

## پهنه‌بندی خطر روانگرایی استان لرستان

فرج‌اله عسکری<sup>۱\*</sup> و امیر قاسمی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>استادیار پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله

<sup>۲</sup>کارشناس ارشد پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله

(تاریخ دریافت ۸۴/۱۱/۱۸، تاریخ دریافت روایت اصلاح شده ۸۷/۱۰/۲۴، تاریخ تصویب ۸۷/۱۲/۱۸)

### چکیده

وقوع پدیده روانگرایی به طور معمول پیامدهایی نظیر ناپایداری سازه‌ها، نشست متقارن و یا نامتقارن، کاهش باربری شالوده‌های سطحی و شمع‌ها و افزایش نیروهای جانبی به سازه‌های نگهبان را به دنبال دارد. به این دلیل برای مقابله با آثار مخرب این پدیده، شناسایی مناطق مستعد روانگرایی بسیار ضروری است. این شناسایی می‌تواند به شکل پهنه‌بندی که در آن ظرفیت خطر در مناطق مختلف تعیین می‌شود انجام گیرد. در این مقاله، نتایج بررسی‌های به عمل آمده در زمینه پهنه‌بندی ظرفیت روانگرایی در استان لرستان ارائه شده است. این پهنه‌بندی بر اساس توصیه‌های ارائه شده در راهنمای پهنه‌بندی خطرات ژئوتکنیک لرزه‌ای و مهندسی زلزله [۱] انجام گرفته است. نتایج مطالعات انجام یافته بیانگر آن است که دشت‌های استان لرستان، بسته به نوع و بافت نهشته‌ها و سطح آب زیرزمینی، دارای پتانسیل خطر از کم تا زیاد را دارند.

**واژه‌های کلیدی:** مهندسی ژئوتکنیک لرزه‌ای، روانگرایی، پهنه‌بندی، مطالعه موردی

### مقدمه

بروز این پدیده در زمین‌لرزه‌های گذشته باعث وارد آمدن صدمه‌های به نسبت زیادی به شریان‌های حیاتی و شالوده سازه‌ها بوده است. بنابراین برای مقابله با آثار مخرب آن، شناسایی مناطق مستعد روانگرایی بسیار ضروری است. این شناسایی می‌تواند به شکل پهنه‌بندی که در آن پتانسیل خطر در مناطق مختلف تعیین می‌شود انجام گیرد.

در مطالعه حاضر، این مهم در حد اطلاعات موجود مورد توجه و بررسی قرار گرفته و بر این اساس پهنه‌بندی خطر روانگرایی گستره استان لرستان انجام پذیرفته است. شایان ذکر است که مطالعات حاضر، بخشی از مطالعات جامعی است که در ارتباط با لرزه‌خیزی و ژئوتکنیک لرزه‌ای استان لرستان انجام گرفته است [۲] و این مقاله خلاصه‌ای از بررسی‌های مربوط به روانگرایی را در مطالعات مزبور ارائه می‌کند.

### پهنه‌بندی خطر روانگرایی

وقوع پدیده روانگرایی به طور معمول پیامدهایی نظیر ناپایداری سازه‌ها، نشست متقارن و یا نامتقارن، کاهش باربری شالوده‌های سطحی و شمع‌ها و افزایش نیروهای جانبی به سازه‌های نگهبان را به دنبال دارد. برای تعیین

کشور ایران در یکی از مناطق مهم لرزه‌خیز دنیا واقع شده و تا کنون شاهد وقوع زمین لرزه‌های شدیدی بوده است. این پدیده اغلب با خسارت‌های جانی و مالی فراوانی همراه بوده و برنامه‌ریزی برای مقابله با خطرهای ناشی از آن ضرورتی اجتناب‌ناپذیر دارد.

از جمله خطرهای ناشی از وقوع زمین‌لرزه، خطرهای ژئوتکنیکی است. این گونه خطرها که اغلب بر اثر حرکات شدید زمین به وجود می‌آیند، بسته به شرایط ساختگاه و مشخصات زلزله، منجر به تغییر شکل‌های زمین و خسارت‌های جبران‌ناپذیر به ساختمان‌ها می‌شوند.

یکی از خطرهای ژئوتکنیکی مهم، پدیده روانگرایی می‌باشد. روانگرایی پدیده‌ای است که در خاک‌های سست ماسه‌ای تا سیلتی در شرایط اشباع ایجاد می‌گردد. با اعمال بارهای لرزه‌ای ناشی از زلزله بر توده‌های اشباع مستعد روانگرایی، تمایل این خاک‌ها به کاهش حجم از یک سو و عدم امکان خروج سریع آب از آنها از سوی دیگر منجر به افزایش فشار آب منفذی و به دنبال آن کاهش تنش مؤثر و مقاومت برشی خاک می‌شود. با ادامه این روند، به تدریج خاک رفتاری سیال مانند پیدا کرده و در اصطلاح روانگونه می‌شود.

شمار می‌روند. گزارش‌های آزمایش‌ها و مطالعات صحرایی مختلف نیز منابع خوبی برای تعیین شرایط نهشته‌ها و زمین‌شناسی منطقه هستند. نقشه‌های پهنه‌بندی با توجه به ساختار زمین‌شناسی و زمین‌ریخت‌شناسی منطقه و بر حسب سطوح مختلف خطر تهیه می‌شوند. نقشه‌های پهنه‌بندی درجه یک، اغلب با مقیاس ۱:۱۰۰,۰۰۰ تا ۱:۵۰,۰۰۰ تهیه می‌شوند. اصول روش پهنه‌بندی درجه یک در ادامه آورده شده است.

