dx.doi.org/10.22093/wwj.2022.338942.3253

Case Study

Journal of Water and Wastewater, Vol. 34, No. 1, pp: 49-65

An Online Calculating Model for Leachate Production in Mazandaran's Waste Landfills; (Case Study: Babol Municipal Waste Landfill)

N. Soleimani Amiri[1], S. Ebrahimi[2], M. Emadi[3], O. Abessi[4], M. Peyravi[5]*

1. MSc. Student, Dept. of Environmental Engineering,
Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran
2. MSc. Student, Dept. of Computer Engineering,
Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran
3. Lecturer, Dept. of Computer Engineering, School of Electrical and Computer Engineering,
Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran
4. Assist. Prof., Dept. of Environmental Engineering, School of Civil Engineering,
Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran
(Corresponding Author) Oabessi@nit.ac.ir
5. Assoc. Prof., Dept. of Separation Processes, School of Chemical Engineering,
Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran

(Received April 23, 2022 Accepted Oct. 15, 2022)

To cite this article:
Soleimani Amiri, N., Ebrahimi, S., Emadi, M., Abessi, O., Peyravi, M. 2023. "An online calculating model for leachate production in Mazandaran's waste landfills (case study: Babol municipal waste landfill)" Journal of Water and Wastewater, 34(1), 49-65. Doi: 10.22093/wwj.2022.338942.3253. (In Persian)

Abstract

Leachate production and management is a challenging environmental issue in municipal landfills and depots in Iran. Leachate contains toxic materials, heavy metals, and organic and microbial pollutants on a significant scale. Its uncontrolled entrance into the surface, groundwater, and soils can also substantially inverse impacts on human health and natural habitats. In Mazandaran province, during the last decades, depots and landfilling of municipal and industrial waste have led to environmental degradation in its eco-sensitive natural zones and brought a series of health, social, and security challenges to the region. Due to the region's high precipitation rate and landfills with no cover, these places practically convert into an extensive resource for leachate production. To diminish the environmental impacts, a lot of work has been done in recent years to develop a sort of leakage gathering system and treatment plants in these landfills, based primarily on an overall estimation. In this study, a calculating computer model has been developed for leakage production based on regional climate conditions and the characteristics of municipal waste. This model is different from the HELP model, which is commonly used for sanitary landfills and is specifically developed for the waste depots of the

Mazandaran province. In this model, hydrological methods, which are based on the water balance in the landfill sites, were used for the calculation. The developed model was uploaded as an online service for public use. By referring to the internet address provided, the developed model in the landfill part and the leachate section, the amount of produced leachate for the landfill site of Mazandaran province can be calculated. Also, the leachate volume of the Babol Anjilsi landfill has been calculated as a case study. As a result of this study, the lowest and highest amount of the production leachate for hot and dry months of the year (June and July) and for wet and rainy months (October) was about 63.39 and 260.07 cubic meters per day, respectively.

Keywords: Landfill, Leachate, Depots, Calculating Model, Municipal Wastes.

مجله آب و فاضلاب، دوره ۳۴، شماره ۱، صفحه: ۶۵-۴۹

مدل محاسب آنلاین شیرابه برای اماکن دفن زباله‌های شهری در استان مازندران (مطالعه موردی: مرکز دپوی زباله‌های بابل)

نیکی سلیمانی امیری[۱]، سینا ابراهیمی[۲]، مهدی عمادی[۳]، عزیر عابسی[۴*]، مجید پیروی[۵]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، ایران
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، ایران
۳- مربی، گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، ایران
۴- استادیار، گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، ایران
(نویسنده مسئول) Oabessi@nit.ac.ir
۵- دانشیار، گروه فرایندهای جداسازی، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، ایران

(دریافت ۱۴۰۱/۲/۳ پذیرش ۱۴۰۱/۷/۲۳)

برای ارجاع به این مقاله به صورت زیر اقدام بفرمایید:
سلیمانی امیری، ن.، ابراهیمی، س.، عمادی، م.، عابسی، ع.، پیروی، م.، ۱۴۰۲، "مدل محاسب آنلاین شیرابه برای اماکن دفن زباله‌های شهری در استان مازندران (مطالعه موردی: مرکز دپوی زباله‌های بابل)" مجله آب و فاضلاب، ۳۴(۱)، ۶۵-۴۹. Doi: 10.22093/wwj.2022.338942.3253

چکیده

از مهم‌ترین مشکلات محیط‌زیستی در محل‌های دپو و دفن زباله‌های شهری در ایران، تولید شیرابه و مدیریت آن است. شیرابه حاوی انواع ترکیبات سمّی، فلزات سنگین و آلاینده‌های آلی و میکربی بوده و عدم‌کنترل و ورود آن به آبهای سطحی و زیرزمینی و خاک، می‌تواند خطرات زیادی برای سلامت انسان و اکوسیستم‌های طبیعی به همراه داشته باشد. در استان مازندران طی دهه‌های گذشته دپو و دفن غیربهداشتی زباله در عرصه‌های طبیعی، باعث زوال آسیب‌پذیر منطقه شده و این موضوع مشکلات بهداشتی، اجتماعی و امنیتی بسیاری را به دنبال داشته است. باتوجه به بارش فراوان باران و برف در منطقه و عدم پوشش مناسب مراکز دپو زباله، این مراکز به منابع بزرگ تولید شیرابه تبدیل شده‌اند. به‌منظور کاهش پیامدهای محیط‌زیستی مراکز امحای زباله، در سال‌های اخیر فعالیت‌های زیادی نیز برای توسعه سیستم‌های جمع‌آوری شیرابه و تصفیه آن انجام شده که بر اساس برآوردهای کلی از حجم شیرابه تولیدی استوار بوده است. در نتیجه، نیاز به یک مدل مشخص برای محاسبه میزان شیرابه تولیدی بیش از هر زمانی احساس می‌شود. هدف از این پژوهش، ارائه یک مدل کامپیوتری محاسب برای برآورد شیرابه تولیدی بر اساس مشخصات اقلیمی منطقه و کمیت و کیفیت زباله تولیدی در هر شهر بود. این مدل متفاوت از مدل HELP که برای محل دفن‌های مهندسی

dx.doi.org/10.22093/wwj.2022.338942.3253

ارائه شده، برای شرایط مراکز امحای زباله در استان مازندران که ترکیبی از دپوی زباله در فضای آزاد و پوشش زباله با خاک محلی است، توسعه داده شده است. در این پژوهش از روش‌های هیدرولوژیکی مبتنی بر موازنه جرمی آب در محل برای برآورد حجم شیرابه تولیدی استفاده شد. در این پژوهش به‌عنوان نمونه، میزان شیرابه تولیدی برای مرکز دفن زباله‌های شهر بابل واقع در منطقه انجیلسی برآورد شد. با توجه به اطلاعات در دسترس، کمترین و بیشترین میزان شیرابه تولیدی به‌ترتیب برای ماه‌های گرم و خشک سال (خرداد و تیر) در حدود ۶۳/۳۹ مترمکعب در روز و برای ماه‌های مرطوب و بارانی (مهر) به میزان ۲۶۰/۰۷ مترمکعب در روز برآورد شد.

واژه‌های کلیدی: محل دفن، دپو، شیرابه، مدل محاسب، زباله‌های شهری

۱- مقدمه

توسعه اقتصادی و اجتماعی، افزایش جمعیت، تغییر الگوی مصرف و افزایش سطح رفاه در سال‌های اخیر منجر به تولید روزانه حجم زیادی از انواع زباله‌های شهری و صنعتی در استان شمالی کشور شده است. استان‌های شمالی همچنین سالانه پذیرای میلیون‌ها توریست از اقصی نقاط کشور بوده و جزو متراکم‌ترین استان‌های کشور از نظر پراکندگی جمعیت شهری و روستایی هستند. ازاین‌رو امحای حجم زیاد زباله‌های تولیدی، به یکی از بزرگترین معضلات محیط‌زیستی استان‌های شمالی کشور به‌خصوص استان مازندران، تبدیل شده است. به‌دلیل وجود دریا، جنگل، اکوسیستم‌های حساس طبیعی و نیز پراکندگی بالای روستاها در فاصله باریک بین کوه و دشت، محدودیت‌های زیادی در این استان برای مکان‌یابی و احداث اماکن دفن زباله[1] وجود دارد (Amirsoleymani et al., 2020).

