شبیه‌سازی انتقال شیرابه در خاکچال

کاظم بدو
دکتری عمران

پیشگفتار

خاکچال‌ها یا محل‌های دفن زباله، در دنیای مهندسی امروز، به عنوان یک سازهٔ مهندسی، نقش نگهداری از پسماندها و کنترل آثار آلایندگی این مواد را بر محیط اطراف به عهده دارند. انتخاب محل مناسب، اثر متقابل محیط طبیعی و خاکچال، خصوصیات زمین و المان‌های مختلف خاکچال، روش‌های غالب انتقال آلودگی از میان لایه‌های زمین و خاکچال، تخمین معیارهای طراحی و تجزیه و تحلیل انتقال آلودگی از جمله نکات بارز در طراحی خاکچال‌ها به‌شمار می‌روند. در این مقاله ضمن مروری بر این نکات، گزینه‌های مختلف طراحی خاکچال‌ها نیز مورد بحث قرار گرفته‌اند.

مقدمه

دفن زباله در زمین قرن‌هاست که توسط بشر انجام می‌پذیرد. تا چند دههٔ پیش، تصور می‌شد که شیرابهٔ تولید شده از زباله در کف محل‌های دفن، پس از نفوذ به لایه‌های طبیعی زمین توسط خاک و جریان آب زیرزمینی کاملاً تصفیه می‌گردد و دیگر خطری برای آلودگی منابع آب زیرزمینی ندارد. به این دلیل، تخلیه و دفن زباله در سطح زمین طبیعی، بدون اعمال هرگونه تدابیر کنترلی، توسط جوامع مختلف ادامه داشت. در مدتی کوتاه، از دههٔ ۵۰ میلادی به بعد، تحقیقات به عمل آمده نشان داد که محل‌های دفن زباله (خاکچال‌ها) به دلیل تراوش شیرابهٔ حاوی المان‌های شیمیایی مضر، باعث آلودگی منابع آب زیرزمینی می‌شوند، طوری که پس از آلوده شدن، پاکسازی آنها کاری دشوار و بسیار پرهزینه است. از آن تاریخ به بعد، در بیشتر کشورهای پیشرفته، دفن زباله در سطح زمین طبیعی متوقف شد و متولیان امر مدیریت زباله ملزم به دفن زباله در ساختارهای بهداشتی .مهندسی به نام خاکچال گردیدند. در این سازه‌های مهندسی، زباله داخل المان‌های خاکی از بالا و پایین قرار می‌گیرد و از جهت انتشار بو، پخش زباله در محیط اطراف و از همه مهم‌تر، شیرابهٔ کف خاکچال، کنترل می‌شود. مهندسان عمران به همراه سایر متخصصان نقشی اساسی را در طراحی و اجرای این سازه‌های مهندسی به عهده دارند.

معیارهای انتخاب محل دفن و اثر متقابل زمین و خاکچال

معیارهایی متعدد در انتخاب مناسب‌ترین محل دفن زباله برای یک شهر وجود دارند که به پاره‌ای از آنها ذیلاً اشاره می‌گردد. کار انتخاب محل در یک شعاع مطالعاتی مشخص نسبت به مرکز تولیدکنندهٔ زباله .مثلاً مرکز شهر .براساس اقتصادی‌ترین فاصلهٔ حمل زباله از شهر تا محل دفن منتخب و محل‌های مختلف، مطابق با معیارهای زیست محیطی، اجتماعی و اقتصادی روی نقشه مشخص و محل‌های

نامناسب الک می شوند(۱). سپس از میان گزینه های مختلف، مکانی که نسبت به بقیه امتیازی بیشتر کسب کند، به عنوان مناسب ترین محل انتخاب می شود. در یک خاکچال بهداشتی .مهندسی می باید معیارهای زیست محیطی زیر رعایت شوند:

۱) زباله های دفن شده در خاکچال نباید موجب پخش بوی نامطبوع در محیط اطراف و آلودگی هوا گردند.

