Journal of Water and Wastewater Science and Engineering (JWWSE)
Vol. 5, No. 4, PP. 53-64, Winter 2021
DOI: 10.22112/jwwse.2020.225253.1200

نشریه علمی
علوم و مهندسی آب و فاضلاب
سال پنجم، شماره ۴، صفحات ۵۳-۶۴، زمستان ۱۳۹۹

Research Paper

Evaluation of the Effect of Precipitation on Leachate Production Rate during Operational Period and After Closure of Municipal Waste Landfill by HELP Model

Milad Ghaffariraad[1] and Mehdi Ghanbarzadeh Lak[2*]

1- M.Sc. Student of Environmental Engineering, Department of Civil Engineering, School of Engineering, Urmia University, Urmia, Iran.
2- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, School of Engineering, Urmia University, Urmia, Iran.
* Corresponding author, Email: m.ghanbarzadehlak@urmia.ac.ir

Received: 07/04/2020
Revised: 03/10/2020
Accepted: 04/10/2020
© IWWA

Abstract

In the present paper, the HELP model was first introduced as a US EPA approved software to estimate the amount of leachate produced in landfills, and its implementation was described. Hydrological data were then prepared for the time of operation of the hypothetical landfill of waste produced in Urmia (as a case study) and 30 years after its closure at different conditions. According to the results, at the time of operation during the most severe rainfall conditions, due to incomplete final coverage, infiltrated leachate into the soil will increase to 8.282 m^3/year, which can have a significant impact on soil and groundwater contamination. Also, using its outputs as baseline data in leachate calculations during the 30 years after landfill closure results in a 6.71% increase in the amount of leachate (this leachate is generally ignored in leachate design calculations). In other words, precipitation and hydrological conditions change the moisture contenet of the buried layers during the operation of the burial site, which, if approached by saturation conditions, will result in excess moisture form the leachate. In the long-term, increasing or decreasing precipitation will have a direct effect on leachate.

Keywords: Landfill, Leachate, HELP, Operation, Precipitation.

مقاله پژوهشی

بررسی میزان تأثیر بارش بر تولید شیرابه در زمان بهره‌برداری و پس از بستن مرکز دفن پسماند شهری با استفاده از مدل HELP

میلاد غفاری راد[1] و مهدی قنبرزاده لک[2*]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران-محیط‌زیست، گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.
۲- استادیار، گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.
* نویسنده مسئول، ایمیل: m.ghanbarzadehlak@urmia.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۱۹
تاریخ اصلاح: ۱۳۹۹/۰۷/۱۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۱۳
© انجمن آب و فاضلاب ایران

چکیده

در مقاله حاضر ابتدا مدل HELP به‌عنوان یک نرم‌افزار مورد تأیید US EPA در تخمین کمیت شیرابه تولیدی در مراکز دفن پسماند، معرفی و روش اجرای آن بیان شد. سپس، داده‌های هیدرولوژیکی برای زمان بهره‌برداری از مرکز دفن فرضی زایدات تولیدی در شهر ارومیه (به‌عنوان مطالعه موردی) و دوران ۳۰ ساله پس از بستن آن، در شرایط مختلف آماده‌سازی شد. مطابق نتایج، در زمان بهره‌برداری در شرایط وقوع شدیدترین بارش، به‌دلیل ناقص بودن پوشش نهایی، شیرابه نفوذی به‌داخل خاک تا ۸/۲۸۲ مترمکعب در سال افزایش پیدا خواهد کرد که می‌تواند تأثیر به‌سزایی را در آلودگی خاک منطقه و سفره آب زیرزمینی داشته باشد. هم‌چنین، استفاده از خروجی‌های آن به‌عنوان داده‌های اولیه در محاسبات شیرابه‌زایی در مدت ۳۰ سال پس از بستن محل دفن زباله، باعث افزایش ۶/۷۱ درصدی بر میزان شیرابه زهکشی‌شده می‌شود (این میزان شیرابه‌زایی عموماً در محاسبات طراحی سیستم جمع‌آوری شیرابه نادیده گرفته می‌شود). به بیان دیگر، بارش و شرایط هیدرولوژیکی در طی دوران بهره‌برداری از مرکز دفن، رطوبت لایه‌های مدفن را تغییر می‌دهد که در صورت نزدیک شدن شرایط این لایه‌ها به حالت اشباع، رطوبت اضافی ناشی از بارش به شیرابه تبدیل خواهد شد. در بلندمدت نیز افزایش یا کاهش بارش بر شیرابه‌زایی تأثیر مستقیم خواهد داشت.

واژه‌های کلیدی: مرکز دفن، بهره‌برداری، بارش، شیرابه، HELP.

۱- مقدمه

با استفاده از فرآیندهای بازیافت، تولید کود کمپوست یا زباله‌سوزی (روش‌های دفع متداول)، می‌توان بخشی یا تمام جریان زایدات جامد شهری را مدیریت نمود. با این‌وجود دفع محصولات ناخواسته حاصل از این روش‌ها (هم‌چون خاکستر زباله‌سوزی)، همچنین دورریزهای غیرقابل بازیابی/ تجزیه/ احتراق، مستلزم بهره‌گیری از روش دفن در زمین است. در اغلب موارد، دفن به عنوان یکی از ارکان اجتناب‌ناپذیر مدیریت جامع پسماند شناخته می‌شود. این‌روش مقرون‌به‌صرفه بوده و از قابلیت پذیرش تمامی اجزای پسماندهای جامد شهری برخوردار است (قنبرزاده لک و همکاران، ۱۳۹۳). یکی از چالش‌های مهم در روش دفن پسماند، آلودگی آب‌های زیرزمینی از طریق نفوذ شیرابه به خارج از مرکز دفن است (طباطبایی و اکبرپور، ۱۳۹۰). سفره‌های زیرزمینی به‌عنوان یکی از منابع مهم تأمین آب به‌شمار می‌روند (یارمرادی و همکاران، ۱۳۹۸) و آلودگی آن می‌تواند صدمات جبران‌ناپذیری را در پی داشته باشد. شیرابه مایع آلوده‌ای است که در نتیجه نفوذ آب به‌درون یک مرکز دفن تشکیل می‌شود. منشأ این مایع، علاوه‌بر محصولات فرعی تجزیه و بارندگی، رطوبت و دیگر مایعات موجود در پسماندهایی است که در مرکز دفن، مدیریت می‌شوند. خصوصیات شیمیایی و بیولوژیکی شیرابه به نوع پسماند دفن شده و میزان تجزیه آن بستگی دارد (صبور و همکاران، ۱۳۹۰). شیرابه حاوی عناصر و ترکیبات مختلفی بوده و طبق تجزیه و تحلیل‌های انجام گرفته در مراکز دفن، رایج‌ترین عناصر موجود در آن شامل مواد آلی و معدنی و فلزات سنگین هستند (Jemec et al., 2012).

کنترل و مدیریت شیرابه با توجه به ماهیت خطرناک آن برای محیط‌زیست، امری ضروری است و اولین قدم در مدیریت صحیح شیرابه، تخمین حجم تولیدی آن است. میزان شیرابه تولیدی در مراکز دفن به‌میزان بارندگی در منطقه، آب ناشی از ذوب برف، رطوبت موجود در توده پسماند و نرخ انجام تجزیه بیولوژیکی زباله‌ها، بستگی دارد (Shroff, 1999). در این بین و براساس مطالعات پیشین (جدول ۱)، کمیت شیرابه تولیدی در مراکز دفن، وابستگی بالایی به میزان بارندگی در منطقه دارد. میزان شیرابه تولیدی در نواحی پرباران، بیشتر از نواحی خشک است؛ چرا که قسمت قابل توجهی از نزولات جوی به داخل مراکز دفن نفوذ خواهند نمود (ذوقی و قویدل، ۱۳۸۹). بدین ترتیب، طراح باید برآورد صحیحی از میزان شیرابه تولیدی داشته باشد تا بتواند براساس آن ضمن محاسبه اقطار لوله‌ها و جانمایی سوراخ‌های جمع‌آوری در بدنه آن‌ها، مقدار نشت احتمالی شیرابه به خاک زیرین مرکز دفن را تخمین بزند.

