

برآورد شیرابه تولید شده در مرکز دفن حلقه‌دره کرج به روش موازنه آب

آزاد ملایی^۱؛ رضا رفیعی^{۲*} و مظاهر معین الدینی^۲

۱ - دانشجوی کارشناسی ارشد آلودگی‌های محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۲ - استادیار، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۹۹/۰۷/۰۳ - تاریخ پذیرش ۹۹/۱۱/۰۶)

چکیده:

امروزه علی‌رغم تلاش‌ها برای کاهش دفن پسماند، هنوز بخش بزرگی از پسماند در ایران در مراکز دفن (Landfill)، دفن می‌شود. به دلیل فعل و انفعالات درون لندفیل و تجزیه میکروبی حجم بالایی از شیرابه تولید می‌شود که باعث آلودگی آب‌های زیر زمینی می‌شود. به همین جهت در این پژوهش جهت برآورد شیرابه تولید شده لندفیل حلقه‌دره کرج از روش موازنه آب استفاده شد به طوری که تمامی پارامترهای موثر در تولید شیرابه از جمله بارندگی، شاخص حرارتی سالانه، رواناب، تبخیر و تعرق بالقوه و واقعی، بازچرخش، تبخیر از سطح حوضچه‌های بازچرخش، میزان آب مصرف شده در تولید گاز و همچنین حجم شیرابه درون لندفیل در نظر گرفته و محاسبه گردید. سپس با توجه به شرایط متفاوت ماهانه، مدل‌سازی برای یک سال انجام شد. جهت صحت‌سنجی نتایج مدل، ماه‌های آذر، دی، بهمن، اسفند، فروردین، اردیبهشت، خرداد، تیر و مرداد اقدام به اندازه‌گیری تولید واقعی شیرابه شد. مقایسه نتایج مدل‌سازی با مقدار واقعی نشان داد ضریب همبستگی (R) و ضریب تعیین (R^2) به ترتیب ۰/۹۶۶ و ۰/۹۳۳ است که بیانگر دقت قابل قبول و برازش بالای مدل و ارتباط قوی بین مقدار واقعی و مقدار شیرابه مدل‌سازی شده بود. همچنین ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین قدر مطلق درصد خطا (MAPA) به ترتیب ۱۳۲۸/۲۷ مترمکعب و ۹/۱۷ درصد شد که نشان دهنده اختلاف و خطای اندک مدل‌سازی در مقایسه با برداشت میدانی بود. همچنین آنالیز حساسیت پارامترهای ورودی نشان داد مهم‌ترین عامل تأثیرگذار در تولید شیرابه، رطوبت پسماند است. از نتایج دیگر این پژوهش سادگی و قابلیت اجرای این روش جهت برآورد تولید شیرابه برای اکثر لندفیل‌های مناطق خشک ایران است.

کلید واژگان: برآورد تولید شیرابه، لندفیل حلقه‌دره، روش موازنه آب

۱. مقدمه

Grugnaletti و همکاران در سال ۲۰۱۶ به تخمین شیرابه چهار لندفیل در ایتالیا به روش مدل توسعه داده شده مبتنی بر تکنیک موازنه آب پرداختند و نتایج را با مقدار واقعی تولیدی شیرابه و مدل HELP مقایسه کردند. نتایج نشان داد دقت مدل موازنه آب در مقایسه با مدل HELP بهتر است چرا که مدلسازی روش موازنه آب منطق بر شرایط لندفیل صورت می‌گیرد و همچنین پارامترای کلیدی در تولید شیرابه در مدل لحاظ می‌شود که در مدل HELP در نظر گرفته نمی‌شود (Grugnaletti *et al.*, 2016). همچنین Alslaihi و همکاران در سال ۲۰۱۳ در لندفیل دیر البلاه در نوار غزه با هدف ارزیابی میزان نفوذ شیرابه تولید شده در سفره آب زیرزمینی به تخمین نفوذ شیرابه به آب‌های زیرزمینی با استفاده از روش موازنه آب و HELP پرداختند (Alslaihi *et al.*, 2013). در این پژوهش درصد خطا در طول دوره شبیه‌سازی بین مدل HELP و روش موازنه آب برای تخمین شیرابه انباشته شده سالانه، ۳/۹۴ درصد بود در حالی که درصد خطای بین دو روش و داده‌های اندازه‌گیری شده در واقعیت ۲۹/۴۴ درصد برای موازنه آب و ۳۳/۴ درصد برای مدل HELP را نشان داد همچنین Al-Fatlawi در سال ۲۰۱۵ به طراحی سیستم جمع‌آوری شیرابه با هدف برآورد شیرابه برای لندفیل عراق پرداخت که از روش موازنه آب استفاده شد. عوامل محیطی به‌عنوان مهم‌ترین عامل در تولید شیرابه و طراحی لاینر مد نظر قرار گرفت نتایج نشان داد

امروزه مدیریت پسماند به یک نگرانی جدی برای جوامع صنعتی و غیر صنعتی تبدیل شده‌است. این درحالی است که تولید پسماند به طور مداوم در حال افزایش است. از این رو دفع پسماند همواره موضوع مهمی برای جوامع بشری بوده است (Singh, 2019). زیرا در هر صورت بخش بزرگی از پسماند تولید شده باید در زمین دفن شود به همین جهت در بسیاری از کشورها از جمله ایران، مهم‌ترین روش برای مدیریت پسماند دفن آن است (Moghadam *et al.*, 2009). بعد از دفن پسماند در لندفیل، حجم بالایی از شیرابه که نتیجه فعالیت بیولوژیکی و شیمیایی پسماند در مراحل مختلف جمع-آوری و پردازش پسماند است، همزمان قبل از دفن و پس از دفن پسماند در لندفیل تولید می‌گردد (Seibert *et al.*, 2019). باتوجه به اینکه عمده‌ترین مشکل محل دفن پسماند شهری، شیرابه و گاز تولید شده در اثر تجزیه پسماندهای دارای ترکیبات آلی است، شیرابه پس از تولید با عبور از خاک، باعث آلودگی خاک و سپس با راه یافتن به آب‌های سطحی و یا زیرزمینی مخاطرات بهداشتی و محیط‌زیستی برای انسان و موجودات ایجاد می‌کند (Hube *et al.*, 2011). درحقیقت شیرابه را می‌توان به عنوان منبع بالقوه آلودگی اکوسیستم‌های سطحی و زیرزمینی در نظر گرفت از این رو با توجه به اهمیت مدیریت شیرابه، برآورد شیرابه جهت اقدامات کاهش و مدیریت هدفمند آن امری اجتناب پذیر و ضروری است.