### تعیین وسعت حداکثر منطقه مستعد روانگرایی

وسعت منطقه مستعد روانگرایی با توجه به معیارهای فاصله از محل رومرکزی زمین لرزه و شدت زمین لرزه به شرح ذیل تعیین می‌شود:

#### الف- تعیین فاصله دورترین محدوده روان شده تا رومرکزی زمین لرزه با توجه به بزرگا

اگر فعالیت‌های زمین‌لرزه در منطقه‌ای با استفاده از اطلاعات تاریخی شناخته شده باشد، وسعت منطقه مستعد روانگرایی را می‌توان به طور مستقیم با توجه به بزرگای زمین‌لرزه برآورد کرد. بسیاری از محققان، توزیع مناطق روانگرا را در طی زمین‌لرزه‌های گذشته بررسی کرده و ارتباطی میان فاصله رومرکز تا دورترین محدوده روان شده  $R$  و بزرگای زمین لرزه ( $M$ )، ارائه کرده‌اند. در این ارتباط کوریبایاشی (Koribayashi) و تاتسوئوکا (Tatsuoka) با استفاده از ۳۲ زمین‌لرزه، این ارتباط را به صورت رابطه زیر پیشنهاد کرده‌اند [۴]:

$$\log R = 0.77M_f - 3.16 \quad (1)$$

در این رابطه  $M_f$  بزرگای زمین‌لرزه طبق تعریف آژانس هواشناسی ژاپن و  $R$ ، فاصله دورترین محدوده روان شده تا رومرکزی زمین‌لرزه بر حسب کیلومتر است. امبرسیز (Ambersis) در سال ۱۹۸۸ نیز داده‌های زمین لرزه‌ها را تحلیل کرده و بر حسب ممان بزرگای زمین لرزه ( $M_w$ )، برای زمین‌لرزه‌های سطحی و با عمق متوسط رابطه زیر را ارائه کرده است [۵]:

$$M_w = 4/64 + 2/65 \times 10^{-3} R + 0.99 \log R \quad (2)$$

تحقیقات کوریبایاشی و تاتسوئوکا توسط واکاماتسو (Wakamatsu) بررسی شدند. وی با استفاده از داده‌های جدیدی که مربوط به ۶۷ زمین‌لرزه در ۱۰۶ سال گذشته

مناطق دارای ظرفیت بالایی از نظر خطرهای ژئوتکنیکی دارد. به طور معمول اطلاعات موجود پس از تحلیل و تفسیر، به صورت نقشه‌هایی بنام نقشه‌های پهنه‌بندی ارائه می‌شود. با استفاده از این نقشه‌ها پتانسیل خطر در مناطق مختلف تعیین می‌شود.

از سال ۱۹۶۴ که زمین لرزه نیگاتای ژاپن رخ داد، مطالعات و تحقیقات زیادی روی پدیده روانگرایی خاک انجام گرفته که نتیجه آنها، تدوین روش‌های مختلفی است که در آیین‌نامه‌ها و استانداردهای جهانی توصیه شده‌اند.

به طور کلی روش‌های ارزیابی پتانسیل روانگرایی بر اساس استفاده از تجربیات و داده‌های به دست آمده از زمین لرزه‌های گذشته پایه‌ریزی شده‌اند. مهم‌ترین پارامترهای در نظر گرفته شده در این گونه روش‌ها عبارت‌اند از:

۱- بیشینه فاصله از رومرکز زمین‌لرزه؛

۲- وضعیت زمین ریخت‌شناسی؛

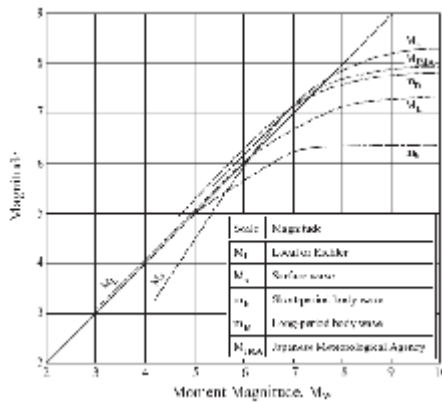
۳- سطح آب زیرزمینی.

بر اساس مطالعات انجام گرفته توسط کمیته فنی مهندسی ژئوتکنیک لرزه‌ای که نتایج آن در راهنمای پهنه‌بندی خطرات ژئوتکنیک لرزه‌ای [۱،۳] انتشار یافته، نقشه‌های پهنه‌بندی بنا بر دقت مورد نیاز و اطلاعات موجود به سه درجه طبقه‌بندی می‌شوند که در ادامه، پهنه‌بندی‌های درجه یک و دو، با توجه به کاربرد آنها در پروژه حاضر، توضیح داده می‌شوند.

### پهنه‌بندی درجه یک

ابتدایی‌ترین سطح پهنه‌بندی با استفاده از تفسیر اطلاعات موجود، اسناد تاریخی و گزارش‌های منتشر شده انجام می‌گیرد. این روش سریع‌ترین روش برآورد پتانسیل روانگرایی و پهنه‌بندی پتانسیل خطرهای ناشی از این پدیده است که بر پایه داده‌های موجود و معتبر بنا شده است. به طور معمول اطلاعات تاریخی انواع مختلف خرابی‌ها در مناطق مختلف در دسترس است و این اطلاعات برای پی بردن به یک تصویر کلی از توزیع شدت لرزه در طول زمان به کار می‌رود.