مدل‌های WBM[1] و HELP[2] برای تخمین شیرابه تولیدی در مراکز دفن توسعه داده شده‌اند. این دو مدل با درنظر گرفتن مشخصات هواشناسی، خصوصیات خاک و طراحی و پوشش گیاهی منطقه، حجم شیرابه خروجی را تخمین می‌زنند (فهام و همکاران، ۱۳۹۶). در روش WBM، اساساً مقدار آبی که از میان پسماندها به خارج نفوذ می‌کند، عبارت است از تفاوت بین مقدار آب دریافتی توسط سایت دفن از بارندگی، رواناب ورودی و آب ورودی از کناره‌ها و مرکز دفن، با آب خروجی سایت از طریق رواناب سطحی و تبخیر و تعرق توسط گیاهان. این تعادل آبی تحت‌عنوان روش موازنه آب شناخته می‌شود (صبور و همکاران، ۱۳۹۰). در مدل HELP، از داده‌های هواشناسی (بارندگی، دما، تابش خورشیدی، عمق ناحیه تبخیری، شاخص سطح برگ حداکثر، زمان شروع و پایان فصل رشد، میانگین نرمال سرعت سالانه باد، میانگین نرمال رطوبت نسبی سه ماهه) و داده‌های مربوط به خاک (تخلخل، ظرفیت نگهداشت، نقطه پژمردگی و ضریب هدایت هیدرولیکی) و هم‌چنین داده‌های مربوط به طراحی (مشخصات لایه‌ها نظیر لایه زهکش جانبی و لایه ژئوممبران، عدد منحنی رواناب و کیفیت نصب ژئوممبران)، برای تخمین میزان شیرابه تولیدی استفاده می‌شود (Shroeder et al., 1994). مطابق جدول ۱، مدل HELP در مقایسه با روش WBM، روش جامع‌تری در برآورد کمیت شیرابه است و خروجی نزدیکتری به واقعیت خواهد داشت. براین اساس در مطالعه حاضر، مدل HELP بمنظور برآورد شیرابه تولیدی در یک مرکز دفن فرضی، از این مدل بهره گرفته شده است. در جدول ۱ برآورد میزان شیرابه تولیدی مراکز دفن در مطالعات پیشین، آورده شده است.

با توجه به جدول ۱، می‌توان نتیجه گرفت مشخصات هیدرولوژیکی منطقه یکی از عوامل تأثیرگذار در میزان تولید شیرابه در مراکز دفن است (مشارکت بارش در تولید شیرابه در مطالعات پیشین از ۵ تا ۸۲ درصد گزارش شده است) و در هر منطقه‌ای که بارش بیشتری وجود داشت، کمیت شیرابه تولیدی بیشتر بود. مشکل اساسی در طراحی سیستم جمع‌آوری شیرابه مراکز دفن، عدم توجه به تغییر خصوصیات رطوبتی زباله دفن‌شده در طی سال‌های بهره‌برداری است. به بیان دیگر، روند متداول در طراحی سیستم جمع‌آوری شیرابه مراکز دفن، درنظر گرفتن یک مرکز دفن تکمیل‌شده و اعمال آمار هیدرولوژیکی منطقه به آن است (جدول ۱)؛ در حالی‌که ممکن است در طی سال‌های بهره‌برداری به دلیل عدم اجرای لایه پوشش نهایی، رطوبت در

قالب زباله نفوذ نماید و خصوصیات رطوبتی آن را تغییر دهد. در سالیان بعد با توجه به نزدیک شدن حالت زباله به شرایط اشباع، مسلماً درصد بیشتری از بارش بصورت شیرابه خارج خواهد شد و این امر طراحی سیستم جمع‌آوری شیرابه را تحت تأثیر قرار خواهد داد.

جدول ۱- برآورد میزان شیرابه تولیدی مراکز دفن در مطالعات پیشین

منطقه مورد مطالعه	منبع	روش مورد عمل در برآورد شیرابه	نسبت بارش موثر در تولید شیرابه (٪)	متوسط بارش سالانه (mm)	متوسط دمای سالانه (°C)
اصفهان (ایران)	عابدی و نصیرزاده (۱۳۸۳)	HELP	۵/۱۳	۱۰۸/۰۸	۱۶/۶
اسفراین (ایران)	حاجیان و همکاران (۱۳۹۱)	HELP	۱۱/۴۴	۳۶۵/۵۰	۲۷/۰
سمنان (ایران)	ذوقی و قویدل (۱۳۸۹)	HELP	۱۴/۲۰	۱۲۷/۳۲	۱۴/۰
رشت (ایران)	Nakhaei et al. (2014)	Visual HELP	۸۱/۹۵	۱۳،۳۷۰/۰۰	۱۶/۰
غزه (فلسطین)	Alslaibi et al. (2013)	HELP	۳۵/۲۰	۳۲۲/۰۰	۲۲/۵
		WBM	۳۹/۶۵		
آتیکا (یونان)	Fatta et al. (1999)	HELP	۴۲/۸۰	۳۹۰/۰۰	۱۸/۹
تسالونیکی (یونان)	Tatsi and Zouboulis (2002)	مطالعات میدانی	۵۲/۱۰	*۴۴۴/۰۰	۱۶/۰
ازمیت (ترکیه)	Yalchin and Demirer (2002)	HELP	۵۵/۰۲	۱،۱۲۷/۰۰	۱۴/۷
جیمپو (کره جنوبی)	Jang et al. (2001)	HELP	۷۷/۳۷	۱،۱۲۷/۰۰	۱۲/۵
تونس (تونس)	Frikha et al. 2017	HELP	۳۵/۰۰	۳۴۷/۰۰	۲۱/۷
غزه (فلسطین)	Abunama et al. (2017)	HELP	۳۹/۴۰	۳۴۷/۰۰	۱۲/۵

*: متوسط بارش در سال مورد مطالعه.

۲- روش تحقیق

در مقاله حاضر ابتدا با توجه به کمیت و کیفیت زایدات شهری تولیدی در منطقه مورد مطالعه (جدول ۲)، یک مرکز دفن فرضی (با توجه به محدودیت‌های تملک زمین در سایت دفن کنونی زباله شهر ارومیه) طراحی شد. لازم به‌ذکر است روش مورد عمل در تعیین خصوصیات کیفی پسماند، جداسازی مواد و اندازه‌گیری وزن آن‌ها از طریق نمونه‌برداری تصادفی و بهره‌گیری از مکانیزم چارک کردن در محل ایستگاه میانی شماره ۱ سازمان مدیریت پسماند شهرداری ارومیه، است. شرایط بهره‌برداری به‌صورت تکمیل مرکز دفن در طی ۳ سال فرض شد. براساس محاسبات انجام گرفته لندفیل[۳] (محل دفن زباله) طراحی شده دارای حجمی معادل ۹۳۶،۹۸۲ مترمکعب است که با درنظر گرفتن شرایط عملیاتی (حجم خاک پوششی معادل ۲۵ درصد حجم پسماند، چگالی پسماند فشرده‌شده ۵۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب و کاهش حجم در اثر تراکم ۲۳ درصد) گنجایش دفن ۴۸۶،۷۴۴ تن پسماند را خواهد داشت.

تعیین درصد رطوبت زایدات جامد شهری در محاسبه کمیت تولید شیرابه اهمیت شایان‌توجهی دارد. در این قسمت با توجه به میزان رطوبت متداول در انواع ترکیبات پسماند (Niessen, 2002; Tchobanoglous et al., 1993)، برآوردی از درصد رطوبت پسماندهای شهری ارومیه در جدول ۳ ارائه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود درصد رطوبت پسماندهای شهر ارومیه، شهرهای اقماری و روستاهای تابعه در سال ۱۳۹۶ به‌ترتیب برابر ۵۰/۳۴، ۴۹/۹۹ و ۴۱/۰۸ درصد است.

فرمول بسته شیمیایی پسماند براساس اطلاعات موجود در خصوص میزان جرم خشک پسماند و همچنین درصد حضور عناصر (کربن، هیدروژن، اکسیژن، نیتروژن و گوگرد) در ترکیبات پسماند برآورد شد (Niessen, 2002; Tchobanoglous et al., 1993). بدین‌ترتیب فرمول بسته شیمیایی پسماند برای شهر ارومیه، شهرهای اقماری و روستاهای تابعه به‌ترتیب $C_{365.96}$ $H_{544.59}$ $O_{147.80}$ $N_{10.57}$ S، $C_{370.37}$ $H_{545.29}$ $O_{146.77}$ $N_{10.15}$ S و $C_{315.14}$ $H_{478.56}$ $O_{148.24}N_{9.73}$ S است. اطلاعات آماری هواشناسی شهر ارومیه از پورتال سازمان هواشناسی کشور برای ۳۰ سال اخیر (یعنی از سال ۱۳۶۷ تا سال ۱۳۹۷) اخذ و برای ارائه به نرم‌افزار HELP آماده‌سازی شدند.