1- Hydrologic Evaluation of Landfill Performance

سانتی گراد است همچنین مساحت سلول مرکز دفن فعال ۱۵ هکتار است. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

۲-۲. روش موازنه آب^۱

اساس این روش مبتنی بر موازنه جرمی آب وارد شده و خارج شده است. در بیشتر معادلات ارائه شده توسط محققین مقدار آب وارد شده به لندفیل را مساوی با مقدار آب خارج شده از مرکز دفن قرار داده و با جایگذاری مقادیر مربوط به هر مولفه و با حل معادله، مقدار شیرابه خروجی محاسبه می‌شود. این روش ساده برای پیش‌بینی مقدار تولید شیرابه مورد استفاده قرار می‌گیرد (São Mateus *et al.*, 2012). رابطه موازنه آب در مرکز دفن-هایی که در فاز عملیاتی می‌باشند را می‌توان به صورت زیر نشان داد (Al-Fatlawi, 2015).

$$L = P + S + G + R^* - R + L_L - ET - W \quad (1) \quad \text{رابطه (۱)}$$

L: شیرابه تولید شده (متر مکعب در ماه)

P: بارندگی (میلی متر در ماه)، S و G: نفوذ از آب سطحی و زیر زمینی (متر مکعب در ماه)، R*: بازچرخش شیرابه (متر مکعب در ماه)، R: رواناب سطحی (میلی‌متر در ماه)، L_L: حجم شیرابه تولید شده درون مرکز دفن (متر مکعب در ماه)، ET: تبخیر و تعرق واقعی (میلی‌متر در ماه)، W: آب مصرف شده در تشکیل گاز (متر مکعب در ماه)

براساس گزارشات و مطالعات صورت گرفته در ارتباط با حلقه دره، شیب سطح مرکز دفن کمتر از ۵ درصد، مواد آلی پسماند شهری به حدود ۷۱/۵۶ درصد، متوسط سرانه پسماند ۶۹۹ گرم در روز، رطوبت پسماند نیمه نخست

بارش مهمترین‌ترین عامل در تولید شیرابه است (Al-Fatlawi, 2015). با توجه به اهمیت مدیریت شیرابه، تخمین میزان شیرابه برای کنترل و تصفیه شیرابه ضروری است. به این معنا که برای کنترل و جمع‌آوری شیرابه تولید شده لازم است نرخ تولید شیرابه برآورد شود زیرا بدون برآورد نرخ تولید شیرابه طراحی سیستم‌های جمع‌آوری در لندفیل، هدایت و کنترل شیرابه امکان‌پذیر نیست. به همین جهت هدف از انجام این پژوهش برآورد تولید شیرابه با استفاده از روش موازنه آب و مقایسه نتایج مدل با مقدار برداشت شده واقعی برای مدیریت شیرابه جهت طراحی سامانه تصفیه و بازچرخانی شیرابه است. همچنین نتایج دیگر مدل، نشان می‌دهد که مهمترین منبع تولید شیرابه در لندفیل‌های مناطق خشک ایران کدام عامل است.

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. منطقه مورد مطالعه

حلقه‌دره مرکز دفن پسماندهای استان البرز 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 حجم بسیار بالایی از پسماند (۱۲۰۰-۱۵۰۰ تن) در این مکان دفن می‌شود. از نظر توپوگرافی مرکز دفن شهرستان کرج (حلقه‌دره) در ارتفاع ۱۳۱۷ متر از سطح دریا قرار گرفته است و شیب عمومی زمین در این محدوده حدود ۵ الی ۲۰ درصد می‌باشد (Moeinaddini *et al.*, 2010). متوسط میانگین بارندگی منطقه ۲۲۴/۱ میلی‌متر در سال و میانگین دمای سالانه ۱۵/۷ درجه

1- water balance method

$$R = P \times C \quad \text{رابطه ۲}$$

R: رواناب سطحی (متر مکعب در ماه)، C: ضریب رواناب: ضریب رواناب سطحی از رابطه ۳ بدست می آید.

$$C = a \times bi \quad \text{رابطه ۳}$$

a: ضریب وابسته به نوع ماده استفاده شده در پوشش فوقانی مرکز دهن، bi: بستگی به رطوبت خاک در ماهای مختلف دارد، P: بارندگی (میلی متر درماه)

سال ۶۲ درصد و نیمه دوم سال ۶۸ درصد، چگالی پسماند ۵۵۰ کیلوگرم در مترمکعب، میزان مواد تراکم پذیر ۹۰/۵ درصد و متوسط پسماند تولیدی ورودی به حلقه دره ۱۲۰۰ - ۱۵۰۰۰ تن است (Monavari et al., 2014). لازمه برآورد شیرابه به روش موازنه آب، محاسبه هر یک از پارامترهای ذکر شده در رابطه ۱ است.

۱-۲-۲. رواناب سطحی^۱

جهت برآورد رواناب سطحی در منطقه مورد مطالعه از رابطه ۲ استفاده شد (Al-Fatlawi, 2015).