۲) زباله های دفن شده باید از دسترسی حیوانات، حشرات و پرندگان موذی که می توانند موجب پخش شدن زباله در محیط اطراف و همچنین انتشار آلودگی میکروبی گردند، دور نگهداشته شوند.

۳) آلودگی صوتی ماشین آلات حمل زباله و ماشین آلات به کار گرفته شده در خاکچال باید حداقل باشد و خاکچال نباید موجب آلودگی بصری شود.

۴) گازهای تولیدشده در خاکچال، مانند گاز متان و گاز دی اکسید کربن، باید کنترل و تهویه گردند.

۵) شیرابهٔ تولید شده در خاکچال باید کنترل، جمع آوری و تصفیه گردد تا موجب آلودگی آب های سطحی و زیرزمینی نشود.

از نظر اثر متقابل زمین و خاکچال، چه هنگام انتخاب محل های مناسب و چه پس از آن، هیدروژئولوژی سایت های مختلف و سایت انتخاب شده می باید به دقت مطالعه شود. در این مرحله، سطح عمومی آب زیرزمینی و نوسانات فصلی سطوح آب، عمق لایهٔ آبدار و ضخامت آن، جهت عمومی جریان آب زیرزمینی، گسترش طولی و عمودی لایه های خاک، بافت و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی لایه های خاک، اثر متقابل شیرابهٔ تولیدی در خاکچال و خاک زیر محل دفن، لرزه خیزی منطقه، و بسیاری نکات دیگر توسط کاوش های ژئوتکنیکی صحرایی و آزمایش های گوناگون مورد مطالعه قرار می گیرند.

معیارهای طراحی و المان های خاکچال های مهندسی

پس از انتخاب محل مناسب و مطالعه دقیق هیدروژئولوژی منطقهٔ استقرار خاکچال، معیارهای مختلف طراحی، مطالعه و بررسی و طرح مناسب خاکچال با المان های مختلف مهندسی ارائه می شود. از جمله نکاتی که باید در طراحی مدنظر قرار گیرند، موارد زیر می باشند:

۱) انتخاب خطوط تراز کف خاکچال پس از حفاری و قبل از ساخت المان های مهندسی

۲) حجم و تعداد سلول های خاکچال براساس میزان تولید زباله و عمر طرح

۳) شیب شیروانی های کناری خاکچال

۴) تعداد، جنس و ضخامت المان های مهندسی، مانند لایه های زهکشی شیرابه، لاینرهای رسی یا مصنوعی، مانند ژئوسینتتیک ها