جدول ۲- ترکیب کیفی پسماند شهرستان ارومیه طی سال ۱۳۹۶ (معاونت پژوهش و فن‌آوری دانشگاه ارومیه، ۱۳۹۶) (اعداد برحسب درصد)

نوع پسماند	منطقه		
	ارومیه	شهرهای اقماری	روستاهای تابعه
مواد غذایی/ فسادپذیر	۶۸/۳۶	۶۸/۸۷	۵۳/۰۸
کاغذ و مقوا	۴/۵۸	۶/۴۵	۹/۱۴
PET	۰/۹۵	۰/۵۲	۰/۷۸
PE/PP	۹/۵۱	۱۰/۹۱	۶/۰۲
Other Plastics (Mixed)	۰/۶۸	۰/۹۰	۰/۴۷
منسوجات/ پارچه	۴/۱۱	۲/۰۸	۱۶/۸۵
فلزات آهنی	۰/۳۶	۰/۲۹	۰/۰۸
فلزات غیرآهنی	۰/۱۸	۰/۱۱	۰/۰۰
چوب و زایدات باغبانی	۰/۵۴	۰/۱۶	۰/۱۱
شیشه	۱/۱۹	۱/۷۸	۱/۶۸
دورریزهای بهداشتی	۶/۲۳	۲/۲۰	۷/۳۶
زایدات ویژه/ خطرناک	۰/۷۵	۰/۷۱	۰/۸۱
چرم و لاستیک	۰/۳۲	۱/۳۱	۲/۳۴
خاک و نخاله ساختمانی	۰/۹۸	۲/۶۷	۰/۰۰
زایدات الکترونیکی	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۰
زایدات بسته‌بندی کامپوزیت	۱/۲۵	۱/۰۲	۱/۲۷

در روند رایج استفاده از نرم‌افزار HELP برای محاسبه میزان شیرابه‌زایی (جدول ۱)، اطلاعات طراحی لندفیل پس از اتمام بهره‌برداری و تکمیل لایه پوشش نهایی وارد نرم‌افزار شده و نرم‌افزار میزان شیرابه‌زایی را در زمان پس از بستن مرکز دفن محاسبه می‌نماید. درحالی‌که از زمان شروع بهره‌برداری لندفیل تولید شیرابه آغاز می‌شود و با توجه به عدم وجود لایه پوششی مناسب در سال‌های بهره‌برداری، کمیت شیرابه تولیدی متناسب با میزان بارش می‌تواند قابل‌ملاحظه باشد. براین اساس، در مقاله حاضر و در سناریوی اول، ابتدا شیرابه‌زایی بدون درنظر گرفتن اثرات دوران بهره‌برداری، توسط مدل اندازه‌گیری شد (مشابه روند رایج در سایر تحقیقات پیشین). در ادامه و با توجه به تأثیر بارش بر شیرابه‌زایی در دوران بهره‌برداری، باید شرایط مختلف بارش در زمان بهره‌برداری و اثر آن بر تولید شیرابه بررسی شود. از این‌رو، سه سناریو از لحاظ میزان بارش در مرحله بهره‌برداری مورد بررسی قرار گرفت.

جدول ۳- برآورد میزان رطوبت پسماند شهرستان ارومیه

نوع پسماند	درصد حضور در جریان زایدات			حدود درصد رطوبت		درصد رطوبت موجود		
	ارومیه	شهرهای اقماری	روستاهای تابعه	حدود	متداول	ارومیه	شهرهای اقماری	روستاهای تابعه
پسماند تر	۶۸/۳۶	۶۸/۸۷	۵۳/۰۸	۸۰-۵۰	۷۰	۴۷/۸۵	۴۸/۲۱	۳۷/۱۶
کاغذ و مقوا	۴/۵۸	۶/۴۵	۹/۱۴	۱۰-۴	۶	۰/۲۷	۰/۳۹	۰/۵۵
انواع پلاستیک	۱۱/۱۴	۱۲/۳۳	۷/۲۷	۴-۱	۲	۰/۲۲	۰/۲۵	۰/۱۵
منسوجات/ پارچه	۴/۱۱	۲/۰۸	۱۶/۸۵	۱۵-۶	۱۰	۰/۴۱	۰/۲۱	۱/۶۸
فلزات	۰/۵۴	۰/۴۰	۰/۰۸	۴-۲	۳	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۰
چوب و زایدات باغبانی	۰/۵۴	۰/۱۶	۰/۱۱	۶۰-۲۲	۴۰	۰/۲۲	۰/۰۶	۰/۰۴
شیشه	۱/۱۹	۱/۷۸	۱/۶۸	۴-۱	۲	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۳
چرم و لاستیک	۰/۳۲	۱/۳۱	۲/۳۴	۴-۱	۲	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۵
خاک و نخاله ساختمانی	۰/۹۸	۲/۶۷	۰/۰۰	۱۲-۶	۸	۰/۰۸	۰/۲۱	۰/۰۰
سایر	۸/۲۳	۳/۹۵	۹/۴۴	۲۰-۵	۱۵	۱/۲۴	۰/۵۹	۱/۴۲
مجموع	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰			۵۰/۳۴	۴۹/۹۹	۴۱/۰۸

- سناریوی دوم: درنظر گرفتن حداکثر بارش منطقه در طی ۳۰ سال بعنوان داده‌های ورودی در زمان بهره‌برداری؛
- سناریوی سوم: مشابه سناریوی اول ولی با درنظر گرفتن حداقل بارش در طی ۳۰ سال بعنوان داده‌های ورودی در زمان بهره‌برداری؛
- سناریوی چهارم: مشابه دو سناریوی قبل ولی با درنظر گرفتن متوسط بارش در طی ۳۰ سال بعنوان داده‌های ورودی در زمان بهره‌برداری.

بدین ترتیب با مقایسه نتایج حاصل، ابتدا تبعات عدم توجه به تغییرات ناشی از رطوبت لایه‌های پسماند در زمان بهره‌برداری بررسی می‌گردد و سپس مشکلات ناشی از وقوع بدترین شرایط بارش در زمان بهره‌برداری (سناریوی دوم) بر سیستم جمع‌آوری بیان خواهد شد. در نهایت، تأثیر بارش بر شیرابه‌زایی در کوتاه‌مدت سنجیده می‌شود و دلایل مربوط به انطباق یا عدم انطباق تغییرات بارش و شیرابه تولیدی بررسی خواهند شد.

۲-۱- معرفی نرم‌افزار HELP

برنامه کامپیوتری ارزیابی هیدرولوژیکی عملکرد مرکزدفن (HELP)، یک مدل شبه دوبعدی برای مدل‌سازی حرکت آب است. این مدل، داده‌های آب و هوا، خاک و طراحی را دریافت و از تکنیک‌هایی استفاده می‌کند که تأثیرات ذخیره سطحی، ذوب برف، رواناب، نفوذ، تبخیر و تعرق، رشدگیاهی، ذخیره رطوبت خاک، زهکشی زیرسطحی‌جانبی، بازچرخش شیرابه، زهکشی قائم غیراشباع، تراوش از میان خاک، ژئوممبران یا لاینرهای کامپوزیت سیستم‌های مرکزدفن، را در برآورد شیرابه تولیدی منظور نماید. محیط این نرم‌افزار تحت DOS است و در فضایی تلفیقی بین داده‌های ورودی توسط کاربر و محاسبات انجام گرفته به‌وسیله نرم‌افزار، اطلاعات را تجزیه و تحلیل می‌نماید.

باتوجه به اینکه این نرم‌افزار تحت DOS است قابلیت اجرا در محیط ویندوزهای بالاتر از ۷ را ندارد (Berger, 2015). برای رفع این مشکل می‌توان از نرم‌افزار DOS Box استفاده نمود. نرم‌افزار DOS Box به‌صورت یک برنامه کمکی عمل می‌نماید و با استفاده از آن می‌توان نرم‌افزارهای تحت DOS از جمله HELP را در ویندوزهای بالاتر اجرا نمود (برای استفاده از راهنمای نرم‌افزار DOS Box به بخش پیوست رجوع شود). اساس مدل HELP، درنظر گرفتن یک بیلان آبی است که برای این منظور داده‌های بارش، رواناب سطحی، تبخیر و تعرق و نفوذ موردنیاز است. در این میان اطلاعات بارش توسط کاربر وارد شده و محاسبات رواناب و تبخیر و تعرق به‌وسیله HELP و با روش‌های SCS و Penman انجام می‌گیرد. در مورد ویژگی‌های خاک و پسماند نیز، برنامه HELP به مقادیر تخلخل کل، ظرفیت میدانی، نقطه پژمردگی و هدایت هیدرولیکی اشباع هر لایه از خاک، پسماند و یا مواد دیگر در پروفیل مرکز دفن نیاز دارد. روش تجربی در محاسبه مقادیر میزان نگهداشت آب در خاک (ظرفیت میدانی و نقطه پژمردگی) و هدایت هیدرولیکی اشباع هر لایه، به‌کارگیری معادلات تجربی گزارش‌شده توسط Brakensiek et al. و Springer and Lane و رابطه توسعه یافته توسط Kozeny-Carman، است. علاوه‌بر آن، کاربر می‌تواند به‌صورت دستی از بین ۴۲ نوع خاک پیش فرض تعریف شده در نرم‌افزار، گزینه موردنظر خود را انتخاب نماید. همچنین این امکان وجود دارد که کاربر لایه‌ای را با ویژگی‌های مدنظر خود برای نرم‌افزار تعریف کند (Shroeder et al., 1994).