به‌دلیل ساختار غیرمنسجم مدیریت پسماندهای شهری در استان مازندران، امحای زباله در هر شهر (حتی شهرهای کوچک ساحلی) به‌صورت مجزا و منفرد انجام می‌شود. در نتیجه زباله‌های تولیدی سال‌ها است که به‌صورت غیراصولی در مجاورت نقاط حساس اکولوژیکی مانند ساحل دریا، جنگل، رودخانه و کوه‌ها دفن می‌شوند. دپوی غیربهداشتی زباله در این مراکز باعث نابودی و زوال محیط‌زیست استان شده و پیامدهای جبران‌ناپذیری برای حیات و سلامت ساکنین مجاور این محل‌ها به دنبال داشته است. بی‌تردید اولین گام در اصلاح وضعیت موجود، مکان‌یابی درست محل‌های دفن و ارتقای مراکز دپوی زباله به خاک‌چال‌های بهداشتی است (Amirsoleymani et al., 2020).

دپوهای زباله در استان مازندران، به‌دلیل داشتن آب و هوای معتدل، بارندگی زیاد و رطوبت زیاد هوا و همچنین نوع زباله‌های تولیدی در شهرهای شمالی که بیشتر حاوی مواد مرطوب و آلی است، دارای شرایطی بسیار مستعد برای تولید و شکل‌گیری شیرابه هستند. شیرابه زباله یکی از آلوده‌ترین پساب‌های تولیدی در دنیا است که از محل‌های دپوی زباله‌های شهری و تحت‌تأثیر رطوبت ذاتی زباله و نفوذ آب باران در آن تولید می‌شود. به‌دلیل نفوذ آب باران به داخل محل دپوی زباله، در این مراکز شیرابه تولیدی معمولاً در احجام بسیار زیاد تولید شده و حاوی انواع آلاینده‌های آلی و معدنی، فلزات سنگین و ترکیبات شیمیایی خطرناک است (Chian and DeWalle, 1976).

به‌صورت کلی شیرابه را می‌توان به دو نوع شیرابه اولیه و ثانویه تقسیم‌بندی کرد: شیرابه اولیه، ناشی از رطوبت موجود در خود زباله است، درحالی که منشأ اصلی شیرابه ثانویه ورود آب زیرسطحی، باران و سایر نزولات جوی به داخل زباله و محل دفن است. شیرابه تولیدی در صورت عدم جمع‌آوری و مدیریت مناسب، وارد آبهای زیرزمینی[2] و منابع آب سطحی[3] شده و آلودگی خاک را به دنبال خواهد داشت. با ورود شیرابه به سفره‌های آب زیرزمینی، غلظت آلاینده‌های آلی و فلزات سنگین در آبخوان به‌شدت افزایش خواهد یافت. استفاده از این آب برای شستشو، شرب و یا آبیاری محصولات کشاورزی و باغی باعث تغییر در خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک شده، کاهش حاصلخیزی آن و آلودگی خاک‌های سطحی را به دنبال خواهد داشت. در آبهای سطحی نیز ورود شیرابه باعث تغییر رنگ، بو و طعم آب شده و در صورت مصرف برای آبیاری یا شرب احشام، مجرایی برای ورود آلودگی به همه عرصه‌های زندگی انسان می‌شود. این موضوع جدا از تخریب و زوال محیط‌زیست طبیعی منطقه، افزایش بیماری و سرطان در منطقه را به دنبال خواهد داشت (Kelly, 1976, Islam and Singhal, 2002). ازاین‌رو محاسبه حجم شیرابه تولیدی و کنترل آن،

[1] Landfill

[2] Ground Water
[3] Surface Water

از مهم‌ترین اقدامات انجام شده در همه مراکز دفن زباله‌های شهری محسوب می‌شود.

در این زمینه تاکنون مدل‌های توانمند و کارآمد زیادی چون مدل HELP[1]، توسط سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا[2]، مدل HYDRUS توسط شرکت PC-Progress جمهوری چک، مدل FEFLOW توسط شرکت DHI دانمارک و مدل‌های مشابه توسعه داده شده است. همچنین روش‌های تحلیلی متعددی برای تخمین و محاسبه میزان شیرابه تولیدی پیشنهاد شده است.

در این پژوهش، روند توسعه یک مدل کامپیوتری آنلاین که برای برآورد شیرابه تولیدی در مراکز دفن استان مازندران بر اساس مشخصات اقلیمی، کمیت و کیفیت زباله تولیدی در هر محل توسعه داده شده، تشریح شد. این مدل متناسب با شرایط مراکز دفن استان مازندران که ترکیبی از دپوی زباله در فضای آزاد و پوشش آن با خاک است، توسعه داده شد و از داده‌های هواشناسی محلی بهره گرفت. در این پژوهش از روش هیدرولوژیکی مبتنی بر موازنه جرمی آب برای برآورد حجم شیرابه تولیدی استفاده شد. منظور از موازنه جرمی، محاسبه مقدار آب ورودی به محل دفن ناشی از بارش، رطوبت زباله و کسر مقدار آب جذب شده به‌وسیله زباله و آب مصرفی در واکنش‌های شیمیایی و تبخیر است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- معرفی منطقه مورد مطالعه

استان مازندران با مساحت ۲۳۷۵۶/۴ کیلومترمربع، هجدهمین استان از نظر وسعت در کشور بوده که حدود ۱/۴۶ درصد از مساحت ایران را به خود اختصاص داده است. جمعیت این استان بر مبنای آخرین سرشماری سال ۱۳۹۵، ۳۲۸۳۵۸۲ نفر برآورد شده است. استان مازندران از جنوب با استان‌های تهران، البرز و سمنان، از شمال با دریای کاسپین و از غرب و شرق به‌ترتیب با استان‌های گیلان و گلستان، همسایه است. به‌دلیل قرارگیری دریای کاسپین در شمال و نزدیکی به کلان‌شهر تهران، این استان اهمیت توریستی بسیار زیادی در سطح کشور دارد. به‌دلیل وجود اسکله نفتی نکا و بنادر فریدون‌کنار، نوشهر و امیرآباد بهشهر و اهمیت آنها در حمل‌ونقل دریایی و واردات و صادرات کالا به آسیای میانه و روسیه، موقعیت استراتژیک و ویژه این استان در سال‌های اخیر، بیشتر مورد توجه قرار گرفته است.

شهر ساری مرکز استان مازندران و بزرگترین شهر این استان است. مازندران به‌ترتیب ۵۸ شهر، ۲۲ شهرستان، ۵۶ بخش، ۱۳۱ دهستان و ۳۶۱۹ آبادی دارد. آمل، بابل، بابلسر، بهشهر، تنکابن، جویبار، چالوس، رامسر، ساری، سوادکوه، سوادکوه شمالی، سیمرغ، کلاردشت، قائم‌شهر، گلوگاه، محمودآباد، نکا، نور، نوشهر، فریدون‌کنار، عباس‌آباد و میاندرود، ۲۲ شهرستان این استان بوده که از میان آنها شهرستان بابل با داشتن ۷ شهر اقماری پرجمعیت‌ترین شهرستان این استان است.

الگوی ناهمواری‌های استان مازندران به‌گونه‌ای است که می‌توان استان را به دو قسمت جلگه‌ای و کوهستانی به‌ترتیب در شمال و جنوب تقسیم کرد. جلگه‌های استان توسط رشته‌کوه‌های مرتفع البرز از جنوب احاطه و از شمال به مرز دریایی محدود شده‌اند. به‌دلیل نزدیکی به دریای خزر و بارش و دمای مطلوب، این استان دارای آب‌وهوای معتدل مدیترانه‌ای در دشت و مرطوب کوهستانی (معتدل و سرد) در ارتفاعات است. استان مازندران به‌دلیل موقعیت جغرافیایی، شرایط آب‌وهوایی و جنس خاک، پوشش گیاهی متنوعی اعم از جنگل‌های انبوه، مراتع و چمنزارها دارد. حدود ۴۳۸۰۰۰ کیلومترمربع از مساحت این استان را جنگل‌هایی با درختان پهن‌برگ تشکیل داده و مابقی آن اراضی مرتعی، دشت‌های کشاورزی و مناطق مسکونی هستند (Office of information and statistic, 2018). در شکل ۱ محدوده استان مازندران و شهرستان‌های آن نشان داده شده است.

