm، در خاک سیلتی ۲۰ cm تا ۴۵ cm و در خاک رسی ۳۰ cm تا ۱۵۲ cm است (۱۸، ۲۱).

به نسبت سطح برگ گیاه به زمینی که توسط آن اشغال شده است حداکثر شاخص سطح برگ (Leaf Area Index) که به اختصار LAI گفته می‌شود (۲۳). حداکثر شاخص سطح برگ برای زمین بایر صفر، سطح با پوشش ضعیف حدود یک، سطح با پوشش استاندارد دو، سطح با پوشش خوب سه و نیم، سطح با پوشش عالی پنج، و برای سطح با بوته‌زار متراکم عددی نزدیک پنج است. از آنجایی‌که بیشتر لندفیل‌ها در سراسر دنیا یا فاقد پوشش گیاهی در سطح هستند یا اغلب پوشش ضعیف دارند بنابراین می‌توان گفت لندفیل‌ها به‌عنوان سیستم‌های پشتیبان ایده‌آل پوشش گیاهی عمل نکرده و برای رشد گیاهی طراحی نشده‌اند (۱۵، ۱۸، ۲۳). در منطقه مورد مطالعه این پژوهش، سطح لندفیل فعال عاری از هرگونه گیاه بوده و مقدار عددی آن (LAI) در مدل صفر در نظر گرفته شد.

زمان شروع و پایان فصل رشد مبتنی بر میانگین دمای روزانه و گونه‌های گیاهی است. فصل رشد عملا زمانی به پایان می‌رسد که میانگین دمای متوسط روزانه زیر ۱۰ تا

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-11-21]

$^{\circ}C$ ۱۲ قرار بگیرد. به همین جهت برای آغاز و پایان فصل رشد (به ترتیب روز میلادی)، متوسط سرعت باد سالانه در منطقه مورد مطالعه (km/h) و همچنین رطوبت نسبی سه ماهه اول، دوم، سوم و چهارم از داده‌های ایستگاه سینوپیک پیام استفاده شد. اطلاعات کلی تبخیر و تعرق ورودی در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- اطلاعات پارامترهای ورودی تبخیر و تعرق به مدل HELP

پارامترهای ورودی	مقدار
عرض جغرافیایی	۳۵/٦
عمق منطقه تبخیری (cm)	۵۰
حدکثر شخص سطح برگ	صفر
آغاز و پایان فصل رشد (روز)	۲۹۰-۱۱۵
متوسط سرعت باد منطقه (kph)	۱۲/۲
رطوبت سه ماهه اول، دوم، سوم و چهارم (درصد)	٥٩-٤٣-٤١-٥٤

_ الزامات خاک

در مدل HELP، ۴۲ نوع بافت خاک وجود دارد. که براساس سیستم طبقه بندی سازمان کشاورزی آمریکا (USDA) و سیستم طبقه بندی متحد (USCS) طبقه‌بندی شده است و برای خاک‌های سطحی پوششی و کشاورزی استفاده می‌شود (۱۹، ۲۱). بافت خاک شماره ۱-۱۵ در زمره خاک‌های ماسه‌ای، رسی و لای تعریف شده است که برای لایه پوششی و زهکش جانبی در لندفیل بکار گرفته می‌شود. شماره خاک ۱۶ و ۱۷ در مدل به‌عنوان خاک مانع تعریف شده که نماینده خاک رس فشره شده و خوب دانه‌بندی شده است. شماره خاک ۱۸ نماینده پسماند شهری و شماره ۱۹ نیز نماینده پسماند شهری است با این تفاوت که این پسماند (شماره ۱۹) مربوط به لندفیل مسن است و عملا ۳۵ درصد پسماند آن در تولید شیرابه نقش دارد. خاک شماره ۲۰ و ۲۱ به‌عنوان زهکش و همانند بافت شماره ۱-۱۵ که می‌تواند به‌عنوان

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-11-21]

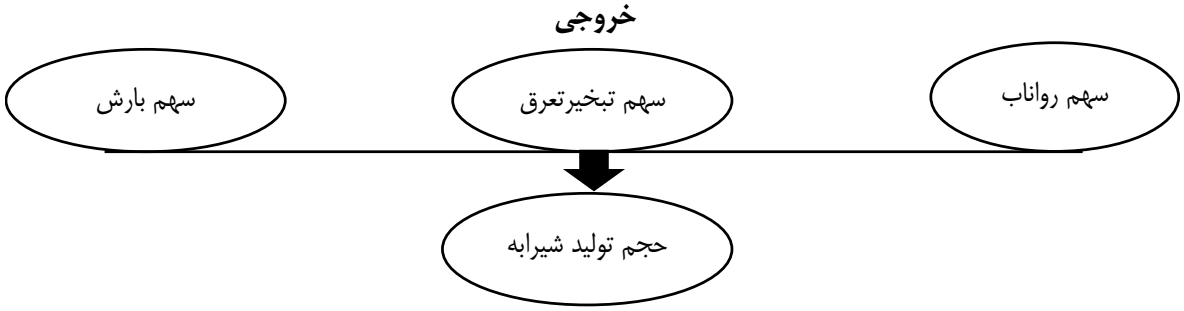
زهکش باشد، است. خاک شماره ۲۲-۲۹ نیز خاک‌های فشرده شده است. با انتخاب هر یک از بافت‌های موجود در مدل، به‌صورت اتوماتیک مولفه‌های تخلخل، ظرفیت زراعی، نقطه پژمردگی و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک که به‌صورت پیش فرض در مدل ذخیره شده است، نمایش داده می‌شود. با توجه به آزمایش مکانیک خاک صورت گرفته در لندفیل حلقه‌دره مقادیر مولفه‌های تخلخل، ظرفیت زراعی، نقطه پژمردگی و هدایت هیدرولیکی موجود در مدل با نوع خاک استفاده شده در لندفیل حلقه‌دره، کاملا یکسان و قابل اعتماد است. با اندازه‌گیری محتوی رطوبت اولیه سطح خاک در دو فصل تابستان و زمستان، رطوبت حجمی خاک (برحسب درصد) بطور متوسط ۲۰ درصد تعیین و به مـــدل وارد شد.