جدول ۱- مقادیر تجربی برآورد پارامتر a در معادله رواناب (Al-Fatlawi, 2015)

| شیب | | | نوع مرکز دهن | نوع خاک |
|-------------|-------------|-------------|--------------|---------------|
| < ۵ | ۵ - ۱۰٪ | > ۱۰۰ | بسته | شنی |
| ۰/۰۵ - ۰/۱۰ | ۰/۱۰ - ۰/۱۵ | ۰/۱۵ - ۰/۲۰ | | |
| ۰/۱۳ - ۰/۱۷ | ۰/۱۸ - ۰/۲۲ | ۰/۲۵ - ۰/۳۵ | رسی | در حال فعالیت |
| ۰/۰۸ - ۰/۱۳ | ۰/۱۳ - ۰/۱۸ | ۰/۱۸ - ۰/۲۵ | شنی | |
| ۰/۱۶ - ۰/۲۰ | ۰/۲۱ - ۰/۲۵ | ۰/۲۷ - ۰/۱۰ | رسی | |

جدول ۲- مقادیر تجربی برآورد پارامتر b در معادله رواناب (Al-Fatlawi, 2015)

| مهر | آبان | آذر | دی | بهمن | اسفند | فروردین | اردیبهشت | خرداد | تیر | مرداد | شهریور |
|-----|------|-----|-----|------|-------|---------|----------|-------|------|-------|--------|
| ۱/۲ | ۱/۴ | ۱/۶ | ۱/۶ | ۱/۸ | ۱/۴۳ | ۰/۹۷ | ۰/۹۸ | ۰/۳۷ | ۰/۲۹ | ۰/۲۹ | ۰/۴۶ |

۲-۲-۲. تبخیر و تعرق^۲

(معادلات تجربی و نیمه تجربی) فقط در شرایط خاص اقلیمی معتبر است. از این رو در رابطه ۴ و ۶ الگوهای دما و ساعات تابش خورشیدی که نقش مهمی در تبخیر

روش‌های مستقیم اندازه‌گیری ET اغلب گران و به محققان مجرب نیاز دارد سایر روش‌های غیرمستقیم

3-Evaporation

1- Runoff

2-Final cover

مشخص را نشان می‌دهد که بر این اساس میزان مصرف

آب محاسبه شد. رابطه (۸)

$$Q = W \times L_0 \times K \times e^{(-k \times T)}$$

Q: مقدار کل گاز تولید شده (متر مکعب در ماه)، W: کل

پسماند (کیلوگرم)، T: زمان، L₀: پتانسیل تولید گاز از

پسماند (متر مکعب در تن)، K: نرخ تولید گاز متان (معکوس

سال)، e: عدد نپر (۲,۷۱۸) مطابق استاندارد EPA

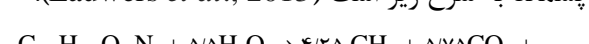
پتانسیل تولید گاز در هر تن پسماند ۱۷۰ متر مکعب می-

باشد. همچنین نرخ تولید گاز متان از مرکز دفن حلقه

دره ۰/۰۴ برآورد شده است. (EPA, 2005). روند اصل

استوکیومتری موازنه جرم در فرایند هضم بی‌هوازی

پسماند به شرح زیر است (Lauwers et al., 2013):



۲-۲-۴. حجم شیرابه تولیدی داخل مرکز دفن

جهت برآورد حجم شیرابه تولید شده داخل مرکز دفن

می‌بایست رطوبت پسماند، چگالی شیرابه، حجم پسماند

دفن شده و ظرفیت نگهداشت پسماند را لحاظ کرد.

ظرفیت نگهداشت (FC) پسماند به دلیل نیروی ثقل در

روزهای اول دفن پسماند به سرعت تغییر می‌کند. FC

پسماند با افزایش عمق پسماند کاهش می‌یابد. همچنین

FC پسماند متغییر وابسته به تراکم است و با افزایش

تراکم کاهش می‌یابد. جهت محاسبه ظرفیت نگهداشت

پسماند باید حجم پسماند در یک ستون با حجم یک

مکعب مستطیل که مقطع ۱m² با ارتفاع مشخص سلول

محاسبه شود (Tchobanoglous, 2009). بنابراین با

ستون سلول ۱۸ متری و احتساب چگالی منطقه مورد

مطالعه، مقدار پسماند از وسط سلول مطابق رابطه ۷، Kg

و تعرق دارند لحاظ شدند. تبخیر و تعرق بالقوه با استفاده

از فرمول تورنت وایت^۱ محاسبه می‌شود (Chen et al.,

2005).

$$ET_p = 16 \times Nm \left\{ 1 + \frac{TI}{IT} \right\}^a \quad \text{رابطه (۴)}$$

ET_p: تبخیر و تعرق بالقوه در یک ماه (میلی‌متر در ماه)

Nm: ضریب اصلاحی برای عرض‌های شمالی مختلف

جغرافیایی در ماه‌های مختلف، TI: میانگین دمای ماهانه

(سانتی‌گراد)، IT: شاخص حرارتی سالانه: شاخص

حرارتی سالانه از رابطه ۵ به دست می‌آید.

$$IT = \sum \left(\frac{T_i}{5} \right)^{1.514} \quad \text{رابطه (۵)}$$

a: آلفای ماهانه: از رابطه ۶ جهت محاسبه آلفا براساس

شاخص حرارتی ماهانه استفاده می‌شود. رابطه (۶)

$$a = ((6/75 \times 10^{-10} \times IT^3) - ((7/71 \times 5^{-10}) \times IT^2$$

$$+ ((1/79 \times 10^{-2}) \times IT) + 0.49239$$

رابطه ۴ به این فرضیه بستگی دارد که تعداد روزهای ماه

(۳۰) روز است و تعداد ساعات طلوع آفتاب تا غروب

خورشید (۱۲) ساعت است. بنابراین می‌توان تبخیر و

تعرق واقعی را از طریق رابطه ۷ بدست آورد.