نقشه‌های زمین‌شناسی و ساختار زمین و توپوگرافی به طور معمول منابع مهم اطلاعاتی برای دستیابی به نوع رسوبات و به ویژه نهشته‌های جوان دوران چهارم زمین‌شناسی (کواترنری) که مستعد روانگرایی هستند به



شکل ۱: رابطه تخمینی بین بزرگای مختلف زمین لرزه [۷].

### برآورد قابلیت وقوع روانگرایی بر مبنای داده‌های موجود

#### الف- معیارهای زمین‌شناسی و زمین‌ریخت‌شناسی

روانگرایی ممکن است به دفعات در یک محل اتفاق بیفتد. بنابراین نقشه محل‌های وقوع روانگرایی در زلزله‌های گذشته نشان می‌دهد که در زمین لرزه‌های آتی، وقوع پدیده روانگرایی در چه مناطقی محتمل است. اگر بین وقوع روانگرایی‌های گذشته و واحدهای زمین‌شناسی و زمین‌ریخت‌شناسی آن مناطق، رابطه‌ای برقرار کنیم، می‌توان مناطق مستعد روانگرایی را در نواحی مختلف تعیین کرد. ایواساکی از تحلیل تعداد زیادی از داده‌های زمین‌لرزه‌های ژاپن چنین معیاری را ارائه کرده است (جدول ۱). با استفاده از این جدول می‌توان شناسایی و ارزیابی اولیه‌ای را از پتانسیل روانگرایی در یک منطقه به دست آورد [۸].

#### ب- استفاده از شاخص شدت روانگرایی (LSI)

یود (Youd) و پرکینز (Perkinz) برای اندازه‌گیری کمی شدت اثرات روانگرایی، مفهوم شاخص شدت روانگرایی (LSI) را بر حسب فاصله از منبع انرژی زلزله تعریف کردند. این شاخص مبین حداکثر تغییر مکان افقی زمین بر اثر گسترش‌های جانبی است و برای نهشته‌های رودخانه‌ای و دلتایی با شیب ملایم که مستعد روانگرایی بوده و از نظر زمین‌شناسی مربوط به هولوسن اخیر هستند ارائه شده است [۹].

بوده است، نوار بالاتری را به عنوان رابطه بین  $M$  و  $R$  برای  $M_j > 5$  ارائه داده است [۱]:

$$\log R = 2/22 \log (4/22 M_j - 19) \quad (3)$$

لیو و زیو (Lio and Zio) نیز این رابطه را ارائه داده‌اند [۶]:

$$R = 0.82 \times 10^{-0.182(M-5)} \quad (4)$$

که در آن  $M_L$  بزرگای محلی زمین لرزه در مقیاس ریشتر می‌باشد.

واکاماتسو همچنین با در نظر گرفتن داده‌هایی که مربوط به روانگرایی‌های با اهمیت بوده، رابطه ذیل را پیشنهاد کرده است [۱]:

$$\log R = 3/5 \log (1/4 M_j - 6) \quad (5)$$

و سرانجام، امبرسیز (۱۹۸۸) با توجه به کلیه اثرات روانگرایی این رابطه را ارائه کرده است:

$$M_w = 4/68 + 9/2 \times 10^{-3} R_f + 0/91 \log R_f \quad (6)$$

که در آن  $R_f$  فاصله افقی بین گسل عامل زلزله تا دورترین محل روانگرایی است.

در شکل (۱)، رابطه تخمینی بین بزرگای مختلف زمین لرزه ملاحظه می‌شود [۷].

#### ب- معیار شدت

کورویایاشی و تاتسوئوکا (۱۹۷۵) و واکاماتسو (۱۹۹۱) شدت‌های زمین‌لرزه در مناطق روان شده را بررسی کردند و دریافتند که روانگرایی در رسوبات مستعد روانگرایی هولوسن، در زمین لرزه‌های با شدت بیش از V در مقیاس آژانس هواشناسی ژاپن (J.M.A) یا VIII در مقیاس مرکالی اصلاح شده به وقوع می‌پیوندد [۱].

از آنجا که موارد خفیف روانگرایی، ممکن است در شدت کمتر از V در مقیاس (J.M.A) حادث شود، بهتر است برای در نظر گرفته شدن موارد خفیف روانگرایی درجه IV در مقیاس آژانس هواشناسی ژاپن مبنا قرار گیرد.