۵) لایه های پوششی روزانه، میانی و نهایی خاکچال

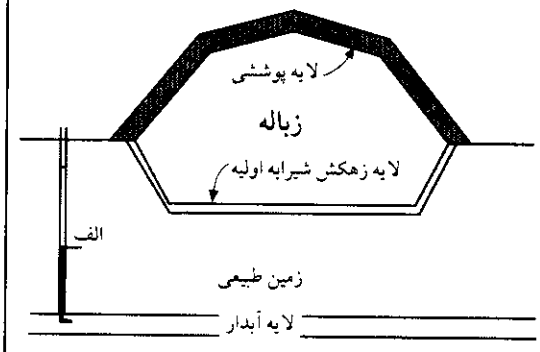
۶) شبکهٔ تهویهٔ گاز

در شکل ۱ تعدادی از گزینه های مختلف طراحی نشان داده

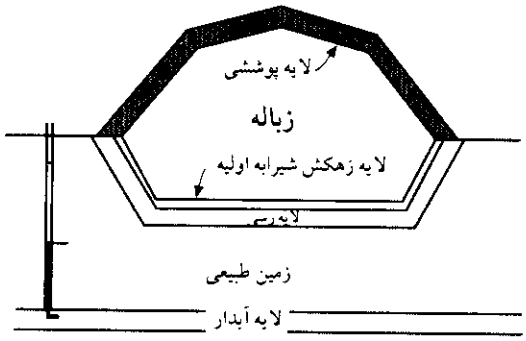
پرتال جامع علوم انسانی

جدول ۱- حداقل فاصلهٔ خاکچال از منابع و مراکز مختلف

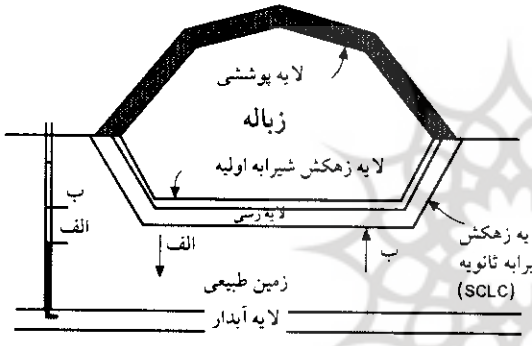
منابع و مراکز	فاصله به متر
فاصلهٔ خاکچال از چاه های تأمین آب شرب	۳۰۰
فاصلهٔ خاکچال از مناطق مسکونی، آموزشی، تفریحی، تجاری و صنعتی	۱۵۰
فاصلهٔ خاکچال از آب های سطحی (رودخانه ها، دریاچه ها، قنات ها، چشمه ها...)	۶
فاصله از نزدیک ترین خط گسل فعال	۶۰
فاصله از فرودگاه محلی	۱۵۰۰
فاصله از بناهای تاریخی	۳۰۰



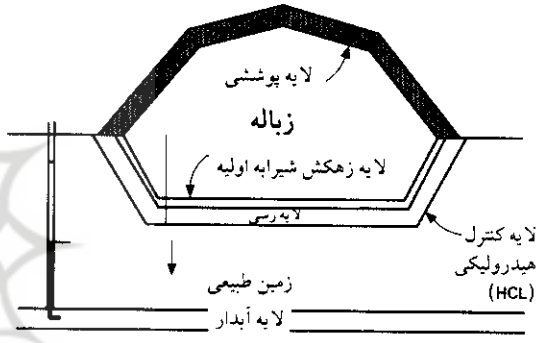
۱-۱



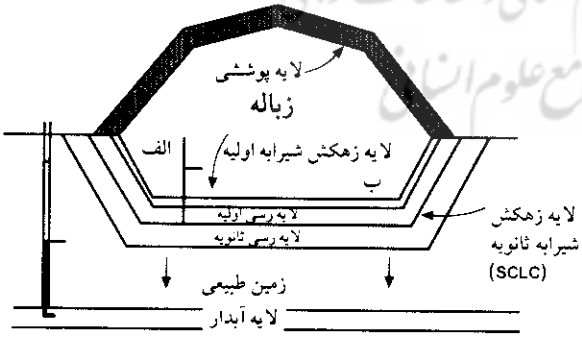
۱-۲



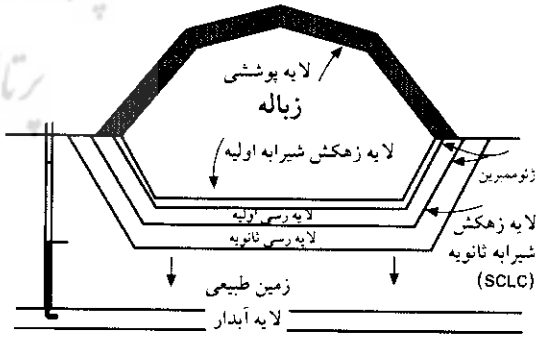
۱-۳



۱-۴



۱-۵



۱-۶

گزینه های مختلف طراحی خاکچال

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

شده است. این گزینه‌ها از نظر تعداد المان‌های مهندسی و میزان کار مهندسی انجام شده و همچنین وضعیت هیدروژئولوژیک زمین طبیعی و لایهٔ آبدار زیر خاکچال با هم متفاوتند.