$$ET = ET_p \left(\frac{D \times T}{36.5} \right) \quad \text{رابطه (۷)}$$

ET: تبخیر و تعرق واقعی (میلی‌متر در ماه)، D: تعداد

روز در ماه (۳۰)، T: میانگین تعداد ساعات خورشیدی در

روز

۲-۲-۳. آب مصرف شده در تشکیل گاز

آب مصرف شده در تولید گاز با استفاده از معادله

استوکیومتری هضم بی‌هوازی محاسبه شد. رابطه ۸

میزان تولید گاز از توده مشخص پسماند در بازه زمانی

۱- Thorntwaite formula

L_L : حجم شیرابه درون سلول دفن (متر مکعب در ماه)

W_d : پسماند ورودی روزانه بر حسب تن (۱۲۰۰)،

D : تعداد روز در ماه (۳۰)،

F_C : ظرفیت نگهداشت (درصد)، M_w : رطوبت پسماند

(درصد)، D_L : چگالی شیرابه (تن بر متر مکعب)

۲-۲-۵. بارندگی

داده‌های هواشناسی از سازمان هواشناسی اخذ شد و

میانگین بارندگی سالیانه منطقه مورد مطالعه برای دوره

۳۳ ساله محاسبه گردید. در جدول ۳ میزان بارندگی دوره

۳۳ ساله بر حسب میلی‌متر آورده شده است.

۴۹۵۰ معادل L_b ۱۰۹۱۲/۸۸ است. برآورد ظرفیت نگه-

داشت پسماند در رابطه ۱۰ آورده شده است.

$$F_c = 6/0 - 55/0 \left(\frac{w}{10000+w} \right) \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

W : جرم پسماند از وسط سلول فعال (پوند)

F_C : ظرفیت نگهداشت

رابطه ۱۰ نشان دهنده حجم شیرابه‌ای است که توسط

پسماند در مرکز دفن نگه‌داشته شده و مابقی با نیروی

ثقل به صورت شیرابه به کف سلول هدایت می‌شود.

برآورد حجم شیرابه تولیدی درون سلول دفن با احتساب

ظرفیت نگهداشت پسماند از رابطه ۱۱ محاسبه شد.

$$L_L = D \times W_d \times M_w \times F_c \times D_L \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

جدول ۳- میزان بارندگی منطقه مورد مطالعه (mm)

| شهریور | مرداد | تیر | خرداد | اردیبهشت | فروردین | اسفند | بهمن | دی | آذر | آبان | مهر |
|--------|-------|-----|-------|----------|---------|-------|------|------|-----|------|-----|
| ۱/۲ | ۰/۷ | ۲ | ۲/۵ | ۲۱/۸ | ۴۵/۵ | ۳۴/۴ | ۳۱/۴ | ۲۴/۵ | ۲۴ | ۲۷/۲ | ۸/۹ |

رابطه (۱۲) $E = 0/833 (4/57 T + 43/3)$

در این رابطه T متوسط ماهانه دمای هوا بر حسب درجه

سانتی‌گراد و E بر حسب میلی‌متر در ماه است.

۲-۳. صحت‌سنجی مدل

جهت صحت‌سنجی نتایج روش موازنه آب، اندازه‌گیری

مقدار واقعی شیرابه تولیدی در منطقه مورد مطالعه

بصورت مستمر در ماه‌های آذر، دی، بهمن، اسفند،

فروردین، اردیبهشت، خرداد، تیر و مرداد برداشت شد.

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

۲-۲-۶. نفوذ از آب سطحی و زیر زمینی

سطح آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه عمیق و

حدود ۱۰۰ متر و جنس خاک رسوبات آبرفتی از جنس

رس و لای است و تاکنون آلودگی آب زیرزمینی به شیرابه

و همچنین نفوذ از آب سطحی و زیرزمینی گزارش نشده

است.

۲-۲-۷. بازچرخش شیرابه

بازچرخش شیرابه و تبخیر از سطح حوضچه‌های تبخیر

در موازنه آب نقش اساسی دارد که اغلب نادیده گرفته

می‌شود. از شیرابه بازچرخش شده بخشی از آن تبخیر

می‌گردد. دفتر عمران امریکا (USBR) جهت برآورد

تبخیر از سطح، رابطه ۱۲ را معرفی کرده است.

۳. نتایج

۳-۱. رواناب سطحی

باتوجه به این‌که شیب سطح مرکز دفن کمتر از ۵ درصد و سلول در حال فعالیت بوده و مساحت سطح سلول فعال ۱۵ هکتار است، بنابراین مطابق رابطه ۳ و جدول شماره ۳ میانگین مقدار پارامتر a (نوع ماده استفاده شده در پوشش نهایی) ۰/۲۹ و پارامتر b برای ماه مهر مطابق جدول ۲ برابر ۱/۲ است. در جدول شماره ۴ میزان رواناب ماهانه محاسبه شده است. نتایج محاسبه حداکثر رواناب برای ماه مهر به قرار زیر است.

