



روش های پیش بینی زلزله ناشی شده از علائم سطحی روانگرایی

Liquefaction Potential Index-based Approach for assessing the probability of liquefaction based on earthquake

عسکر جانعلیزاده چوب بستی^۱، مهران نقی زاده رکنی^۲، محسن نقی زاده رکنی^۳

۱- دانشیار دانشگاه صنعتی نوشیروانی

۲- کارشناس ارشد ژئوتکنیک

۳- کارشناس ارشد ژئوتکنیک

naghizademehran@yahoo.com

خلاصه

شاخص پتانسیل روانگرایی (LPI) شاخصی است که پتانسیل روانگرایی یک پروفایل ژئوتکنیکی را خلاصه می کند. این شاخص متناسب با ضخامت، عمق لایه روانگرا و فاکتور ایمنی است در حالی که ارزشش در یک محل خاص می تواند در یک سیستم اطلاعات جغرافیایی گنجانده شود و نقشه های خطر روانگرایی منطقه مورد نظر را ارائه می دهد. هدف اصلی این کار این است که احتمال علائم سطحی روانگرایی را بر اساس ارزش های LPI با استفاده از روش رگرسیون لجستیک برآورد کند. علاوه بر این به منظور تجزیه و تحلیل تابع تفکیکی خاک و طبقه بندی پروفایل های ژئوتکنیکی در یکی از دو گروه (رخداد روانگرایی و غیرروانگرا) بر اساس ارزش های LPI و H ضخامت (متر) از لایه خاک فوقانی غیر روانگرا (درپوش) استفاده شده است.

۱. مقدمه

روانگرایی یکی از موضوعات مهم در تجزیه و تحلیل خطر زمین لرزه و نقشه برداری زمین های پر خطر است. روانگرایی خاک می تواند به تغییر شکل زمین منجر شود، مانند جوشش شن و ماسه و حرکت های جانبی زمین، و / یا خسارت ساختاری، حل و فصل و ظرفیت تحمل شکست ساختمان، سازه های اسکله ها و خرابی های پل. به منظور بررسی پتانسیل روانگرایی یک لایه خاک، دانشمندان به طور عمده تست ها و روش های صحرایی (در محل) را به عنوان یک مورد "ساده" قطعی استفاده می کنند که توسط ادریس (۱۹۷۱) و سید پیشنهاد شده است. با استفاده از این روش SPT پایه ای به طور گسترده، که توسط سید (۱۹۸۵) و توسط یود و ادریس (۲۰۰۱) به روز شده، محققان می توانند عامل ایمنی در برابر روانگرایی، f_s ، و هر یک از لایه های خاک را تخمین بزنند. اگر $f_s > 1$ پس خاک به عنوان غیر بالقوه برای روانگرایی (عامل غیر روانگرا) طبقه بندی شده، در حالی که برای $f_s < 1$ خاک به عنوان روانگرا طبقه بندی شده است. هر چند این روش، SPT پایه ای می تواند حرکت یک لایه خاک را برآورد کند، نمی تواند به اندازه کافی ظاهر اثرات سطحی روانگرایی را ارزیابی کند. بنابراین ایواساکی (۱۹۸۲)، به منظور پیش بینی وقوع روانگرایی، استفاده از شاخص پتانسیل روانگرایی و مقیاس شدت را پیشنهاد داده است. به تازگی، سونمز (۲۰۰۳) شاخص پتانسیل روانگرایی را با اتخاذ یک مقدار آستانه f_s به اندازه ۱.۲ به جای ۱ به عنوان کمترین ارزش برای خاک های غیر روانگرا در نظر گرفته است و با معرفی دو دسته جدیدی از "غیر روانگرا" و "حد متوسط" تغییر یافته است. مزیت LPI این است که می تواند در ترکیب با سیستم های اطلاعات جغرافیایی (GIS)، برای جمع آوری نقشه های خطر روانگرایی استفاده شود (توپراک و هولزر، ۲۰۰۳).