### جدول ۱: احتمال وقوع روانگرایی در واحدهای مختلف زمین ریخت‌شناسی [۱].

| درجه | واحدهای زمین ریخت‌شناسی   | پتانسیل روانگرایی             |
|------|---|-------------------------------|
| A    | بسترهای حاضر و قدیمی رودخانه‌ای - باتلاق - زمینهای پست بین تپه‌های ماسه‌ای - محلهای احیاء شده | احتمال روانگرایی بالا می‌باشد |
| B    | مخروط افکنه - کنار بند طبیعی - تپه‌های ماسه‌ای - دشت سیلابی - جلگه‌های دیگر                   | روانگرایی ممکن است            |
| C    | تراس - تپه - کوه  | روانگرایی غیرممکن است         |

### پهنه‌بندی درجه دو

کیفیت پهنه‌بندی درجه یک را می‌توان با بهره‌گیری از منابع اطلاعاتی بیشتر به میزان قابل ملاحظه‌ای افزایش داد. این منابع اطلاعاتی اغلب شامل معیارهای جزئی‌تر زمین‌شناسی و زمین‌ریخت‌شناسی (جدول ۲ و ۳)، داده‌های مربوط به سطح آب زیرزمینی و تغییرات فصلی آن و گزارش‌های ژئوتکنیکی موجود می‌شوند. با استفاده از این اطلاعات، پهنه‌بندی درجه دو در مقیاس بزرگ‌تر انجام می‌گیرد. نقشه‌های پهنه‌بندی در این درجه، اغلب در مقیاس ۱:۱۰۰,۰۰۰ تا ۱:۱۰,۰۰۰ تهیه می‌شوند و در نتیجه در این مرحله، دقت داده‌ها بیشتر از پهنه‌بندی درجه یک است. عمده‌ترین منابع اطلاعاتی در این پهنه‌بندی عبارتند از [۱]:

- ۱- تفسیر عکس‌های هوایی و شناسایی واحدها و ساختارهای زمین‌شناسی و زمین‌ریخت‌شناسی؛
- ۲- مطالعات صحرایی؛
- ۳- استفاده از داده‌های آب زیرزمینی؛
- ۴- جمع‌آوری داده‌های تاریخی از روش مصاحبه با اهالی محلی.

### پهنه‌بندی خطر روانگرایی در استان لرستان

نهشته‌های سطحی دشت‌های استان لرستان اغلب آبرفت‌های عهد حاضر هستند. به علت شرایط توپوگرافی خاص منطقه و وجود سفره‌های آب زیرزمینی در بعضی از دشت‌های استان و زمین‌های با خاک‌های دانه‌ای منفصل، احتمال بروز پدیده روانگرایی تحت تأثیر فعالیت لرزه‌ای در این منطقه وجود دارد. بنابراین بر اساس روش‌های ارائه شده در بخش‌های قبل، کلیه مناطق استان لرستان بررسی و تحلیل شده‌اند و از دیدگاه بروز پدیده روانگرایی پهنه‌بندی شده است.

### جدول ۲: پتانسیل روانگرایی انواع مختلف نهشته‌های سطحی [۱].

| نوع نهشته                               | توزیع طبیعی رسوبات غیرچسبنده | سن نهشته                  |                                 |   |
|---|------------------------------|---------------------------|---------------------------------|---|
|   |                              | کمتر از ۵۰۰ سال           | هولوسن (کمتر از ۱۱۰۰ سال)       | پلیستوسن (کمتر از ۲ میلیون سال)         |
| قبل از پلیستوسن (بیشتر از ۲ میلیون سال) | کمتر از ۵۰۰ سال              | هولوسن (کمتر از ۱۱۰۰ سال) | پلیستوسن (کمتر از ۲ میلیون سال) | قبل از پلیستوسن (بیشتر از ۲ میلیون سال) |
| <b>رسوبات قاره‌ای</b>                   |                              |                           |                                 |   |
| کانال رودخانه‌ای                        | بطور محلی متغیر زیاد         | خیلی زیاد                 | زیاد                            | کم                                      |
| دشت سیلابی                              | بطور محلی متغیر زیاد         | زیاد                      | متوسط                           | کم                                      |
| دشت و مخروط افکنه آبرفتی                | شایع                         | متوسط                     | کم                              | خیلی کم                                 |
| تراسه‌های دریایی                        | شایع                         | —                         | کم                              | خیلی کم                                 |
| دلتا و دلتای مخروط افکنه                | شایع                         | زیاد                      | متوسط                           | کم                                      |
| دریاچه‌ای، یلایا                        | متغیر زیاد                   | زیاد                      | متوسط                           | کم                                      |
| کوهرفت                                  | متغیر زیاد                   | زیاد                      | متوسط                           | کم                                      |
| وارزه شیبی                              | شایع                         | کم                        | کم                              | خیلی کم                                 |
| تلماسه                                  | شایع                         | زیاد                      | متوسط                           | کم                                      |
| لس                                      | متغیر زیاد                   | زیاد                      | زیاد                            | ناشناخته                                |
| بخرفت یخچالی (Glacial till)             | متغیر کم                     | کم                        | کم                              | خیلی کم                                 |
| توف                                     | نادر                         | کم                        | کم                              | خیلی کم                                 |
| تفرا (Tephra)                           | شایع                         | زیاد                      | کم                              | ؟                                       |
| خاکهای باقیمانده                        | نادر                         | کم                        | زیاد                            | خیلی کم                                 |
| سیخا (کودالهای بسته و غیر قابل نفوذ)    | بطور محلی متغیر زیاد         | زیاد                      | متوسط                           | کم                                      |
| <b>مناطق ساحلی</b>                      |                              |                           |                                 |   |
| دلتا                                    | شایع                         | خیلی زیاد                 | زیاد                            | کم                                      |
| خور (مدخل رودخانه به دریا)              | بطور محلی متغیر زیاد         | زیاد                      | متوسط                           | کم                                      |
| ساحل شنی؛ انرژی موج زیاد                | شایع                         | متوسط                     | کم                              | خیلی کم                                 |
| انرژی موج کم                            | شایع                         | زیاد                      | متوسط                           | خیلی کم                                 |
| مردابی (Lagoonal)                       | بطور محلی متغیر زیاد         | زیاد                      | متوسط                           | کم                                      |
| مناطق جزر و مدی (Fore shore)            | بطور محلی متغیر زیاد         | زیاد                      | متوسط                           | کم                                      |
| <b>مصنوعی</b>                           |                              |                           |                                 |   |
| پرشدگی غیرمترکم                         | متغیر زیاد                   | خیلی زیاد                 | —                               | —                                       |
| پرشدگی مترکم                            | متغیر کم                     | کم                        | —                               | —                                       |