$$R = P \times C \quad R = ۸/۹ \times ۰/۳۴۸۰$$

$$R = ۸/۹ \times ۰/۳۴۸۰ = ۳/۰۹۷۲ \text{ mm/m} \quad (۳/۰۹۷۲ \div ۱۰۰۰)$$

$$\text{متر مکعب در ماه} = ۴۶۵ = ۱۵۰۰۰۰ \text{m}^3 \times$$

جدول ۴- میزان رواناب ماهانه بصورت مترمکعب

| ماه | مهر | آبان | آذر | دی | بهمن | اسفند | فروردین | اردیبهشت | خرداد | تیر | مرداد | شهریور |
|--------|-----|------|------|------|------|-------|---------|----------|-------|-----|-------|--------|
| رواناب | ۴۶۵ | ۱۶۵۶ | ۱۶۷۰ | ۱۷۰۵ | ۲۴۵۹ | ۲۱۴۰ | ۱۹۲۰ | ۹۲۹ | ۴۰ | ۲۵ | ۹ | ۲۴ |

$$Q = ۱۴۸۵۰۰۰ \times ۱۷۰ \times ۰/۰۴ \times ۲/۷۱۸ \quad (۰/۰۴ \times$$

$$\text{متر مکعب در ماه} = ۱۰۰۶۴۵۳۳,۷ \quad (۰/۰۸۳)$$

معادله استوکیومتری نشان می‌دهد که میزان مصرف آب در این فرایند برابر ۳۶۸۲ متر مکعب (میانگین پسماند ورودی به مرکز دفن حلقه‌دره ۱۲۰۰ تن در روز) خواهد بود.

۳-۲. تبخیر و تعرق

با استفاده از معادله تورنت وایت، میزان تبخیر و تعرق برای هر ماه مطابق جدول ۵ محاسبه شد.

۳-۳. آب مصرف شده در تشکیل گاز

مقدار تولید کل گاز متان تولید شده براساس متر مکعب در هر ماه برابر است با:

جدول ۵- تبخیر و تعرق ماهانه بصورت مترمکعب

| ماه | مهر | آبان | آذر | دی | بهمن | اسفند | فروردین | اردیبهشت | خرداد | تیر | مرداد | شهریور |
|--------------|------|------|------|------|------|-------|---------|----------|-------|------|-------|--------|
| تبخیر و تعرق | ۳۷۹۰ | ۲۳۲۱ | ۱۳۱۷ | ۱۲۳۱ | ۱۳۲۶ | ۲۶۵۴ | ۴۰۰۰ | ۵۵۳۳ | ۷۹۰۷ | ۸۷۶۴ | ۷۸۹۰ | ۵۷۴۷ |

1- Hooke-Jeeves Method

۳-۳. آب مصرف شده در تشکیل گاز

$$FC = ۶/۰ - ۵۵/۰ \left(\frac{۸۸/۱۰۹۱۲}{۱۰۰۰۰+۸۸/۱۰۹۱۲} \right) = ۰/۳۱$$

بنابراین با توجه به رابطه ۱۱ حجم شیرابه درون مرکز دفن براساس متر مکعب در شش ماهه نخست و دوم سال برای هر ماه با در نظر گرفتن ظرفیت نگهداشت پسماند برابر است با:

$$۱۵۲۰۲ = ۰/۹۰ \times ۰/۶۹ \times ۰/۶۸ \times ۱۲۰۰ \times ۳۰ L_L =$$

حجم شیرابه تولیدی در نیمه نخست سال

$$۱۴۳۲۳ = ۰/۹۰ \times ۰/۶۹ \times ۰/۶۲ \times ۱۲۰۰ \times ۳۱ L_L =$$

حجم شیرابه تولیدی در نیمه دوم سال

۳-۵. بارندگی

جدول ۶ میزان ورود آب از طریق بارندگی به صورت ماهانه را نشان می‌دهد.

جدول ۶- بارندگی ماهانه نازل شده بر روی سطح سلول بصورت مترمکعب

| ماه | مهر | آبان | آذر | دی | بهمن | اسفند | فروردین | اردیبهشت | خرداد | تیر | مرداد | شهریور |
|------|------|------|------|------|------|-------|---------|----------|-------|-----|-------|--------|
| بارش | ۱۳۳۵ | ۴۰۸۰ | ۳۶۰۰ | ۳۶۷۵ | ۴۷۱۰ | ۵۱۶۰ | ۶۸۲۵ | ۳۲۷۰ | ۳۷۵ | ۳۰۰ | ۱۰۵ | ۱۸۰ |

۳-۶. بازچرخش و تبخیر از سطح حوضچه

متر مکعب در ماه است. که بخشی از این مقدار تبخیر می‌شود. حجم بازچرخش نهایی شیرابه با احتساب تبخیر صورت گرفته بر حسب متر مکعب ماهانه در جدول شماره ۷ ارایه شده است.

در منطقه مورد مطالعه ۱۶۰ مترمکعب در روز (۲۶ روز ماه) بازچرخش شیرابه صورت می‌گیرد که معادل ۴۱۶۰

جدول ۷- حجم شیرابه بازچرخش شده ماهانه بصورت مترمکعب

| ماه | مهر | آبان | آذر | دی | بهمن | اسفند | فروردین | اردیبهشت | خرداد | تیر | مرداد | شهریور |
|---------|------|------|------|------|------|-------|---------|----------|-------|------|-------|--------|
| بازچرخش | ۳۶۸۶ | ۳۷۹۶ | ۳۹۱۵ | ۳۹۳۴ | ۳۹۳۳ | ۳۸۳۸ | ۳۷۶۸ | ۳۶۶۷ | ۳۵۶۹ | ۳۵۲۷ | ۳۵۲۳ | ۳۵۸۵ |

