

مدیریت ریسک و خطر در تحلیل مخاطرات زمین با استفاده از سیستم اطلاعات ژئوتکنیکی (GIS): مطالعه موردی خاک های استان گلستان

حامد رضایی^{۱*}، سیده اعظم تقوی^۲

۱- استادیار و عضو هیئت علمی دانشگاه گلستان

۲- مهندسین مشاور جویا پارس شمال دیگر

Rezaiy.hamed@yahoo.com

چکیده

امروزه استفاده از مدیریت خطر و ریسک در پروژه ها یکی از اصول اقتصاد مهندسی است. به طوری که نتیجه بسیاری از مطالعات محافظه کارانه بوده و هزینه گزافی را برای کارفرمایان می تراشد ولی اگر بتوان احتمال وقوع و بزرگی خطر را تعیین نمود و پارامترهای ریسک را که بر پای صحت و دقت اطلاعات ژئوتکنیکی محیط است را به همراه بانک اطلاعات ژئوتکنیکی (GIS) برای یک منطقه تکمیل کرد. می توان مدلی از مطالعات ژئوتکنیکی را با اطمینان بالا ارائه کرد که ضمن لحاظ نمودن ضریب ایمنی مناسب، هزینه های پروژه ها را به شدت کاهش داد. در این تحقیق سعی شده تا بر پایه مفاهیم مدیریت خطر و ریسک و بانک اطلاعات ژئوتکنیکی، میزان خطر پذیری پروژه های آبی کوچک مقیاس را در استان گلستان تعیین نمود. در محدوده تحقیق خطر رهنمندی در ارتباط با پارامترهای خطر و ریسک قرار گرفته و ضریب ایمنی هر یک از نواحی تعیین و بر اساس آن ها نقشه پهنه بندی نیز تهیه شده است و بر اساس این نقشه برنامه مطالعات، عملیات و یا اجرای پروژه ها تدوین شده است.

کلمات کلیدی: خطر و ریسک، تقسیم اطلاعات ژئوتکنیک (GIS)، خطر رهنمندی، استان گلستان، پهنه بندی

۱- مقدمه

با استفاده از فناوری های نوین در زمین شناسی، ظهور استفاده از GIS در بررسی تغییرات سطح زمین مرسوم شده است و به کمک GIS با مدلسازی عددی می توان تغییرات ذوب یخچالها، درجه حرارت زمین و سیلاب را کنترل نمود (Harris et al., ۲۰۰۹). از سیستم های اطلاعاتی ژئوتکنیکی^۱ برای ارزیابی تحلیل خطر زلزله مربوط به یک شهر کوچک در کره جنوبی استفاده شده است (Sun., ۲۰۰۴). با استاندارد سازی سیستم اطلاعات ژئوتکنیکی می توان با سازمان ها، دانشگاه ها و مراکز صنعتی تبادل داده و اطلاعات نمود (Zimmermann et al., ۲۰۰۶). اداره راه فدرال آمریکا (FHWA) برای گردآوری و توسعه داده ها جهت راه اندازی سیستم های مدیریت ژئوتکنیکی (GMS) یک گروه مستقل تشکیل داده است (Lefchik and Beach., ۲۰۰۴). سیستم مدیریت داده ژئوتکنیکی (GDMS) مخاطرات زمین را اولویت بندی کرده و ساخت و ساز را مطابق مخاطرات زمین مدیریت خواهد کرد (Geodiscisions., ۲۰۰۴). در سائوپائولی برزیل از GIS برای زمین زیست محیطی (Geo-Environmental) به عنوان یک ابزار قدرتمند در بررسی مشکلات زیست محیطی و فرآیندهای محیط استفاده شده است (Diniz., ۲۰۰۰). با اتخاذ استراتژی ارزیابی خطر در فرآیند شناسایی مخاطرات زمین مدل های مبتنی بر تغییرات ژئومورفولوژیکی سطح زمین و اثر آن بر فعالیت های انسانی و مهندسی ارائه می شود که این مدلها از تکنولوژی سنجش از دور کمک می گیرند (Harris et al., ۲۰۰۹).