۲-۲- استخراج داده‌های ورودی نرم‌افزار HELP

در مطالعه حاضر به‌منظور آماده‌سازی داده‌های هواشناسی موردنیاز نرم‌افزار HELP، از اطلاعات هیدرولوژیکی شهر ارومیه در مدت زمان ۳۰ سال استفاده شده است. انتخاب زمان ۳۰ سال برای انجام مطالعه، به‌دلیل ثابت بودن متوسط‌های اقلیمی در طول دوره زمانی ۳۰ سال است. برای تهیه داده‌های بارش داده‌های سینوپتیک پورتال سازمان هواشناسی کشور، استفاده شده است. اطلاعات بارش در طی دو ساعت از شبانه‌روز (۰۳ و ۱۵) ثبت می‌گردد ولی از آن‌جا که نرم‌افزار HELP داده‌های بارش را به‌صورت روزانه دریافت می‌کند، اطلاعات مذکور در نرم‌افزار MSExcel به داده‌های روزانه تبدیل شد. برای آماده‌سازی داده‌های انرژی تابشی خورشیدی از معادلات مدل آنگستروم-پرسکات پیشنهادی توسط فائو استفاده شده است (موسوی و همکاران، ۱۳۸۹). بدین منظور ابتدا اطلاعات مربوط به تعداد ساعات آفتابی از اداره کل هواشناسی کشور دریافت شد. برای داده‌های دمای ورودی به نرم‌افزار نیز، از پورتال سازمان هواشناسی کشور استفاده شد.

مقادیر تبخیر و تعرق، با وارد کردن داده‌های اولیه (شامل عمق تبخیر منطقه، شاخص حداکثر سطح برگ، شماره ژولیان برای شروع کاشت، شماره ژولیان برای پایان کاشت، متوسط سرعت باد روزانه برحسب مایل بر ساعت (بدون درنظرگرفتن جهت باد) و درصد رطوبت نسبی متوسط سه ماهه اول، دوم، سوم و چهارم سال)، توسط نرم‌افزار HELP محاسبه می‌شود. فایل تبخیر و تعرق دارای فرمت D11.* است.

در نهایت برای داده‌های طراحی، مرکز دفن فرضی براساس اطلاعات موجود در مطالعات پیشین (جدول ۱) طراحی شد که

اطلاعات مربوط به مشخصات لایه‌های مرکز دفن طراحی‌شده در شکل ۲ قابل مشاهده است. این لایه‌بندی برای تعیین کمیت شیرابه تولیدی، به نرم‌افزار HELP تعریف شده است. فرمت داده‌های خاک و طراحی در نرم‌افزار HELP به صورت D10.* است.

۳-۲- آماده‌سازی داده‌های ورودی نرم‌افزار HELP

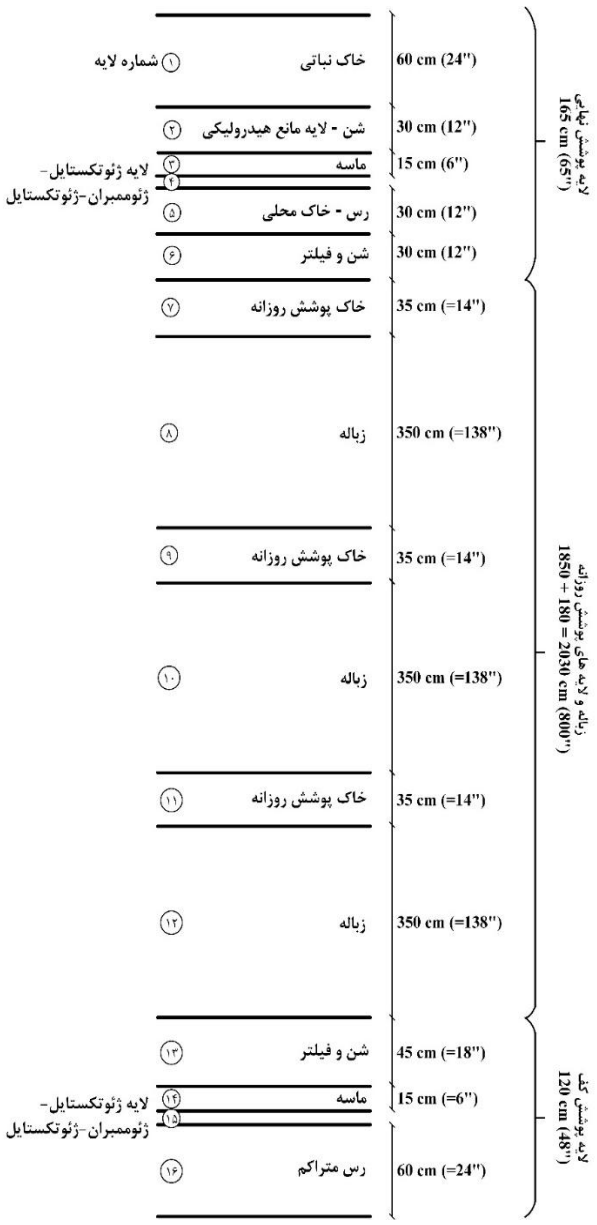
برای وارد کردن داده‌های هیدرولوژیکی منطقه به نرم‌افزار HELP می‌توان از دو طریق عمل کرد، در روش اول، می‌توان منطقه مورد نظر را از بین مناطق پیش‌فرض موجود در حافظه نرم‌افزار انتخاب نمود؛ اما اگر منطقه مورد مطالعه در نرم‌افزار تعریف نشده باشد، باید از روش دوم و به‌صورت دستی داده‌ها را وارد کرد. چون محیط نرم‌افزار HELP تحت DOS است و داده‌های هیدرولوژیکی را به‌صورت روزانه تحلیل می‌کند، وارد کردن دستی اطلاعات برای بازه زمانی طولانی مدت با مشکلات فراوانی همراه است. در مطالعه حاضر، برای رفع این مشکل ابتدا با استفاده از فایل‌های مثال نرم‌افزار HELP برای داده‌های دما، بارش و انرژی تابشی خورشید، مفهوم هر عدد و نحوه جایگذاری اعداد استخراج شد. سپس با استفاده از کدنویسی در محیط MATLAB، برنامه لازم برای تبدیل داده‌های فایل MSExcel به فایل متنی (Text) مورد قبول HELP تهیه شد. در ادامه، پس از استخراج داده‌های روزانه بارش، دما و انرژی تابشی خورشید (رجوع شود به بخش ۲-۲)، هریک از اطلاعات وارد یک فایل جداگانه MSExcel شدند. با اجرای کد MATLAB، داده‌های فایل MSExcel به فایل Text و با مشخصات موردنیاز نرم‌افزار HELP تبدیل شد. در نهایت برای معرفی فایل‌های Text به نرم‌افزار HELP باید فرمت آن‌ها تغییر کند. به این دلیل فرمت فایل‌های بارش، دما و انرژی تابشی خورشید به‌ترتیب به D4.*، D7.* و D13.* تبدیل شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- میزان شیرابه تولیدی در مرکز دفن (سناریوی اول)

نتایج حاصل از اجرای نرم‌افزار HELP برای داده‌های هواشناسی ۳۰ سال اخیر شهرستان ارومیه و داده‌های خام طراحی (شکل ۱ و جدول ۴) بدون درنظر گرفتن تغییرات رطوبتی لایه‌ها در زمان بهره‌برداری، در قالب سناریوی اول و در جدول ۵ آورده شده است.

مطابق جدول ۵، بر اساس اطلاعات مربوط به اقلیم در طی ۳۰ سال، نرخ تبخیر و تعرق زیاد و به اندازه ۷۷/۰۷ درصد است. هم‌چنین، میزان ۷/۶۳ درصد از بارش در داخل لندفیل نفوذ کرده است و به شیرابه تبدیل شده است. در مقایسه با مطالعات جدول ۱، میزان بارش شهرستان ارومیه تقریباً با آتیکا و غزه مشابه است؛ با این حال میزان شیرابه‌زایی ارومیه از هر دو کمتر است. این موضوع می‌تواند ناشی از دو دلیل باشد، دلیل اول، وجود لایه ژئوممبران در پوشش نهایی مرکز دفن فرضی شهرستان ارومیه است که از نفوذ بارش به داخل لندفیل جلوگیری می‌کند. دلیل دوم، میزان زیاد تبخیر و تعرق در منطقه ارومیه نسبت به دو منطقه دیگر است. میزان تبخیر و تعرق در غزه ۵۷/۸۸ درصد و در آتیکا ۵۵/۶۰ درصد است که سبب نفوذ بیشتر بارش به داخل لندفیل و هم‌چنین افزایش شیرابه‌زایی شده است.