گزینهٔ ۱.۱ دارای حداقل درجهٔ مهندسی و تنها یک لایهٔ زهکشی شیرابه در زیر زباله و یک لایهٔ پوششی در بالای آن است. لایه‌های زهکشی با سنگدانه‌هایی به قطر ۲ تا ۵ و به ضخامت تقریبی ۴۰ سانتی‌متر در کف و دیواره‌های زمین حفاری شده، ساخته می‌شوند. لوله‌های پلی اتیلن سوراخ‌دار در کف این لایه برای جمع‌آوری و انتقال شیرابه به خارج از خاکچال جهت تصفیه، جاگذاری می‌گردند.

گزینهٔ ۲.۱ دارای یک لایهٔ رسی متراکم (لاینر رسی) در زیر لایهٔ زهکشی به ضخامت تقریبی ۱متر و با حداقل نفوذپذیری 1×10^{-9} متر در ثانیه می‌باشد و وظیفهٔ جلوگیری از حرکت شیرابه به سمت لایه‌های پایین‌تر کف محل دفن را به عهده دارد.

گزینهٔ ۳.۱ علاوه بر المان‌های گزینهٔ ۲.۱، دارای یک لایهٔ زهکش ثانویه در زیر لاینر رسی برای جمع‌آوری شیرابه‌های نفوذ کرده از میان لایهٔ رسی است. ارتفاع سطح پیزومتریک در لایهٔ آبدار، در مقایسه با ارتفاع شیرابه در لایهٔ زهکش ثانویه، جهت جریان آب (یا شیرابه) می‌تواند در دو وضعیت (الف) و (ب) مطابق شکل ۳.۱ باشد.

گزینهٔ ۴.۱ از نظر تعداد و نوع المان‌های مهندسی مشابه گزینهٔ ۳.۱ می‌باشد؛ لکن در این گزینه، آب به داخل لایهٔ زهکشی ثانویه، که در این حالت لایهٔ کنترل هیدرولیکی نام دارد، پمپاژ می‌گردد تا با بالا رفتن ارتفاع پیزومتریک در این لایه، جریان آب معکوس و به داخل خاکچال، یعنی لایهٔ زهکشی اولیه هدایت شود. این حالت به تلهٔ هیدرولیکی مهندسی معروف است.

گزینهٔ ۵.۱ دارای دو لایهٔ زهکش شیرابه (یا لایهٔ کنترل هیدرولیکی) و دو لاینر رسی می‌باشد. دو وضعیت (الف) و (ب) می‌توانند در این گزینه وجود داشته باشند.

گزینهٔ ۶.۱ که از نظر درجهٔ مهندسی از گزینه‌های دیگر بالاتر است، دارای دو لایهٔ زهکشی شیرابه (اولیه و ثانویه)، دو لاینر رسی (اولیه و ثانویه) و دو لایهٔ مصنوعی از نوع ژئوممبرین می‌باشد. لایهٔ رسی، به همراه ژئوممبرین، لاینر مرکب را (برای جلوگیری از حرکت شیرابه به پایین) تشکیل می‌دهد. روش‌های غالب انتقال آلودگی در این لایه‌های مهندسی نیز در جهت قائم به صورت دیفیوژن[۲] و ادوکشن[۳] می‌باشند.

در طراحی لایه‌های زهکش شیرابه باید به انتخاب قطر مناسب و فاصلهٔ لوله‌های سوراخ‌دار از هم، میزان تولید شیرابه و دبی لایهٔ زهکش و لوله‌ها، انسداد فیزیکی و شیمیایی لایهٔ زهکش و انسداد سوراخ‌های لوله‌ها، پایداری لوله‌ها، سرعت و ضریب دیفیوژن لایه‌ها، و موارد دیگر دقت کرد.

در طراحی لاینرهای رسی نیز باید به ضریب نفوذپذیری لاینر هنگام عبور شیرابه، نوع خاک رسی استفاده شده، اثر شیرابه بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی لاینر، ضریب دیفیوژن یون‌های مختلف در لاینر، ترک خوردگی و پایداری لاینر و نکات دیگر دقت کرد.

