

جایابی خاک چال های شهری با استفاده از روش وزن دهی تجمعی ساده و روش فازی، مورد مطالعاتی استان لرستان

ماشاله خامه چیان^{۱*}، احسان مختاری^۲، غلامعلی منتظر^۳، محمدرضا نیکودل^۳

- ۱- دانشیار گروه زمین شناسی مهندسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس
- ۲- دانشجوی دکتری رشته زمین شناسی مهندسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس
- ۳- دانشیار گروه مهندسی فناوری اطلاعات، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس
- ۳- دانشیار گروه مهندسی فناوری اطلاعات، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس

Mokhtari_e@yahoo.com

چکیده

اگرچه گزینه های مختلفی از قبیل خاک چال ها، سوزاندن زباله ها، تبدیل به کود و تجزیه بی هوازی برای دفع پسماندهای شهری وجود دارد ولی معمول ترین روش در کشورهای در حال توسعه روش دفن زباله است. انتخاب جایگاه مناسب برای خاک چال ها یکی از مهمترین بخش های فرایند دفن زباله است. روش های مختلفی برای جایابی خاک چال ها در منابع معرفی شده است. در این مقاله دو روش شامل روش فازی و روش وزن دهی تجمعی ساده برای جایابی خاک چال های شهری استان بکار گرفته شد نتایج این دو روش با هم مقایسه گردید. روش وزن دهی تجمعی ساده (SAW) شامل مراحل زیر است: ۱- آماده سازی داده های رقومی. ۲- انتخاب معیار جایابی و رتبه بندی و وزن دهی آنها. ۳- بکارگیری روش وزن دهی تجمعی ساده برای تهیه نقشه مناسب بودن زمین برای ساخت خاک چال. روش فازی نیز شامل مراحل زیر می شود: ۱- تعریف توابع فازی برای معیارهای. ۲- تعریف قواعد فازی برای انتخاب جایگاه مناسب ساخت خاک چال. ۳- انتخاب موتور استنتاج فازی مناسب و برآورد شاخص برازندگی زمین برای ساخت خاک چال و تهیه نقشه. نقشه روش فازی روندی تدریجی را در مشخص کردن شاخص برازندگی زمین برای ساخت خاک چال نشان می دهد. در نقشه روش وزن دهی تجمعی ساده بیشتر مناطق استان در گروه نامناسب برای ساخت خاک چال قرار می گیرد در حالیکه در نقشه روش فازی زمین های مناسب بخش بسیاری از نقشه را می پوشاند.

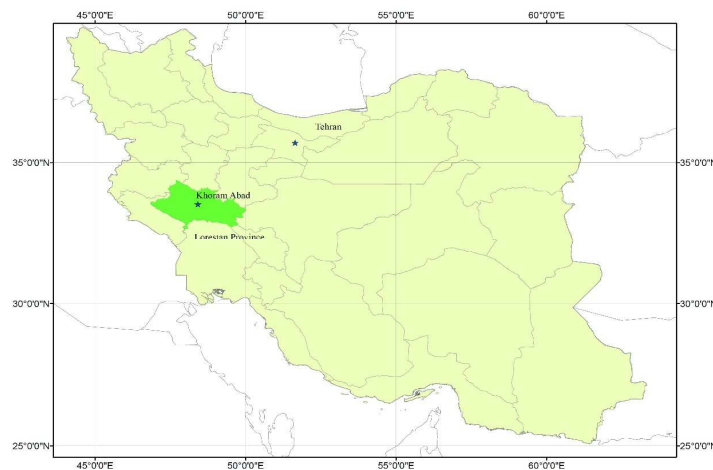
کلمات کلیدی: خاک چال، روش وزن دهی تجمعی ساده، روش فازی، لرستان

۱- مقدمه

"خاک چال" به تأسیساتی که برای دفن زباله های جامد در سطح زمین بکار برده می شود اطلاق می گردد. همچنین به تأسیسات مهندسی شده ای که برای دفن زباله های شهری برای کاستن آسیب به سلامت عمومی و محیط زیست، طراحی و بکار برده می شود، خاک چال های شهری گفته می شود. انتخاب جایگاه مناسب برای خاک چال ها یکی از مهمترین بخش های فرایند دفن زباله است. انتخاب مکان مناسب می تواند هزینه ساخت و اجرای یک خاک چال را کاهش دهد (Ojha et al. 2007). جایابی علمی خاک چال های شهری متضمن کاهش هزینه ها، کارکرد ایمن خاک چال مهندسی و کنترل آلودگی ناشی از نشت شیرابه است (Cao et al. 2006). روش های مختلفی برای جایابی خاک چال ها در منابع معرفی شده است (Halvadakis 1993; Bonham Carter 1994; Ehler et al. 1995; Balis et al. 1998; Dorhofer and Siebert 1998; Yagoub and Buyong 1998; Lukasheh et al. 2001). استفاده از دیاگرام، دسته بندی خاکستری (Grey clustering)، سیستم های خبره، سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش تحلیل سلسله مراتبی تعدادی از این روش ها هستند (Cao et al. 2006). سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) یک سیستم مدیریت پایگاه داده های رقومی است که برای مدیریت حجم زیادی از داده های فضایی با منشأ گوناگون طراحی شده است. این سیستم به دلیل