نتایج تحقیقات زمین شناسی، ژئودینامیک و آب شناسی در ناحیه صربستان باعث تولید داده های مکانی با شفافیت بالا و هماهنگ شده است. هدف، جمع آوری داده ها در یک سیستم اطلاعات ژئوتکنیکی (GIS) بوده است که پایه ای برای تجزیه و تحلیل بیشتر است. از مدل های ArcGIS برای تجزیه و تحلیل های ویژه و زمین آماری استفاده می گردد. سیستم اطلاعات ژئوتکنیکی (GIS) برای جلوگیری و یا کاهش آسیب های ناشی از بلایای طبیعی از جمله زلزله و رانش زمین مورد استفاده قرار می گیرد. به هر حال، پایگاه داده ژئوتکنیکی هنوز گسترش نیافته است. نمونه های کاربرد پایگاه داده ژئوتکنیکی برای ارزیابی خطر زلزله، برنامه ریزی برای ساخت سازه های جدید (Gavin et al., ۲۰۰۹)، هیدروژئولوژی، کاهش خطرات ناشی از خطوط لوله های گاز و سیستم مدیریت زیرساخت ها می باشد (Medved, et al., ۲۰۰۹).

امروزه کارفرمایان پروژه های مهندسی و برنامه ریزان منطقه ای با در اختیار داشتن انبوهی از داده ها و اطلاعات ژئوتکنیکی مواجه اند و به منظور استفاده بهتر، آسان تر و کاهش هزینه های اجرای پروژه ها، نیازمند ایجاد سیستم های اطلاعات ژئوتکنیکی (GIS) اند. با داشتن چنین بانک اطلاعاتی محیط ژئوتکنیکی زمین بصورت سه بعدی مدل می شود (لوگان و همکاران، ۲۰۰۶). امروزه این سیستم همانند سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) به همراه رشد و توسعه فناوری اطلاعات (IT) و سنجش از راه دور (RS) به کمک علوم زمین و مهندسی در آمده است. در اجرای پروژه های بزرگ مثل بزرگراه ها، سدها و شهرسازی از این سیستم استفاده می شود (پورسویگ و همکاران، ۱۹۹۴). این سیستم به صورت یک تکنیک قوی، با قابلیت های یکپارچه تجزیه و تحلیل فضایی، مدیریت پایگاه داده ها و تصویر سازی گرافیکی به طور گسترده ای برای ساخت سیستم های اطلاعاتی برای اهداف ژئوتکنیکی جهت پیش بینی و کاهش خطرات طبیعی بکار گرفته می شود (Sun et al., ۲۰۰۴). در مطالعات آبهای زیرزمینی و ارائه مدل های سه بعدی از آبخوان و همچنین خطرات نشست زمین در اثر تخلیه آب از آبخوان و میزان آلودگی، این سیستم قابلیت های فراوانی دارد (Sueoka, T., ۱۹۹۲). همچنین با استفاده از تلفیق پارامترهای زمین شناسی و ژئوتکنیکی و استفاده از تکنیک های زمین آماری، داده ها تجزیه و تحلیل شده و مدل سازی و بازسازی سطوح زمین شناسی انجام می شود (Imamura et al., ۱۹۹۴) و براساس آن مخاطرات زمین اولویت بندی شده و ساخت و ساز را می توان مطابق با مخاطرات زمین مدیریت کرد.

۲- مواد و روش ها

با در اختیار گرفتن ۴۷ گزارش ژئوتکنیک، اطلاعات مربوط به ۱۴۴ گمانه بیش از ۲۵۰۰ متر حفاری بررسی و اطلاعات ژئوتکنیکی در بانک اطلاعاتی نرم افزار Arcview ذخیره گردید. علاوه بر این با پیمایش در ۱۰ مسیر حدود ۵۰ نقطه نمونه برداری گردیده و آزمایشات عمومی مکانیک خاک انجام شده است. در این تحقیق تلاش بر این است تا با تلفیق اطلاعات ژئوتکنیکی موجود با زمین شناسی منطقه بتوان مدلی از انتخاب ساختگاه احداث سازه های آبی ارائه نمود تا علاوه بر کاهش هزینه های احداث در مرحله شناخت بتون ایده ای درست از محیط ژئوتکنیکی را به دست آورد. از سوی دیگر تنوع در انواع سازه های آبی کوچک مقیاس باعث شد تا بر پایه ملاحظات ژئوتکنیکی آنها را به انواع مختلف براساس ابعاد، وزن، ساختگاه و نوع مصالح تقسیم بندی نمود (جدول ۱). علت تقسیم بندی انتخاب حداقل آزمایشات ژئوتکنیکی و تعیین میزان ریسک پروژه می باشد و با تلفیق نوع آزمایشات بر مبنای این تقسیم بندی محتوی بانک اطلاعاتی سیستم اطلاعات ژئوتکنیکی مشخص و در فرآیند امکان سنجی کمک نماید.