- الزامات طراحی

مدل HELP می‌تواند برای لندفیلی با ۲۰ لایه مختلف مورد استفاده قرار گیرد. اما محدودیت‌هایی در ترتیب قرارگیری چهار نوع لایه نفوذ عمودی (لایه شماره یک)، زهکش جانبی (لایه شماره دو)، لاینر سد خاک (لایه شماره سه) و ژئوممبران (لایه شماره چهار) دارد. لایه شماره یک نفوذپذیری بالایی دارد و جریان در آن به طرف پایین (جاذبه) و به طرف بالا (تبخیر) است به همین جهت این لایه، لایه تامین رطوبت است پوشش فوقانی و لایه پسماند اختصاصا در لایه شماره یک دسته بندی می‌شوند. به‌طور کلی میزان نفوذ در مدل، توسط معادله دارسی (Darcian Equation) تعیین می‌شود. مدل، هدایت هیدرولیکی اشباع پوشش سطحی را به دلیل نفوذ ریشه، برای نیمه بالایی سطح پوشش تعیین می‌کند. این پارامتر در یک ضریب تجربی ضرب می‌شود این ضریب به وسیله حداکثر شاخص سطح برگ تعیین می‌شود. این مقدار برای زمین بایر صفر، سطح با پوشش ضعیف حدود یک، سطح با پوشش استاندارد دو، سطح با پوشش خوب سه و نیم، سطح با پوشش عالی پنج و برای سطح با بوته‌زار متراکم عددی نزدیک پنج است. لایه شماره دو روی مرزها قرار می‌گیرد. تا شیرابه نفوذ یافته پوشش فوقانی را به سمت سیستم جمع‌آوری هدایت کند. شیب زهکش تعیین شده برای این لایه با شیب سطح مرزبندی لایه پایین می‌بایست یکی باشد (صفر-۵۰ درصد) به همین جهت یک لایه زهکش جانبی که با معادله بوسینسک (Boussinesq Equation) تعیین می‌شود روی لایه نفوذ عمودی قرار نمی‌گیرد. لایه شماره سه، با هدف کاهش شیرابه نفوذ یافته زهکش قائم در طراحی بکار می‌رود به همین جهت تبخیر و زهکشی در این لایه وجود نداشته و فقط جریان قائم در آن امکان‌پذیر است. لایه شماره ۴ اختصاصا ژئوممبران است که جهت کاهش نفوذ قائم لایه‌های فوقانی بکار گرفته می‌شود. مشخصات طراحی شامل مواردی همچون شیب سطحی، حداکثر فاصله لایه‌های زهکش جانبی، ضخامت لایه، بازچرخش شیرابه، مشخص کردن لایه‌ای برای دریافت شیرابه بازچرخش شده از لایه زهکش (فقط لایه سطحی)، میزان نفوذ آب زیرزمینی به لایه‌های تحتانی، مشخصات ژئوممبران و ویژگی‌های سطح است (۲۱، ۲۴) در لندفیل حلقه‌دره ژئوممبران استفاده نشده است منطقه دشتی بوده و همواره پتانسیل رواناب در فصل زمستان بالا است. سه روش برای تعیین شماره منحنی رواناب در مدل وجود دارد: ۱) تعیین منحنی رواناب که توسط کاربر به نرم افزار وارد می‌شود و داده‌های پیش فرض منحنی رواناب در نرم افزار استفاده می‌شود، ۲) اصـــلاح و بهبود برآوردهای منحنی رواناب پیـــش فـــرض تـــوســـط کاربـــر براساس شـــیب و طـــول شـــیـــب و ۳) برآورد منحنی رواناب توســـط مدل براساس شیب، طـــول شـــیـــب، بافـــت خاک و کمیت پوشش گیاهی. در مدلسازی منحـــنی رواناب از مدل سرویس حفاظت خاک (Soil Conservation Service) و مـــقـــدار نـــفـــوذ با مـــعـــادلـــه دارســـی استفـــاده می‌شود. میـــزان نفـــوذ پـــذیـــری بعـــنوان تابعی از نوع خاک محاسبه می‌شود. با توجه به آزمـــایش مـــکانیـــک خـــاک، خاک استفاده شده در لندفیل حـــلقـــه‌دره ترکیبی از رس، سیلـــت و لای اســـت. در شکل ۱ فلوچارت اطـــلاعـــات ورودی به مـــدل HELP آورده شـــده اســـت.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-11-21]

داده های ورودی					
داده های هواشناسی		داده های خاک		داده های طراحی	
بارش روزانه سه ساله	دما روزانه سه ساله	مساحت(هکتار)	۱۵	طول زهکش به ترتیب لایه ها(متر)	
		منطقه مستعد رواناب(٪)	۸۰	۲۴۰-۲۰۰-۲۰۰-۲۰۰-۲۰۰-۲۴۰	
تابش روزانه سه ساله	تبخیر و تعرق	نوع لایه و ضخامت آن(cm)		شیب زهکش به ترتیب لایه ها(٪)	
		(۳،۲۵)،(۲،۲۰)،(۱،۸۰۰)،(۳،۸۰۰)،(۱،۸۰۰)،(۱،۵۵)		۰-۱-۰-۱-۱-۲	
		شماره بافت لایه ۱۶-۸-۱۸-۸-۱۸-۱۱		شیرابه باز چرخش شده(٪)	۳
عرض جغرافیایی	۳۵/۶	تخلخل کل به ترتیب لایه ها (vol/vol)		لایه دریافت کننده شیرابه بازچرخش	۱
عمق تبخیر(cm)	۹۰	۰/۰-۰/۴۶۳-۰/۶۷۱-۰/۴۶۳-۰/۶۷۱-۴۲۷/۴۶۳		نفوذ آب زیر زمینی به لایه(MM/YR)	۰
شاخص سطح برگ	۱	ظرفیت زراعی به ترتیب لایه ها (vol/vol)		ژئوممبران	فاقد ژئوممبران
شروع فصل رشد(روز)	۱۱۵	۰/۰-۰/۳۱-۰/۲۹۲-۰/۲۳۲-۰/۲۹۲-۰/۴۱۸		Runoff curve number	
پایان فصل رشد(روز)	۲۹۰	نقطه پژمردگی به ترتیب لایه ها (vol/vol)		شیب سطح سلول دفن(٪)	۳
متوسط سرعت باد(km/h)	۱۲/۲	۰/۰-۰/۱۸۷-۰/۷۷-۰/۱۶۶-۰/۷۷-۰/۳۶۷		طول شیب سطح(متر)	۴۸۰
متوسط رطوبت فصل ها(٪)		رطوبت هر لایه(٪)		شماره بافت خاک	۱۱
۵۳-۴۱-۴۳-۵۹		۱۸/۱-۵۸/۰-۱۲/۰-۵۸/۰-۲/۰-۰/۰		نوع پوشش گیاهی	۱