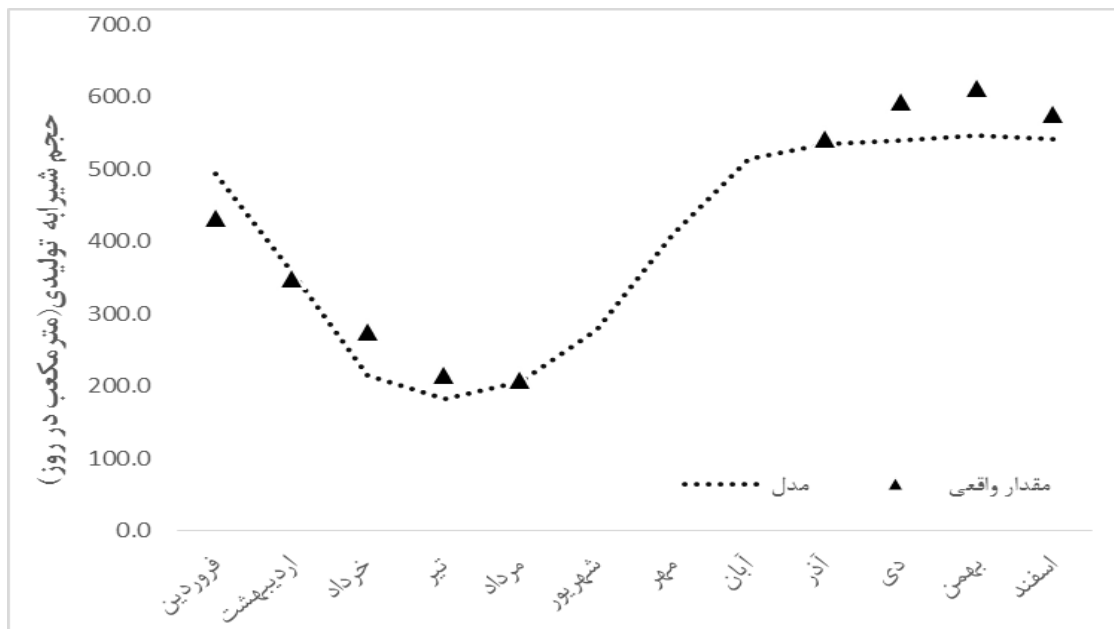
جدول شماره ۸ آورده شده است. نمودار حاصل از مدل‌سازی روش موازنه آب در شکل ۱ و نتایج آنالیز حساسیت در شکل ۲ ارائه شده اند.

باتوجه به رابطه ۱، شیرابه تولیدی ماهانه برحسب متر مکعب در ماه به روش موازنه آب و شیرابه برداشت شده جهت صحت سنجی مدل بصورت متر مکعب در ماه در

برآورد شیرابه تولید شده در مرکز دفن حلقه‌دره کرج به روش موازنه آب...

جدول ۸- حجم شیرابه تولیدی ماهانه مدل‌سازی شده به روش موازنه آب و شیرابه واقعی بصورت متر مکعب در ماه

| ماه | مهر | آبان | آذر | دی | بهمن | اسفند | فروردین | اردیبهشت | خرداد | تیر | مرداد | شهریور |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|----------|-------|------|-------|--------|
| مدل | ۱۲۲۸۶ | ۱۵۴۱۸ | ۱۶۰۴۸ | ۱۶۱۹۳ | ۱۶۳۷۸ | ۱۵۷۲۵ | ۱۵۳۱۴ | ۱۱۱۱۵ | ۶۶۳۸ | ۵۶۷۸ | ۶۳۷۰ | ۸۶۳۵ |
| واقعی | - | - | ۱۶۲۹۰ | ۱۷۷۹۰ | ۱۸۳۰۶ | ۱۶۷۳۳ | ۱۳۳۹۲ | ۱۰۸۱۹ | ۸۵۲۵ | ۶۶۶۵ | ۶۴۴۸ | - |

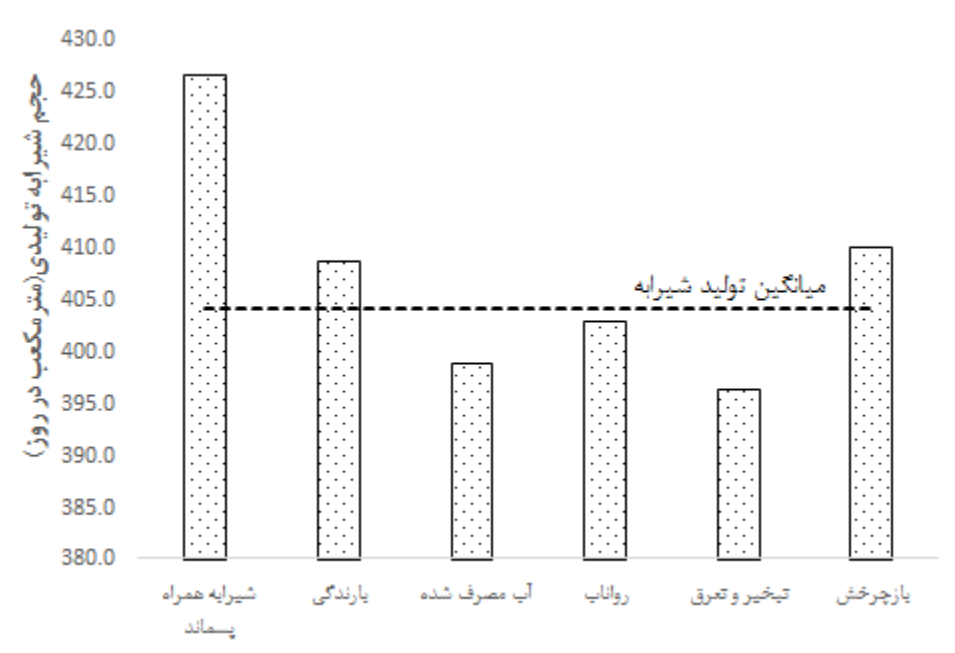


شکل ۱- روند نرخ تولید شیرابه در مرکز دفن حلقه‌دره بصورت متر مکعب در روز

ورودی و بارندگی هستند. در شکل ۲ میانگین تولید شیرابه با داده‌های میانگین به صورت خط چین نمایش داده شده است. از شکل ۲ دیده می‌شود که تغییر ۱۰ درصد در رطوبت همراه پسماند بیشترین اثر را بر تغییر تولید شیرابه (فاصله از نقطه چین که نشان‌دهنده میانگین تولید است) دارد.