جدول ۱- تقسیم بندی انواع تاسیسات آبی کوچک بر پایه ملاحظات ژئوتکنیکی (رضایی ۱۳۸۹)

ملاحظات ژئوتکنیکی	میزان ریسک	انواع	معیار تفکیک
حجم مصالح مصرفی، تنوع مصالح، ابزار بندی، سطح گسترش، ابعاد پی و فونداسیون، عمق تاثیر، حجم مخزن، ابعاد حوزه آبریز و تاسیسات پائین دستی، منابع قرصه	ریسک بالا	بزرگ	ابعاد سازه
	ریسک پایین	کوچک	
میزان بار اعمالی به زمین، عمق تاثیر، میزان نشست پی، عمق پی و هندسه آن	ریسک متوسط	سنگین	وزن سازه
	ریسک پایین	سبک	
در مسیر رودخانه و جریان آب، در حواشی رودخانه ها، در فواصل دوردست از رودخانه ها، هم سطح با رودخانه و در تراز بالاتر از سطح آب رودخانه	ریسک بالا	اصلی	ساختگاه
	ریسک پایین	فرعی	
جنس و ترکیب خاک و سنگ، منابع قرصه، تراکم پذیری، هدایت هیدرولیکی، مقاومت برشی و مکانیکی، سازه های مرکب از ترکیب خاک و سنگ، سنگ و بتنی و نظایر آن احداث می شود.	ریسک متوسط	خاکی	نوع مصالح
	ریسک بالا	سنگی	
	ریسک متوسط	بتنی	
	ریسک پایین	مرکب	

پایگاه داده ژئوتکنیک (Geotechnic data source) در این تحقیق سیستم ArcView استفاده از تصاویر و عکس های ماهواره ای استان، نقشه های زمین شناسی اسکن شده، اطلاعات رقومی شده و بانک اطلاعاتی به دست آمده از پروژه های ژئوتکنیکی استان گلستان در محیط Excel، بانک اطلاعاتی در ArcView تنظیم شده است. ArcView یکی از پرکاربردترین نرم افزار GIS می باشد که توسط شرکت ESRI ارائه شده است. GIS یک پایگاه داده هاست که اطلاعات توصیفی را به مکان نشان متصل نموده و به کاربر این امکان را می دهد تا اقدام به مشاهده و آنالیز آنها به نحوی مفید و جدید نماید.

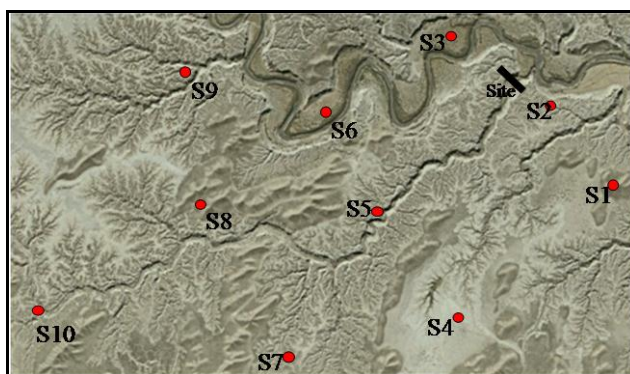
کلیه اطلاعات، از طریق ابزار Add Theme موجود در منوی view وارد محیط نرم افزار گردید، هر یک از اطلاعات می توانند در لایه ای جداگانه و با اسم و رنگ مشخص در محیط نرم افزار نشان داده شوند. همچنین این لایه ها به کمک ابزار Legend Editor قابلیت ویرایش دارند، علاوه بر این چنانچه لایه ای حاوی بانک اطلاعاتی باشد، این بانک نیز همزمان با وارد شدن لایه مورد نظر به نما (view) اضافه می گردد که از طریق ابزار Table موجود در منوی Theme قابل مشاهده، بررسی و ویرایش است.