شکل ۱- اطلاعات ورودی به مدل HELP

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-11-21]

_ صحت‌سنجی خروجی مدل با برداشت مقدار واقعی

جهت صحت‌سنجی خروجی مدل، اندازه‌گیری مقدار واقعی شیرابه تولیدی در منطقه مورد مطالعه به‌صورت مستمر در ماه‌های آذر، دی، بهمن، اسفند (سال ۱۳۹۸)، فروردین، اردیبهشت، خرداد، تیر، مرداد و شهریور (سال ۱۳۹۹) برداشت شد. در کف سلول فعال براساس تحقیقات میدانی شیب زیادی وجود دارد شیرابه تولیدی از سلول فعال با توجه به شیب پلکانی منطقه به سمت حوضچه‌ها، به طرف اولین حوضچه هدایت می‌شود و انتظار این است که اکثر شیرابه به این حوضچه وارد و پس از پر شدن حوضچه اول، به سمت سایر حوضچه‌ها که در راستای یکدیگر قرار دارند هدایت می‌شود. اندازه‌گیری مقدار واقعی شیرابه تولید شده با سطل استاندارد با حجم مشخص در زیر اولین لوله ورودی به حوضچه شیرابه قرار داده شد و مدت زمان پر شدن سطل ثبت گردید و مقدار تولید روزانه شیرابه اندازه‌گیری شد که در این روش جهت اطمینان از مقدار حجم شیرابه تولیدی، پنج روز در ماه و در هر نوبت ۲۲ بار که ۱۱ بار قبل از ظهر و ۱۱ بار بعد از ظهر اندازه‌گیری صورت گرفت. که جهت مقایسه عملکرد نتایج مدل با مقدار واقعی از توابع ارزیابی خطا (معادلات ۱-۳) که شامل شاخص‌های کمی ضریب همبستگی (R)، مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین قدر مطلق درصد خطا (MAPE) استفاده شد تا از عملکرد مدل اطمینان حاصل شود.

$$R = \frac{\sum(y_{act}-\bar{y}_{act})(y_{est}-\bar{y}_{est})}{\sqrt{\sum(y_{act}-\bar{y}_{act})^2\sum(y_{est}-\bar{y}_{est})^2}} \quad (۱)$$

که در آن: y_{act} : مقدار واقعی، y_{est}: مقدار برآورد شده

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^{n}\left|\frac{A_t - F_t}{A_t}\right|}{n} \times 100 \quad (۲)$$

که در آن: Ft: مقدار برآورد شده، At: مقدار واقعی، n: تعداد داده‌ها

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^{n}(A_t - F_t)^2}{n}} \quad (۳)$$

_ آنالیز حساسیت

آنالیز حساسیت، مطالعه چگونگی تاثیر تغییرات در ورودی‌های یک مدل به صورت کمی یا کیفی در تغییرات خروجی مدل است. روش مورد استفاده در این پژوهش روش هوک-جیوز (Hooke-Jeeves Method) است. در این روش برای تمام فاکتورها یک دامنه ۱۰ درصدی تغییر (در جهت کاهشی) تعریف شد و در هر بار تغییر یک فاکتور ورودی و ثابت نگهداشتن سایر پارامترها در مقادیر تخمینی، خروجی در ازای هر تغییر محاسبه شد که در نهایت با رسم گراف برحسب هر فاکتور، نوع و میزان تاثیر آن فاکتور بر تابع هدف (متوسط خروجی شیرابه) مشخص شد.

یافته‌ها

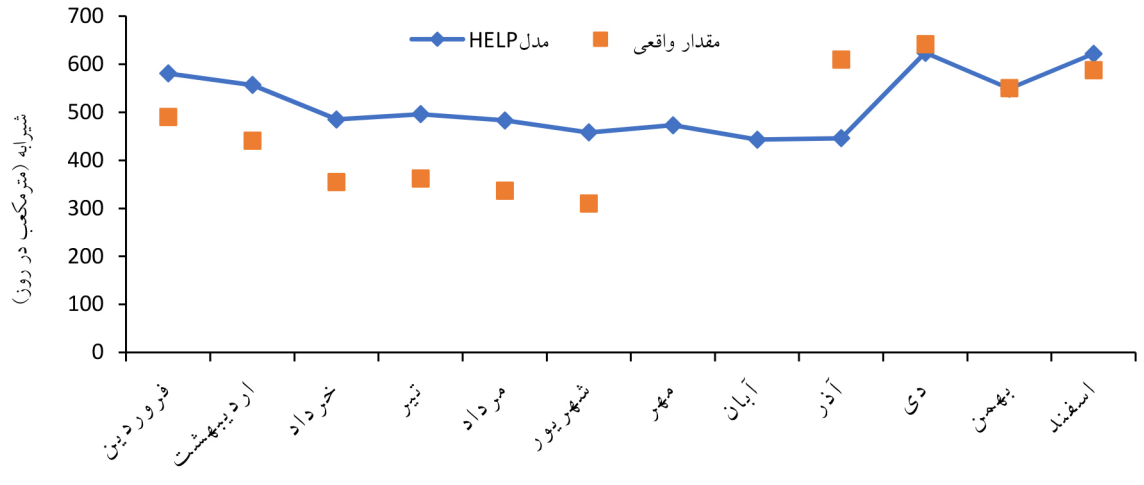
خروجی مدل HELP در جدول ۲ آورده شده است. متوسط تولید روزانه به‌جای سالانه برای مشخص شدن نوسانات الگوی تولید در دو نیم سال برای اقدامات مدیریتی و طراحی سامانه تصفیه شیرابه انجام گرفت که نتایج مدلسازی روزانه تولید شیرابه در نمودار ۱، خروجی اجزای بیلان آب در نمودار ۲ و نتایج آنالیز حساسیت در نمودار ۳ آورده شده است. نمودارها برحسب m^3/day در واحد سطح سلول دفن فعال ۱۵ هکتاری هستند. مطابق نمودار ۱ که متوسط تولید شیرابه روزانه در ماه را نشان می‌دهد. بیشترین اختلاف مدلسازی نسبت به مقدار واقعی مربوط به ماه آذر است این اختلاف می‌تواند ناشی از بارش ناگهانی باشد. زیرا مطابق نمودار ۲ بیشترین رواناب مولد از بارش در ماه آذر را نشان می‌دهد که بیانگر ارتباط مستقیم بین بارش و شیرابه نفوذ یافته به زیر سلول فعال است با مقایسه مدلسازی نیمه اول سال و اجزای تعادل آب در نمودار ۱ مقدار واقعی، الگوی تولید شیرابه مدلسازی شده و مقدار واقعی مثبت است. این نشان می‌دهد میان بارش و شیرابه نفوذ یافته به زیر سلول فعال رابطه مستقیم وجود دارد. براساس مدلسازی و ارتباط بین نمودار ۱ و ۲ بخشی از میزان بارش نشت یافته در داخل لندفیل باقیمانده و از آن خارج نشده است. لذا می‌توان گفت میزان شیرابه تولیدی علاوه بر بارش، از محتوای رطوبت داخل لندفیل که از مدت‌ها