^۱ - دانشیار دانشگاه صنعتی نوشیروانی

^۲ - کارشناس ارشد ژئوتکنیک

^۳ - کارشناس ارشد ژئوتکنیک



تا به حال ارتباط بین LPI و احتمال روانگرایی ناشی از تغییر شکل زمین به طور سیستماتیک مورد بررسی قرار نگرفته است. توپراک و هولزر (۲۰۰۳) تلاش کردند تا این دو پارامتر را با استفاده از آزمایش نفوذ مخروط (CPT) مرتبط کنند. در کارشان، آنها معیارهای پیشنهاد شده توسط وانگ (۱۹۷۹) را به منظور تعریف حساسیت روانگرایی لایه های خاک به تصویب رساندند.

با این حال، داده های اخیر (سید ۲۰۰۳)، توسط تست های صحرایی (In site) پس از زلزله ارائه شده در مکان های روانگرا که توسط دو زلزله ویرانگر قوجاایی و تایوان در سال ۱۹۹۹ ایجاد شده است، نشان می دهد که "معیار چینی ها اصلاح شده" و معیارهای حساسیت روانگرایی که توسط اندروز و مارتین (۲۰۰۰) پیشنهاد شده عنوان ضریب حداقل در نظر گرفته شده است.

سید و همکارانش (۲۰۰۳) به نتیجه رسیدند که رفتار شکل پذیر ذرات اندازه خوب خاک از اندازه درصد رس مهم تر است و به طور بالقوه در معرض مناطق روانگرایی در نمودار کاسا گرنده پیشنهاد شده است. بر اساس این توصیه ها، ما ارزش های LPI جمع آوری شده ی SPT در تست های صحرایی در مکان های روانگرایی تاریخی در ژاپن را مورد بازنگری قرار می دهیم که شاخص پتانسیل روانگرایی جدید در محل تست های محاسبه شده در مکان های روانگرا و غیر - روانگرا در تایوان و ترکیه محاسبه شده است. این مقادیر با شرح اثرات سطح به منظور برآورد رگرسیون بین احتمال اختلال در سطح روانگرایی و LPI در ارتباط بودند.

۲. پایگاه داده

در این تحقیق، پروفایل SPT توسط پایگاه داده های منتشر شده با اشاره به زمین لرزه های مختلف و اثرات ثانویه شان از قبیل روانگرایی خاک جمع آوری کرده است. از نظر تحلیلی، پایگاه داده ما شامل ۳۰ پروفایل SPT از مکان های روانگرا و ۱۵ پروفایل از مکان های غیر روانگرا که توسط ۵ زمین لرزه اخیر در ژاپن ایجاد شده بودند، توسط لواسکی منتشر شده است. (۱۹۸۶)

۱۰ گمانه SPT در مورد مکان هایی است که در آن روانگرایی رخ داده است و ۶ گمانه SPT بدون هیچ گونه شواهد روانگرایی است، به ترتیب، از گزارش بولانگر و همکاران به دست آمد (۱۹۹۵) برای تغییر شکل، روانگرایی ناشی از سطح که در ماس فرود در سال ۱۹۸۹ زلزله لوما پریتا اتفاق افتاد و ۱۴ گمانه SPT مربوط با پایگاه داده های تاریخی منتشر شده توسط ماس است. (2003) در آنچه مربوط به دو زمین لرزه ویرانگر گذشته در ترکیه و تایوان در سال ۱۹۹۹، اکثریت داده های SPT از اینترنت دانلود شده است.

اطلاعات مربوط به تست های صحرایی در مکانهای روانگرا در مورد زلزله ترکیه از سایت دانلود شده است.

<http://peer.berkeley.edu/turkey/adapazari/phase1/index.html>
http://peer.berkeley.edu/lifelines/research_projects/3A02/

Tab. 1. List of selected SPT profiles

Earthquake	SPT profiles in liquefied sites	SPT profiles in non-liquefies sites	Total number of SPT profiles
Miyagi-ken-oki	8	11	19
Tokachi-oko	2	-	2
Niigata	18	4	22
Tonankai	1	-	1
Nobi	1	-	1
Loma Prieta	20	5	25
Kocaeli	24	-	24
Chi-Chi	49	9	58
Lefkada	9	3	12

این داده های SPT به دست آمده بر اساس سطح موجود به ۳ دسته تقسیم می شود:

۱. در گروه A، داده هایی وجود دارد که مشخصات کامل SPT به عمق ۲۰ متر می رسد و اطلاعات کامل در مورد ویژگی های اندازه دانه و لایه های خاک طبقه بندی می شود.