تجزیه و تحلیل انتقال آلودگی در خاکچال‌ها

مدل‌های ریاضی و کامپیوتری مفیدی برای تجزیه و تحلیل انتقال آلودگی در خاکچال‌ها ارائه شده‌اند که از جمله به مدل پلوت[۴] که به صورت $1\frac{1}{2}$ بعدی و مدل میگرت[۵]، که به صورت دو بعدی، انتقال مواد آلوده را از خاکچال مدل می‌کنند، می‌توان اشاره کرد.

قبل از استفاده از این نوع مدل، می‌باید معیارهای فیزیکی و شیمیایی لایه‌های مختلف خاکچال و زمین طبیعی، از جمله، ضرایب دیفیوژن و سرعت جریان آب زیرزمینی، ضخامت لایه‌ها، شرایط مرزی حاکم، میزان و نوع مواد آلوده در کف خاکچال و معیارهای دیگر، اندازه‌گیری یا محاسبه و سپس وارد مدل گردند؛ به عنوان نمونه، مدل پلوت، از فرمول عمومی زیر، برای انتقال ۱بعدی مواد آلوده با روش لایه‌های محدود(۶) استفاده می‌کند.

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D\frac{\partial^2 c}{\partial z^2} - v\frac{\partial c}{\partial z} - \left(\frac{\rho k_d}{n}\right)\frac{\partial c}{\partial t} - \lambda c$$

که در آن: c غلظت یون شیمیایی میلی‌گرم در لیتر در زمان t (روز) و در عمق z (متر) از کف خاکچال، D ضریب پخش شدگی هیدرودینامیکی (روز/متر مربع)، V سرعت جریان آب زیرزمینی (روز/متر)، ρ دانسیتهٔ خشک خاک

(کیلوگرم در متر مکعب)، Kd ضریب توزیع یون موردنظر در خاک (میلی گرم در لیتر) و λ ثابت تجزیه (نصف عمر مادهٔ شیمیایی Ln_2 می باشد.

ضریب D از مجموع دو ضریب دیفیوژن مؤثر خاک (D_e) و ضریب پخش شدگی مکانیکی (D_{md}) تشکیل می گردد. در این

تعیین غلظت یون های موجود در شیرابهٔ خاکچال در اعمال، فواصل و زمان های مختلف است که از نظر زیست محیطی و تأثیر خاکچال بر منابع آب زیرزمینی حائز اهمیت است. برای اطلاعات بیشتر به منابع ۷، ۱۷ و ۱۸ مراجعه گردد.

مدل، برای تجزیه و تحلیل غلظت در یک لایهٔ آبدار واقع در فاصله‌ای از کف خاکچال، از فرمول زیر استفاده می شود:

$$C_b = \int_0^t \frac{f_b(c,t)}{n_b h} dt - \int_0^t \frac{v_b c_b}{n_b l} dt$$

که در آن: c_b غلظت در لایهٔ آبدار، $f_b(c,t)$ جریان توده‌ای[۷] از کف خاکچال و از میان لاینر رسی و زمین طبیعی به طرف لایهٔ آبدار با غلظت C و در زمان t، n_b درجهٔ پوکی لایهٔ آبدار، h ضخامت لایهٔ آبدار، v_b سرعت جریان آب در جهت افقی در لایهٔ آبدار، L طول کف خاکچال (یا لایهٔ آبدار) می باشد.

با استفاده از این مدل ها می توان اثر خاکچال را در محیط طبیعی ارزیابی نمود. از جمله مهم ترین معیارهای موردنظر،

خلاصه و نتیجه گیری

در این مقاله، به ضرورت استفاده از یک سازهٔ مهندسی به نام خاکچال برای دفن زباله و کنترل و جلوگیری از آثار سوء انتشار بو، گاز و شیرابهٔ زباله در محیط طبیعی تأکید شده است.