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-11-21]

قبـل در آن نفـوذ کـرده و هنـوز خـارج نشـده اسـت، تاثیـر می‌پذیـرد. در نگاه کلی بدون در نظر گرفتن نتایج توابع ارزیابی خطا (جدول ۳) با مقایسه مدلسازی و مقدار برداشت شده، مدل توانسته مقدار تولید شیرابه و همچنین روند تولید را در لندفیل حلقه‌دره به خوبی برآورد کند. این موضوع مرتبط با تناسب کنش متقابل اجزای بیلان آب در نمودار ۲ است. به نحوی که همبستگی مثبت بین اجزای بیلان آب در نیمه اول سال نسبت به نیمه دوم سال بیشتر به چشم می‌خورد. به‌طوری‌که مشاهده می‌شود جریان رواناب نیز از مقادیر بارندگی تبعیت می‌کند. این موضوع در نیمه دوم سال که بیشترین بارندگی اتفاق افتاده، میزان رواناب نیز بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده است.

جدول ۲- متوسط خروجی روزانه هر یک از مهمترین پارامترهای اجزای بیلان آب و مقدار واقعی (m^3/day)

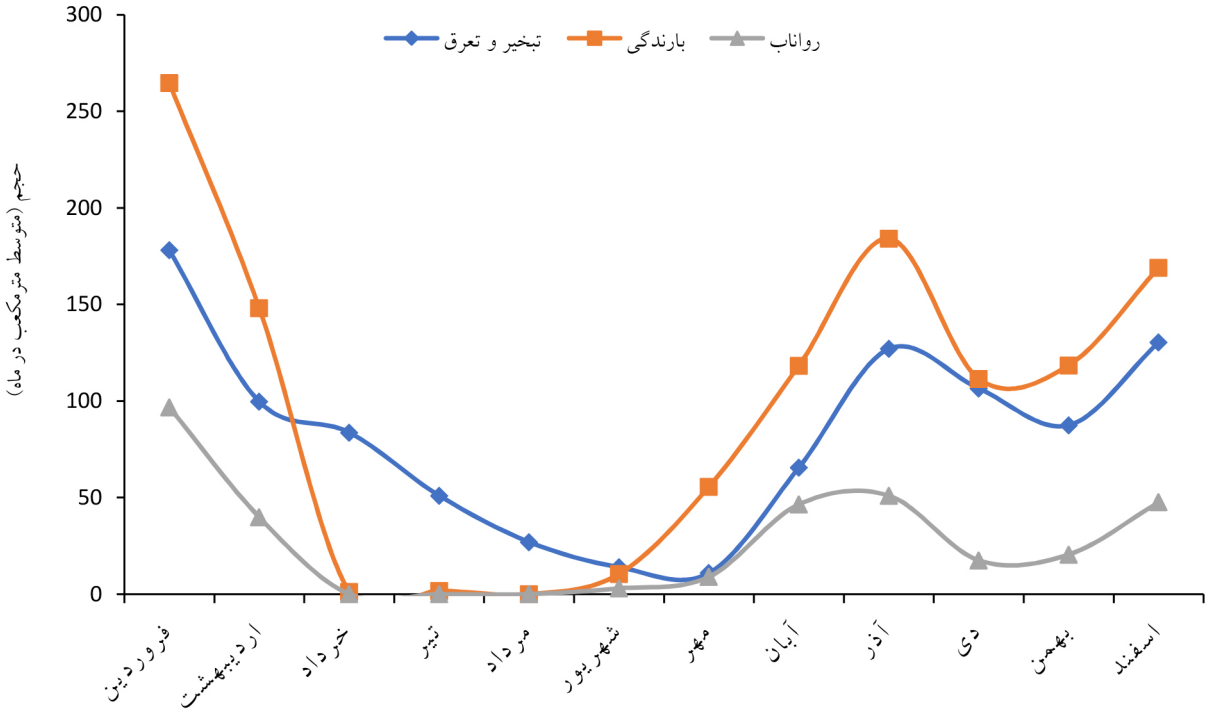
پارامتر / زمان (ماه)	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
خروجی مدل	۵۸۱	۵۵۷	۴۸۵	۴۹۶	۴۸۳	۴۵۸	۴۷۳	۴۴۳	۴۴۶	۶۲۴	۵۴۹	۶۲۲
شیرابه برداشت شده	۴۹۰	۴۴۱	۳۵۵	۳۶۲	۳۳۷	۳۱۰	–	–	۶۱۰	۶۴۲	۵۵۰	۵۸۸
رواناب سطحی	۹۷	۴۰	۰	۰	۰	۳	۹	۴۷	۵۱	۱۸	۲۱	۴۸
تبخیرتعرق	۱۷۸	۱۰۰	۸۴	۷۹	۰	۸	۱۱	۶۶	۱۲۷	۱۰۷	۸۸	۱۳۰



نمودار ۱- متوسط روند تولید شیرابه روزانه و مقایسه آن با داده‌های برداشت شده (m^3/day)

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-11-21]