ذخیره، بازیابی، آنالیز و نمایش داده ها بر اساس خواسته کاربر برای مطالعات جایابی بسیار آرمانی است (Wang et al. 2009). هزینه های فرایند جایابی خاک چال ها را بسیار کاهش می دهد و فرایند را آسان می سازد (Charnpratheep et al 1997). GIS (Kao et al. 1997; Sener et al. 2006) همراه شده با منطق فازی، وزن دهی تجمعی ساده (SAW) و روش آنالیز سلسله مراتبی (AHP) در فرایند جایابی بطور گسترده در سراسر جهان مورد استفاده قرار گرفته است (Kao and Lin). Hussey et al. 1996; Siddiqui 1996; Siddiqui et al. 1996; Charnpratheep et al. 1997; Kao et al. 1997 جغرافیایی را همراه با روش AHP در فرایند جایابی بکار برد. همچنین Charnpratheep و همکاران (۱۹۹۷) تئوری مجموعه های فازی را در فرایند جایابی خاک چال ها در تایلند مورد استفاده قرار داد. روش آنالیز تحلیل چندمتغیره فازی در جایابی خاک چال ها بطور گسترده مورد توجه قرار گرفته است (Chang et al. 2008; Ojha et al. 2007; Akbari et al. 2008; Onet and Soner). (Wang et al. 2009; Khamechian et al. 2011).

یکی از پرکاربردترین روش های جایابی خاک چال ها روش وزن دهی تجمعی ساده است. این روش معمول جایابی بر اساس وزن دهی پارامترهای موثر در فرایند جایابی با استفاده از قضاوت مهندسی کار می کند و دارای کاستی های بسیاری است. این کاستی ها شامل تعریف پارامترها، روش وزن دهی پارامترها و جداسازی محدوده هر پارامتر بر روی نقشه است. بیشتر این کمبودها به طبیعت مسأله مربوط می شود. بدین معنی که پارامترهای زمین شناسی و زیست محیطی مرز مشخص و تعریف شده ای در فرایند جایابی خاک چال ها ندارد. ماهیت منطق فازی و توانایی سیستم های فازی برای کار با چنین مسائلی می تواند در انتخاب بهتر جایگاه ساخت خاک چال کمک کند. در این مقاله دو روش یکی مبنی بر منطق فازی و دیگری روش وزن دهی تجمعی ساده (SAW) برای جایابی خاک چال های شهری استان لرستان بکار گرفته شد و نتایج دو روش با یکدیگر مقایسه می شود. شکل ۱ محدوده مورد مطالعه را نشان می دهد.



شکل ۱- موقعیت استان لرستان به عنوان محدوده مورد مطالعه

۲- مواد و روش تحقیق

داده های ورودی تحقیق شامل ۱۲ لایه اطلاعاتی رقومی شده که در برگیرنده داده های زمین شناسی، گسل ها، شیب زمین، پوشش گیاهی، مناطق مسکونی، راه ها، مناطق محافظت شده، منابع آب زیرزمینی، سدها، شبکه آبراه ها، بارش و تبخیر است. آماده سازی این داده ها زمان گیرترین بخش مطالعه را شامل می شود و نتایج جایابی به دقت این داده ها بسیار وابسته است. این داده ها در محیط GSI تهیه شد و به عنوان ماده خام هر دو روش مورد استفاده قرار گرفت.