۲. در گروه B، داده ها بدون هیچ گونه اطلاعات برای ارزشهای SPT کمتر از ۱۵ متر طبقه بندی می شود.



۳. در گروه C، داده‌هایی وجود دارد که مشخصات کامل SPT به عمق ۲۰ متر می‌رسد و اطلاعات ناقص در مورد ویژگی‌های درجه بندی لایه‌های خاک موجود است.

در گروه A، اطلاعات ۴۹ لوگ گمانه وقوع روانگرایی مربوط به زلزله چی چی در کشور تایوان، و اطلاعات ۹ لوگ گمانه مربوط به زلزله لنگادا در کشور یونان است. عمق گمانه‌های SPT که در تایوان حفر شده است به طور معمول ۱ متر و فاصله بین گمانه‌ها در مورد مکان‌هایی که در آن شواهدی برای روانگرایی وجود نداشت افزایش یافت. علاوه بر این، نمونه‌های خاک بازیابی شده را برای آزمون شاخص‌های آزمایشگاهی در استاندارد ASTM از جمله غربال، چگالی سنج، حد مایع، حد پلاستیکی، چگالی و مقدار آب مورد استفاده قرار گرفتند. ۹ پروفایل SPT، مربوط به زلزله لیفکادا ۲۰۰۳ یونان، اطلاعاتی در مورد ویژگی‌های درجه بندی خاک و حدود اتربرگ خاک داده است. اگر چه داده‌ها از زلزله کوجاییلی، ترکیه، که اطلاعات کافی در مورد ویژگی‌های درجه بندی خاک ارائه می‌دهد، آنها در رده B گروه بندی می‌کند زمانی که آنها اطلاعات SPT کمتر از ۱۵ متر ارائه نمی‌دهد. داده‌های SPT زلزله لوماپریتا در ایالات متحده به همان دلیل قبلی در رده B طبقه بندی می‌شوند.

در گروه C اطلاعات 30 لوگ گمانه وقوع روانگرایی قرار دارد که در سایت‌های ژاپن توسط ایواساکی (۱۹۸۶) منتشر شده است که اطلاعاتی در مورد عمق آب، مقدار SPT ارائه می‌دهد، در حالی که عمق پروفایل‌های SPT در حدود 20 متر بوده است. به منظور بررسی حساسیت روانگرایی خاک در طبقه بندی C، برای تمیزی خاک و وزن واحد خاک از خاک نوع USCS استفاده می‌کنیم.

تعداد کلی داده‌های غیر قابل روانگرا ۳۲ داده است. از نظر تحلیلی، ۱۵ داده از آنها مربوط به زمین لرزه‌های رخ داده در ژاپن، ۵ داده‌ها به لوماپریتا، ایالات متحده آمریکا، در حالی که ۹ داده SPT پس از زلزله تایوان حفر شد. در نهایت، ۳ عدد از این داده‌ها به زلزله لیفکادا مربوط می‌شود. ما داده‌های غیر قابل روانگرا را دسته بندی کردیم، و هر کدام از آنها را به منظور جلوگیری از عدم تعادل داده و برای رسیدن به یک نمونه آماری بهتر، با استفاده از یک روش آماری به عنوان زیر گروه در گروه‌های A و C دسته بندی کردیم.