۲-۲- معرفی مراکز فعال دپو و دفن زباله‌های شهری در استان مازندران

به‌دلیل مدیریت غیرمتمرکز و محلی زباله‌های شهری در استان، مازندران دارای حداقل ۲۷ محل دفن فعال و تعداد زیادی محل دفن قدیمی کوچک و بزرگ رها شده، است. با توجه به وجود ۲۲ شهرستان در تقسیمات سیاسی کشور، برخی از شهرستان‌های استان بیش از یک محل دفن فعال داشته و این در حالی است که مناطق متعددی نیز طی چند دهه گذشته به‌عنوان محل دپو و دفن زباله به‌طور موقت استفاده شده که اکنون رها شده و یا برای کاربری‌های دیگر (پارک یا فضای سبز) اختصاص یافته‌اند.

[1] Hydrologic Evaluation of Landfill Performance (HELP)
[2] United States Environmental Protection Agency (USEPA)

dx.doi.org/10.22093/wwj.2022.338942.3253

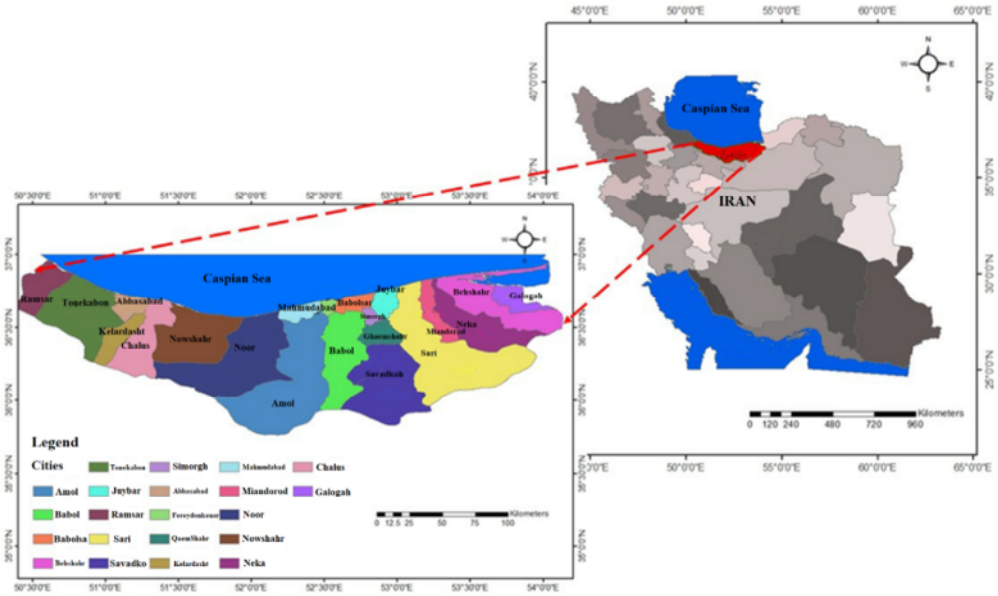

Fig. 1. Mazadaran province and the location of its cities

شکل ۱- محدوده استان مازندران و موقعیت شهرستان‌های آن

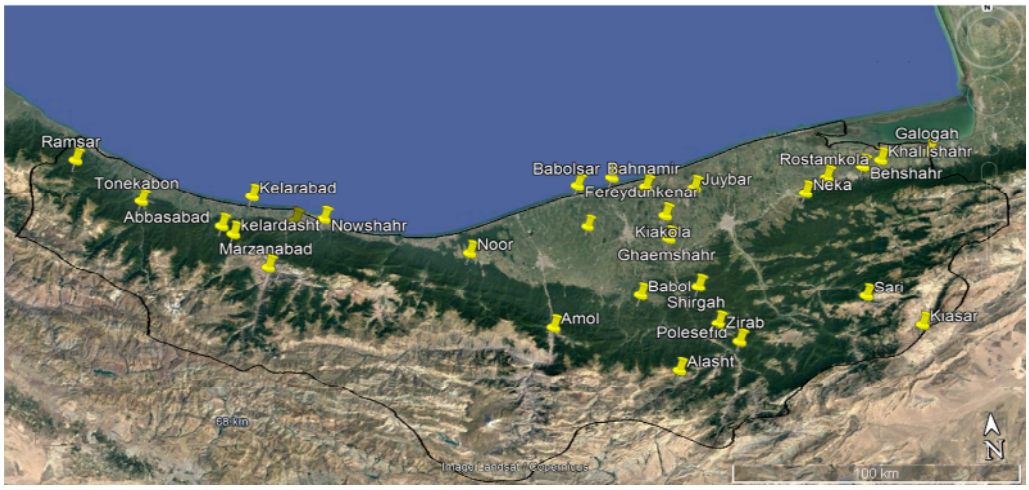

Fig. 2. The geographical location of 27 landfills in Mazandarn province in Google Earth

شکل ۲- موقعیت جغرافیایی محل‌های دفن ۲۷ گانه استان مازندران در محیط گوگل ارث

موقعیت جغرافیایی محل‌های دفن فعال استان در شکل ۲ به تصویر کشیده شده است. ۱۴ مرکز در داخل جنگل، ۴ مرکز دپو و دفن زباله در کوه، ۴ مرکز در کنار رودخانه، ۳ مرکز در کنار ساحل دریای کاسپین و ۲ مرکز در میان زمین‌های کشاورزی استان واقع شده‌اند.

بر اساس پژوهش‌های امیرسلیمانی و همکاران با توجه به قوانین مدیریت پسماند کشور، مراکز دپو و دفن زباله شهرهای گلوگاه، بهشهر (هر سه محل دفن بهشهر، رستم کلا و خلیل شهر)، جویبار، بهنمیر، کیاکلا، قائم‌شهر، بابلسر، فریدون‌کنار، زیرآب، پل سفید، آلاشت، ساری، بابل، آمل، نوشهر، مرزن‌آباد، کلارآباد، عباس‌آباد و رامسر در میان مناطق غیرمجاز برای دفن زباله در سطح استان واقع شده‌اند و محل‌های دفن شهرهای تنکابن، چالوس و نور در میان مکان‌های مجاز ولی با مطلوبیت کم، در حالی که اماکن دفن شهرهای نکا، شیرگاه و کلاردشت در منطقه‌های نسبتاً مناسبی واقع شده‌اند (Amirsoleymani et al., 2020). موقعیت و مشخصات این محل‌های دفن در جدول ۱ به‌صورت خلاصه آمده است.