### تعیین درجه پهنه‌بندی

با توجه به مطالب بیان شده در بخش قبل، بر اساس مقیاس نقشه‌های مورد استفاده و کیفیت داده‌های جمع‌آوری شده از سطح استان (گزارش‌های ژئوتکنیکی و نقشه‌ها و اطلاعات زمین‌شناسی و زمین‌ریخت‌شناسی) و همچنین با توجه به مقیاس در نظر گرفته شده برای نقشه‌های پهنه‌بندی که در این مطالعه ۱:۲۵۰,۰۰۰ بوده، پهنه‌بندی خطر روانگرایی در استان لرستان در حد درجه

### تعیین مناطق با احتمال وقوع روانگرایی بالا الف- معیار ارتباط بیشینه فاصله از مرکز سطحی زمین لرزه با بزرگا

در منطقه مطالعاتی ابتدا با استفاده از این معیار و روابط ارائه شده در بخش قبل، حداکثر فاصله مناطق مستعد روان شدن از مرکز سطحی زمین لرزه‌های محتمل تعیین شد.

در جدول (۴) گسل های مختلف، مشخصات آنها و حداکثر فاصله مناطق مستعد روان‌شدگی از گسل با توجه به شدت زمین لرزه‌های محتمل ارائه شده است. در این جدول، حداکثر فاصله‌های روان‌شدن ( $R_1$  تا  $R_6$ ) از روابط ۱ تا ۶ به دست آمده‌اند. با استفاده از نتایج این جدول، محدوده محتمل روان‌گرا شدن در اطراف هر گسل بر اساس توانایی لرزه‌زایی آن ترسیم شد و با توجه به همپوشانی بیضی‌های به دست آمده، به طور تقریبی تمامی استان به صورت یک پهنه مستعد ارزیابی شد.

### ب- معیار شدت

در شکل (۲) نقشه هم شدت تهیه شده توسط سازمان زمین‌شناسی ملاحظه می‌شود. بر اساس معیار شدت ارائه شده در بخش قبل، مناطق با شدت بیش از VII در مقیاس مرکالی اصلاح شده به عنوان منطقه مستعد حدوث پدیده روانگرایی انتخاب و به عنوان دومین لایه پهنه‌بندی گستره استان لرستان تهیه شد.

با توجه به منحنی‌های هم شدت استان لرستان (شکل ۲)، جز قسمتی از مرکز استان، بیشتر نواحی شدت‌های VII را در زمین‌لرزه‌های گذشته تجربه کرده‌اند. پس برای این مناطق، لرزه‌خیزی مجدد با چنین شدت‌هایی می‌تواند باعث بروز روانگرایی در نهشته‌های مستعد شود.

### جدول ۴: رابطه حداکثر فاصله محدوده روان شدن با بزرگای ایجاد شده از هر گسل [۲].

| حداکثر فاصله روان شدن R(km) |       |       |       |       |       | توان<br>لرزه‌زایی<br>گسله<br>(M) | درازای<br>گسله<br>(km) | نام<br>گسله |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------------------|------------------------|-------------|
| $R_1$                       | $R_2$ | $R_3$ | $R_4$ | $R_5$ | $R_6$ |                                  |                        |             |
| ۸۷/۹                        | ۱۵۱/۵ | ۶۴/۶  | ۲۲۱/۳ | ۱۳۷/۲ | ۸۵/۱  | ۷/۲                              | ۷۵                     | خرم آباد    |
| ۴۳/۳                        | ۸۸/۵  | ۲۹/۲  | ۱۵۵   | ۸۱/۸  | ۵۸    | ۶/۸                              | ۲۸                     | براقناب     |
| ۴۳/۳                        | ۸۸/۵  | ۲۹/۲  | ۱۵۵   | ۸۱/۸  | ۵۸    | ۶/۸                              | ۲۵                     | $F_3$       |
| ۲۱/۳                        | ۴۵/۵  | ۱۳/۲  | ۱۰۱/۳ | ۴۴/۶  | ۳۵/۵  | ۶/۴                              | ۱۳                     | $F_4$       |
| ۴۳/۳                        | ۸۸/۵  | ۲۹/۲  | ۱۵۵   | ۸۱/۸  | ۵۸    | ۶/۸                              | ۲۶                     | خارزاد      |
| ۲۱/۳                        | ۴۵/۵  | ۱۳/۲  | ۱۰۱/۳ | ۴۴/۶  | ۳۵/۵  | ۶/۴                              | ۱۳                     | هشتادپهلوی  |
| ۶۱/۷                        | ۱۱۸   | ۴۳/۴  | ۱۸۶/۵ | ۱۰۷   | ۷۱    | ۷                                | ۳۸                     | میائکوه     |

یک خواهد بود. در عین حال، در این مطالعه برای بالا بردن کیفیت نقشه ارائه شده، حتی‌المقدور از اطلاعات موجود و به دست آمده در سطح پهنه‌بندی درجه ۲ و ۳ نیز استفاده شده است [۱۱، ۱۰].