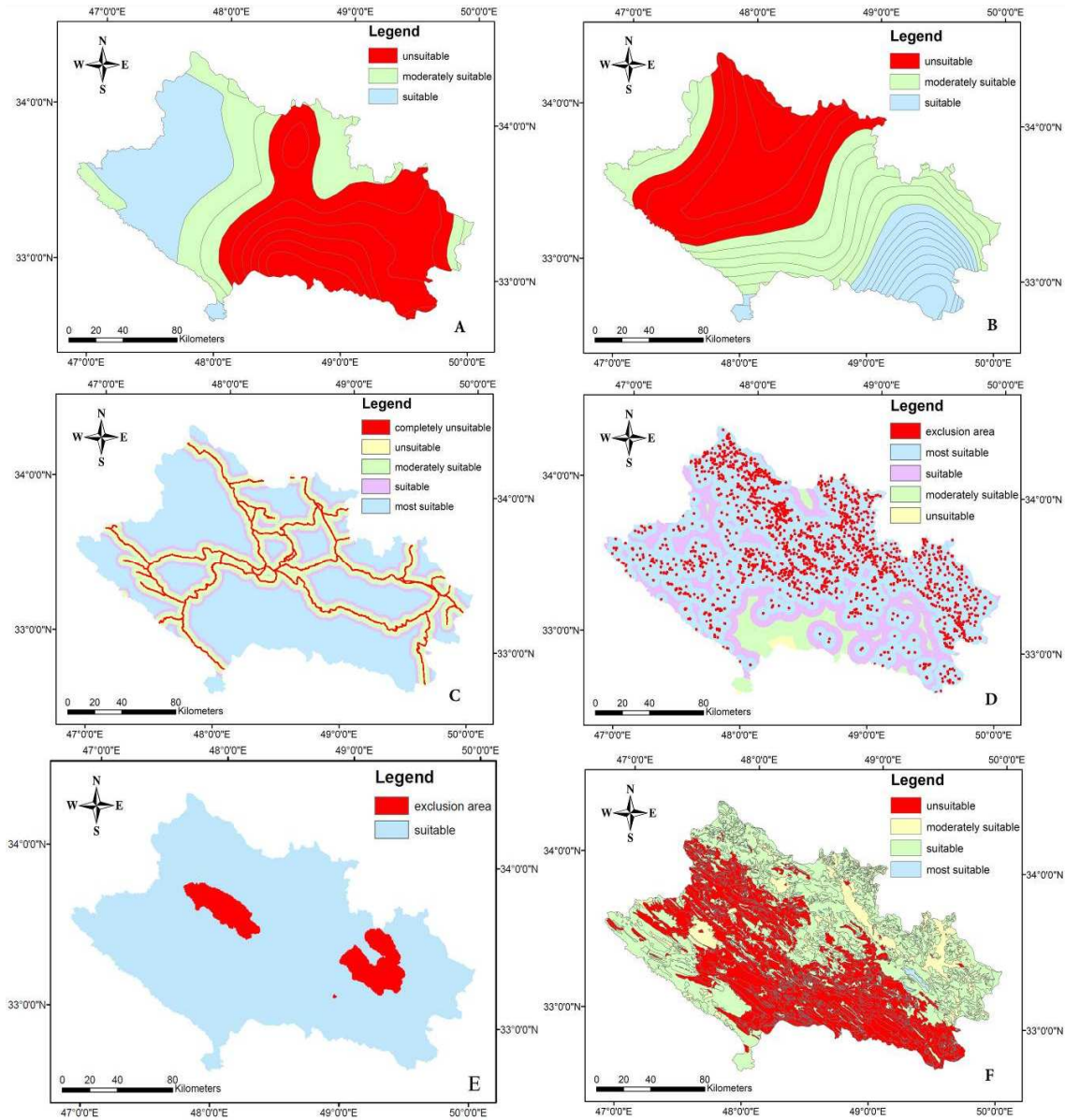
در روش جایابی خاک چال ها به کمک SAW یک فرایند دو مرحله ای پیش رو قرار می گیرد. نخست مناطق ممنوعه از قبیل مناطق محافظت شده، مناطق مسکونی و محدوده شدها از فرایند جایابی حذف می شوند و در مرحله بعد مناطق باقیمانده نقشه با استفاده از روش SAW مورد ارزیابی قرار می گیرند. در طی بررسی محدوده مورد مطالعه نقشه استان از ۰ تا ۵ نمره گذاری می شود که شماره ۰ نشان دهنده جایگاه های بسیار نامناسب برای ساخت خاک چال هستند در حالیکه شماره ۵ نماینده جایگاه های بسیار مناسب هستند. گام دوم تحقیق به آماده سازی داده ها و معیارهای انتخاب شده در مرحله نخست وابسته است و آن داده ها استفاده می کنند. در این مرحله یک سیستم فازی برای برآورد شاخص برآوردگی زمین برای ساخت خاک چال مورد استفاده قرار می گیرد. در مرحله نهایی تحقیق نتایج به دست آمده از دو روش با یکدیگر مقایسه می شوند. معیارهای جایابی بکاربرده شده در این مطالعه به شش گروه تقسیم می شود (جدول ۱)، که به ترتیب زمین شناسی، ژئومورفولوژی، هیدروژئولوژی/ هیدرولوژی، اقلیم شناسی، خاک شناسی و اکولوژی هستند.