جدول ۱- موقعیت و مشخصات محل‌های دپو و دفن زباله‌ها در شهرهای استان مازندران

Table 1. The location of waste landfill and depots in different cities of Mazandaran province

No.	Area (Hectare)	X	Y	City	County	Name of the landfill
1	1	753552	4067566	Galogah	Galogah	Municipal waste land
2	-	730264	4063276	Behshahr	Behshahr	Municipal waste land
3	-	717718	4059796	Behshahr	Rostamkola	Municipal waste land
4	-	736468	4065331	Behshahr	Khalilshahr	Municipal waste land
5	-	710196	4054335	Neka	Neka	Municipal waste land
6	10	747137	4004196	Sari	Kiasar	Poshtkooh
7	7	662927	4039715	Ghaemshahr	Ghaemshahr	Municipal waste land
8	0.4	662023	4048208	Ghaemshahr	Kiakola	Municipal waste land
9	4.2	672371	4058015	Juybar	Juybar	Municipal waste land
10	37	685047	4000908	Savadkooh	Polsefid	Asas Forest
11	1.7	678210	4007798	Savadkooh	Zirab	Chaharnasie
12	0.4	672062	4021642	Savadkooh	Shirgah	Mahcheben
13	0.05	663920	3991652	Savadkooh	Alasht	Municipal waste land
14	29	652302	4019404	Babol	Babolkenar	Anjilsi
15	5	644565	4063090	Babolsar	Babolsar	Eighth parking
16	-	655974	4059279	Babolsar	Bahnemir	Municipal waste land
17	2	632679	4060594	Fereydonkenar	Fereydonkenar	Municipal waste land
18	9	622161	4008919	Amol	Amol	Emarat
19	8	594921	4037431	Noor	Noor	Vatoshan
20	6.5	546071	4052295	Noshahr	Noshahr	Municipal waste land
21	7	536130	4051971	Chalos	Chalos	Palham kohi
22	2.5	4041740	519150	Chalos	Kelardasht	Pimbor Forest
23	3	526125	4035447	Chalos	Marzanabad	Municipal waste land
24	3	511236	4051229	Abasabad	Abasabad	Municipal waste land
25	1	521828	4061702	Abasabad	Kelarabad	Municipal waste land
26	8	483661	4061414	Tonekabon	Tonekabon	Pardesar
27	5	422473	4077712	Ramsar	Ramsar	Kalkoli

dx.doi.org/10.22093/wwj.2022.338942.3253

استان مازندران با میانگین بارش ۶۵۱ میلی‌متر که از غرب به شرق به‌تدریج از میزان آن کاسته می‌شود، یکی از مرطوب‌ترین نقاط کشور است که سرانه تولید زباله در آن بسیار زیاد و در حدود بیش از ۹۰۰ گرم در روز است. ازاین‌رو مراکز دپو و دفن غیربهداشتی زباله در آن، شدیداً مستعد ایجاد آلودگی و تولید شیرابه هستند.

۲-۳- توسعه مدل محاسب شیرابه

برای برآورد میزان تولید شیرابه در محل دفن، نیاز به برقراری موازنه جرمی آب ورودی و خروجی به آن است. منظور از موازنه آب، محاسبه مقدار آب ورودی به محل دفن و کسر مقدار آب جذب شده به‌وسیله زباله، مصرف شده در واکنش‌های شیمیایی و مقدار آب خروجی از محل به‌صورت تبخیر است. مقدار شیرابه قابل تولید برابر با مقدار آبی است که مازاد بر ظرفیت نگهداشت رطوبت در محل دفن تولید می‌شود. منابع آب ورودی شامل جریانات زیرسطحی، بارش (نزولات جوی) ورودی به محل دفن، رطوبت موجود در خود زباله، رطوبت موجود در مواد پوششی استفاده شده، رطوبت لجن و یا پسماندهای مایع (در صورتی که تخلیه آن مجاز باشد) و خروجی‌های عمده شامل تبخیر از محل و آب به‌کار رفته در تشکیل گاز و شیرابه است. به این ترتیب در مدل توسعه داده شده برای محاسبه شیرابه معادله ۱ پیشنهاد شده است

$$LO = [ER.(A_c) + ER.(A_p) + ER(A_L) + IRCA + Iw + leachate - [aw] \quad (۱)$$

که در آن

حجم شیرابه تولیدی $LO = (m^3)$

بارش مؤثر $ER = (m)$

مساحت سلول $A_c = (m^2)$

مساحت حوضچه شیرابه $A_p = (m^2)$

زباله‌های مایع یا لجن $IW = (m^3)$

نفوذ آب از فضاهای پوشیده شده $IRCA = (m^3)$

مساحت محل دفن پوشش شده $A_L = (m^2)$

شیرابه اولیه زباله $Leachate = (m^3)$

قابلیت جذب زباله‌ها $a = (\frac{m^3}{Ton})$

وزن زباله انباشته شده $w = (Ton)$

در این معادله داده‌های موردنیاز برای محاسبه میزان شیرابه عبارت‌اند از:

مساحت فعال و باز محل دفن (A_c)، برحسب m^2

مساحت پوشیده شده محل دفن (A_L)، برحسب m^2

مساحت حوضچه شیرابه (A_p)، برحسب m^2

میزان زباله روزانه ورودی با واحد Ton/day

چگالی زباله ورودی با واحد $\frac{m^3}{Ton}$ (در بازه ۰/۱ تا ۰/۹ است که برای زباله متراکم شده ۰/۵ تا ۰/۸ و زباله غیرمتراکم ۰/۲ تا ۰/۳ است) (Ireland EPA, 2000)

درصد رطوبت زباله (در بازه ۱۵ تا ۸۵ درصد تغییر می‌کند)

ضریب تبدیل تبخیر پتانسیل به تبخیر واقعی (جدول ۲)

ضریب ظرفیت جذب شیرابه توسط زباله، برحسب مترمکعب بر مترمکعب (برای چگالی ۱ تن بر مترمکعب این ضریب برابر با ۰/۰۲۵ و برای چگالی ۰/۵ تن بر مترمکعب این ضریب برابر با ۰/۰۱ مترمکعب بر مترمکعب است) (Ireland EPA, 2000)

درصد تبدیل رطوبت زباله به شیرابه (در بازه ۴۰ تا ۸۰ درصد)

درصد نفوذ بارش به زباله در قسمت پوشیده شده (جدول ۳)

دبی میانگین ماهانه تخلیه لجن یا پسماندهای مایع (مترمکعب بر ثانیه)

ضریب تبدیل تبخیر واقعی به تبخیر از سطح زباله (در بازه ۰/۰۵ تا ۰/۳)

بارش ماهانه و سالانه، برحسب m (برگرفته از داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک و باران‌سنجی وزارت نیرو)

تبخیر پتانسیل ماهانه و سالانه، برحسب m (برگرفته از داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک و باران‌سنجی وزارت نیرو)

در معادله ۱، ER مقدار بارش مؤثر است و از طریق معادله ۲ به‌دست می‌آید

$$ER = R - AE \quad (۲)$$

که در آن

R بارش ماهانه و AE میزان تبخیر واقعی است که با ضرب تبخیر پتانسیل در ضریب تبدیل به‌دست می‌آید.

در معادله ۱ میزان نفوذ از مساحت یا جبهه فعال یا همان سلول باز مرکز دفن از معادله ۳ به‌دست می‌آید

$$(R - AE) \times A_C \quad (۳)$$

که در آن A_c
مساحت فعال یا سلول باز محل دفن است.
همچنین میزان بارش روی حوضچه شیرابه از معادله ۴ به دست می‌آید

$$(R - AE) \times A_P \quad (۴)$$

که در آن
A_p مساحت حوضچه شیرابه است.
میزان نفوذ از مساحت پوشیده شده محل دفن با استفاده از معادله ۵ برآورد می‌شود

$$ER \times A_L \times C \quad (۵)$$

که در آن
A_L مساحت پوشیده شده محل دفن است و C درصد نفوذ بارش به قسمت پوشیده شده از محل دفن است.
IW در معادله ۱ به زباله‌های مایع فاضلاب یا لجن تخلیه شده در محل دفن اطلاق می‌شود که برحسب مترمکعب در ماه است.
شیرابه اولیه ناشی از زباله با استفاده از معادله ۶ قابل محاسبه است

(۶) میزان زباله ورودی × درصد رطوبت زباله × درصد تبدیل رطوبت به شیرابه = Leachate

در نهایت مجموع شیرابه تولیدی برابر است با:
شیرابه مجموع = شیرابه ناشی از نفوذ از مساحت فعال و باز + شیرابه ناشی از نفوذ از مساحت پوشیده شده + شیرابه ناشی از بارش روی حوضچه + شیرابه ناشی از لجن و تخلیه مایع + شیرابه اولیه ناشی از زباله

در این موازنه بخشی از رطوبت که از دست می‌رود مربوط به ظرفیت جذب شیرابه توسط زباله است که از معادله ۷ قابل محاسبه است

(۷) میزان زباله ورودی = aw × (ظرفیت کننده‌جذب ÷ چگالی زباله) × days

برای محاسبه تبخیر از سطح زباله یا آب خروجی همراه گاز نیز از معادله ۸ استفاده شده است