۳-۷. آنالیز حساسیت

آنالیز حساسیت با تغییر در ورودی‌های مدل و بعد بررسی تغییرات در خروجی مدل انجام شد. همانطور که در شکل ۲ ملاحظه می‌شود، مهم‌ترین عامل موثر در تولید شیرابه در لندفیل حلقه‌دره شامل رطوبت پسماند



شکل ۲- آنالیز حساسیت پارامترهای ورودی و تاثیر هر یک از آنها در تولید شیرابه برحسب درصد

۴. بحث و نتیجه گیری

(R^2) به ترتیب ۰/۹۶۶ و ۰/۹۳۳ تعیین شد که بیانگر دقت قابل قبول مدل و ارتباط قوی بین مقدار واقعی و مقدار شیرابه مدلسازی شده است. همچنین مجذور ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین قدر مطلق درصد خطا (MAPA) به ترتیب ۱۳۲۸/۲۷ مترمکعب و ۹/۱۷ درصد شد. مقدار RMSE بدین معناست که از مجموع ۱۵۵۰۲۲ متر مکعب شیرابه در واقعیت، با $\pm ۱۳۲۸/۲۷$ متر مکعب اختلاف مدلسازی انجام گرفته شده است. Beck-Broichsitter و همکاران در سال ۲۰۱۸ با استفاده از روش موازنه آب و مدل HELP جهت کارایی سیستم‌های پوششی لندفیل راستورف آلمان به برآورد شیرابه پرداختند. با توجه به اختلاف بالای خروجی تبخیر و تعرق که ۴۸٪ بارش سالانه در نتایج مطالعات قبلی را نشان می‌داد به اصلاح داده‌های تابش خورشیدی در ورودی هر دو مدل پرداختند. با تجزیه و تحلیل رگرسیون داده‌های خروجی مشاهده شده و مدلسازی R^2

برای دستیابی به طراحی بهتر سیستم جمع آوری و تصفیه شیرابه و همچنین برای بهره برداری صحیح از لندفیل، برآورد شیرابه به روش موازنه آب انجام شد. در این پژوهش، مدل موازنه آب که یکی از روش‌های برآورد شیرابه مبتنی بر تکنیک تعادل آب است توسعه داده شد. متغیرهای بکار گرفته شده در این پژوهش با بیشتر متغیرهای پژوهش‌های انجام شده یکسان است. در اکثر مطالعات، آب از بین رفته بصورت بخار در هنگام خروج گاز، محتوی رطوبت پوشش فوقانی و مقدار شیرابه بازچرخش شده نادیده گرفته شده است در حالی که در این پژوهش تمام پارامترها موثر در تولید شیرابه در مدل در نظر گرفته شده است. مقایسه ارزیابی عملکرد مدل با مقدار شیرابه تولید شده در ماه‌های برداشت شده و مدلسازی شده، ضریب همبستگی (R) و ضریب تعیین

با مقدار ۹۵٪ برای روش موازنه آب و ۸۷٪ برای مدل HELP تعیین شد. این پژوهش نشان داد با توجه به اینکه مقدار R^2 بیش از ۰/۵ بوده و RMSE کمتر با توجه به آستانه تعریف شده در اکثر مطالعات، نتیجه گرفتند نتایج مدل‌سازی با هر دو مدل را می‌توان رضایت بخش ارزیابی کرد. (Beck-Broichsitter *et al.*, 2018).

با توجه به نتایج به دست آمده از آنالیز حساسیت شکل ۲، مشخص شد از بین شش پارامتر موثر در شکل‌گیری شیرابه، بیشترین تاثیر در تولید شیرابه را شیرابه همراه پسماند دارد که ناشی از رطوبت پسماند است به معنایی دیگر بطور متوسط از ۴۰۴ مترمکعب روزانه شیرابه مدل‌سازی شده، با کاهش و افزایش پارامتر شیرابه درون لندفیل (در محدود ۰/۹۹-۱/۱ درصد) خروجی مدل ۴۲۶/۶ متر مکعب روزانه خواهد بود بعد از این پارامتر بازچرخش، بارندگی و رواناب در رتبه بعدی مهم‌ترین پارامترهای موثر در تولید شیرابه قرار دارند که مطابق با یافته Fatlawi در سال ۲۰۱۵ که جهت طراحی سیستم جمع‌آوری شیرابه در لندفیل بهداشتی کوچک در بابل عراق به روش موازنه آب است می‌باشد نتایج این پژوهش نشان داده است که برآورد تقریبی تولید شیرابه می‌تواند به‌عنوان درصدی از بارندگی منطقه و تابعی از چگالی پسماند در لندفیل باشد. از این رو برای بارندگی ۱۴۷ میلی‌متر سالانه، میزان تولید شیرابه ۲۵ درصد بارندگی سالیانه تخمین زده شد. که با مقایسه نتایج این پژوهش می‌توان گفت شیرابه تولیدی سالانه در کرج تقریباً ۲۴٪ بارندگی سالانه را تشکیل داده است که با پژوهش ذکر شده همخوانی دارد. همانطور که انتظار می‌رود شیرابه در نیمه اول سال کمتر از نیمه دوم سال مدل‌سازی شده است دلیل آن، رطوبت پسماند کمتر و