جدول ۱- وزن های اهمیت نسبی نرمال شده و درجه بندی عوامل مؤثر در جایابی مورد استفاده در تحقیق

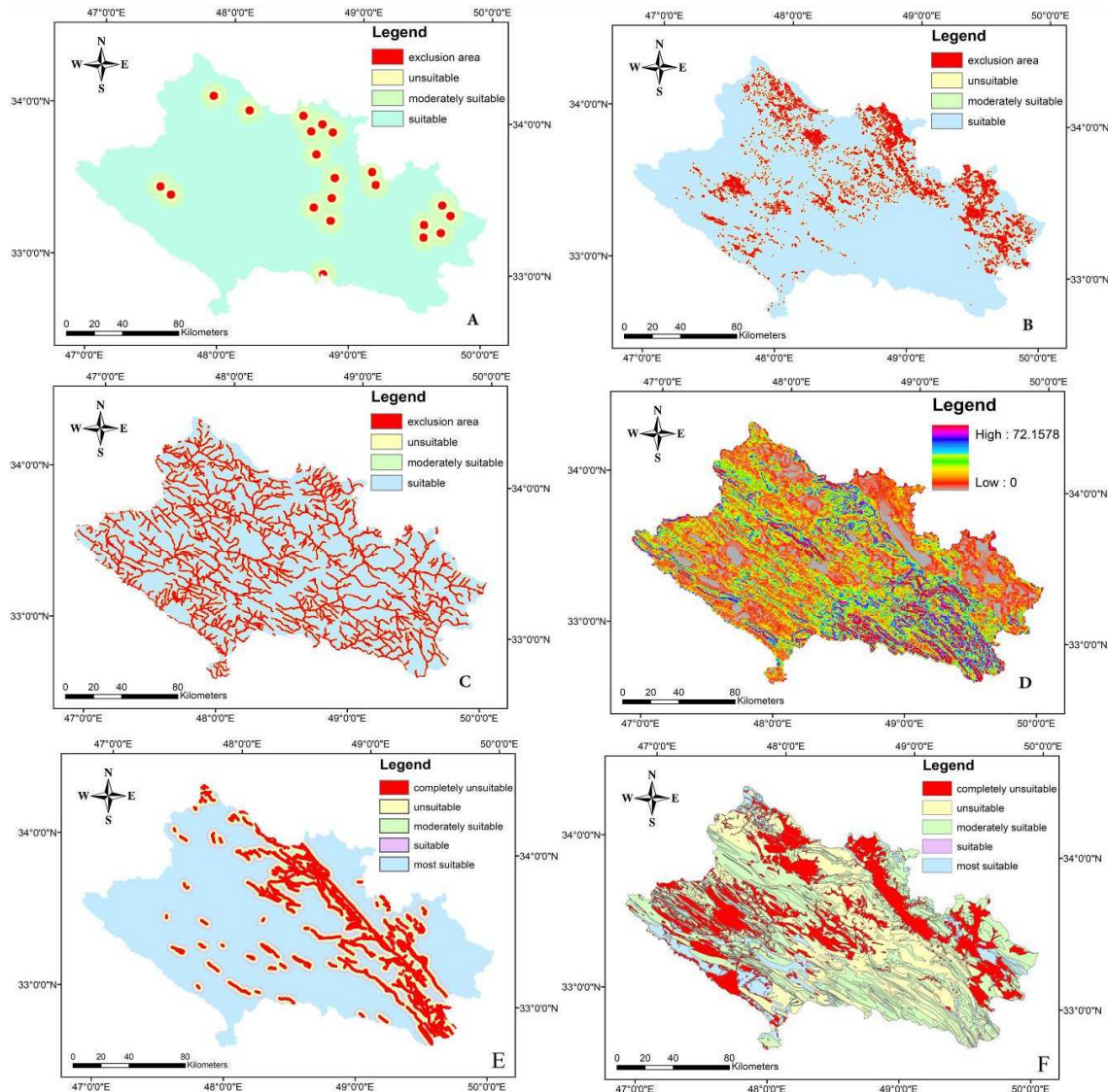
معیار	زیرمعیار	درجه بندی معیار					مناطق ممنوعه (۰)	اهمیت نسبی	وزن اهمیت نسبی نرمال شده (w.j)
		بسیار مناسب (۵)	مناسب (۴)	نسبتاً مناسب (۳)	نامناسب (۲)	(۱) بسیار مناسب			
زمین شناسی	سنگ شناسی	Sh,Mn,Cl	Sc,Tf,E v,LS	Ig, Mm,Sl	Ss,LS	Do,Cg,Af,Qt,Qs	۶	۰/۰۹۳	
	فاصله از گسل	> ۴ km	۳-۴ km	۲-۳ km	۱-۲ km	۰/۵-۱ km	< ۰/۵ km	۵	۰/۰۸۰
زمین ریخت شناسی	شیب ^(۰)	۰-۵	۵-۱۰	۱۰-۱۵	۱۵-۲۰	> ۲۰	-	۱۰	۰/۱۵۹
آب شناسی / آب زیرزمینی	فاصله از رود ها و سیستم زهکشی (m)	> ۲۰۰۰	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۵۰۰-۱۰۰۰			< ۵۰۰	۸	۰/۱۳۰
	فاصله از چاه ها و چشمه ها (m)	> ۱۰۰۰	۷۵۰-۱۰۰۰	۵۰۰-۷۵۰			< ۵۰۰	۹	۰/۱۴۳
	فاصله از سدها (m)	> ۳۰۰۰	۲۰۰۰-۳۰۰۰	۱۰۰۰-۲۰۰۰			< ۱۰۰۰	۲	۰/۰۳۰
خاک شناسی	پوشش گیاهی	BL	R3,R2	SH,R1,DF	IF,F3,F2, F1, RB,L,URB			۷	۰/۱۱۲
اقلیم	بارش (mm)	< ۲۰۰۰	۲۰۰۰-۳۰۰۰	> ۳۰۰۰				۲	۰/۰۳۰
	تبخیر (mm)	> ۱۰۰۰	۸۰۰- ۱۰۰۰	۶۰۰-۸۰۰	< ۶۰۰			۲	۰/۰۳۰
اقتصادی / اجتماعی	فاصله از مناطق مسکونی (km)	۱-۱۰	۱۰-۲۰	۲۰-۳۰	> ۳۰		< ۱	۷	۰/۱۱۲
	فاصله از راه ها (km)	۰/۵-۲	۲-۴	۴-۶	۶-۸	> ۸	< ۰/۵	۵	۰/۰۸۰
	مناطق محافظت شده (km)						< ۰/۵	-	-