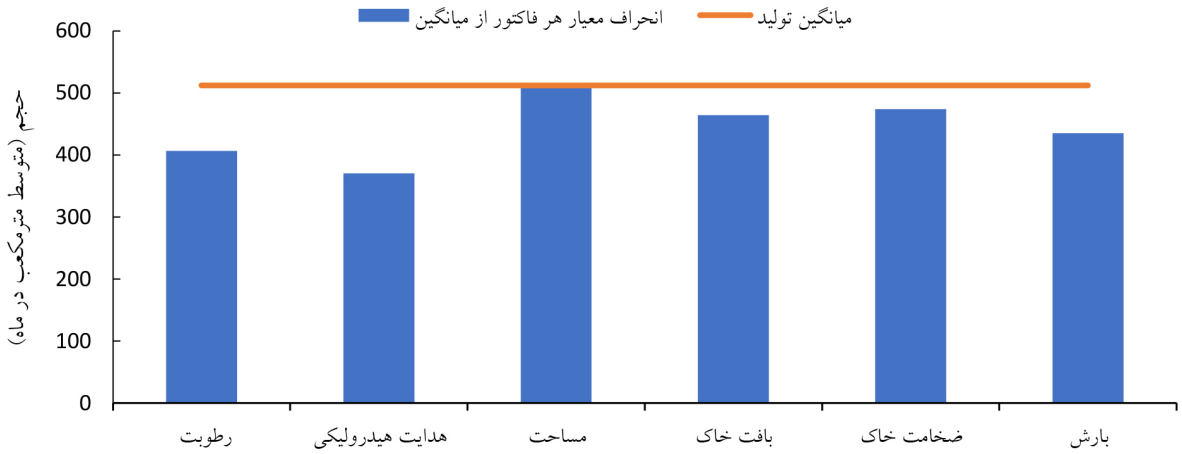
با توجه به نمودار ۲ که اجزای بیلان آب را نشان می‌دهد. شدت بارندگی در نیمه دوم سال بیشتر از ظرفیت نفوذ خاک است که در سطح سلول فعال وارد شده است که این امر سبب ایجاد رواناب در ماه‌های متفاوت در منطقه مورد مطالعه شده است. اما این پدیده در نیمه اول ناچیز است به‌طوری‌که اثر این موضوع در میزان شیرابه تولیدی در مدت مشابه (نمودار ۱) کاملا مشهود است. حجم بارش کم در نیمه اول سال سبب کاهش رواناب و تبخیر تعرق شده است که باعث شده رطوبت حاصل از باران به درون و کف لندفیل هدایت نشود به همین جهت این رطوبت در لایه فوقانی باقیمانده و مقدار آن از طریق رواناب و تبخیرتعرق کاهش یافته است. از طرفی دیگر تراکم نسبی زهکشی و طول زهکش در سطح سلول فعال توانسته در محاسبه رواناب ناشی از بارندگی اثر بگذارد. زیرا افزایش تراکم زهکشی، سطح انتقال و نفوذ رواناب را بیشتر کرده است و پتانسیل تولید رواناب نفوذی مؤثر در تولید شیرابه را افزایش داده است. با افزایش بارش و دما تبخیر از سطح نیز افزایش یافته و در جایی‌که کمبود بارش و درعین حال افزایش دما رخ داده است تبخیر از سطح فقط از مقدار رطوبتی خاک صورت گرفته شده است این موضوع در ماه‌های خرداد تا شهریور کاملا مشهود است. در نمودار ۳ مهمترین عوامل تاثیرگذار در روند تولید شیرابه را نشان می‌دهد. که به ترتیب هدایت هیدرولیکی، رطوبت همراه پسماند، بارش بیشترین و مساحت سطح سلول فعال کمترین نقش در شیرابه‌زایی را دارد. با توجه به اقلیم و هیدرولوژی منطقه بارش، رطوبت لایه فوقانی را تغییر داده که احتمال می‌رود پس از اشباع شدن، رطوبت مازاد به درون سلول فعال نفوذ و به شیرابه تبدیل شده باشد.



نمودار ۲- روند ماهانه اجزای بیلان آب مدل HELP (m^3/day)

سلامت و محیط زیست دوره چهاردهم/ شماره دوم/ تابستان ۱۴۰۰
فصلنامه علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایران
ijhe.tums.ac.ir

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-11-21]



نمودار ۳- آنالیز حساسیت هر فاکتور و انحراف معیار هر فاکتور از میانگین تولید

جدول ۳- نتایج توابع ارزیابی خطا

مدل	توابع ارزیابی		
	R	RMSE	MAPE
HELP	۰/۶۰ درصد	±۲۲/۱۳۳ (m^3/day)	۲٤/۵ درصد

با توجه به نتایج توابع ارزیابی خطا ضریب همبستگی(R) که بیان‌کننده میزان همبستگی بین نتایج برآورد شده مدل و داده‌های برداشت شده است ۶۰ درصد تعیین شد که نشان‌دهنده دقت نسبتا قابل قبول مدل در تخمین شیرابه است همچنین مجذور ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) که بیانگر میزان خطای مدل برحسب واحد مقادیر داده است که بهترین مقدار آن مقدار صفر است در حقیقت هر چه مقدار این پارامتر کمتر باشد نشان‌دهنده دقت بالای مدلسازی و خطای کمتر برحسب واحد داده است و میانگین قدر مطلق درصد خطا (MAPA)، که این پارامتر مقدار درصد خطای مدل و مقدار واقعی را بیان می‌کند به ترتیب ۱۳۳/۲۲ m^3 و ۲۴/۵ درصد تعیین شد. مقدار RMSE بدین معناست که از ۴۶۸/۵ m^3 متوسط تولید ماهانه شیرابه در واقعیت، مدل HELP با ۱۳۳±/۲۲ m^3 اختلاف مدلسازی را انجام داده است. همچنین مقدار انحراف معیار خطای مدل در مقایسه با مقدار واقعی تولید، ۲۴/۵ درصد محاسبه شد که نشان از خطای قابل قبول مدل در برآورد شیرابه است.

بحث

امروزه علی رغم تلاش‌ها برای کاهش دفن پسماند، هنوز بخش بزرگی از پسماند در ایران در مراکز دفن (Landfill)، دفن می‌شود. به‌دلیل فعل و انفعالات درون لندفیل و تجزیه میکروبی حجم بالایی از شیرابه تولید می‌شود که باعث آلودگی آب‌های زیرزمینی می‌شود در این پژوهش جهت برآورد شیرابه

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-11-21]