بارش ماهانه کمتر در مقابل تبخیر و تعرق بیشتر به نیمه اول سال است. مدل موازنه آب نشان داد که بر رطوبت پسماند، ظرفیت نگهداشت، و بارندگی تمرکز بیشتری دارد. به نحوی که حتی در طول ماه‌های با بارش ناچیز، شیرابه همچنان تولید می‌شود که مطابق با یافته‌های Hamoda و Al-Yaqout در سال ۲۰۰۳ است. این نتایج بدان معنی است که رطوبت پسماند یک عامل بسیار مهم در تشکیل شیرابه لندفیل کلانشهر کرج است. یکی دیگر از عوامل موثر بر نرخ تولید شیرابه، هیدرولوژی منطقه می‌باشد که مطابق نمودار ۱، در نیمه دوم سال شیرابه تولید شده ماهانه بیشتر از بارندگی ماهانه‌ای است که به لندفیل وارد می‌شود که ناشی از تبخیر و تعرق کمتر میزان بارش موثر در شکل‌گیری شیرابه است که باعث افزایش رواناب ورودی شده است. که مطابق با یافته‌های Ghiasinejad و همکاران در سال ۲۰۲۰ که تبخیر مستقیم پسماند از عوامل موثر در میزان تولید شیرابه شناخته شده است به‌طوری‌که ۳۰ درصد بارش به جهت تبخیر و تعرق از بین رفت (Ghiasinejad *et al.*, 2020) در حالی در این پژوهش ۱۵ درصد بارش به جهت تبخیر و تعرق در شکل‌گیری شیرابه نقشی نداشته و تبخیر شده است. به‌دلیل حساسیت بالایی که مدل موازنه آب در برآورد شیرابه دارد نمی‌توان گفت برآورد شیرابه در سطح پایین‌تر و بالاتر از مقدار واقعی اندازه‌گیری شده، نتیجه عملکرد ضعیف مدل است. این مطالعه نشان داد که بهترین پارامتر تاثیرگذار بر صحت مدل در مدل‌سازی، بیش از بارش، رطوبت پسماند است. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که در کنار سادگی این مدل، قابلیت اجرا برای اکثر لندفیل‌های ایران را دارد. همچنین این مدل به ورودی‌های کمتری نیاز دارد و پارامترهای اساسی آن

ورودی صحیح و معتبر جهت حصول اطمینان از نتایج کاملاً ضروری است. همچنین صحت نتایج در مدل، توسط پیچیدگی روابط درون لندفیل و در دسترس بودن اطلاعات مورد نیاز تعیین می‌شود.

به راحتی از محل دفن قابل برداشت است. در عین حال صرف نظر از نتایج مدل‌سازی، ساده سازی مدل و خطاهای احتمالی ممکن است باعث عدم قطعیت مدل در برآورد شیرابه شود. بنابراین باید در نظر داشت که داده‌های

Reference

Al-Fatlawi, A. H. W. 2015. design a leachate collection system for a small camp sanitary landfill. *Journal Impact Factor*, 6(1), 07-18.

Alslaibi, T. M., Abustan, I., Mogheir, Y. K., & 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.

Al-Yaqout, A. F., & Hamoda, M. F. 2003. Evaluation of landfill leachate in arid climate—a case study. *Environment international*, 29(5), 593-600.

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

Chen, D., Gao, G., Xu, C. Y., Guo, J., & Ren, G. 2005. Comparison of the Thornthwaite method and pan data with the standard Penman-Monteith estimates of reference evapotranspiration in China. *Climate Research*, 28(2), 123-132.

Grugnaletti, M., Pantini, S., Verginelli, I., & Lombardi, F. 2016. An easy-to-use tool for the evaluation of leachate production at landfill sites. *Waste management*, 55, 204-219.

Ghiasinejad, H., Ghasemi, M., Pazoki, M., & Shariatmadari, N. 2020. Prediction of landfill leachate quantity in arid and semiarid climate: a case study of Aradkouh, Tehran. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 1-12.

Hube, D., Gourcy, L., Gourry, J. C., & Guyonnet, D. 2011. Investigations of natural attenuation in groundwater near a landfill and implications for landfill post-closure. *Waste management & research*, 29(1), 77-88.

Lauwers, J., Appels, L., Thompson, I. P., Degreève, J., Van Impe, J. F., & Dewil, R. 2013. Mathematical modelling of anaerobic digestion of biomass and waste: Power and limitations. *Progress in Energy and Combustion Science*, 39(4), 383-402.

Moeinaddini, M., Khorasani, N., Danehkar, A., & Darvishsefat, A. A. 2010. Siting MSW landfill using weighted linear combination and analytical hierarchy process (AHP) methodology in GIS environment (case study: Karaj). *Waste management*, 30(5), 912-920.

Monavari, S. M., Tajziehchi, S., & Rahimi, R. 2014. Solid Waste Management Challenges in Metropolitan Areas of Karaj, IRAN.

Moghadam, M. A., Mokhtarani, N., & Mokhtarani, B. 2009. Municipal solid waste management in Rasht City, Iran. *Waste Management*, 29(1), 485-489.

Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D., & Veith, T. L. 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, 50(3), 885-900.

Singh, A. 2019. Solid waste management through the applications of mathematical models. *Resources, Conservation and Recycling*, 151, 104503.

Seibert, D., Quesada, H., Bergamasco, R., Borba, F. H., & Pellenz, L. 2019. Presence of endocrine

disrupting chemicals in sanitary landfill leachate, its treatment and degradation by Fenton based processes: A review. *Process Safety and Environmental Protection*, 131, 255-267.

São Mateus, M. D. S. C., Machado, S. L., & Barbosa, M. C. 2012. An attempt to perform water balance in a Brazilian municipal solid waste landfill. *Waste Management*, 32(3), 471-481.

Tchobanoglous, G. 2009. *Solid waste management. Environmental engineering: environmental health and safety for municipal infrastructure, land use and planning, and industry.* Wiley, New Jersey, 177-307.

U.S. EPA. May 2005. *Landfill Gas Emissions Model (LandGEM), Version 3.02.* EPA 600-R-05-047. <http://www.epa.gov/ttn/catc/dir1/landgem-v302-guide.pdf> and <http://www.epa.gov/ttn/catc/products.html#software>