Sh: شیل, Mn: مارن, Cl: رس, Sc: شیست, Ev: سنگ های تبخیری, LS: سنگ آهک, Ig: سنگ های آذرین, Mm: سنگ های دگرگونی, Ss: ماسه سنگ, LS: سنگ آهک, Do: مراتع با پوشش 5-25%, R3: 25-50% زمین های بایر, BL: زمین لغزش, Qs: رسوبات کواترنری, Qt: مخروط آبرفتی, Af: کنگلومرا, Cg: دولومیت, Do: زمین های دیم, DF: زمین های کشاورزی, IF: زمین های درختچه ای با پوشش بیش از 10%, SH: 10% مراتع با پوشش بیش از 50%, R1: 50% مراتع با پوشش مناطق مسکونی, URB: بستر رودها, RB: احجام آب, L: جنگل های با پوشش بیش از 50%, F1: جنگل های با پوشش 25-50%, F2: جنگل های با پوشش

شکل های ۲ و ۳ نتایج رقومی سازی داده های مورد نیاز تحقیق و بررسی معیارهای جایابی در استان لرستان را نشان می-دهند. این نقشه ها بر اساس معیارهای ارائه شده در جدول ۱ تهیه شده اند.



شکل ۲- عوامل مؤثر در فرایند جایابی خاک چال های شهری استان لرستان : A- میزان بارش -B- میزان تبخیر -C- شبکه راه ها
D- مناطق مسکونی -E- مناطق محافظت شده -F- پوشش گیاهی



شکل ۳- عوامل مؤثر در فرایند جایابی خاک چال های شهری استان لرستان: A- منابع آب آشامیدنی: B- چاه ها و چشمه ها - C- شبکه آبراهه ها - D- شیب - E- گسل ها - F- سنگ شناسی

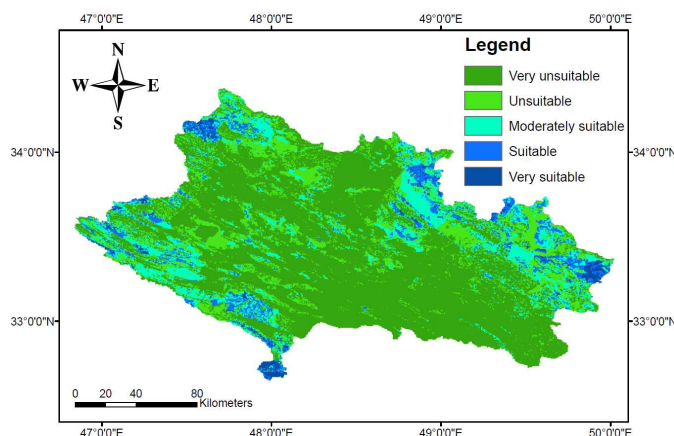
۱-۲- روش وزن دهی تجمعی ساده (SAW)

در گام بعدی تحقیق براساس پارامترهای موجود با استفاده از روش وزن دهی تجمعی ساده (SAW) مناسب بودن محدوده مورد مطالعه برای ساخت خاک چال های شهری مورد ارزیابی قرار گرفت. روش SAW بر پایه منطق دودویی قرار دارد و در این روش شاخص تناسب با استفاده از رابطه ۱ محاسبه می شود (Malczewski, 1997):

$$A_i = \sum_{j=1}^n X_{ij} W_j \quad (1)$$

در این رابطه A_i شاخص تناسب محدوده i ، W_j وزن اهمیت نسبی پارامتر j ، X_{ij} رتبه محدوده نسبت به پارامتر i و n تعداد کل پارامترها است. برای محاسبه شاخص تناسب (A_i)، مقدار رتبه پارامتر (X_{ij}) و وزن اهمیت نسبی هنجار شده (W_j) پارامتر نیاز است. وزن اهمیت نسبی هر پارامتر بر اساس نظر متخصصان و خبرگان فرایند جایابی بر اساس جدول ۱ از ۰ تا ۱۰ تعریف می شود.