پس از تهیه، بررسی و اصلاح اطلاعات بدست آمده ژئوتکنیکی، کلیه آنها در نرم افزار Excel وارد گردیدند. این دسته از اطلاعات حاوی مختصات جغرافیایی، نام، عمق، طبقه بندی یونیفاید و سایر مشخصات ژئوتکنیکی گمانه های حفر شده هستند که به راحتی مکان هر گمانه را با سایر ویژگی هایش می توان در Arc view مورد استفاده قرار داد. سپس طی سه مرحله زیر بانک به نرم افزار Arc view متصل گردید و مورد استفاده قرار گرفت: ۱- به کمک ابزار SQL Connect موجود در منوی Project بانک اطلاعاتی به نرم افزار Arcview متصل گردید. ۲- به کمک ابزار Add Event Theme در منوی View، گمانه ها به صورت یک سری داده نقطه ای در روی نقشه به نمایش درآمدند. ۳- در مرحله سوم جهت ویرایش و سهولت کار باید جدول اضافه شده بصورت یک Shape file درآید که این امر نیز به کمک ابزار Convert to Shape file از منوی Theme میسر گردید.

در نهایت تمامی اطلاعات بدست آمده کمک کرد تا نقشه زمین شناسی مهندسی استان تهیه شود. در نقشه های زمین شناسی مهندسی با مقیاس ۱۰۰/۰۰۰ به تعداد ۱۳ شیت تهیه و تحلیل های آن نیز در گزارش آورده شده است (رضایی، ۱۳۸۹).

با لحاظ نمودن میزان ریسک، خطر و محتوای سیستم اطلاعات ژئوتکنیکیتیه شده در محیط Arc view، برای یک ناحیه کوچک از استان گلستان، نقشه پهنه بندی خطر در برابر رمبندگی تهیه و امکان سنجی احداث سازه های آبی ارزیابی گردید. ناحیه

مذکور در شمال غرب روستای کرند قرار دارد. در این ناحیه رودخانه و آبراهه های فراوانی وجود دارد و نقاط زیادی را می توان برای احداث سازه آبی در نظر گرفت (شکل ۱). در این ناحیه، سه نوع نهشته زمین شناسی از طریق تصاویر ماهواره ای شناسایی گردید. که به کمک نقشه زمین شناسی و نتیجه پیمایش صحرایی این سه نوع شامل نهشته های آبرفتی (Q)، سازند مارنی (M) و رسوبات لس (L) است. در محدوده انتخابی از ۱۰ نقطه و از عمق متوسط ۴۰ سانتی متری نمونه برداری انجام شده است (S1 تا S1۰) تا آزمایشات مختلف تحلیل خطر رمبندگی (به عنوان یک خطر قطعی) بر روی آن ها انجام گرفته و با استفاده از مدیریت خطر و ریسک و بانک اطلاعات ژئوتکنیکی، برنامه مطالعات، عملیات ژئوتکنیکی و احداث سازه ها ارائه شود.



شکل ۱- محل های نمونه برداری در شمال غرب روستای کرند

۳- بحث و نتیجه گیری

در این تحقیق تلاش بر این است تا با تلفیق اطلاعات ژئوتکنیکی موجود با زمین شناسی منطقه بتوان مدلی از انتخاب ساختگاه احداث سازه های آبی ارائه نمود تا علاوه بر کاهش هزینه های احداث در مرحله شناخت بتوان ایده ای درست از محیط ژئوتکنیکی را به دست آورد. از طرفی با استفاده از مدل های مدیریت خطر و ریسک و به کمک سیستم اطلاعات ژئوتکنیکی (GIS) میزان آسیب پذیری پروژه های موجود و امکان سنجی احداث طرح های آبی مشخص می شود. مفهوم خطر احتمال وقوع و بزرگی یک مخاطره را تعیین می کند (جدول ۲). بزرگی خطر مقدار و میزان گسترش و یا شدت آن می تواند باشد و مفهوم ریسک در اینجا میزان وقوع خطا را در شرایط ساختگاه از دیدگاه مسائل ژئوتکنیکی بیان می کند که به دلیل عدم اطمینان درست از ویژگی های خاک حاصل می شود. در تحلیل ریسک معمولاً سه پرسش اساسی مطرح می شود که: ۱. خطاچه می تواند باشد؟ ۲. رخداد آن چه مقدار محتمل است؟ و ۳. نتیجه آن چیست؟ منظور از خطا میزان عدم دقت و اطمینان در بررسی ها و آزمون های ژئوتکنیکی است. پروژه ها به چهار گروه بدون ریسک، ریسک پایین، ریسک متوسط و ریسک بالا تقسیم بندی می شوند (جدول ۲).