(۸) مجموع تبخیر از محل دفن= تبخیر واقعی × ضریب تبدیل تبخیر واقعی به تبخیر از سطح زباله × مساحت فعال و باز

در نهایت میزان شیرابه حاصله با کسر رطوبت خروجی از آن برابر معادله ۹ خواهد بود با

(۹) ظرفیت جذب شیرابه توسط زباله - تبخیر از سطح زباله یا آب خروجی همراه گاز - شیرابه مجموع = شیرابه تولیدی $\left(\frac{m^3}{month}\right)$

۲-۴- داده‌های هواشناسی

برای تشریح شرایط اقلیمی، وضعیت بارش، دما و تبخیر در مراکز دفن، داده‌های هواشناسی استان از سامانه سازمان هواشناسی کشور

جدول ۲- ضریب تبدیل تبخیر پتانسیل به تبخیر واقعی (Chow et al., 1988)

Table 2. The conversion coefficient for potential to actual evaporation (Chow et al., 1988)

Month	Conversion coefficient
April	0.73
May	0.74
June	0.76
July	0.77
August	0.77
September	0.77
October	0.7
November	0.63
December	0.6
January	0.6
February	0.7
March	0.72

dx.doi.org/10.22093/wwj.2022.338942.3253

جدول ۳- درصد نفوذ باران در خاک‌های مختلف (Chow et al., 1988)

Table 3. Percentage of rain infiltration in different soil type (Chow et al., 1988)

Soil type	Land slope%	Infiltration%
Sand	0.5 – 5	60
	5 – 10	55
	>10	45
Potted sand	0.5 – 5	55
	5 – 10	50
	>10	35
Potted soil	0.5 – 5	50
	5 – 10	45
	>10	35
Potted silt	0.5 – 5	50
	5 – 10	40
	>10	30
Silt	0.5 – 5	45
	5 – 10	40
	>10	25
Potted clay	0.5 – 5	40
	5 – 10	30
	>10	20
Silty clay	0.5 – 5	30
	5 – 10	20
	>10	10
Clay	0.5 – 5	25
	5 – 10	20
	>10	8

برای ۴ ایستگاه سینوپتیک بابلسر، قراخیل، رامسر و نوشهر از زمان تأسیس این ایستگاه‌ها تا ماه نوامبر سال ۲۰۲۰ دریافت شد (Iran Meteorological Organization, 2021).

همچنین اطلاعات ایستگاه‌های باران‌سنجی وزارت نیرو در مجاورت محل‌های دفن، دریافت و پردازش شد. با توجه به موقعیت‌های ایستگاه‌های هواشناسی وزارت نیرو و محل‌های دفن استان، ۲ یا ۳ ایستگاه وزارت نیرو در اطراف هر محل دفن و یک مورد از ایستگاه‌های سینوپتیک (در صورت نزدیکی به محل دفن) انتخاب و داده‌های آن بررسی شد. مقدار میانگین درازمدت بارش و تبخیر این ایستگاه‌ها برای هر محل محاسبه و در مدل محاسب آنلاین حجم شیرابه استفاده شد.

در شکل ۳ موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک و وزارت نیرو در استان مازندران نشان داده شده است. در نهایت، اطلاعات بارش، تبخیر و دما برای ایستگاه‌های هواشناسی و وزارت نیرو، جمع‌بندی و مرتب‌سازی شده و به‌این ترتیب تصویری کمّی از شرایط اقلیمی در نزدیکی محل‌های دفن به‌دست آمد.

نتایج به‌دست‌آمده از آمار هواشناسی ایستگاه‌های وزارت نیرو در جداول ۴ و ۵ آمده است. میانگین مقدار بارش و تبخیر ایستگاه‌های فوق در برنامه تحت وب، به‌طور مجزا برای هر محل وارد شده تا مدل بدون نیاز به ورود دستی اطلاعات هواشناسی به‌صورت ماهانه، قادر به محاسبه میزان شیرابه تولیدی در هر محل باشد. به‌این‌ترتیب برای محاسبه حجم شیرابه تولیدی در هر مرکز، تنها نیاز به انتخاب شهر موردنظر و ورود اطلاعات مرتبط با وزن، رطوبت و چگالی زباله ورودی و ضرایب تجربی آن است.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- مطالعه موردی محل دفن انجیلسی بابل

شهرستان بابل با جمعیت بیش از ۵۳۱۹۳۰ نفر (طبق آخرین سرشماری در سال ۱۳۹۵)، پرجمعیت‌ترین شهرستان استان مازندران و دومین شهرستان پرجمعیت شمال ایران است. این شهرستان با وسعت ۱۴۳۱ کیلومترمربع، ۷ شهر بابل، امیرکلا، زرگرشهر، گتاب، خوش‌رودپی، گلوگاه و مرزیکلا، ۶ بخش و نیز ۶۷۳ روستا دارد. مرکز این شهرستان، شهر بابل است که طبق آخرین سرشماری در سال ۱۳۹۵ بیش از ۲۵۰۰۰۰ نفر جمعیت دارد. شهر بابل با وسعت ۳۲ کیلومترمربع، کم‌ارتفاع‌ترین شهر مرکزی استان مازندران بوده و میانگین ارتفاع آن ۲ متر پایین‌تر از سطح دریاهای آزاد است. این شهر، بین ۳۶ درجه و ۳۴ دقیقه و ۱۵ ثانیه عرض شمالی و ۵۲ درجه و ۴۴ دقیقه و ۲۰ ثانیه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ واقع شده است و با تهران ۵ دقیقه و ۱۵ ثانیه اختلاف ساعت (از نظر جغرافیایی) داشته و ۲۱۰ کیلومتر فاصله دارد (Office of Information and Statistic, 2018).

محل دفن زباله‌های شهرستان بابل که در بخش بابل‌کنار و در مجاورت روستای انجیلسی واقع شده، در واقع در یک منطقه سرسبز و جنگلی احداث شده و نزدیک به ۲۳ سال است که محل دپوی زباله‌های خانگی و صنعتی شهرها و روستاهای اطراف است. مساحت این محل دفن، ۲۹ هکتار بوده و با شهر بابل ۳۲ کیلومتر فاصله دارد. ارتفاع این محل از سطح دریای آزاد در بالاترین نقطه ۴۴۰ متر و در پایین‌ترین نقطه ۳۵۰ متر است. جنس خاک منطقه از نوع رس و شیب محل در حدود ۳۰ درصد است. در شکل ۴

Fig. 3. The location of the synoptic station and weathering station for the ministry of energy

شکل ۳- موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک و ایستگاه‌های وزارت نیرو در استان مازندران

جدول ۴- میانگین تبخیر ماهانه ایستگاه‌های مجاور مراکز دفن زباله‌های شهرهای استان مازندران

Table 4. The monthly average evaporation of landfill sites for the cites of Mazandaran province