۳. روش تجزیه و تحلیل روانگرایی

پس از این طبقه بندی، پتانسیل روانگرایی که بر اساس روش قطعی که توسط ادريس (۱۹۷۱) و سید ارائه شده است محاسبه کردیم. در این روش، که توسط سید و همکاران تغییر یافته است، (۱۹۸۵)، فاکتور ایمنی در برابر روانگرایی، FS، به عنوان نسبت CRR (نسبت مقاومت حلقوی) به CSR (نسبت تنش چرخه‌ای) را پیشنهاد شده است. CRR، با توجه به محاسبات یود و ادريس (۲۰۰۱) با معادله زیر به دست می‌آید:

$$CRR_{7.5} = \frac{1}{34 - N_{1(60)}} + \frac{N_{1(60)}}{135} + \frac{50}{[10 \times N_{1(60)} + 45]^2} - \frac{1}{200} \quad (1)$$

مقدار $N_{1(60)}$ تحت تاثیر عوامل زیر تغییر می‌کند: مقاومت نفوذ استاندارد N، عامل فشار سربار C_n ، اصلاح ضریب اصلاح انرژی چکش (ER)، اصلاح قطر گمانه، CB ضریب تصحیح برای طول میله و اصلاح نمونه با یا بدون آسترهای محافظ.

C_n مطابق معادله‌ای که توسط لیائو و ویتمن (۱۹۸۶) ارائه شده محاسبه می‌شود، $C_n = (Pa/\sigma_{vo}) \times 0.5$ ، در حالی که عوامل دیگر با استفاده از پارامترهای پیشنهاد شده توسط یود و ادريس (۲۰۰۱) تخمین زده می‌شود. به منظور محاسبه مقدار N_{160CS} و میزان درصد ریزدانه خاک از معادلات ارائه شده توسط یود و ادريس (۲۰۰۱) استفاده شد.

مقدار CSR از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$CSR = 0.65 \times \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \times \left(\frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \right) \times r_d \quad (2)$$

در این بررسی اصطلاح RD با استفاده از معادله لیائو و ویتمن برآورد می‌شود:

$$r_d = 1 - 0.00765 \times z \quad \text{for } z \leq 9.15 \text{ m} \\ r_d = 1.174 - 0.0267 \times z \quad \text{for } z \leq 9.15 \text{ m} < z \leq 23 \text{ m} \quad (3)$$

در نهایت، عامل بزرگی زلزله، MSF، که می‌تواند توسط معادله زیر، یود و ادريس (۲۰۰۱) محاسبه شود:



$$MSF = \left(\frac{M_w}{7.5} \right)^{2.56} \quad (4)$$

در تجزیه و تحلیل روانگرایی، مقدار ۱.۲ را به عنوان کمترین مقدار فاکتور ایمنی مشخص یک لایه خاک غیر روانگرا اتخاذ کرده ایم (سونمز، ۲۰۰۳). پس از آن، عناصر خاک را با معیارهای مقاومت روانگرایی $FS < 1.2$ پیشنهاد شده توسط سید استفاده کردیم. (۲۰۰۳).

۳.۱. شاخص ارزیابی قابلیت روانگرایی

LPI توسط ایواساکی در سال ۱۹۸۲ به صورت زیر تعریف شد:

$$LPI = \int_0^z F(z)W(z)dz \quad (5)$$

جایی که z عمق زیر سطح زمین در متر است و به عنوان $w(z) = 10 - 0.5z$ محاسبه شده است، $F(z)$ یک تابع ضریب ایمنی در برابر روانگرایی، FS که در آن $F(z) = 1 - FS$ زمانی که $FS < 1$ و اگر $FS > 1$ از $F(z) = 0$ است. سونمز (۲۰۰۳) مقدار LPI را با اضافه کردن یک مقدار آستانه از ۱.۲ به جای ۱، تغییر داده است. از این رو، هنگامی که $f_s < 0.9$ ، اگر $0.95 < f_s < 1.2$ و اگر $f_s > 1.2$ ، $f(z) = 0$.

$$\dot{F}(z) = 2.10^6 e^{-18.427Fs} \quad (6)$$

معادله (۶) مقادیر LPI را در محدوده ۰ تا ۱۰۰ قرار می دهد. در ارزیابی ما از LPI در هر گمانه، تمام لایه های خاک را با ضریب ایمنی کمتر از ۱.۲ در نظر گرفتیم و همچنین معیارهای مقاومت روانگرایی پیشنهاد شده توسط سید مورد پذیرش قرار گرفته است (۲۰۰۳).