### جدول ۳: احتمال وقوع روانگرایی برای واحدهای جزئی زمین ریخت شناسی (ژئومورفولوژی) که در معرض زمین‌لرزه‌ای با شدت V در مقیاس $M_r$ و یا VII در مقیاس مرکالی اصلاح شده هستند [۱].

| پتانسیل<br>روانگرایی | وضعیت‌های ژئومورفولوژیکی   |   |
|----------------------|--|---|
|                      | وضعیت‌های خاص  | طبقه‌بندی   |
| غیرمحتمل             | دشت دره‌ای شامل شن یا<br>تخته سنگ                                | دشت دره‌ای  |
| ممکن                 | دشت دره‌ای شامل خاک<br>ماسه‌ای                                   |   |
| غیرمحتمل             | شیب قائم بیشتر از ۰/۵<br>درصد                                    | مخروط افکنه   |
| ممکن                 | شیب قائم کمتر از ۰/۵<br>درصد                                     |   |
| ممکن                 | راس خاکریز طبیعی   | خاکریز طبیعی وجود آمده<br>بعد از سیل در کنار مسیل         |
| محتمل                | کنار خاکریز طبیعی  |   |
| ممکن                 |  | اراضی مردابی  |
| محتمل                |  | کنال رودخانه‌ای متروکه                                    |
| محتمل                |  | دریاچه و استخر قدیمی                                      |
| ممکن                 |  | باتلاق و مرداب  |
| غیرمحتمل             | بستر رودخانه خشک شامل<br>شن بستر رودخانه خشک<br>شامل خاک ماسه‌ای | بستر رودخانه خشک  |
| ممکن                 |  | دلنا  |
| ممکن                 | تیغه ماسه‌ای   | تیغه (سد زیرزمینی)  |
| غیرمحتمل             | تیغه شنی   |   |
| غیرمحتمل             | راس تپه ماسه‌ای  | تپه ماسه‌ای   |
| محتمل                | شیب پایینی تپه ماسه‌ای   |   |
| غیرمحتمل             | ساحل شنی   | ساحل شنی  |
| محتمل                | ساحل شنی مصنوعی  |   |
| محتمل                |  | مناطق پست واقع بین<br>دو خاکریز طبیعی<br>(Lowland)        |
| ممکن                 |  | زمین‌های اصلاح شده<br>بوسیله زهکشی<br>(Reclaimed<br>Land) |
| محتمل                |  | زمین‌های اصلاح شده<br>چشمه                                |
| محتمل                | پرشدگی در منطقه مرزی<br>بین ماسه و مناطق پست<br>(Lowland)        | پرشدگی  |
| محتمل                | پرشدگی نزدیک پرتگاه  |   |
| محتمل                | پرشدگی مرداب یا باتلاق   |   |
| محتمل                | پرشدگی زمین‌های اصلاح<br>شده بوسیله زهکشی                        |   |
| ممکن                 | انواع دیگر پرشدگی  |   |

## استفاده از اطلاعات زمین‌شناسی و زمین ریخت‌شناسی

چنان که ذکر شد، مطالعات حاضر بخشی از مطالعات جامعی است که در ارتباط با لرزه‌خیزی و ژئوتکنیک لرزه‌ای استان لرستان انجام گرفته است [۲]. ادامه مطالعات با استفاده از نقشه‌های آبرفت که در جریان مطالعات لرزه‌خیزی و ژئوتکنیک لرزه‌ای استان مذکور تهیه شده، به انجام رسیده است. در این نقشه‌ها برآوردی از ابعاد ذرات خاک، میزان تراکم و ضخامت آبرفت‌ها به عمل آمده است.

منابع مورد استفاده در تهیه نقشه‌های ذکر شده که توسط کارشناسان پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله تهیه شده اند به این شرح بوده اند:

الف- نقشه زمین‌شناسی: پس از تهیه نقشه زمین‌شناسی استان با مقیاس ۱:۲۵۰,۰۰۰ مرز مناطق آبرفتی از این نقشه استخراج شده و با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰,۰۰۰ به طور دقیق‌تر تصحیح شده است. تعیین مرز محدوده آبرفت‌ها با استفاده از علائم زمین‌شناسی انجام گرفته و مناطق باسن کواترن به عنوان آبرفت در نظر گرفته شده‌اند.

ب- نقشه‌های توپوگرافی: با استفاده از این نقشه‌ها اطلاعات ارزشمندی از نظر شیب زمین به دست آمده و در تعیین محدوده‌های آبرفت مورد استفاده قرار گرفته است. در این مرحله با مطالعه نقشه‌های توپوگرافی به مقیاس ۱:۲۵۰,۰۰۰ و در موارد جزئی‌تر نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰,۰۰۰ مرز مناطق آبرفتی تصحیح شده است.