Landfill sites	Evaporation												
	Sept.	August	July	June	May	April	March	Feb.	Jan.	Dec.	Nov.	Oct.	Total
Galogah	161.35	204.05	203.7	192	139.35	95.3	31.6	17.15	19.45	40.2	72.75	107.45	1284.35
Behshahr	113.85	157.05	146.4	140.9	95.85	67.05	41.2	25.1	23.75	28.5	41.65	72	953.3
Rostamkola	113.85	157.05	146.4	140.9	95.85	67.05	41.2	25.1	23.75	28.5	41.65	72	953.3
Khalilshahr	105.35	149.75	140.5	132.7	91.35	65.95	40.3	26.9	26.25	31.3	42.6	68.6	921.55
Neka	113.85	157.05	146.4	140.9	95.85	67.05	41.2	25.1	23.75	28.5	41.65	72	953.3
Kiasar	153.2	186.75	170.45	165.5	116.75	77.45	25.55	4.8	11.15	26.85	61.6	94.5	1094.55
Ghaemshahr	108.8	141.3	128.2	122.2	96.05	74.95	47.8	38.55	34.05	38.85	53.1	79	962.85
Kiakola	109.7	151.85	138.3	130.2	95.2	72.35	42.15	27.9	21.1	26.2	37.15	67.75	919.85
Juybar	109.2	138.6	138.2	127.15	91.55	67	38.5	26.5	22.85	27.75	43.95	71.85	903.1
Polsefid	111.2	152.9	144.05	137.85	96.55	71.9	42.25	28.85	23.05	25.8	41.95	72.9	949.25
Zirab	114	143.95	122.55	122.95	96.6	77.9	55.85	40.65	32.4	38.85	54	81.95	981.65
Shirgah	123	152.7	125.5	118	89.95	62.65	23.95	16.35	15.7	23.25	44.35	77.8	873.2
Alasht	109.7	151.85	138.3	130.2	95.2	72.35	42.15	27.9	21.1	26.2	37.15	67.75	919.85
Babolkenar	120.05	140.85	111.05	114.55	88.15	59.45	7.85	2.5	4.25	17	48.75	81.95	796.4
Babolsar	97.35	122.2	106.3	107.35	85.6	67.75	42.95	29.4	28.85	34.4	47.05	68	837.2
Bahnemir	109.2	138.6	138.2	127.15	91.55	67	38.5	26.5	22.85	27.75	43.95	71.85	903.1
Fereydon kenar	109.2	138.6	138.2	127.15	91.55	67	38.5	26.5	22.85	27.75	43.95	71.85	903.1
Amol	111.2	137.4	134.25	117.05	86.7	65.05	38.1	30.35	30.8	37.05	50.9	74.55	913.4
Noor	95.55	120.4	101.3	107.75	87.9	58.4	23.05	14.5	19.35	32.75	55.65	73.75	790.35
Noshahr	99.4	130.45	119.3	113	80.9	47.05	21.6	16.65	17.4	22.75	40.1	66.9	775.5
Chalos	125.95	181.8	170.2	157.9	102.95	67.3	33.35	22.95	25.35	30.8	44.1	76.9	1039.55
Kelardasht	125.95	181.8	170.2	157.9	102.95	67.3	33.35	22.95	25.35	30.8	44.1	76.9	1039.55
Marzanabad	113.75	155.65	142.15	137.7	96.65	64.65	24.05	14.45	16.9	26.4	41.95	74	908.3
Abasabad	113.75	155.65	142.15	137.7	96.65	64.65	24.05	14.45	16.9	26.4	41.95	74	908.3
Kelarabad	84.1	119.6	108.65	108.85	75.45	45.2	17.55	11.7	10.9	17.1	30.55	53.9	683.55
Tonekabon	96.3	145.75	136.7	129.05	81.75	47.85	26.85	20.2	19.35	21.5	32.7	56.8	814.8
Ramsar	79.7	123.25	98.4	94.75	65.7	38.75	20.15	12.45	12.6	20.4	29.3	50.5	645.95
Galogah	89.15	116.45	117.85	114.4	81.35	62.45	22	13.35	10.4	23.25	40.8	58.7	750.15

dx.doi.org/10.22093/wwj.2022.338942.3253

جدول ۵- میانگین بارش ماهانه ایستگاه‌های مجاور مراکز دفن شهرهای استان مازندران

Table 5. The monthly average precipitation of the landfill sites for the cites of Mazandaran province

Landfill sites	Precipitation												
	Sept.	August	July	June	May	April	March	Feb.	Jan.	Dec.	Nov.	Oct.	Total
Galogah	52.35	21.05	30.75	23.85	32.3	43.8	60.1	65.85	51.75	77.7	77.65	74.8	611.95
Behshahr	45.4	18.55	27.25	25.15	36.1	51.55	64.75	65.7	55.05	75.7	88	94.2	647.4
Rostamkola	48.95	22.3	29.9	24.65	33.8	46.6	64.7	68	56.85	80.1	87	82.65	645.5
Khalilshahr	46.75	21.2	27.3	24.7	38	50.2	64.85	66.45	55.15	77.55	84.6	91.25	648
Neka	63.525	29.95	43.3	28.4	45.3	57.7	74.2	80.65	57.05	92.3	83.05	82.7	738.125
Kiasar	37.2	20.45	27.7	25.35	30.45	41.05	53	55.75	35.95	54.1	55.6	49.3	485.9
Ghaemshahr	51.27	31.97	38.47	36	42.9	50.43	54.83	55.77	46.67	60.3	60.17	60.77	589.55
Kiakola	73.85	34.8	39.5	29.05	40.4	54.25	74.25	77.55	64.55	95.1	99.75	100.5	783.55
Juybar	57.05	27.65	27.05	21.35	27.85	40.65	61.05	68.25	62.85	89	94.15	90.9	667.8
Polsefid	66.1	33.35	31.95	20.9	33.85	48.7	68.45	76.3	74.2	103.8	103.55	94.5	755.65
Zirab	49	26.2	39.4	31.7	36.8	51.65	54	53.35	36.1	55.85	51.05	45	530.1
Shirgah	37.95	23.8	36.7	28.15	35.4	48.3	54.95	63.25	47.3	57.05	46.2	39.3	518.35
Alasht	108.65	67.7	74.9	60.45	71.35	77.8	90.35	84.9	73.4	98.55	99.3	128.55	1035.9
Babolkenar	33.95	21.6	41.15	29.25	36.25	44.65	51.75	53.15	41.15	49.25	42.05	27.4	471.6
Babolsar	111.95	66.6	71.0	60.1	71.55	72.9	93.3	86.6	73.75	97.35	98.75	137.85	1041.7
Bahnemir	76.9	33.9	29.65	16.75	21.3	38.3	58.35	78.5	85.8	123.7	125.95	123.65	812.75
Fereydon kenar	69.95	33.55	27.95	15.85	24.15	38.15	57.8	76.2	79.85	118.6	116.15	107.6	765.75
Amol	76.2	33.55	29.35	16.55	21.05	37.9	57.8	77.7	84.95	122.4	124.6	122.45	804.55
Noor	61.3	35.7	45.6	37.6	44	52.1	57.9	57.8	48.1	60.5	61.6	64.8	627
Noshahr	63.1	24.85	43.9	27.7	35.25	45.3	54.65	52.3	47.45	78.2	87.35	85.4	645.45
Chalos	157.31	54.15	60.7	48.15	52.4	63.65	87.1	114.3	108	169.2	215.9	226.15	1356.9
Kelardasht	79.35	27.55	34.7	25.3	32.1	42.85	52.65	66.6	59.8	90.45	121.2	115.15	747.7
Marzanabad	34.25	20.35	25.7	18.3	31.35	41	42.7	45.75	34.25	48.6	53.35	42.05	437.65
Abasabad	21.65	11.25	15.25	11.75	21.75	31.2	31.8	36.5	27.2	40.3	46.25	35.05	329.95
Kelarabad	181.7	72.3	83.4	62.2	70.8	88.75	109.7	126.35	119.15	164.2	213.65	239.6	1531.75
Tonekabon	179	72.6	81.75	61.95	70.4	89.15	110.55	135.2	118.95	175.5	219.95	248.55	1563.55
Ramsar	99.6	48.1	61.75	44.25	68.85	77.75	88.1	82.2	67.15	101.7	135.9	126.2	1001.55
Galogah	121.3	42.9	59.2	45.95	70.1	77.3	81.85	90.55	75.8	102.1	135	176.65	1078.7

تصویری از این مرکز نشان داده شده است. مدت زیادی است که زباله‌ها در محل به‌صورت روباز دپو می‌شوند که البته بعد از سال‌ها، بخشی از آن با خاک‌های محلی پوشانده شده است. محل دفن انجیلسی زیر نظر شهرداری بابل فعالیت می‌کند و از دو طریق، تولید کمپوست و دپو یا دفن زباله، پسماندهای تولیدی در این شهرستان را امحا می‌کند. زباله‌های تولیدی در بابل بعد از تفکیک حداقلی در مبدأ، جمع‌آوری و پاک‌روبی مکانیزه در شهر، هر شب با انتقال به سکوی بارگیری، در نهایت به مرکز انجیلسی انتقال می‌یابند. اگرچه تأسیسات و سوله‌های تفکیک، پردازش و تولید کمپوست متعددی در مرکز دفن انجیلسی احداث شده ولی میزان بسیاری کمی از زباله‌ها به کمپوست تبدیل شده و مابقی سر از محل دپوی غیربهداشتی زباله در مجاورت مرکز کمپوست در می‌آورد.