۴. استفاده از LPI برای پیش بینی اختلال سطح روانگرایی

به منظور پیش بینی و برآورد احتمال اختلال سطح روانگرایی ناشی از زلزله، اطلاعات طبقه بندی شده در رده A و C هر دو با استفاده از تجزیه و تحلیل مشخص و مدل رگرسیون لجستیک به ترتیب مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. با توجه به این واقعیت که، پروفایل های SPT از دسته ی A قابل اعتماد تر و دقیق تر از داده هایی هستند که در دسته ی C طبقه بندی شده اند، همانطور که در بالا ذکر شد، تنها نتایجی که برآورد شدند بر پایه ی رسیدگی مجموعه داده هایی بودند که ارائه شده بود.

۴.۱. رگرسیون لجستیک

روش رگرسیون لجستیک به عنوان روش احتمالاتی برای محاسبه احتمال پیش بینی وقوع روانگرایی اتخاذ شد. این روش، که تنوعی از رگرسیون معمولی است، نتیجه مشاهده شده را به دو مقدار محدود کرده است که معمولاً بر اساس وقوع و یا عدم وقوع روانگرایی، معمولاً به ترتیب ۱ یا ۰ (نوروسیس، ۲۰۰۳) کد گذاری شده است. فرمولی به دست می آید که احتمال وقوع را به عنوان تابعی از متغیر مستقل پیش بینی می کند. رگرسیون لجستیک متناسب با یک منحنی S شکل ویژه با در نظر گرفتن رگرسیون خطی، که می تواند هر مقداری بین منفی بی نهایت و مثبت بی نهایت تولید کند، و آن را به تابع زیر تبدیل می کند:

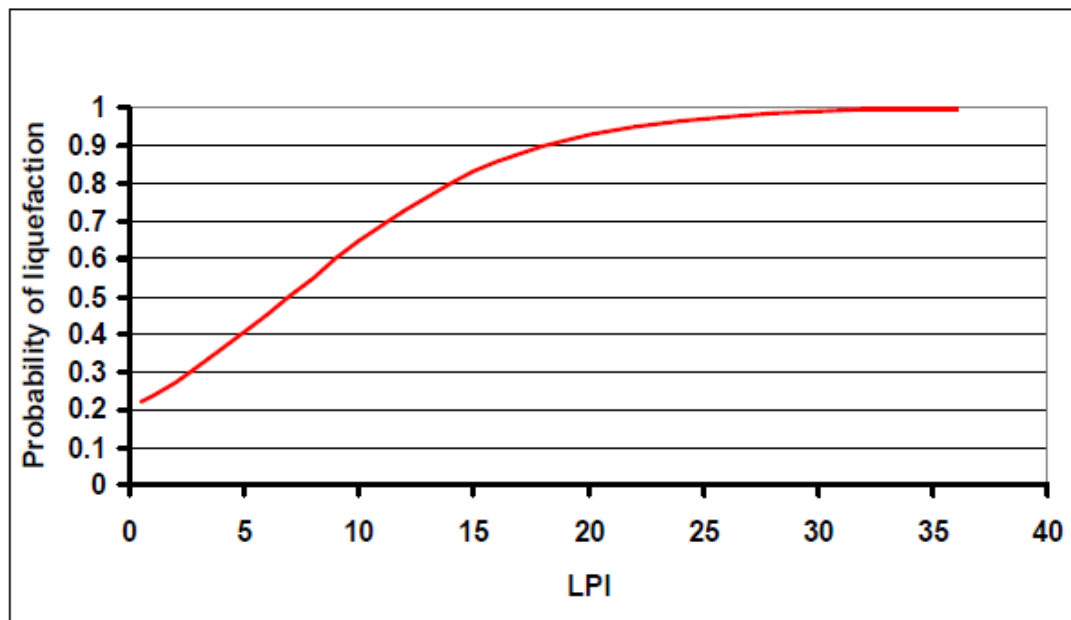
$$p = \left(\frac{1}{1 + e^{-(y)}} \right) \quad (7)$$