تولید شده لندفیل حلقه‌دره کرج برای طراحی سامانه تصفیه خانه شیرابه از مدل HELP استفاده شد. با توجه به یافته‌ها و نمودار ۱ ملاحظه شد که مدل، برای نیمه دوم سال، روند تولید همسوی نسبت به مقدار واقعی پیش‌بینی کرده است. اما در ماه آذر اختلاف در مدلسازی بطور متوسط به ۱۶۴ m^3/day می‌رسد. احتمال می‌رود بارش ناگهانی باعث افزایش مقدار شیرابه ورودی به حوضچه‌های جمع‌آوری شیرابه شده باشد به‌طوری که بازه این اختلاف در سایر ماه‌های سال مشاهده نمی‌شود این روند با مدلسازی بسیاری از مطالعات منطبق است. مقایسه نتایج مطالعه Khire و همکاران (۲۰) با مقدار واقعی برای سه لندفیل اقلیم مرطوب، خشک و نیمه‌خشک نشان داد الگوی تولید شیرابه در برخی ماه‌های پربارش روند تولید دارای اختلاف معنی‌داری با مقدار واقعی تولید شیرابه ماهانه شبیه‌سازی شده دارد همچنین رواناب و نفوذ شیرابه به طور قابل توجهی با مقدار بالا برای منطقه خشک و برای منطقه مرطوب بسیار کم پیش‌بینی شده است. در نگاه کلی با مشاهده الگوی تولید شیرابه در نیمه دوم سال نسبت به نیمه اول سال الگوی تولید تداعی کننده مقدار واقعی است. با این حال نباید انتظار داشت مدل، مقدار دقیق شیرابه را پیش‌بینی کند چرا که این مدل بسته به فاز عملیاتی بودن و بسته بودن لندفیل، سناریو متفاوت‌تری در روند تولید اتخاذ می‌کند. زیرا با اجرای مدل در دو فاز عملیاتی و پس از بسته شدن لندفیل مورد پژوهش اختلاف معنی‌داری با مقدار واقعی به‌دست آمد که مطابق یافته‌های Ghiasinejad و همکاران (۱۵) است. با توجه به یافته‌ها و نمودار ۲ هر سه پارامتر موثر در تولید شیرابه با یک دیگر دارای همبستگی مثبت هستند. اختلاف بارندگی و تبخیر و تعرق، رواناب تشکیل شده را شامل شده است با توجه به بافت سیلتی سطح سلول فعال و میزان متوسط سالانه رواناب نفوذی که ۲۷/۴۵ m^3 برآورد شده معادل ۵/۵ درصد شیرابه است می‌توان دریافت که سطح سلول فعال از نرخ نفوذپذیری و توانایی انتقال آب کمی برخوردار است این پدیده کاملا منطبق با معیار طبقه‌بندی گروه‌های هیدرولوژیکی خاک (D،C،B،A) است. این موضوع به‌نوعی یک مزیت مناسب برای سطح سلول فعال و در مجموع کاهش تولید شیرابه از لندفیل بشمار می‌رود.

با توجه به اقیلم نیمه‌خشک منطقه مورد پژوهش و نمودارهای ۲ و ۳، می‌توان نتیجه گرفت مشخصات هیدرولوژیکی منطقه یکی از عوامل تاثیرگذار در میزان تولید شیرابه در مراکز دفن است که از میزان متوسط ۵۱۱/۶۷ m^3 شیرابه ماهانه‌ای که پیش‌بینی شده است، و از کل مقدار بارندگی (mm ۲۳۴/۲ متوسط سه ساله معادل ۹۶/۲ m^3 در سطح سلول ۱۵ هکتاری) و رطوبت خاک (۲۰درصد رطوبت حجمی) m^3 ۸۱/۴۵ تبخیر و تعرق صورت گرفته است که معادل ۱۵/۹ درصد شیرابه مدلسازی شده است که با تبخیر از سطح عملا نقشی در تولید شیرابه نداشته است به همین جهت فاکتور سطح لندفیل که دریافت کننده تابش خورشیدی است به سرعت بر میزان تبخیر تعرق سایت اثر گذاشته است که منطبق با یافته‌های Scanlon و همکاران (۲۵) است به نحوی که آنها مقایسه نتایج شبیه‌سازی هفت مدل (HELP تنها مدل مبتنی بر تکنیک موازنه آب و سایر مدل‌ها مبتنی بر معادله ریچاردز) را با مقدار واقعی در لندفیل مهندسی شده در بیابان‌های نیمه‌خشک تگزاس و سرد آیداهو مقایسه کردند در سایت نیمه‌خشک تگزاس تبخیر تعرق ۳۴ درصد شیرابه شبیه‌سازی شده بود که با شیبه‌سازی نیمه اول سال این پژوهش همسو است. با توجه به نمودار ۳ که نتایج تحلیل حساسیت را نشان می‌دهد بیشترین پارامتر اثرگذار در تولید شیرابه به ترتیب هدایت هیدرولیکی، رطوبت پسماند و بارش است. این پارامترها رابطه مستقیمی با تولید شیرابه دارند. مهمترین مولفه در هدایت اشباع هیدرولیکی قطر ذارت است که به درصد سیلت و رس بستگی دارد که شیب سطحی طولانی منجر به هدایت هیدرولیکی بالا و حساس‌ترین پارمتر مطابق نمودار ۳ شده است. که با یافته Babu (۲۶) تفاوت دارد در نتایج Babu تبخیر تعرق و رواناب نفوذ یافته به‌ترتیب از مهمترین عوامل مهم در تولید شیرابه گزارش شد. همچنین نتایج مطالعه Al-Fatlawi (۲۷) در لندفیل عراق تحت شرایط اقلیمی مشابه این تحقیق در نیمه اول سال، بارش مهمترین عامل در تولید شیرابه شناخته شد. همچنین در مطالعه‌ای مشابه که توسط Mollaei و همکاران (۱۸) اخیرا

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-11-21]