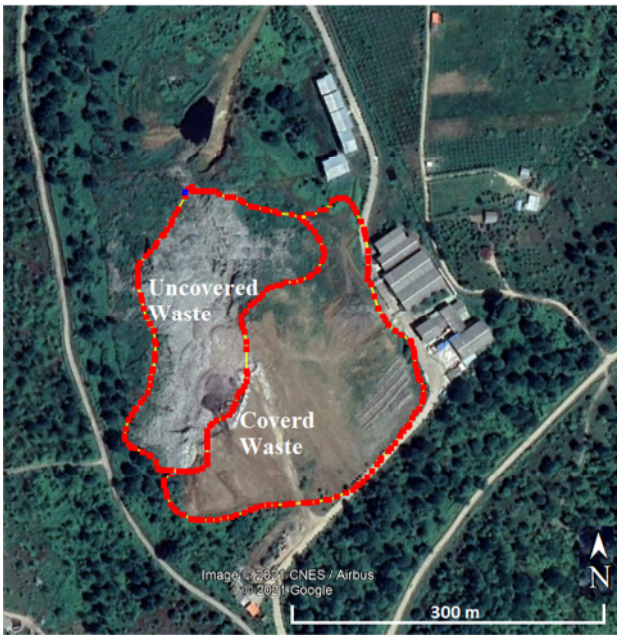

Fig. 4. The location of the Babol Anjilsi landfill in Google Earth

شکل ۴- نمایی از محل دفن انجیلسی بابل در محیط گوگل ارث

طبق اطلاعات سازمان مدیریت پسماند شهرداری بابل، از مجموع حدود ۲۸۰ تن زباله‌هایی که به مرکز انجیلسی وارد می‌شود، ۱۸۵ تن مربوط به شهر بابل، ۳۵ تن مربوط به شهرداری‌های شش‌گانه شهرستان و مابقی مربوط به روستاهای اطراف است. طی دو دهه اخیر، به‌دلیل عدم طراحی محل دفن بهداشتی، فرایند دفن بهداشتی در این مکان انجام نشده و زباله‌ها در فضای باز، انباشته می‌شوند. در نتیجه، محل دپوی زباله‌ها به مرکز تجمع پرندگان و حیوانات وحشی، با تولید بوی زننده و تولید شیرابه در احجام بسیار زیاد تبدیل شده است. برخی از اطلاعات مربوط به این منطقه و محل دپو در جدول ۶ آمده است.

۳-۲- برآورد شیرابه تولیدی

در مرکز انجیلسی میانگین درازمدت آمار دما، بارش و تبخیر ایستگاه قرآن تالار (از سال ۱۳۴۸) و ایستگاه گلوگاه بندپی (از سال ۱۳۵۴) محاسبه و برای برآورد میزان شیرابه استفاده شده است. همان طور که در جداول ۴ و ۵ آمده، میانگین دما در مرکز انجیلسی ۱۳/۵ درجه سلسیوس، مجموع بارش سالانه ۱۰۴۱ میلی‌متر و مجموع تبخیر پتانسیل سالانه ۸۳۷ میلی‌متر است. میزان تبخیر و تعرق واقعی تنها درصدی از میزان تبخیر پتانسیل است؛ بنابراین با توجه به آمار فوق میزان بارش در محل دپو بسیار بیشتر از میزان تبخیر و تعرق[1] واقعی خواهد بود. در این صورت علاوه بر شیرابه اولیه زباله ناشی از تجزیه مواد آلی و تراکم خودبه‌خودی زباله، به‌دلیل نفوذ بارش مستقیم بر روی دپو در محوطه باز دپوی زباله و همچنین نفوذ باران از پوشش خاکی بخش پوشش شده، روزانه مقدار متنابهی شیرابه در این مرکز تولید می‌شود.

انباشت نزدیک به ۲ میلیون تن زباله در محل با ارتفاع ۲۰ تا ۳۰ متر در مساحتی بیش از ۸ هکتار طی سال‌های گذشته، محل دپوی زباله را به یک آبخوان اسفنجی کوچک تبدیل کرده است که آب نفوذ یافته در روزهای بارانی در آن ذخیره و با گذر زمان در روزهای بعد به‌تدریج از آن خارج می‌شود. با این‌وجود به‌دلیل رواناب اولیه برآورد می‌شود میزان شیرابه در ماه‌های مرطوب و روزهای بارانی ۲ تا ۳ برابر ماه‌های خشک و روزهای غیر بارانی است. در سال‌های اخیر تلاش‌های زیادی برای جمع‌آوری و تصفیه شیرابه تولیدی در این محل شده است. با برآورد دقیق‌تر میزان شیرابه تولیدی، برنامه‌ریزی برای کاهش آن از طریق پوشش سطح زباله، زهکشی شیرابه‌های تولیدی و تصفیه آن به نحو بهتری ممکن خواهد شد.

در این پژوهش آمار میانگین بارش و تبخیر ایستگاه‌های مجاور محل‌های دفن، از پیش به مدل داده شد و متغیرهای تأثیرگذار در میزان تولید شیرابه اعم از میزان زباله ورودی، مساحت باز و پوشیده شده محل دفن، مساحت حوضچه شیرابه، چگالی و درصد رطوبت زباله، ضریب تبدیل تبخیر پتانسیل به واقعی، ضریب جذب شیرابه توسط زباله، درصد تبدیل رطوبت به شیرابه، درصد نفوذ بارش و دبی میانگین تخلیه پسماندهای مایع به محل به‌عنوان داده‌های ورودی برای هر محل دفن به طور مجزا وارد شد. در نهایت بر اساس روابط مشروح، میزان شیرابه تولیدی به تفکیک در هر ماه برای هر مرکز جداگانه محاسبه شد. این مدل محاسب آنلاین از طریق آدرس https://www.nitenviro.ir/ برای استفاده عموم منتشر شده است.

در بخش فرانت‌اند[2] مدل محاسب، از چارچوب nextjs که توسط شرکت vercel توسعه داده شده، استفاده شده است.

[1] Actual Evapotranspiration
[2] Front End

dx.doi.org/10.22093/wwj.2022.338942.3253

جدول ۶- اطلاعات استفاده شده برای محاسبه شیرابه در محل دفن انجیلسی بابل

Table 6. Data used for the calculation of leachate in the Babol Anjilsi landfill

Total area	29 hectare
Depot area	8.5 hec
Covered waste area	5 hec
Uncovered waste area	3.5 hec
Distance to city	32 km
Elevation of this place above sea level	At the highest point: 440 m At the lowest point: 350 m
Average temperature at the depot site	13.5 °C
Total annual rainfall	1041 mm
Total annual potential evaporation	837 mm
Daily depoting waste	200 Ton
Waste density	0.5 Ton per cubic meters
Waste moisture	55%
Soil type	Clay
Land slope	30%
Percentage of waste moisture conversion to leachate	60%
Waste adsorption capacity by waste	0.01 (Dimensionless)
Average monthly discharge of sludge	10 Cubic meters per second
Conversion factor of real evaporation to evaporation from the waste surface	0.1 (Dimensionless)

(Next.js, 2022). همچنین برای نمایش مقدار به‌صورت نمودار از کتابخانه قدرتمند Recharts و برای بهبود ظاهر و نمایش مناسب در اندازه‌های مختلف از کتابخانه tailwindcss بهره گرفته شده است (Recharts, 2022, Tailwindcss, 2021).