میزان اهمیت هر پارامتر با استفاده از تقسیم هر وزن بر مجموع وزن ها هنجار یا نرمال می شود. نهایتاً معیارهای برآورد بسته به وزن های اهمیت نسبی آنها در محاسبه شاخص تناسب به کار برده می شوند (جدول ۱). نقشه جایابی خاک چال های شهری استان لرستان تهیه شده به روش SAW در شکل ۴ نشان داده شده است. شاخص تناسب زمین در این نقشه به ۵ گروه با بازه های ۰/۵ درجه های تقسیم شده است (Ai: 0 to 2.5).



شکل ۴- نقشه جایابی خاک چال های استان لرستان به روش SAW

۲-۲- روش فازی

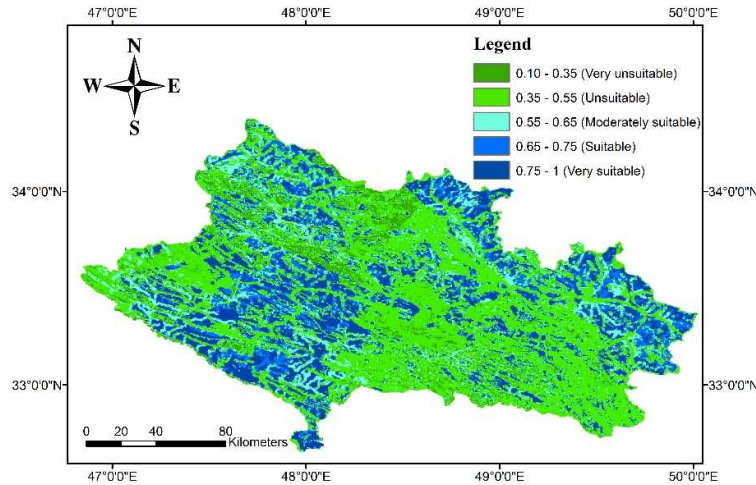
منطق فازی که منتج به نظریه مجموعه های فازی می شود، برای نشان دادن داده های نا دقیق و مبهم به صورت ریاضی به کار برده می شود (Zadeh, 1965). در مقابل منطق دودویی، یک مجموعه فازی مرزهای مشخص و واضحی ندارد. مجموعه های فازی راه مناسبی برای پرداختن به مسائل زمین شناسی و جغرافیایی هستند که سرشار از معیارها و متغیرهای نامشخص و مبهم هستند. برای حل یک مسئله به کمک روش فازی، بیان معیارها و عوامل مؤثر در حل مسئله به صورت فازی ضروری است. همچنین نتایج به دست آمده به روش فازی باید به صورت کمی و قابل فهم برگردانده شوند. مراحل حل مسئله به روش فازی را می توان به صورت کلی در چند بخش خلاصه نمود: - فازی سازی داده ها. - آماده سازی پایگاه دانش یا تعریف قواعد فازی. پردازش قواعد و داده های ورودی به کمک موتور استنتاج مناسب. - نافازی سازی داده های خروجی روش فازی. اختصاص دادن توابع عضویت فازی به متغیرهای مسئله فازی سازی نامیده می شود. توابع عضویت در مجموعه های فازی به وسیله متغیرهای زبانی که به میزان دانش در مورد مسئله برمی گردد بیان می شوند. پرکاربردترین توابع عضویت توابع مثلثی هستند. البته توابع دیگر شامل دوزنقه ای یا گوسی نیز بکار برده می شوند (Ojha et al. 2007).

در این تحقیق برای انتخاب قواعد فازی و توابع عضویت از روش دلفی استفاده شد. روش دلفی تکنیکی است که دیدگاه های خبرگان را در مورد یک موضوع خاص بررسی می کند. این روش شامل تعدادی پرسش است که مکرراً به گروهی از خبرگان ارائه می شود. هر عضو گروه با توجه به دیدگاه های سایر اعضا دیدگاه های خود را تعدیل می نماید (Hatzichristos and Giaoutzi, 2006). تعداد خبرگان به طبیعت مسئله بستگی دارد ولی طبق نظر Rowe et al. (1991) تعداد کمتر خبرگان مناسبتر است. در این تحقیق گروهی متشکل از ۱۴ خبره دارای تخصص های زمین شناسی، آب شناسی و محیط زیست مورد نظر سنجی قرار گرفتند. جدول ۲ توابع عضویت همه معیارها و زیرمعیارها را ارائه می دهد. توابع عضویت به صورت توابع مثلثی و دوزنقه ای نمایش داده شده اند. حد پایینی و حد بالایی هر تابع در جدول ۲ نشان داده شده است.