دامنه تغییرات خطر و ریسک را می توان به صورت یک ماتریس دو سطحی با چهار ستون (۲×۴) نمایش داد و براساس آن ضریب اطمینان را برای حالت های مختلف به دست آورد (جدول ۳). همان طور که مشاهده می گردد ۱۶ حالت به وجود می آید که در ۱۲ حالت دو به دو با هم مشترک هستند و بطور کلی ۱۰ ضریب اطمینان با مقادیر مختلف تعریف می شود (شکل ۲).

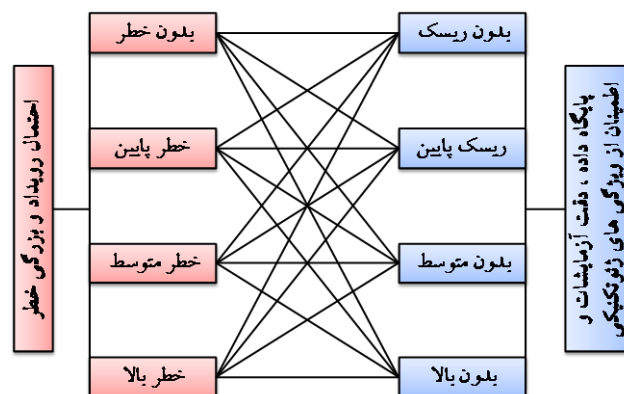
جدول ۲- تقسیم بندی خطر و ریسک در یک پروژه ژئوتکنیکی

نوع	میزان	نشانه	شرح
خطر	بدون خطر	H _{۱۱}	در هر شرایطی از محیط زمین احتمال وقوع خطر صفر است.
	خطر پایین	H _{۱۲}	خطر محتمل ولی بزرگی آن کم است.
	خطر متوسط	H _{۱۳}	خطر حتمی و بزرگی آن متوسط است.
	خطر بالا	H _{۱۴}	خطر حتمی و بزرگی آن بالاست.
ریسک	بدون ریسک	R _{۲۱}	دقت آزمایشات بالا، ویژگی های ژئوتکنیکی اطمینان بخش و داده کامل
	ریسک پایین	R _{۲۲}	دقت آزمایشات بالا، عدم اطمینان از ویژگی های ژئوتکنیکی و داده نیمه کامل
	ریسک متوسط	R _{۲۳}	دقت آزمایشات متوسط، عدم اطمینان از ویژگی های ژئوتکنیکی و داده ناقص
	ریسک بالا	R _{۲۴}	دقت آزمایشات کم، عدم اطمینان از ویژگی های ژئوتکنیکی و فاقد داده

$$\begin{bmatrix} H_{11} & H_{12} & H_{13} & H_{14} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} & R_{24} \end{bmatrix} \quad (۱)$$

جدول ۳- انتخاب ضریب اطمینان بر مبنای خطر و ریسک

خطر / ریسک	بدون خطر	خطر پایین	خطر متوسط	خطر بالا
بدون ریسک	۱	۱.۰۵	۱.۱۰	۱.۱۵
ریسک پایین	۱.۱	۱.۱۵	۱.۲۰	۱.۲۵
ریسک متوسط	۱.۲	۱.۲۵	۱.۳۰	۱.۳۵
ریسک بالا	۱.۳	۱.۳۵	۱.۴۰	۱.۴۵



شکل ۲- شبکه عصبی از تقسیم بندی خطر و ریسک پروژه های ژئوتکنیکی

یکی از عوامل انتخاب ساختگاه یک سازه مهندسی و نوع آن وجود و یا عدم وجود مخاطرات زمین شناسی است. اگر چه در یک ناحیه ممکن است چندین خطر زمین شناسی وجود داشته باشد که سازه را تهدید نماید ولی در این تحقیق فقط به خطر رمبندگی پرداخته می شود. روش های گوناگونی برای شناسایی پتانسیل رمبندگی وجود دارد که در اینجا از روش پیشنهادی دنیسوف (۱۹۵۱) استفاده شده است (داس، ۲۰۱۱). در این روش از رابطه زیر پتانسیل رمبندگی (K) به دست می آید.