در لندفیل حلقه‌دره با روش موازنه آب به برآورد شیرابه پرداخته شده است شیرابه همراه پسماند، بازچرخش شیرابه و بارندگی مهمترین عوامل موثر در تولید شیرابه شناخته شد. می‌توان گفت روش موازنه آب جهت برآورد شیرابه به داده‌های کمتر نیاز دارد این داده‌ها به‌راحتی از محل دفن پسماند قابل برداشت هستند. تمامی محاسبات تحت شرایط لندفیل و اقلیم منطقه صورت می‌گیرد. درصورتی‌که مدل HELP از یک روش گسسته استفاده کرده و تعادل آب را به‌صورت لایه‌ای حساب می‌کند علاوه بر این، مدل HELP یک لندفیل را به‌طور کامل شبیه‌سازی می‌کند درحالی‌که بیشتر مدل‌های دیگر که در ارزیابی هیدرولوژیکی لندفیل مورد استفاده قرار می‌گیرند، مدل‌های مبتنی بر پایه آب-خاک هستند که تنها می‌توانند از طریق پوشش نهایی لندفیل، جریان آب را مدلسازی کنند. که یکی از برتری‌ها و قابل بودن نتایج مدل HELP نسبت به سایر مدل‌ها است. با توجه به نتایج توابع ارزیابی خطا در تحقیق حاضر این معیارها در مطالعه Beck-Broichsitter و همکاران (۲۸) که برای اثر بخشی سیستم‌های پوششی تحت شرایط آب و هوایی راستورف آلمان از طریق مدلسازی موازنه آب و HELP بود مورد استفاده قرار گرفته شده است نتایج در ابتدا نشان داد مدلسازی با خطای بالا صورت گرفته شده است. با اصلاح داده‌های تابش خورشیدی R^2 مدل HELP ۸۷ درصد و مدل موازنه آب تحت شرایط لندفیل ۹۵ درصد تعیین شد. در پژوهش حاضر، برای کاهش معیار خطا هیچ گونه اصلاحی بر روی داده‌های ورودی صورت نگرفت چون مدلسازی می‌بایست تحت شرایط اقلیمی لندفیل صورت گیرد. همچنین در مطالعه Mollaei و همکاران ضریب همبستگی (R) و ضریب تعیین (R^2) به ترتیب ۰/۹۶۶ و ۰/۹۳۳ و مجذور ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین قدر مطلق درصد خطا (MAPA) به ترتیب ۱۳۲۸/۲۷ و ۹/۱۷ درصد تعیین شد. همانطور که ذکر شد روش موازنه آب تحت شرایط لندفیل به برآورد شیرابه می‌پردازد اما در مدل HELP تمام شرایط در نظر گرفته می‌شود. همچنین در مطالعه Alslaibi و همکاران (۱۶) که از روش موازنه آب و روش HELP جهت تخمین نشت شیرابه به آب‌های زیرزمینی صورت گرفت نتایج نشان داد خطای بین دو روش و داده‌های اندازه گیری شده در واقعیت، ۲۹/۴۴ درصد برای موازنه آب و ۳۴/۴ درصد برای مدل HELP تعیین شد که علت همسو نبودن مقدار این پارامترها با پژوهش حاضر، اقلیم خشک و استفاده از پوشش شنی رسی در پوشش نهایی لندفیل دیر البلاه در نوار غزه است. با توجه به یافته‌ها، حجم تولید شیرابه، رطوبت پسماند و هیدرولوژی منطقه می‌توان گفت سلول دفن از استاندارد طراحی مناسبی برخوردار نیست زیرا با رطوبت ۵۸ درصدی پسماند و حجم روزانه ۱۲۰۰-۱۵۰۰ تنی، سلول دفن از ۳۵ درصد شیرابه تولید شده ممانعت هدایت به لایه‌های زیرین و اطراف به عمل آورده است. نبود لایه ژئوممبران بجای رس متراکم شده می‌تواند از دلایل این مهم باشد.

نتیجه‌گیری

با توجه به یافته‌ها، مدل روند تولید شیرابه را با دقت نسبتا قابل قبول ارائه کرد. R بیش از ۵۰ درصد و مقدار مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) کمتر از آستانه تعریف شده در اکثر مطالعات است بنابراین می‌توان نتیجه مدلسازی مدل HELP را رضایت بخش ارزیابی کرد. با وجود بارش به نسبت مناسب در محل پژوهش حاضر، میزان درصد سهم کل بارش در تولید شیرابه به نسبت رطوبت پسماند نبوده که دلیل آن متوسط دمای تقریبا بالا و تابش مستقیم خورشیدی بر سطح سلول فعال عاری از هر گونه پوشش گیاهی و محیا شدن شرایط تبخیر است. بنابراین با توجه به نتایج آنالیز حساسیت، مطالعات صورت گرفته قبلی و نتایج این پژوهش می‌توان گفت درصد رطوبت پسماند از مهمترین پارمترهای تولید شیرابه در لندفیل حلقه‌دره استان البرز است. به همین جهت پیشنهاد می‌شود پسماند قبل از دفن می‌تواند در سوله‌های حرارت‌دهی یا در فضای آزاد در معرض حرارت قرار گیرد تا از حجم تولیدی شیرابه قبل از دفن در لندفیل کاسته شود. مدل HELP، لندفیل‌های بدون پوشش و با پوشش نهایی را با سناریوهای متفاوتی شبیه‌سازی می‌کند با توجه به اینکه اکثر

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-11-21]

مطالعات صورت گرفته در ایران با این مدل، شبیه‌سازی برای لندفیل‌های با پوشش است و در عین حال در ایران که بخش بزرگی از لندفیل‌ها به صورت بدون پوشش هستند پیشنهاد می‌شود که مدل برای لندفیل‌های بدون پوشش بررسی شود و با نتایج این مطالعه مقایسه شود. نتایج این پژوهش می‌تواند در اقدامات مدیریتی شیرابه از جمله برنامه‌ریزی جهت احداث تصفیه‌خانه، بازچرخانی و تصفیه شیمیایی و بیولوژیکی و همچنین به جهت مشخص بودن نوسانات الگوی تولید متوسط ماهانه در دو نیم سال، برنامه‌ریزی جهت تبخیر شیرابه در حوضچه‌های تبخیر در دستور کار قرار گیرد.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل بخشی از پایان‌نامه با عنوان "مدلسازی تولید شیرابه با استفاده از برنامه HELP در لندفیل حلقه‌دره کرج" در مقطع کارشناسی ارشد در سال ۱۳۹۹ با حمایت شهرداری کرج و دانشگاه تهران است.

References

1. Chaerul M, Tanaka M, Shekdar AV. A system dynamics approach for hospital waste management. Waste Management. 2008;28(2):442-49.

2. Kontos TD, Komilis DP, Halvadakis CP. Siting MSW landfills with a spatial multiple criteria analysis methodology. Waste Management. 2005;25(8):818-32.

3. Hossain MS, Santhanam A, Nik Norulaini NA, Omar AK. Clinical solid waste management practices and its impact on human health and environment--A review. Waste Management. 2011;31(4):754-66.

4. Kwon H, Lee C-W, Jun B, Yun J, Weon S, Koopman B. Recycling waste oyster shells for eutrophication control. Resources Conservation and Recycling. 2004;41:75-82.

5. Bakshan A, Srour I, Chehab G, El-Fadel M. A field based methodology for estimating waste generation rates at various stages of construction projects. Resources, Conservation and Recycling. 2015;100(C):70-80.

6. Alavi Moghadam MR, Mokhtarani N, Mokhtarani B. Municipal solid waste management in Rasht City, Iran. Waste Management. 2009;29(1):485-89.

7. Piskin F, Demirer G. Performance evaluation of landfills with the HELP (hydrologic evaluation of landfill performance) model: Izmit case study. Environmental Geology. 2002;42:793-99.