برای نمایش اطلاعات لازم، نیاز به گردآوری اطلاعات موردنیاز مدل نیست. مرحله جمع‌آوری داده‌ها به دو بخش تقسیم شده است: مرحله اول شامل داده‌هایی هستند که از بک‌اند[1] ارسال می‌شوند که این داده‌ها شامل میانگین بارش ماهانه است که برای هر محل دفن از پردازش داده‌های نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی و باران‌سنجی جمع‌آوری شده است. مرحله دوم شامل اطلاعاتی است که توسط کاربر وارد شده و مابقی داده‌های موردنیاز مدل را شامل می‌شود. کاربر پس از وارد کردن داده‌های موردنیاز دکمه محاسبه را فشار می‌دهد و در این لحظه اطلاعات جمع‌آوری شده برای پردازش به مدل وارد می‌شود و سپس با استفاده از خروجی‌های محاسبه شده مدل نمودارها و جدولی که در شکل ۵ نشان داده شده است ترسیم می‌شود. برای نگهداری و استفاده مجدد از این نمودارها قابلیت ذخیره‌سازی نیز در آنها گنجانده شده است. از این لینک نیز می‌توان به کد بخش شیرابه در سامانه nitEnviro دسترسی یافت.

به‌این‌ترتیب، با ورود داده‌های محلی، میزان شیرابه تولیدی در مرکز دپو و دفن زباله‌های بابل به تفکیک ماه‌های سال برحسب مترمکعب بر ماه و مترمکعب بر روز محاسبه می‌شود. بر اساس مقدار ورودی (جدول ۴) که صحت آن باید به تأیید مسئولان این مرکز برسد و در این پژوهش دقت آن قابل تأیید نیست، میزان شیرابه تولیدی در مرکز دپو و دفن زباله‌های بابل (انجیلسی) بین حداقل ۶۳/۳۹ مترمکعب در روز در خردادماه تا حداکثر ۲۶۰/۰۷ مترمکعب در روز در مهرماه متغیر است. به‌این‌ترتیب این مرکز فراوری و امحای زباله‌های شهری در شرایط حاضر که بخش اعظم زباله‌ها به‌صورت دپو در فضای آزاد در محلی با میانگین بارش بیش از ۱۰۰۰ میلی‌متر دفع می‌شود، روزانه به‌طور متوسط بیش از ۱۵۰ مترمکعب شیرابه تولید می‌کند. بخشی از این شیرابه نفوذ کرده و یا به کرانه‌های این دره جاری شده و بخشی دیگر در انتهای شیب،

[1] Back End

Fig. 5. Imput data and calculated tables and diagrams for landfill leakage production in Babol Anjilsi

شکل ۵- داده‌های ورودی، جدول و نمودارهای محاسبه میزان شیرابه تولیدی در محل دفن زباله‌های انجیلسی بابل

زهکشی شده و در مجاورت تصفیه‌خانه شیرابه جمع‌آوری می‌شود. بر اساس تجربیات علمی گزارش شده در مراجع، با انجام اقدامات مهندسی مانند ایجاد موانع و پوشاندن دپوی قدیمی زباله در محل، می‌توان حجم شیرابه تولیدی در محل را تا نزدیک به ۸۰ تا ۹۰ درصد کاهش داد و به‌این‌ترتیب از حجم آلودگی و خسارات ناشی از محل دفن کاسته شود.

dx.doi.org/10.22093/wwj.2022.338942.3253

۴- نتیجه‌گیری

یکی از ملزومات مدیریت جامع شیرابه در مراکز دفن، تخمین و محاسبه میزان شیرابه تولیدی است. در مراکز دپو و دفن غیربهداشتی زباله میزان بارش بلندمدت، مهم‌ترین پارامتر مؤثر بر شیرابه‌زایی است زیرا با ورود آن به زباله‌های تلمبار شده، تولید احجام بسیار زیاد از شیرابه در محل را به همراه خواهد داشت. این شیرابه خطرناک با ورود به آبهای سطحی و زیرزمینی اثرات زیان‌بار بسیاری برای سلامت محیط‌زیست، جانوران حاشیه و انسان به همراه خواهد داشت. ازاین‌رو محاسبه و کنترل شیرابه تولیدی در مراکز دفن از اهم مواردی است که در نظر گرفتن آن در قانون مدیریت و بهره‌برداری از مراکز دفع زباله‌های شهری به‌صورت صریح، تأکید شده است.

مدل محاسب آنلاین توسعه داده شده در این پژوهش با استفاده از روابط هیدرولوژیکی مبتنی بر موازنه جرمی آب در محل و برای محاسبه میزان شیرابه تولیدی در مراکز دفن زباله‌های شهری در استان مازندران توسعه داده شد. در این مدل میانگین مقدار بارش و تبخیر در هر محل از داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک سازمان هواشناسی و ایستگاه‌های باران‌سنجی وزارت نیرو استخراج و برای هر محل در مدل بارگذاری شد.

در این حالت دیگر وارد کردن اطلاعات هواشناسی برای هر محل ضرورت نداشته و تنها با ورود ضرایب تجربی مرتبط و مشخصات زباله ورودی می‌توان برآورد نسبتاً دقیقی از شیرابه تولیدی در محل دپو یا دفن زباله‌های استان مازندران به دست آورد. به‌عنوان نمونه در این پژوهش، میزان شیرابه تولیدی روزانه و ماهانه بر اساس ضرایب تجربی و داده‌های ورودی در دسترس از محل دفن زباله‌های شهر بابل واقع در منطقه انجیلسی برآورد شد.

با توجه به نتایج ارائه شده در بخش قبل، بر اساس برآوردهای این مدل، میزان شیرابه تولیدی در این محل بین حداقل ۶۳/۳۹ مترمکعب در روز، در ماه‌های گرم و خشک سال (خرداد و تیر) تا افزون بر ۲۶۰/۰۷ مترمکعب در روز، در ماه‌های مرطوب و بارانی (مهر) متغیر بود. این بهترین برآوردی است که تاکنون از میزان شیرابه تولیدی در این محل به‌دست آمده و قطعاً با تدقیق داده‌های ورودی می‌توان برآوردی دقیق‌تری از میزان شیرابه تولیدی در محل فوق و سایر مراکز دپو و دفن استان ارائه کرد.

انجام اقدامات مهندسی مانند احداث محل جدید برای دفن بهداشتی زباله (که در این مرکز در حال انجام است) و ایمن‌سازی و پوشاندن محل دپوی قدیمی زباله در محل، کاهش تولید شیرابه در محل تا ۹۰ درصد و کاهش آلودگی منابع آب سطحی و زیرزمینی منطقه را به دنبال خواهد داشت. به‌این‌ترتیب علاوه بر حفظ محیط‌زیست و تضمین سلامت حاشیه‌نشینان منطقه، کاهش هزینه شهرداری در احداث تصفیه‌خانه جدید شیرابه و امکان امحای مناسب زباله در راستای اهداف توسعه پایدار در استان مازندران محقق خواهد شد.

۵- قدردانی

به این وسیله از حمایت بنیاد ملی نخبگان که در قالب پنجمین دوره طرح احمدی روشن انجام شده است، کمال تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

References

Amirsoleymani, Y., Abessi, O. & Ghajari, Y. E. 2020. Environmental evaluation of municipal landfills in Mazandaran province based on Iran national environmental regulations. *Town and Country Planning*, 12(1), 101-124. (In Persian)

Chian, E. S. & DeWalle, F. B. 1976. Sanitary landfill leachates and their treatment. *Journal of the Environmental Engineering Division*, 102(2), 411-431.

Chow, V. T., Maidment, D. R. & Mays, L. W. 1988. *Applied Hydrology*. McGraw-Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering. New York, USA.

Iran Meteorological Organization, 2021. *Global Framework for Climate Services Office*. Available at: http://reports.irimo.ir/jasperserver/login.html. (In Persian)

Ireland, EPA. 2000. *Landfill Manuals: Landfill Site Design*, Environmental Protection Agency: Wexford, Ireland.

Islam, J. & Singhal, N. 2002. A one-dimensional reactive multi-component landfill leachate transport model, *Environmental Modelling and Software*, 17(6)**,** 531–543.

Kelly, W. E. 1976. Ground-water pollution near a landfill. *Journal of the Environmental Engineering Division*, 102(6)**,** 1189-1199.

Next.js, 2022. *The React Framework for Production*. Available at: https://nextjs.org/.

Office of Information and Statistic, 2018. *Statistical Annual Report For Mazandaran*. (In Persian)

Recharts, 2022. Available at: https://recharts.org/en-US/.

Tailwindcss, 2021. Available at: https://tailwindcss.com/.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License