$$K = \frac{0.01 \times LL \times Gs}{e} \quad (2)$$

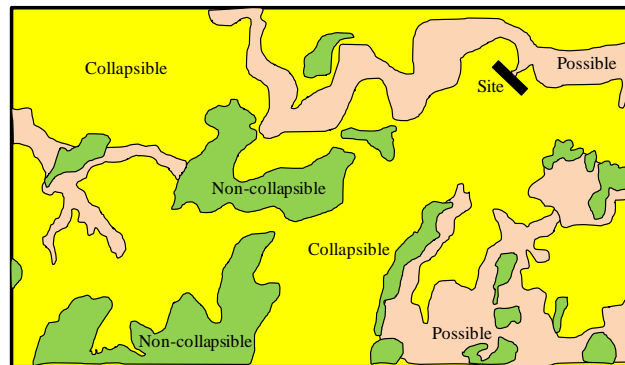
که در آن: e نسبت پوکی طبیعی، Gs چگالی و LL حد روانی خاک می باشد. اگر $0.5 \leq K \leq 0.75$ باشد، خاک رَمبند و اگر $0.5 < K < 1$ باشد خاک محتمل رَمبش و چنانچه $K \geq 1$ باشد، فاقد رَمبندگی است (داس، ۲۰۱۱).

در بررسی پتانسیل رَمبندگی خاک در محل های نمونه برداری شده، مشاهده می گردد که نمونه های ماری (M) فاقد رَمبندگی، نهشته های آبرفتی (Q) دارای رَمبندگی محتمل و رسوبات لسی (L) رَمبند هستند (جدول ۴). فقط نمونه S۴ که متعلق به رسوبات لسی است از لحاظ رَمبندگی، محتمل تشخیص داده است. با مشاهده موقعیت این نمونه در تصاویر ماهواره ای، ملاحظه می گردد که حاصل فرسایش رسوبات ماری بوده و با خاک لس مخلوط شده است و به همین دلیل رَمبندگی محتمل را نشان می دهد.

بر اساس مقادیر ضریب رَمبندگی (K) خاک منطقه پهنه بندی گردید (شکل ۳). بر این اساس در منطقه مطالعاتی خطر رَمبندگی در حد متوسط وجود دارد و به روش های مهندسی و آبخیزداری تا حد زیادی قابل کنترل می باشد. همچنین داده های ژئوتکنیکی در بانک اطلاعات بصورت ناقص موجود است. از طرفی دقت نتایج آزمایشات در حد متوسط بوده و بررسی های ژئوتکنیکی با عدم اطمینان مواجه است. لذا ریسک متوسط مدنظر قرار می گیرد. حال بر اساس جدول ۵ لیست آزمایشات و اکتشافات ژئوتکنیکی تعیین می گردد. این فرآیند کمک خواهد کرد تا ضمن دستیابی به اغنای آزمایشات مورد نظر، ضریب ایمنی پروژه ژئوتکنیکی را تعیین نمود. بنابراین برای این پروژه ضریب ایمنی ۱/۳ به دست آمد و بر اساس آن در اجرای پروژه ها نیاز به انجام آزمایشات برجا SPT، DMT و آزمایشات ویژه FVT، PMT و آزمایشات شاخص و آزمون های آزمایشگاهی روی نمونه ها است. استفاده از روابط تجربی برای به دست آوردن برخی از پارامترها نیز مناسب است.

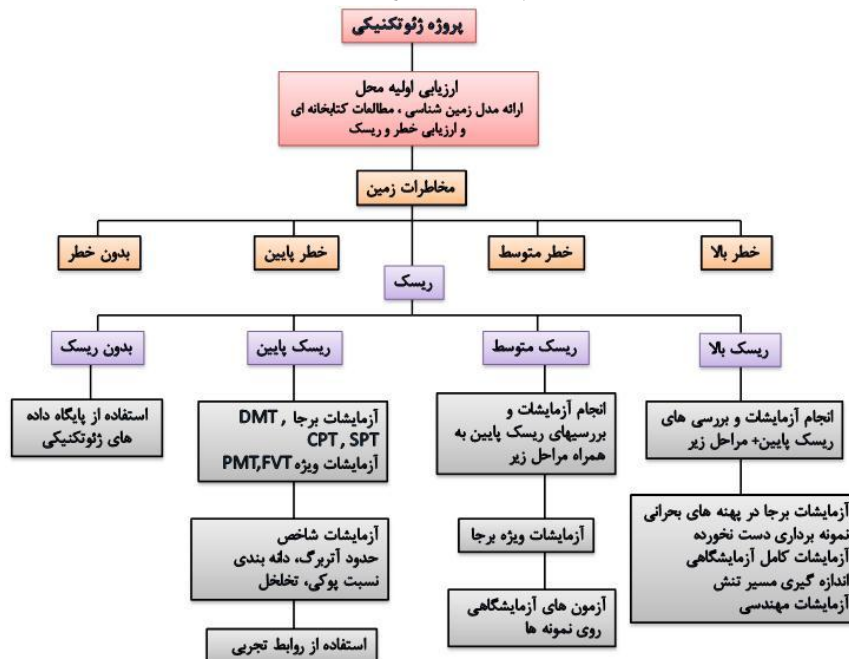
جدول ۴- پارامترهای ژئوتکنیکی و پتانسیل رَمبندگی در لسهای کوند