شکل ۱- اطلاعات طراحی ورودی نرم‌افزار HELP

جدول ۵- خروجی نرم‌افزار HELP براساس سناریوی اول (متوسط سالانه)

شماره لایه	تخلخل	ظرفیت میدانی	نقطه پژمردگی	ضریب نفوذپذیری	سایر مشخصات
	(حجم/حجم)			cm/s	
۱	۰/۵۰۱	۰/۲۸۴	۰/۱۳۵	$۱/۹۰ \times ۱۰^{-۴}$	
۲	۰/۳۹۷	۰/۰۳۲	۰/۰۱۳	$۳/۰۰ \times ۱۰^{-۱}$	
۳	۰/۴۱۷	۰/۰۴۵	۰/۰۱۸	$۱/۰۰ \times ۱۰^{-۲}$	
۴	۰	۰	۰	$۴/۰۰ \times ۱۰^{-۱۳}$	ضخامت ژئوممبران ۱ میلیمتر، تعداد سوراخ در هر ایکر ۱ در مرحله ساخت و ۱۰ در مرحله اجرا، اجرا خوب
۵	۰/۵۰۱	۰/۲۸۴	۰/۱۳۵	$۱/۹۰ \times ۱۰^{-۴}$	
۶	۰/۳۹۷	۰/۰۳۲	۰/۰۱۳	$۳/۰۰ \times ۱۰^{-۱}$	
۷	۰/۵۰۱	۰/۲۸۴	۰/۱۳۵	$۱/۹۰ \times ۱۰^{-۴}$	
۸	۰/۳۵	۰/۲۷	۰/۰۱۹	$۲/۵۰ \times ۱۰^{-۲}$	
۹	۰/۵۰۱	۰/۲۸۴	۰/۱۳۵	$۱/۹۰ \times ۱۰^{-۴}$	
۱۰	۰/۳۵	۰/۲۷	۰/۰۱۹	$۲/۵۰ \times ۱۰^{-۲}$	
۱۱	۰/۵۰۱	۰/۲۸۴	۰/۱۳۵	$۱/۹۰ \times ۱۰^{-۴}$	
۱۲	۰/۳۵	۰/۲۷	۰/۰۱۹	$۲/۵۰ \times ۱۰^{-۲}$	
۱۳	۰/۳۲	۰/۰۵	۰/۰۲	$۲/۰۰ \times ۱۰^{-۱}$	
۱۴	۰/۴۱۷	۰/۰۴۵	۰/۰۱۸	$۱/۰۰ \times ۱۰^{-۲}$	
۱۵	۰	۰	۰	$۲/۰۰ \times ۱۰^{-۱۳}$	ضخامت ژئوممبران ۱ میلیمتر، تعداد سوراخ در هر ایکر ۱ در مرحله ساخت و ۱۰ در مرحله اجرا، اجرا خوب
۱۶	۰/۴۲۷	۰/۴۱۸	۰/۳۶۷	$۱/۰۰ \times ۱۰^{-۷}$	

جدول ۵- خروجی نرم‌افزار HELP براساس سناریوی اول (متوسط سالانه)

پارامتر	ارتفاع (mm/yr)	حجم (m^3/yr)
بارش	۳۰۱/۴۹۸	۲۰،۱۸۱/۷۱۶
رواناب	۱۵/۰۸۸	۱،۰۰۹/۴۹۲
تبخیر و تعرق	۲۳۲/۳۵۹	۱،۵۵۱/۹۹۱
زهکشی جانبی از لایه ۱۴	۲۲/۹۶۵	۱،۵۳۷/۱۲۶
نفوذ/ شیرابه از میان لایه ۱۶	۰/۰۴۴	۲/۹۷۱

۳-۲- بررسی سناریوهای مربوط به تغییرات شرایط رطوبتی لایه‌ها در طی دوران بهره‌برداری

خصوصیات ژئوتکنیکی پوشش فوقانی مرکز دفن و تأثیر آن بر میزان رواناب و نفوذ، می‌تواند کمیت شیرابه تولیدی را دستخوش تغییر کند. در اکثر طراحی‌های مراکز دفن، به‌منظور ممانعت از ورود آب ناشی از بارش به داخل مرکز دفن، از پوشش‌های نفوذناپذیر در لایه نهایی بهره‌گیری می‌شود (Yalchin and Demirer, 2002)؛ اما در زمان بهره‌برداری از مرکز دفن بدلیل ناقص بودن پوشش نهایی و عدم وجود لایه ژئوممبران، انتظار می‌رود میزان شیرابه تولیدی نسبت به زمان پس از بستن مرکز دفن افزایش یابد. اگر در لندفیل طراحی‌شده فرض شود زمان بهره‌برداری ۳ سال به‌طول انجامد و در طی هر سال یکی از لایه‌های درنظر گرفته‌شده برای زباله پر شود، در طول سال‌های اول و دوم پوشش مرکز دفن ناقص خواهد بود. در سال سوم نیز در زمان بهره‌برداری و قبل از تکمیل پوشش نهایی، لندفیل دارای پوشش ناقص خواهد بود. به بیان دیگر، ابتدا قبل از آغاز بهره‌برداری از مرکز دفن، لایه پوشش کف لندفیل آماده می‌شود. سپس، در طی هر سال بهره‌برداری، یک لایه زباله به‌همراه پوشش خاک روی آن تکمیل می‌شود. در نهایت پس از تکمیل ظرفیت مرکز دفن در انتهای سال سوم، لایه پوشش نهایی (یعنی لایه‌های ۱ تا ۶) اجرا خواهند شد.

برای بررسی تأثیر شرایط بهره‌برداری بر میزان شیرابه‌زایی، از سه سناریو در شرایط هیدرولوژیکی مختلف (بیشترین بارش، کمترین بارش و متوسط بارش) در طی ۳۰ سال بهره گرفته شد. نتایج این سه سناریو می‌تواند در طراحی سیستم جمع‌آوری شیرابه اثرگذار باشد. نتایج به‌ترتیب در جدول‌های ۶ تا ۸ آورده شده است.

جدول ۶- خروجی نرم‌افزار HELP براساس سناریوی دوم (متوسط سالانه)

پارامتر	۳ سال بهره‌برداری		۳۰ سال پس از بستن لندفیل	
	ارتفاع (mm/yr)	حجم (m^3/yr)	ارتفاع (mm/yr)	حجم (m^3/yr)
بارش	۵۸۰/۱۳۶	۳۸،۳۸۱/۰۵۶	۳۰۱/۴۹۸	۲۰،۱۸۱/۷۱۶
رواناب	۲۵/۰۹۵	۱،۶۸۰/۰۴۰	۱۴/۵۸۰	۹۷۵/۳۲۷
تبخیر و تعرق	۴۰۰/۰۰۸	۲۶،۷۷۴/۱۶۲	۲۳۲/۳۵۹	۱۵،۵۵۲/۰۹۰
زهکشی جانبی از لایه ۱۴	۱۳۰/۵۰۸	۸،۷۳۵/۴۱۱	۲۴/۵۰۶	۱،۶۴۰/۲۶۶
نفوذ/شیرابه از لایه ۱۶	۰/۱۲۴	۸/۲۸۲	۰/۰۴۷	۳/۱۵۳

جدول ۷- خروجی نرم‌افزار HELP براساس سناریوی سوم (متوسط سالانه)

پارامتر	۳ سال بهره‌برداری		۳۰ سال پس از بستن لندفیل (محل دفن زباله)	
	ارتفاع (mm/yr)	حجم (m^3/yr)	ارتفاع (mm/yr)	حجم (m^3/yr)
بارش	۱۶۶/۶۲۴	۱۱،۱۵۲/۸۷۴	۳۰۱/۴۹۸	۲۰،۱۸۱/۷۱۶
رواناب	۵/۵۰۳	۳۶۸/۴۸۵	۱۴/۵۸۰	۹۷۵/۳۲۷
تبخیر و تعرق	۱۶۶/۱۶۷	۱۱،۱۲۱/۸۲۲	۲۳۲/۳۵۹	۱۵،۵۵۲/۰۹۰
زهکشی جانبی از لایه ۱۴	۳/۵۳۶	۲۳۶/۶۳۷	۱۷/۵۲۱	۱،۱۷۲/۷۹۴
نفوذ/شیرابه از لایه ۱۶	۰/۰۰۸	۰/۵۲۸	۰/۰۳۴	۲/۲۷۳

جدول ۸- خروجی نرم‌افزار HELP براساس سناریوی چهارم (متوسط سالانه)