پ- نقشه هیدرولوژی (از سری نقشه‌های اطلس منابع آب): این نقشه در مقیاس ۱:۱۰۰,۰۰۰ توسط وزارت نیرو تهیه شده و واحدهای آن به طور کلی به دو دسته رسوبات سخت نشده و سازندهای سخت تقسیم شده است. مشخصات رسوبات سخت نشده بر اساس اندازه ذرات، وضعیت دانه‌بندی، ضخامت، وسعت و موقعیت سطح ایستایی ذکر شده است و با استفاده از آن می‌توان مشخصات واحدهای آبرفتی را از نظر اندازه و ضخامت به دست آورد.

ت- نقشه منابع و قابلیت اراضی: این نقشه در مقیاس ۱:۲۵۰,۰۰۰ توسط مؤسسه تحقیقات خاک و آب وزارت کشاورزی تهیه شده و روی آن اطلاعات مربوط به ضخامت و تراکم لایه‌های خاک برای هر یک از واحدها مشخص

شده است.

ث- عکس‌های هوایی: در این مرحله عکس‌های هوایی به مقیاس ۱:۵۵۰,۰۰۰ کل استان مطالعه شده است. با بررسی و مطالعه این عکس‌ها اطلاعات به دست آمده از مرحله قبل تصحیح و یا کامل‌تر شده است.

ج- گمانه‌های ژئوتکنیکی: با توجه به مقیاس مطالعات ۱:۲۵۰,۰۰۰ امکان حفاری گمانه‌های ژئوتکنیکی مقدور نیست. همچنین ذکر این نکته لازم است که در طرح‌های با مقیاس کوچک، اطلاعات مربوط به گمانه‌های اکتشافی ارزش کمی دارد، زیرا اطلاعات مربوط به نقاط خاصی بوده و با توجه به تغییرات جانبی لایه‌های خاک نمی‌تواند معرف وضعیت کل منطقه باشد. با این حال اطلاعات مربوط به بیش از ۲۰۰ گمانه اکتشافی حفاری شده در استان، گردآوری شده و برای کنترل نتایج بدست آمده از مراحل قبلی مورد استفاده قرار گرفته است. در مواردی که اطلاعات به دست آمده از مراحل قبل، با اطلاعات گمانه‌ها اختلاف داشتند، مطالعات دقیق‌تری (همانند بازدید صحرایی) انجام گرفته است.

چ- مشاهدات صحرایی: برای کنترل نقشه به دست آمده و رفع اختلاف‌ها و ابهام‌های موجود که در بعضی از منابع مورد استفاده مشاهده شده است، دو نوبت عملیات صحرایی در استان لرستان انجام گرفته و نتایج حاصل از آن در تهیه نقشه‌های نهایی لحاظ شده است.

با توجه به نقشه ذکر شده، روند ادامه مطالعات به این شرح بوده است:

الف - با توجه به نقشه آبرفت و بر اساس جدول (۱)، مناطق با واحدهای درجه C از کل منطقه حذف شد.

ب - مناطقی که سطح آب زیرزمینی در عمق بیش از ۱۵ متر بوده است (با احتساب تغییرات فصلی سطح آب) بسته به نوع نهشته‌ها، بدون خطر در نظر گرفته شدند.

پس از حذف کلیه مناطق غیر مستعد روانگرایی با توجه به شدت زلزله و وضعیت توپوگرافی و آب زیر زمینی، ارزیابی پتانسیل این پدیده در نواحی باقیمانده به این شرح به انجام رسید:

۱- بر اساس بازدیدهای صحرایی و مطالعه عکس‌های هوایی و نقشه‌های زمین‌شناسی، زمین ریخت‌شناسی و توپوگرافی که نتایج آنها در تهیه نقشه آبرفت به کار رفته بود، واحدهای ارائه شده به عنوان واحدهای درجه A و B (معیارهای زمین‌شناسی و زمین‌ریخت‌شناسی) مشخص

شدند. پدیده روانگرایی دارد. در جنوب دشت بروجرد نیز قسمت کوچکی پتانسیل بالا دارد. در سایر دشتهای استان لرستان، جز چند منطقه کوچک با پتانسیل روانگرایی بالا، پتانسیل روانگرایی متوسط یا پایین است.

### نتیجه گیری و پیشنهادها

بر اساس مطالعات انجام یافته در سطح استان لرستان و پهنه بندی انجام گرفته، دشتهای این استان بسته به نوع و بافت نهشته ها و سطح آب زیرزمینی دارای پتانسیل خطر از کم تا زیاد هستند. در مناطق دیگر استان به علت وجود ساختارهای سنگی و ارتفاعات، پتانسیل خطر وقوع روانگرایی وجود ندارد.