افزایش جمعیت، کمبود آب و روند رو به گسترش آلودگی این منابع حیاتی، ضرورت تجدیدنظر و تغییر در روش های سنتی و غیربهداشتی فعلی دفن زباله را در کشور بیش از پیش نمایان می سازد. امید است با به کارگیری روش های دفن بهداشتی . مهندسی زباله بتوان از افزایش آلودگی محیط زیست و منابع آب تا حدممکن جلوگیری نمود.

پی نوشت

1- Screening process
2- Diffusion
3- Advection
4- Pollute
5- Migrate
6- Finite Layer Technique
7- Flux

منابع

1- U.S.EPA Subtitle D Municipal Waste Regulations. Federal Register. Part II, Volume 56, Number 196, October 1991.

2- Nobel, G. (1992), "Siting Landfills and other LULUs" Technomic Publishing Co. Inc., U.S.A., P.215.

3- Sanitary Landfill (1974). National Center for Resource Recovery . Inc., Lexington Books. P.119.

4- Weiss, S. (1974), "Sanitary Landfill Technology". Noyes Data Corporation, U.S.A, P.307.

5- Grawford, J. and Smith, P.G. (1984). "Landfill Technology". Butterworths London, England. P. 159.

6- Begchi. A. (1994). "Destin, Construction, and Monitoring of Landfills". Jhon Willey and Sons, Inc., P. 361.

7- Rowe, R.K. Quigley, R.M., and Booker, J.R. (1995). "Clayey Barrier Systems for Waste Disposal Facilities". E and FN Spon Co. P. 390.

8- Rowe, R.K., and Badv, K (1996), "Use of Geotextile Separator to Minimize Intrusion of Clay into a Coarse Stone Layer". Geotextiles and Geomembranes, Vol. 14, PP. 73-93.

9- Warith, M. and Accardi, J. (1998). "Clogging of landfill Drainage Layer". Proceedings of the 51st Canadian Geotechnical Conference, Edmonton, Vol 2, pp. 863-866.

10- Badv, K. and Rowe, R.K. (1996). "Contaminant Transport Through a Soil Liner Underlain by an Unsaturated Stone Collection Layer". Canadian Geotechnical Journal. Vol. 33, pp. 416-430.

11- Shackelford, C.D., and Daniel , D.E. (1991). "Diffusion in Saturated Soil II: Results for Compacted Clay". Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 117 (3), pp. 485-506.

12- Rowe, R.K. and Booker, J.R. (1994). Program POLLUTE, Geotechnical Research Center, University of Western Ontario. London, Ontario, Canada. 1983, 1990, 1994.

13- Rowe, R.K. and Booker, J.R. (1988b). Program MIGRATE, Geotechnical Research Center, University of Western Ontario. London, Ontario, Canada.

14- Rowe, R.K, Caers, C.J. and Barone, f. (1988). "Laboratory Determination of Diffusion and Distribution Coefficients of Contaminants Using Undisturbed Clayey Soil". Canadian Geotechnical Journal. Vol 25, pp. 108-118.

15- Rowe, R.K. and Badv, K . (1996). "Chloride Migration Through ClayeySilt Underlain by Fine Sand or Silt". ASCE,Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 122, No.1 pp. 60-68.

16- Rowe, R.K. and Badv, K. (1996). "Advective-Diffusive Contaminant Migration in Unsaturated Sand and Gravel". ASCE, Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 122, No. 12 pp. 965-975.

17- Rowe, R.K. and Booker, J.R. (1986). "A Finite Layer Technique for Calculating Three-Dimensional Pollutant migration in Soil". Geortechnique, Vol. 36, No. 2, pp. 205-214.

18- Rowe, R.K. and Booker, J.R. (1985). "2D Pollutant Migration in Soils of Finite Depth". Canadian Geotechnical Journal, Vol. 22, No.4, pp. 429-436.