پارامتر	۳ سال بهره‌برداری		۳۰ سال پس از بستن لندفیل (محل دفن زباله)	
	ارتفاع (mm/yr)	حجم (m^3/yr)	ارتفاع (mm/yr)	حجم (m^3/yr)
بارش	۲۹۹/۹۷۴	۲۰،۰۷۸/۶۰۷	۳۰۱/۴۹۸	۲۰،۱۸۱/۷۱۶
رواناب	۲/۶۲۵	۱۷۵/۳۷۳	۱۴/۵۸۰	۹۷۵/۳۲۷
تبخیر و تعرق	۲۹۵/۹۰۲	۱۹،۸۰۵/۷۴۱	۲۳۲/۳۵۹	۱۵،۵۵۲/۰۹۰
زهکشی جانبی از لایه ۱۴	۹/۴۲۰	۶۳۰/۴۹۵	۱۸/۸۰۸	۱،۲۵۸/۹۱۲
نفوذ/ شیرابه از لایه ۱۶	۰/۰۱۹	۱/۲۹۸	۰/۰۳۴	۲/۴۳۱

براساس جدول‌های ۶ تا ۸، تغییرات میزان بارش در زمان بهره‌برداری علاوه بر تأثیر بر شیرابه‌زایی در طی بهره‌برداری باعث تغییرات خصوصیات رطوبتی لایه‌های لندفیل می‌شود و میزان شیرابه را پس از تکمیل مرکز دفن افزایش می‌دهد. بر این اساس با وجود این‌که شرایط هیدرولوژیکی نظیر بارش، رواناب و تبخیر و تعرق در هر چهار سناریو یکسان است، اما درصورت وقوع سناریوی دوم، میزان شیرابه زهکشی شده در طی ۳۰ سال نسبت به سناریوی اول، حدود ۳،۰۹۴ مترمکعب افزایش پیدا می‌کند و رشد ۶/۷۱٪ خواهد داشت. با وجود این‌که در سناریوهای سوم و چهارم میزان شیرابه‌زایی در زمان ۳۰ ساله پس از بستن لندفیل نسبت به سناریوی اول کاهش پیدا کرده است؛ اما چون میزان شیرابه تولیدی در زمان بهره‌برداری در سناریوی اول نادیده گرفته شده است، درصورت وقوع این دو سناریو باید به‌ترتیب در طی زمان ۳ ساله بهره‌برداری ۷۰۹/۹۱۱ و ۱،۸۹۱/۴۸۵ مترمکعب شیرابه از لایه زهکشی جمع‌آوری شود که در سناریوی اول درنظر گرفته نشده است. قابل‌ذکر است که این مقدار در سناریوی دوم افزایش چشمگیری دارد و به ۲۶،۲۰۶/۲۳۳ مترمکعب در طی ۳ سال بهره‌برداری رسیده است.

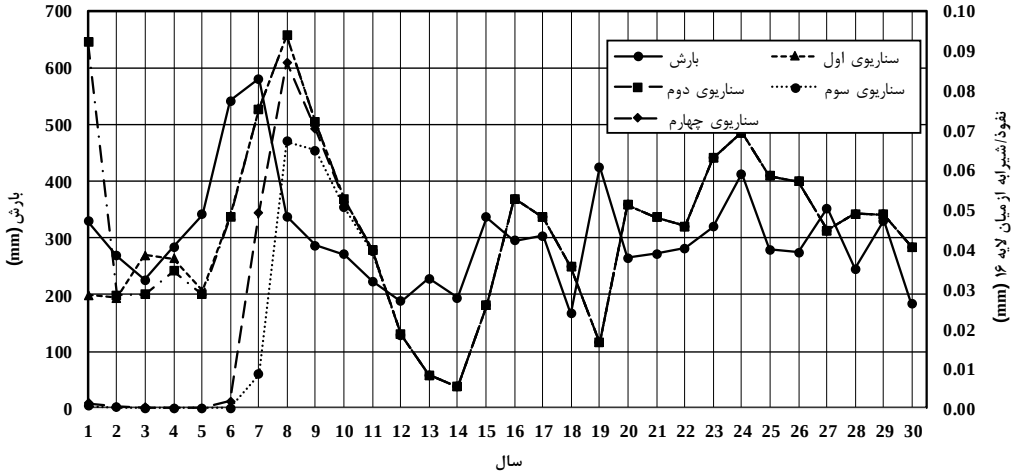
نکته قابل‌توجه این است که در مطالعات پیشین (جدول ۱) براساس روند رایج محاسبات میزان شیرابه در نرم‌افزار HELP عمل شده و داده‌های طراحی پس از تکمیل مرکز دفن وارد نرم‌افزار شده‌اند و به شرایط بهره‌برداری توجه نشده است. بنابراین توجه به شرایط بهره‌برداری نظیر سناریوهای تعریف شده در این مقاله کاملاً می‌تواند میزان شیرابه‌زایی در زمان پس از بستن لندفیل را تحت تأثیر قرار دهد.

۳-۳- بررسی رابطه بین میزان بارش و شیرابه‌زایی

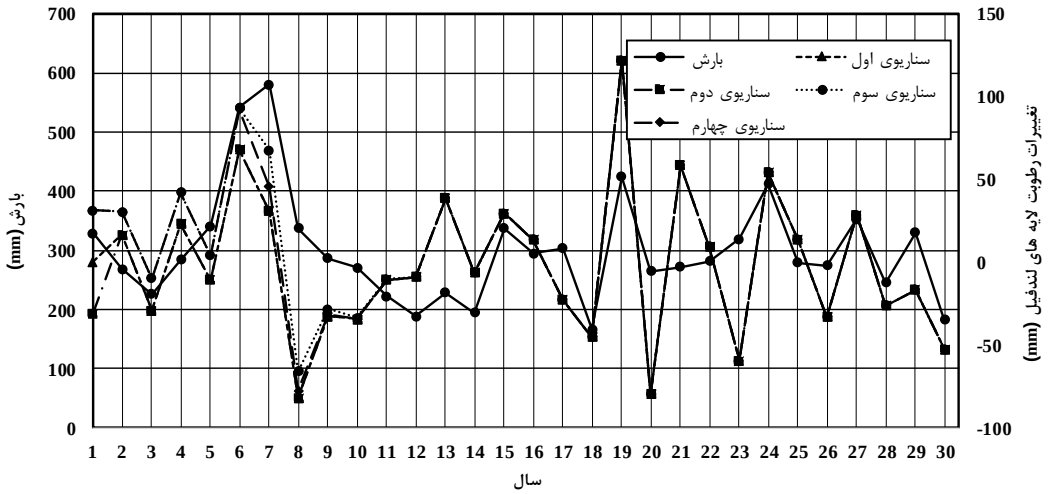
به‌منظور بررسی رابطه بین میزان بارش و شیرابه‌زایی پس از تکمیل لندفیل، با استفاده از خروجی نرم‌افزار HELP، نمودار بارش سالانه در مقابل شیرابه نفوذیافته به زیر مرکز دفن در هر سال رسم شد (شکل ۲). در این نمودار اطلاعات سناریوی اول به‌عنوان سناریوی پایه و سناریوهای دوم تا چهارم که دارای تفاوت شرایط بارش در زمان بهره‌برداری بودند، آورده شده است.

مطابق شکل ۲، در سال ۱ با وجود اطلاعات هیدرولوژیکی مشابه، هر چهار سناریو دارای میزان شیرابه‌زایی متفاوتی بوده‌اند که در ادامه این اختلاف به‌مرور زمان تعدیل شده و تقریباً از سال پنجم برای سناریوی دو، سال سیزدهم برای سناریوی سه و سال یازدهم برای سناریوی چهار مشابه سناریوی اول شده است. در واقع، میزان بارش متفاوت در زمان بهره‌برداری باعث این اختلاف شده است، به‌گونه‌ای که در سناریوی دوم چون لایه‌ها در آستانه حالت اشباع قرار داشته‌اند، با از دست دادن رطوبت خود سریعتر به شرایط یکسان با سناریوی اول رسیده‌اند؛ اما در سناریوی سوم و چهارم چون شرایط رطوبتی لایه‌ها از حالت اشباع فاصله دارد، این فاصله زمانی طولانی‌تر شده است.

میان بارش و شیرابه نفوذیافته به زیر مرکز دفن در بعضی از سال‌ها رابطه مستقیم وجود دارد (به‌عنوان نمونه طی سال‌های ۵ تا ۷ و ۸ تا ۱۲)، اما در برخی از موارد نظیر مابین سال‌های ۷ و ۸ با وجود کاهش میزان بارش، نشت شیرابه از کف لندفیل بیشتر شده است. هم‌چنین، مابین سال‌های ۱۸ و ۱۹، با وجود افزایش میزان بارش، شیرابه‌زایی روند نزولی دارد و کاهش یافته است. برای بررسی بهتر این موضوع، با استفاده از اطلاعات مربوط به تغییرات رطوبت لایه‌های لندفیل، نمودار شکل ۳ رسم شد.