برای تعریف مدل فازی لازم است تا خروجی مدل نیز بصورت فازی تعریف شود. برای این منظور و در راستای انطباق خروجی های مدل فازی با مدل SAW گروه های مختلف تناسب زمین شامل زمین های بسیار نامناسب، نامناسب، نسبتاً مناسب، مناسب و بسیار مناسب به صورت توابع فازی مثلثی در بازه ۰ تا ۱ تعریف شدند. نهایتاً پایگاه قواعد نیز در ادامه روش دلفی طی پرسشنامه های دور چهارم، پنجم و ششم با توجه به دیدگاه خبرگان تهیه گردید. این قواعد شامل چهل و چهار قاعده "اگر... آنگاه" است که به عنوان پایگاه قواعد مدل فازی در نظر گرفته شد. الگوریتم فازی مورد استفاده در مدل برای حل مسأله جایابی خاک چال های شهری یک مدل فازی بر پایه قواعد با موتور استنتاج ممدانی در نظر گرفته شد. موتور استنتاج ممدانی معمول ترین موتور استنتاج برای حل مسائل مهندسی است. نتایج خروجی مدل با استفاده از روش نافازی سازی مرکز ثقل بصورت کمی بر گردانده شد و نهایتاً در محیط نرم افزار ArcGIS بصورت نقشه تناسب زمین برای جایابی خاک چال های شهری نمایش داده شد که در شکل ۶ می توان این نقشه را مشاهده نمود. در این نقشه نقاط با ارزش عددی بالاتر نشان دهنده نقاط مناسبتر برای ساخت خاک چال است و نقاط با ارزش پایین تر نمایانده نقاط نامناسبتر برای این منظور است.

شکل ۲- معیارهای مورد استفاده در مدل فازی- بیان کلامی معیارها و توابع عضویت

معیار	زیرمعیار	تابع عضویت (مناطق ممنوعه، نامناسب، نسبتاً مناسب و مناسب)
زمین شناسی / زمین شناسی مهندسی	گسل ها	[1000> 1000 2000] [1000 2000 3000] [3000 4000 4000<]
	سنگ شناسی	[6.5> 6.5 7.5] [6.5 7.5 9.5] [7.5 9.5 9.5<]
زمین ریخت شناسی	(⁰) شیب	[5> 5 10] [5 10 15] [5 10 15]
	آبشناسی / آب های زیر زمینی	[1000> 1000 2000] [1000 2000 3000] [2000 3000 3000<]
کاربری زمین	فاصله از سدها (m)	[500> 500 1000] [500 1000 2000] [1000 2000 2000<]
	فاصله از رودخانه ها و سیستم زهکشی (m)	[500> 500 750] [500 750 1000] [750 1000 1000<]
	فاصله از چاه ها و چشمه ها (m)	[6.5> 6.5 7.5] [6.5 7.5 9.5] [7.5 9.5 9.5<]
اقلیمی	پوشش گیاهی	[2000> 2000 2500] [2000 2500 3000] [2500 3000 3000<]
	بارش (mm)	[600> 600 800] [600 800 1000] [800 1000 1000<]
اقتصادی / اجتماعی	تبخیر (mm)	[0 1 2] [1 5 10] [5 10 20] [10 20 20<]
	فاصله از مناطق مسکونی (km)	[0 1 2] [1 2 4] [2 4 6] [4 8 8<] [0.5 1 2] [2 4 6] [4 6 6<]
	فاصله از راه ها (km)	[0 1 2] [1 2 4] [2 4 6] [4 8 8<] [0.5 1 2] [2 4 6] [4 6 6<]
	فاصله از مناطق محافظت شده (km)	[0 1 2] [1 2 4] [2 4 6] [4 6 6<]



شکل ۶- نقشه جایابی خاک چال های شهری استان لرستان تهیه شده به روش فازی

۳- نتیجه گیری

نقشه به دست آمده از روش فازی روند تدریجی در تبدیل شاخص تناسب زمین برای ساخت خاک چال نشان می دهد در حالیکه در نقشه تهیه شده به روش SAW این تغییرات ناگهانی تر است. همچنین در نقشه تهیه شده به روش SAW مناطق بیشتری دارای کیفیت نامناسب برای ساخت خاک چال است در حالیکه در نقشه فازی بخش های بیشتری از نقشه کیفیت مناسب را برای ساخت خاک چال دارا هستند. جدول ۳ درصد و مساحت گروه های مختلف تناسب زمین در دو نقشه SAW و فازی را نشان می دهد.