8. Hubé D, Gourcy L, Gourry J-C, Guyonnet D. Investigations of natural attenuation in groundwater near a landfill and implications for landfill post-closure. Waste Management & Research. 2010;29(1):77-88.

9. Alslaibi TM, Mogheir YK, Afifi S. Assessment of groundwater quality due to municipal solid waste landfills leachate. Journal of Environmental Science and Technology. 2011:4;419-36.

10. Toufexi E, Tsarpali V, Efthimiou I, Vidali MS, Vlastos D, Dailianis S. Environmental and human risk assessment of landfill leachate: an integrated approach with the use of cytotoxic and genotoxic stress indices in mussel and human cells. Journal of Hazardous Materials. 2013;260:593-601.

11. Abiriga D, Vestgarden LS, Klempe H. Groundwater contamination from a municipal landfill: Effect of age, landfill closure, and season on groundwater chemistry. Science of the Total Environment. 2020;737:140307.

12. Chen G, Sun Y, Xu Z, Shan X, Chen Z. Assessment

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-11-21]

of Shallow Groundwater Contamination Resulting from a Municipal Solid Waste Landfill—A Case Study in Lianyungang, China. Water. 2019;11(12):2496.

13. Miao L, Yang G, Tao T, Peng Y. Recent advances in nitrogen removal from landfill leachate using biological treatments - A review. Journal of Environmental Management. 2019;235:178-85.

14. Pantini S, Verginelli I, Lombardi F. A new screening model for leachate production assessment at landfill sites. International Journal of Environmental Science and Technology. 2014;11(6):1503-16.

15. Ghiasinejad H, Ghasemi M, Pazoki M, Shariatmadari N. Prediction of landfill leachate quantity in arid and semiarid climate: a case study of Aradkouh, Tehran. International Journal of Environmental Science and Technology. 2021;18(3):589-600.

16. Alslaibi TM, Abustan I, Mogheir YK, Afifi S. Quantification of leachate discharged to groundwater using the water balance method and the Hydrologic Evaluation of Landfill Performance (HELP) model. Waste Management & Research. 2012;31(1):50-59.

17. Manandhar DR, Hogland W, Krishnamurthy V, Khanal SN. Estimation of leachate from a pilot scale lysimeter. Kathmandu University Journal of Science, Engineering and Technology. 2013;8(2):93-100.

18. Mollaei A, Rafiee R, Moienaddini M. Estimation of leachate generation using a water balance approach in Halghe-Dareh landfill. Journal of Natural Environment. 2021;74(1):153-65.

19. Chabuk A, Al-Ansari N, Ezz-Aldeen M, Laue J, Pusch R, Hussain HM, et al. Two Scenarios for Landfills Design in Special Conditions Using the HELP Model: A Case Study in Babylon Governorate, Iraq. Sustainability. 2018;10(1).

20. Khire Milind V, Benson Craig H, Bosscher Peter J. Water balance modeling of earthen final covers. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. 1997;123(8):744-54.

21. USEPA. The hydrologic evaluation of landfill performance (HELP) model. Washington DC: U.S. Environmental Protection Agency; 1994.

22. Bhatt AH, Karanjekar RV, Altouqi S, Sattler ML, Hossain MDS, Chen VP. Estimating landfill leachate BOD and COD based on rainfall, ambient temperature, and waste composition: Exploration of a MARS statistical approach. Environmental Technology & Innovation. 2017;8:1-16.

23. Chen JM, Black TA. Defining leaf area index for non-flat leaves. Plant, Cell & Environment. 1992;15(4):421-29.

24. Bauerle M. Adapting the Hydrologic Evaluation of Landfill Performance (H. E. L. P) model to the climatic and soil characteristics of Queensland [dissertation]. Queensland: Queensland University of Technology; 2016.

25. Scanlon BR, Christman M, Reedy RC, Porro I, Simunek J, Flerchinger GN. Intercode comparisons for simulating water balance of surficial sediments in semiarid regions. Water Resources Research. 2002;38(12):59.

26. Santhosh LG, Lakshmikanthan P, Sivakumar Babu GL. Evaluation of performance of MSW landfill barrier systems at laboratory scale and using HELP model simulations. Digital Proceeding of ICOCEE; 2015 May 20-23; Nevsehir, Turkey.

27. Al-Fatlawi AHW. Design a leachate collection system for a small camp sanitary landfill. Journal Impact Factor. 2015;6(1):07-18.

28. Beck-Broichsitter S, Gerke HH, Horn R. Assessment of leachate production from a municipal solid-waste landfill through water-balance modeling. Geosciences. 2018;8(10):372.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-11-21]

Available online: https://ijhe.tums.ac.ir

Orginal Article

Modeling of leachate generation in Karaj landfill using HELP model

Azad Mollaei, Reza Rafie*, Mazaher Moeinaddini, Sayyed Hossein Khazaei

Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 31 July 2021
Revised: 12 September 2021
Accepted: 15 September 2021
Published: 22 September 2021

Keywords: Waste management, Landfill, Leachate generation modeling, HELP model

***Corresponding Author:**
rzarafiee@gmail.com

ABSTRACT

Background and Objective: The purpose of this study was to use the HELP model to estimate the leachate generation rate and its pattern in a landfill located in the semi-arid region of Iran.

Materials and Methods: The input data for the model were collected through fieldwork. To evaluate the accuracy of outputs, the actual amount of leachate production has been measured on-site for 10 months. In addition, sensitivity analysis was conducted to find out the most important parameters in leachate generation in the landfill.

Results: The results showed that the model was able to estimate the rate of leachate generation with an accuracy of 75.5% and the correlation between the model's estimated values and actual values was 60%. In addition. the sensitivity analysis showed that the most important factors affecting the leachate generation in the landfill were waste moisture content and rainfall, respectively.

Conclusion: The model showed satisfactory performance in the prediction of leachate generation in the arid area. The model showed that the moisture content of the waste significantly contributes to leachate generation in Karaj landfill and therefore, it is suggested to identify and implement procedures to reduce the moisture content of the waste at the source of generation.

Please cite this article as: Mollaei A, Rafie R, Moeinaddini M, Khazaei SH. Modeling of leachate generation in Karaj landfill using HELP model. Iranian Journal of Health and Environment. 2021;14(2):319-34.

Copyright © 2021 Iranian Association of Environmental Health, and Tehran University of Medical Sciences. Published by Tehran University of Medical Sciences. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Noncommercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-11-21]