شکل ۲- رابطه میان بارش و میزان شیرابه نشت‌یافته از کف لندفیل (محل دفن زباله)



شکل ۳- رابطه میان بارش و تغییرات رطوبت لایه‌های لندفیل (محل دفن زباله)

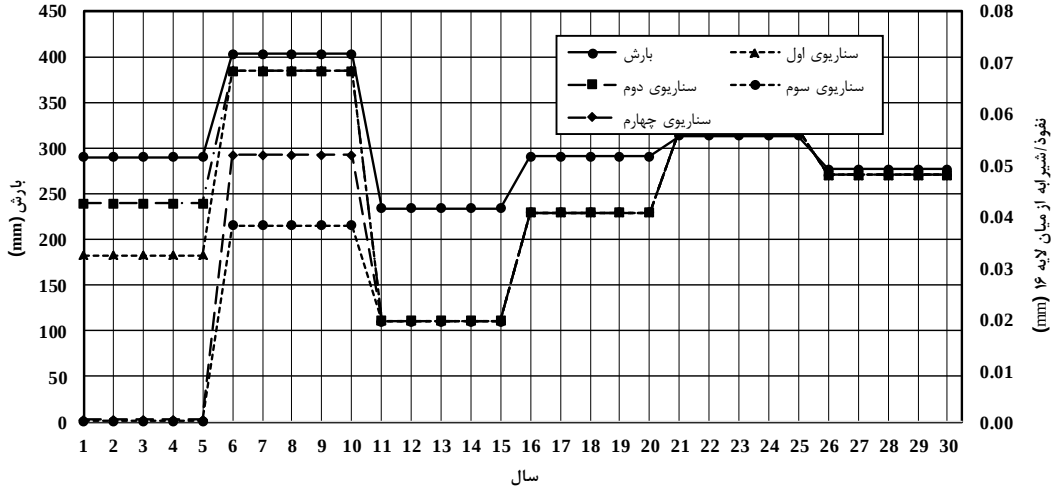
(اعداد منفی به منزله کاهش رطوبت لایه‌های لندفیل در انتهای سال نسبت به ابتدای سال است).

مطابق شکل ۳، تغییرات رطوبت لایه‌های لندفیل در شرایط هیدرولوژیکی مشابه برای چهار سناریو در ابتدا متفاوت است و در ادامه به‌مرور به هم نزدیک شده‌اند. طبق شکل مذکور، برای سناریوی دو، در سال اول تغییرات رطوبت لایه‌های لندفیل منفی است. در واقع لایه‌های لندفیل بدلیل شرایط بهره‌برداری در آستانه حالت اشباع قرار گرفته‌اند و رطوبت خود را از دست داده‌اند که این موضوع سبب کاهش رطوبت لایه‌ها در انتهای سال نسبت به ابتدای سال و هم‌چنین افزایش شیرابه نشت‌یافته به داخل خاک

شده است. بنابراین، تغییرات رطوبت لایه‌های لندفیل ناشی از شرایط بهره‌برداری باعث ایجاد پیک در شیرابه‌زایی برای سال اول در سناریوی دوم شده است. اما در سناریوی سه و چهار، تغییرات رطوبت لایه‌ها در سال اول مثبت است که نشان‌دهنده جذب بارش توسط لایه‌های داخل لندفیل است که به‌همین دلیل شیرابه‌زایی نیز بسیار کم است. اما در ادامه، پس از سال اول به‌مرور شرایط رطوبتی لایه‌ها به‌دلیل شرایط هیدرولوژیکی مشابه، به‌هم نزدیک شده است که به‌دنبال آن روند شیرابه‌زایی در چهار سناریو نیز به هم نزدیک و یکسان شده است.

مطابق شکل‌های ۲ و ۳، میان بارش و شیرابه‌زایی براساس تغییرات رطوبت لایه‌های خاک رابطه منطقی دیده می‌شود. به‌عنوان نمونه در همه سناریوها، در سال ۸ بارش نسبت به سال ۷ کمتر است؛ با این‌وجود در این سال میزان نشت شیرابه از کف لندفیل بیشتر از سال ۷ است. در مقابل رطوبت لایه‌های لندفیل در طی سال ۷ افزایش یافته و در طی سال ۸ کمتر شده است. در واقع در طی سال ۷ بخش قابل‌توجهی از بارش ورودی در لایه‌های مدفن بصورت رطوبت ذخیره شده است؛ اما در سال ۸ به‌دلیل اشباع شدن وضعیت رطوبتی لایه‌ها، رطوبت ذخیره شده و بخشی از بارش ورودی از کف لندفیل نشت کرده که این امر سبب افزایش میزان نشت نسبت به سال ۷ شده است. هم‌چنین، در طی سال ۱۹ با وجود این‌که بارش بسیار بیشتری از سال ۱۸ را تجربه کرده است، ولی شیرابه‌زایی کمتر از آن را دارد. در مقابل افزایش رطوبت لایه‌های لندفیل سال ۱۹ نیز بسیار بیشتر از سال ۱۸ است. به‌عبارت دیگر، در سال ۱۹ قسمت اعظمی از بارش به‌صورت رطوبت در داخل لایه‌های لندفیل باقی مانده است؛ اما در طی سال ۱۸، علاوه‌بر بارش بخشی هم از رطوبت موجود در لایه‌های لندفیل به‌صورت شیرابه از آن خارج شده است. به‌بیان ریاضی، در طی سال ۱۸، رطوبت داخل لندفیل ۴۵/۲۹ mm کاهش یافته؛ اما در سال ۱۹ مقدار این رطوبت ۱۲۲/۱۷ mm افزایش پیدا کرده است. به‌همین دلیل شیرابه نشت‌یافته از لندفیل به داخل خاک در طی سال ۱۹ کمتر از سال ۱۸ است.

با توجه به مطالب ذکر شده، انتظار می‌رود بارش هر سال در طی سال‌های آتی بر رطوبت لایه‌ها و شیرابه‌زایی اثرگذار باشد. لذا برای نمایش بهتر نتایج و بررسی اثر بارش بر شیرابه‌زایی، نمودار مابین بارش متوسط ۵ ساله و شیرابه‌زایی متوسط ۵ ساله برای هر چهار سناریو، در شکل ۴ رسم شد.



شکل ۴- رابطه میان بارش و میزان شیرابه نشت‌یافته از کف لندفیل (محل دفن زباله) (متوسط ۵ ساله)

مطابق نمودارهای قبل، تأثیر شرایط بهره‌برداری با توجه به‌شدت بارش تا زمان‌های متفاوتی، لندفیل را درگیر خود می‌کند. به‌عنوان نمونه، در سناریوی دوم این زمان تا ۵ سال ابتدایی پس از بستن لندفیل ادامه خواهد داشت و پس از آن شرایط شیرابه‌زایی با سناریوی یک، یکسان خواهد بود. اما نکته قابل‌توجه تطابق روند بارش متوسط در طی ۵ سال با میانگین شیرابه‌زایی از کف لندفیل برای هر چهار سناریو در مدت زمان مشابه است که به اثبات فرضیه تأثیر بارش در بلندمدت کمک می‌کند.

۴- نتیجه‌گیری

یکی از ملزومات جمع‌آوری و تصفیه شیرابه در مراکز دفن، تخمین میزان شیرابه تولیدی است؛ لذا در مطالعه حاضر با کمک نرم‌افزار HELP میزان شیرابه‌زایی در لایه‌های زهکشی و کف مدفن در زمان‌های بهره‌برداری و پس از آن برآورد شد. در ادامه، چهار سناریو برای بررسی تأثیرات شرایط بهره‌برداری بر شیرابه‌زایی تعریف شد. طبق محاسبات، عدم توجه به شرایط بهره‌برداری در

محاسبه شیرابه در بدترین شرایط بارش (بیشترین بارش)، باعث نادیده گرفتن میزان ۲۶،۲۰۶ مترمکعب از حجم شیرابه زهکشی و ۲۴/۸۵ مترمکعب از حجم شیرابه نفوذی به خاک در طی ۳ سال بهره‌برداری و میزان ۳،۰۹۴ مترمکعب از حجم شیرابه زهکشی و ۵/۴۶ مترمکعب از حجم شیرابه نفوذی به خاک در طی ۳۰ سال پس از بستن لندفیل خواهد شد. بنابراین باید تمهیدات لازم برای مدیریت زمان بهره‌برداری لندفیل از نظر شیرابه‌زایی اندیشیده شود؛ زیرا عدم‌توجه به آن باعث افزایش احتمال آلودگی خاک و سفره آب زیرزمینی خواهد شد.

در ادامه، برای بررسی تأثیر بارش به عنوان مهم‌ترین پارامتر بر شیرابه‌زایی، تحلیل‌هایی انجام گرفت. طبق خروجی‌ها، تأثیرات بارش بر رطوبت لایه‌ها و شیرابه‌زایی با توجه به مقدار آن، از ۵ تا ۱۳ سال پس از بستن لندفیل ادامه خواهد داشت. بنابراین، اثر بارش بر شیرابه‌زایی کوتاه‌مدت نیست و تا زمانی ادامه می‌یابد که باعث اشباع شدن لایه‌های لندفیل از نظر ظرفیت نگهداشت رطوبت شود.