جدول ۳- مساحت و درصد گروه های مختلف جایابی در نقشه های تهیه شده به روش فازی و SAW

نقشه SAW			نقشه فازی		
گروه	مساحت (Km ²)	درصد	گروه	مساحت (Km ²)	درصد
بسیار نامناسب	9274.51	32.8	0.1-0.35	6270.39	22.2
نامناسب	12821.10	45.3	0.35-0.55	8940.82	31.6
نسبتاً مناسب	3640.83	12.9	0.55-0.65	6108.11	21.6
مناسب	691.02	2.4	0.65-0.75	3009.79	10.6
بسیار مناسب	1866.53	6.6	0.75-1.00	3964.89	14.0
مجموع مساحت : 28294			مجموع مساحت : 28294		

۴- مراجع

- Akbari V., Rajabi M. A., Chavoshi S.H., Shams R. (2008). Landfill Site Selection by Combining GIS and Fuzzy Multi Criteria Decision Analysis, Case Study: Bandar Abbas, Iran. World Applied Sciences Journal, 3 (1).
- Balis M., Mandylas C., Kontos T., Akriotis D., Halvadakis C.P. (1998). Investigation of suitable areas for the construction of sanitary landfill in Lemnos. Technical Report, Part I. Region of the North Aegean, Mytilene, Lesbos, Greece, University of the Aegean, Department of Environmental Studies, Waste Management Laboratory.
- Bonham-Carter G. F. (1994). Geographic Information Systems for Geoscientists. USA, Pergamon (Elsevier Science Ltd.).
- Cao L., Cheng Y., Zhang J., Zhou X., Lian C. (2006). Application of Grey Situation decision-making theory in site selection of awaste sanitary landfill. J. China Univ. of Minina &Tech., 16(4).

- Chang N. Parvathinathan G., Breeden J.B. (2008). Combining GIS with fuzzy multicriteria decision-making for landfill siting in a fast-growing urban region. *J. Environmental Management*, 87, 139–153.
- Charnpratheep K., Zhou Q., Garner B. (1997). Preliminary landfill site screening using fuzzy geographical information systems. *Waste Manage. Res.*, 15, 197-215.
- Dorhofer G., Siebert H. (1998). The search for landfill sites-requirements and implementation in Lower Saxony, Germany. *Environ. Geol.*, 35, 55–65.
- Ehler G., Cowen D., Mackey H. (1995). Design and implementation of a spatial decision support system for site selection. *Proceedings of ESRI International User Conference*, p. 100.
- Halvadakis C. P. (1993). Municipal solid waste landfill siting in Greece-the case of the greater hania region, Greece. *Ekistics*, 358–359, 345–352.
- Hatzichristos T., Giaoutzi M. (2006). Landfill siting using GSI, fuzzy logic and delphi method. *Int.J.Environmental Technology and Management*, 6, 218-231.
- Hussey, V., Dodd, V., Dennison, G. J. (1996). Locating a landfill site for Dublin using geographic information systems. *P. I. Civil. Eng. Munic.* 115(3): 125- 133.
- Kao J. J., Lin H. Y. (1996). Multi factor spatial analysis for Land fill siting. *J. Environ.. Eng.*, 122(10), 902-908.
- Kao J.J., Lin H.J., Chen W.Y. (1997). Network geographic information system for landfill siting. *Waste Manage. Res.*, 15, 239–253.
- Komilis D. P., Ham R.K., Stegmann R. (1999). The effect of municipal solid waste pretreatment on landfill behavior: a literature review. *Waste Manage. Res.*, 17, 10–19.
- KLukasheh A. F., Droste R.L., Warith M.A. (2001). Review of expert system (ES), geographical information system (GIS), decision support system (DSS) and their application in landfill design and management. *Waste Manage. Res.*, 19, 177–185.
- Malczewski J. (1997). Propagation of errors in multicriteria location analysis: a case study. In: Fandel G, Gal T (eds) *Multiple criteria decision making*. Springer, Berlin, pp 154–155
- Mamdani E. H., Assilian S. (1975). An Experiment in Linguistic Synthesis With a Fuzzy Logic Controller. *Int. J. Man Machine Studies*. 7, 1-13.
- Ojha C. S., Goyal M. K., Kumar S. (2007). Applying Fuzzy logic and the point count system to select landfill sites. *Environ. Monit. Assess.*, 135, 99–106.
- Onut S., Soner S. (2008). Transshipment site selection using the AHP and TOPSIS approaches under fuzzy environment. *Waste Management*, 28, 1552–1559.
- Rowe G., Wright G., Bolger F. (1991) Delphi: a re-evaluation of research and theory. *Technical Forecasting Social Change*, 39, 235–251.
- Sener B., Suzen M.L., Doyuran V. (2006). Landfill site selection by using geographic information systems." *Environ. Geol.*, 49, 376–388.
- Siddiqui M. Z., Everett J. W., Vieux B. E. (1996). Landfill siting using geographic information systems. *J. Environ. Eng.*, 122(6), 515-523.
- Wang G., Qin L., Li G., Chen L. (2009). Landfill site selection using spatial information technologies and AHP: A case study in Beijing, China. *J. Environmental Management*, 90, 2414–2421.
- Yagoub M., Buyong T. (1998) GIS applications for dumping site selection. *Proceedings of the ESRI International User Conference*, 107.
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Controls*, 8, 353-383.