مقادیرهای p را بین ۰ (همانطور که y نزدیک منهای (منفی) بینهایت است) تا (همانطور که y نزدیک به علاوه (مثبت) بینهایت است) ۱ بدست می آورد. داده هایی که در این کار برای برآورد احتمال پیش بینی مورد استفاده قرار گرفت به دو دسته تقسیم شدند: الف) "عدم وقوع روانگرایی"، که ۰ کد گذاری شد و ب) "وقوع روانگرایی" که ۱ کد گذاری شد، در حالی که بر اساس دسته بندی سطح اطلاعات موجود هنوز هم معتبر هستند. معادله ای

که توسط این مقاله پیشنهاد شده است، می‌تواند به منظور برآورد احتمال پیش‌بینی آشکار سازی سطح روانگرایی، با استفاده از روش رگرسیون لجستیک بکار برده شود، که بصورت زیر است:

$$p = \left(\frac{1}{1 + e^{-(1.367 + 0.196 \times LPI)}} \right) \quad (8)$$

که در آن LPI شاخص ارزیابی قابلیت روانگرایی گمانه است. بر اساس این رویکرد، برای یک مقدار معین از LPI 14 احتمال پیش‌بینی وقوع روانگرایی ۷۹٪ است. منحنی لجستیک به شکل S برای مقادیر مختلف Y است که در شکل ۱ رسم شده است.



شکل ۱. طرح منحنی رگرسیون لجستیک

۴.۲. تجزیه و تحلیل مشخص

یکی از اهداف این مقاله ارائه یک معادله پیش‌بینی تفکیک به منظور طبقه‌بندی یک ستون خاک در یکی از دو دسته از وقوع و یا عدم وقوع روانگرایی بود. به منظور انجام این معادله، LPI و ضخامت (H) لایه درپوش در هر پروفایل SPT، فهرست شده در جدول ۱، با توجه به پیشنهادات سونمز (۲۰۰۳) و ایشی هارا (۱۹۸۵) به ترتیب محاسبه شد. ایشی هارا (۱۹۸۵) برای اولین بار پارامتر ضخامت لایه پوشاننده غیر روانگرا در ارزیابی پتانسیل آشکار سازی سطح روانگرایی، معرفی کرد.

Tab.2. Classification results

		group	Predicted group		Total
			no	Yes	
Original	Count	No	24	3.0	27.0
		Yes	16	15.0	61.0
		no	88.9	11.1	100.0
		yes	26.2	73.78	100.0



جدول بالا به منظور ارزیابی عملکرد تجزیه و تحلیل مشخص استفاده می شود. در این مورد آن ۸۱.۴٪ موارد را به درستی طبقه بندی کرده است، در نتیجه می توان در نظر گرفت که طبقه بندی به خوبی کار می کند. معادله طبقه بندی بر اساس ضرایب تابع تفکیک غیر استاندارد ارائه شده است، که میتواند برای طبقه بندی موارد جدید مورد استفاده قرار گیرد.

$$Z = -0.464 + 0.098 \times LPI - 0.350 \times H \quad (9)$$

که در آن Z نمره تفکیک است. برای $Z > 0$ و $Z < 0$ ، مورد (نمایش SPT) در گروهی از وقوع و عدم وقوع روانگرایی به ترتیب طبقه بندی شده است.

نتیجه گیری

در این تحقیق روابط تجربی که می تواند وقوع سطح روانگرایی و احتمال پیش بینی روانگرایی را پیش بینی کند ارائه شده است. این دو روش پیشنهاد شده بر اساس تجزیه و تحلیل و روش رگرسیون لجستیک هستند، و از شاخص پتانسیل روانگرایی و ضخامت لایه غیر قابل روانگرا (لایه درپوش) پوشاننده پروفایل های SPT استفاده می کنند. بر اساس این مقادیر احتمال، نقشه های خطر روانگرایی را می توان گردآوری کرد.