۵- پی‌نوشت‌ها

1- Water Balance Method (WBM)
2- Hydrologic Evaluation of Landfill Performance (HELP) Model
3- Landfill

۶- مراجع

حاجیان، ع.، فهیمی، ف. غ. ر.، و حائری پور، س.، (۱۳۹۱)، "ارائه راه‌کارهای مدیریتی کنترل شیرابه محل دفن زباله شهرستان اسفراین"، *سومین همایش بیوانرژی ایران (بیوماس و بیوگاز)*، تهران.

ذوقی، م. ج.، و قویدل، آ.، (۱۳۸۹)، "کاربرد مدل HELP در تخمین میزان شیرابه تولیدی در دفن‌گاه زباله، مطالعه موردی: محل دفن سمنان"، *مجله سلامت و محیط*، ۱(۴)، ۶۵-۷۶.

سازمان هواشناسی کشور، (۱۳۹۸)، "داده‌های سینوپتیک رایگان"، http://www.irimo.ir/.

صبور، م. ر.، قنبرزاده لک، م.، و قربان، ا.، (۱۳۹۰)، *مدیریت پسماند و بازیافت منابع*، ترجمه، انتشارات دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران.

طباطبایی، م.، و اکبرپور، ا.، (۱۳۹۷)، "مروری بر تجارب جهانی روش پمپاژ و تصفیه در پالایش آبخوان‌های آلوده"، *نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب*، (۴)۳، ۳۳-۴۸.

عابدی کوپایی، ج.، و نصیرزاده، ح.، (۱۳۸۳)، "برآورد پتانسیل آلایندگی لندفیل اصفهان با استفاده از مدل HELP"، *اولین کنگره ملی مهندسی عمران*، دانشگاه صنعتی شریف، تهران.

فهام، م.، اکبری، ز.، فوادی، ح.، و حاجی بابایی، م.، (۱۳۹۶)، "نرم‌افزارهای کاربردی در تخمین شیرابه تولیدی در مدفن زباله"، *چهارمین کنفرانس بین‌المللی برنامه‌ریزی و مدیریت محیط زیست*، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران، تهران.

قنبرزاده لک، م.، امیری، ا.، و مرادی کیا، س.، (۱۳۹۳)، *شیرابه مراکز دفن پسماند، تولید، کنترل و تصفیه*، ترجمه، انتشارات دانشگاه ارومیه، ارومیه.

معاونت پژوهش و فن‌آوری دانشگاه ارومیه، (۱۳۹۶)، *طرح تحقیقات پژوهش و مطالعاتی توسعه سناریوی قابل اجرای مدیریت پسماندهای شهری تولیدی در شهرهای سرو، سیلوانا، قوشچی و نوشین شهر و ارائه الگوی مناسب مدیریت زایدات تولیدی در روستاهای تابعه*، دانشگاه ارومیه، ارومیه.

موسوی بایگی، م.، اشرف، ب.، و میان‌آبادی، آ.، (۱۳۸۹)، "بررسی مدل‌های مختلف برآورد تابش خورشیدی به‌منظور معرفی مناسب‌ترین مدل در یک اقلیم نیمه‌خشک"، *نشریه آب و خاک*، ۲۴(۴)، ۸۳۶-۸۴۴.

یارمرادی، ز.، خداداد، م.، نصیری، ب.، و کرمپور، م.، (۱۳۹۸)، "مکان‌یابی عرصه‌های مناسب آب‌های زیرزمینی نیازمند به تغذیه مصنوعی با مدل فازی (با تأکید بر استان لرستان)"، *نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب*، ۴(۲)، ۴۷-۵۷.

Abunama, T., Othman, F., Alslaibi T., and Abualqumboz, M., (2017), "Quantifying the generated and percolated leachate through a landfill's lining system in Gaza Strip, Palestine". *Polish Journal of Environmental Studies*, 26(6), 2455-2461.

Alslaibi, T.M., Abustan, I., Mogheir, Y.K., and Afifi, S., (2013), "Quantification of leachate discharged to groundwater using the water balance method and the Hydrologic Evaluation of Landfill Performance (HELP) model", *Waste Management & Research*, 31(1), 50-59.

Berger, K.U., (2015), "On the current state of the Hydrologic Evaluation of Landfill Performance (HELP) model", *Waste Management*, 38(1), 201-209.

Fatta, D., Papadopoulos, A., and Loizidou, M., (1999), "A study on the landfill leachate and its impact on the groundwater quality of the greater area", *Environmental Geochemistry and Health*, 21(2), 175-190.

Frikha, Y., Fellner, J., and Zairi, M., (2017), "Leachate generation from landfill in a semi-arid climate: A qualitative and quantitative study from Sousse,

Tunisia", *Waste Management & Research*, 35(9), 940-48.
Jang, Y.S., Kim, Y.W., and Lee, S.I., (2002), "Hydraulic properties and leachate level analysis of Kimpo metropolitan landfill, Korea", *Waste Management*, 22(3), 261-267.
Jemec, A., Tišler, T., and Žgajnar-Gotvajn, A., (2012), "Assessment of landfill leachate toxicity reduction after biological treatment", *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 62(2), 210-221.
Nakhaei, M., Amiri, V., Rezaei, K., and Moosaei, F., (2015), "An investigation of the potential environmental contamination from the leachate of the Rasht waste disposal site in Iran", *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 74(1), 233-246.
Niessen, W.R., (2002), *Combustion and incineration processes* (*environmental science and pollution control series*), Marcel Dekker Inc, New York.
Schroeder P.R., Aziz, N.M., Lloyd, C.M., and Zappi, P.A., (1994). *The Hydrologic Evaluation of Landfill Performance (HELP) model: User's guide for version 3 (p. 233)*, Office of Research and Development, US Environmental Protection Agency, Washington, D.C.
Shroff, V.S., (1999), "An investigation of leachate production from MSW landfills in semi-arid climates", M.Sc. Thesis, Department of Civil Engineering, University of Calgary, Alberta, Canada.
Tatsi, A.A., and Zouboulis, A.I., (2002), "A field investigation of the quantity and quality of leachate from a municipal solid waste landfill in a Mediterranean climate (Thessaloniki, Greece)", *Advances in Environmental Research*, 6(3), 207-219.
Tchobanoglous, G., Theisen, H., and Vigil, S., (1993). *Integrated solid waste management: Engineering principles and management lssues*, McGraw-Hill, New York.
Yalcin, F., and Demirer, G., (2002), "Performance evaluation of landfills with the HELP (hydrologic evaluation of landfill performance) model: Izmit case study", *Environmental Geology*, 42(7), 793-799.

۷- پیوست

۷-۱- راهنمای نصب و استفاده از برنامه HELP در نسخه‌های ۶۴ بیتی و بالاتر از ویندوز ۷

۱. ابتدا برنامه HELP را از سایت USEPA و از طریق لینک زیر دانلود نمایید:

https://www.epa.gov/land-research/hydrologic-evaluation-landfill-performance-help-model

۲. فایل دانلود شده با فرمت zip. است؛ لذا آن را Extract کنید تا فایل zhelp.exe به‌وجود آید؛

۳. فایل مذکور را نیز دوباره در یکی از درایوها نظیر درایو C، Extract کنید تا پوشه zhelp3p به‌وجود آید؛

۴. برنامه DOS Box 0.74 را دانلود کنید؛

۵. وارد برنامه DOS Box شده و در خط دستوری آن، موارد زیر را وارد کنید:

```
Z:\> mount C C:\
Z:\> C:\
C:\> mount zhelp3p zhelp3p:\
C:\> CD zhelp3p
C:\> zhelp3p > install
```

۶. سپس؛ مراحل نصب را طی کنید. در پایان نصب، خط دستوری به صورت پیش‌فرض در وضعیت زیر قرار خواهد گرفت:

```
C:\> help3
```

در این مرحله، برای اجرای نرم افزار HELP در ادامه خط دستوری بالا، فرمان help3 را تایپ کنید و با زدن دکمه Enter، برنامه را اجرا نمایید:

```
C:\> help3 > help3
```

۷-۲- اجرای نرم‌افزار HELP پس از نصب

بعد از اتمام مراحل نصب و پس از خروج از برنامه DOS Box، وقتی کاربر بخواهد دوباره برنامه HELP را اجرا کند، باید مراحل زیر را طی کند:

ابتدا برنامه DOS Box را اجرا نموده، سپس در خط دستوری موارد زیر را تایپ کنید:

```
Z:\> mount C C:\
Z:\> C:
C:\> CD help3
C:\> help3 > help3
```

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC-BY) license.