شماره نمونه	حد روانی	حد خمیری	نشانه خمیری	چگالی	دانسیته خشک	نسبت پوکی طبیعی	پتانسیل رَمبندگی	توصیف رَمبندگی
	LL	PL	PI	Gs	γ_d	e_0	K	
S _۱	۴۷	۳۲	۱۵	۲/۷۲	۱/۶۷	۰/۶۲۹	۲/۰۳	فاقد رَمبندگی
S _۲	۲۷	۲۳	۴	۲/۶۵	۱/۳۴	۰/۹۷۸	۰/۷۳	رَمبند
S _۳	۳۲	۲۷	۵	۲/۷۵	۱/۴۵	۰/۸۹۷	۰/۹۸	محتمل
S _۴	۳۸	۳۵	۳	۲/۷۱	۱/۲۷	۱/۱۳۴	۰/۹۱	محتمل
S _۵	۲۵	۱۸	۷	۲/۷۴	۱/۳۳	۱/۰۶۰	۰/۶۵	رَمبند
S _۶	۳۱	۲۸	۳	۲/۶۷	۱/۴۲	۰/۸۸۰	۰/۹۴	محتمل
S _۷	۲۶	۲۱	۵	۲/۶۷	۱/۲۲	۱/۱۸۹	۰/۵۸	رَمبند
S _۸	۴۴	۳۲	۱۲	۲/۷۶	۱/۵۶	۰/۷۶۹	۱/۵۸	فاقد رَمبندگی
S _۹	۳۰	۲۴	۶	۲/۶۷	۱/۲۵	۱/۱۳۶	۰/۷۱	رَمبند
S _{۱۰}	۲۹	۲۲	۷	۲/۶۵	۱/۱۹	۱/۲۲۷	۰/۶۳	رَمبند



شکل ۳- پهنه بندی خطر ریمندگی خاک های شمال کرد

جدول ۵- مدیریت خطر و ریسک پروژه های ژئوتکنیکی (Robertson, ۲۰۱۰ با اندکی تغییر)



پهنه بندی خطر ریمندگی خاک به عنوان یک خطر قطعی در یک منطقه پیشنهاد شده است. لیکن در مطالعات تکمیلی نهایی مخاطرات مد نظر بوده و با تهیه نقشه پهنه بندی هر یک از مخاطرات از لایه های مختلف، می توان با قرار دادن کلیه لایه ها روی هم نقشه پهنه بندی جامعی را تهیه و بر اساس آن ضریب ایمنی مطالعات ژئوتکنیکی تهیه و نوع آزمایشات و عملیات ژئوتکنیکی تعریف خواهد شد.

نتیجه این بررسی نشان می دهد که مخاطرات زمین عامل تعیین کننده در برنامه امکان سنجی احداث پروژه های آبی خواهد بود و تعیین ریسک پروژه بر مبنای شرایط ژئوتکنیکی و مخاطرات زمین روشی مناسب در گام نخست برای برنامه امکان سنجی است. تقویت و تکمیل بانک اطلاعات ژئوتکنیکی می تواند ریسک پروژه را کاهش دهد تا تصمیم بهتری را اتخاذ نمود. سیستم اطلاعات ژئوتکنیکی بر پایه مخاطرات، بانک اطلاعات و ریسک روشی مناسب برای ارزیابی امکان سنجی احداث پروژه ها می تواند باشد. استفاده از تصاویر ماهواره ای و سنجش از دور در برنامه امکان سنجی پروژه ها و برنامه آمایش سرزمین از ضرورت هاست.

۴- منابع

- رضایی ح.، (۱۳۸۹). " امکان سنجی اجرای تأسیسات آبی کوچک با بررسی و تحقیق پیرامون ویژگی های ژئوتکنیکی خاک های استان گلستان"، شرکت آب منطقه ای گلستان، طرح پژوهشی GLH-۸۴۰۴۱
- Das, M.B. (۲۰۱۰). "Principles of Foundation Engineering", ۷th Edition, CL-Engineering Press.
- Diniz, N.C. (۲۰۰۰). "A geo-environmental data base due to elaborate geoindicators scenarios based on engineering-geological criteria", Indicators of Sustainability for the Mineral Extraction Industries: ۶۱-۷۷.
- Geodiscisions, (۲۰۰۴). Geotechnical Data Management System (GDMS). Assessment Report, Ohio Department of Transportation (ODOT) Office of Geotechnical Engineering (OGE).
- Gavin, P.and Gautreau, P.E.and Pallavi Bhandari, (۲۰۰۹). Development of a Geotechnical Information Database. Louisiana Department of Transportation and Development and Louisiana Transportation Research Center.
- Harris, C.and Lukas, U. A.and Hanne, H.and Etzelmüller, B.and Frauenfelder, R.and Gruber, S.and Haeberli, W.and Hauck, C.and Hölzle, M.and Humlum, O.and Isaksen, K.and Kääb, A.and Kern-Lütschg, M.A.and Lehning, M.and Matsuoka, N.and Murton, J.B.and Nötzli, J.and Phillips, M.and Ross, N.and Seppälä, M.and Springman, S.M.and Mühl, D.V., (۲۰۰۹). "Permafrost and climate in Europe: Monitoring and modeling thermal, geomorphological and geotechnical responses". Earth-Science Reviews, ۹۲ (۳-۴): ۱۱۷-۱۷۱.
- Imamura, S.and Shimomura, M.and Sueoka, T., (۱۹۹۴). "Migration characteristics and remediation efficiency at organic compounds contamination sites of volcanic ash soil layer in Japan". Proc First International Congress on Environmental Geotechnics-V, ISSMFE & CGS, Edmonton, pp. ۲۶۷-۲۷۲.
- Lefchik, T. E. and Beach K.(۲۰۰۶) "Development of National Geotechnical Management System Standards for Transportation Applications" Geotechnical Engineering In the Information Technology Age, Proc., Geo-Congress ۲۰۰۶, Feb ۲۶-March ۱, ۲۰۰۶, Atlanta, GA, Edited by DeGroot, DeJong, Frost, Baise (CD-ROM), ASCE, Reston, VA.
- Logan, C.and Russell, H. A. J.and Sharpe, D. R. and Kenny, F. M., (۲۰۰۶). "The role of expert knowledge, GIS and geospatial data management in a basin analysis, Oak Ridge's Moraine, southern Ontario, In Harris, J., ed., " GIS Applications in the Earth Sciences, Geological Association of Canada. pp. ۵۱۹ - ۵۴۱.
- Medved,I.and Medak, D. and Pribicevic, B., (۲۰۰۹). "Conceptual model of Geotechnical Information System". Geophysical Research, ۱۱: EGU۲۰۰۹-۸۳۵۶.
- Robertson, P. K. and Cabal, K.L., (۲۰۱۰). "Guide to Cone Penetration Testing for Geotechnical Engineering". ۴th Edition, Gregg Drilling & Testing Inc.
- Porsvig, M.and Christensen, F. M., (۱۹۹۴). "the geomodel: the geological and geotechnical information system used in the great belt project", Proceedings of the ICE - Geotechnical Engineering, ۱۰۷ (۴): ۱۹۳ -۲۰۶.
- Sun, C. G.and Dong-Soo Kim .and Choong-Ki Chung., (۲۰۰۴). "Geotechnical Information System Based on GIS in Gyeongju and Hongsung for seismic design and hazard mitigation". [online] Available at: <
http://www.kiso.co.jp/html/jgs/pdfs/pdf_files/۳۰۷_Chap_۳-۱-۷_Korea.pdf>
- Sueoka ,T., (۱۹۹۲). " Use of geotechnical information systems for groundwater hydrology". P۱۱.
- Zimmermann, R.and Wei-Shinn Ku.and Wang, H.and Zand, A. and Jean-Pierre Bardet., (۲۰۰۶). "Distributed Geotechnical Information Management and Exchange Architecture". Internet Computing, IEEE, ۱۰ (۵): ۲۶-۳۳.