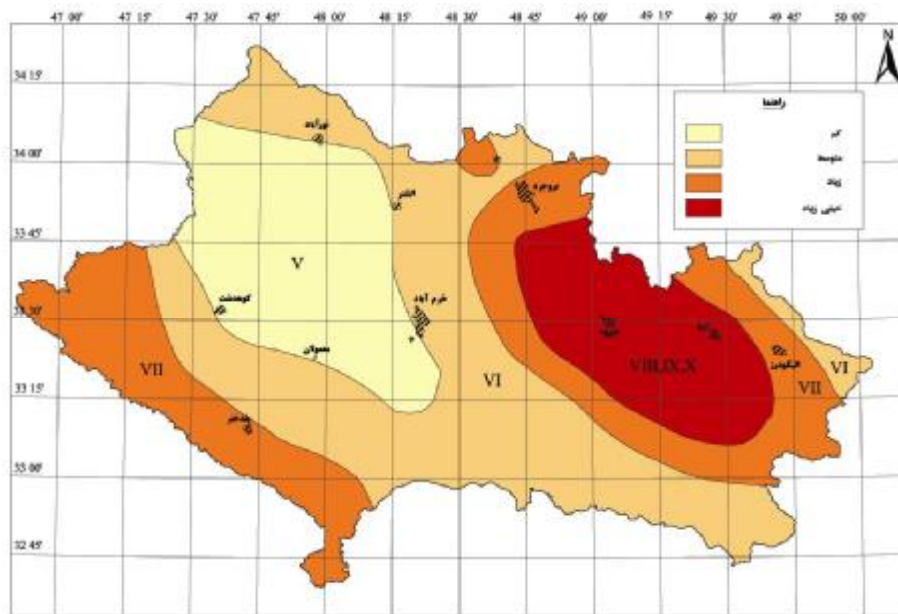
بر اساس نقشه پهنه بندی روانگرایی استان که به مقیاس ۱:۲۵۰,۰۰۰ و با دقت پهنه بندی درجه یک و دو تهیه شده، بستر کلیه رودخانه های موجود و دشت واقع در غرب خرم آباد با توجه به سطح آب زیرزمینی بالا و آبرفت های مستعد، بیشترین خطرپذیری را نسبت به پدیده روانگرایی دارد. در جنوب دشت بروجرد نیز قسمت کوچکی پتانسیل بالا دارد. در سایر دشتهای استان لرستان، جز چند منطقه کوچک با پتانسیل روانگرایی بالا، پتانسیل روانگرایی متوسط یا پایین دارد.

۲- بر اساس جداول (۲) و (۳) و با توجه به وضعیت و نوع نهشته ها و آبرفت ها، نقشه نهشته های دشتهای مناطق مختلف استان لرستان تهیه شد (شکل ۳). در این نقشه بستر رودخانه های قدیمی و جدید و واحدهای زمین ریخت شناسی مورد نیاز در ارزیابی پتانسیل روانگرایی ترسیم گردید.

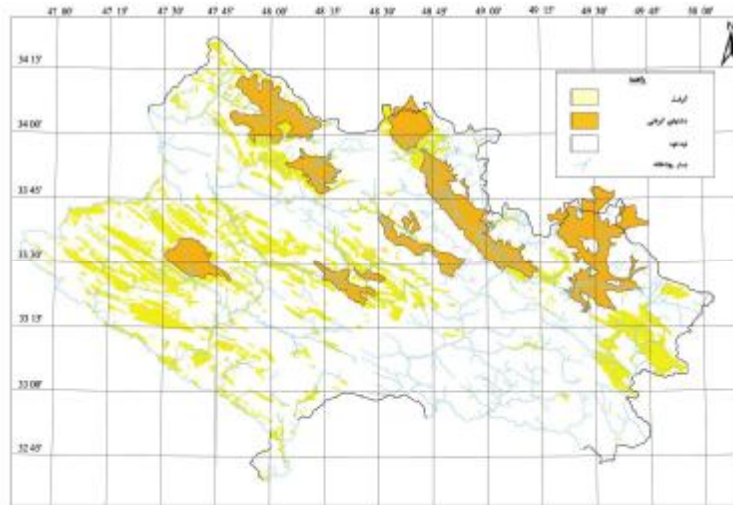
۳- تراکم نسبی خاک با توجه به سن نهشته ها، عکس های هوایی، بازدیدهای صحرایی و گزارش های ژئوتکنیکی موجود، برآورد شد.

۴- با در نظر گرفتن جداول (۲) و (۳) و تراکم نسبی تخمین زده شده، پتانسیل روانگرایی در سایر مناطق که احتمال وقوع روانگرایی در آنها منتفی نشده برآورد شد (شکل ۴). در این ارزیابی، در مناطقی که بافت غالب خاک از نوع ماسه، ماسه لای دار و لای تشخیص داده شده، بسته به عمق آب زیرزمینی، بافت خاک و حدود تراکم نسبی تخمین زده شده دارای خطرپذیری کم، متوسط یا بالا تخمین زده شده است.

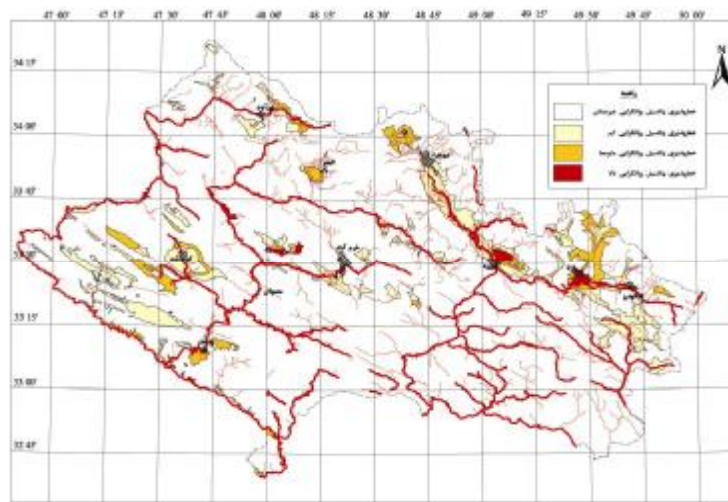
با توجه به نقشه ارائه شده در شکل (۴) ملاحظه می شود که بستر کلیه رودخانه های موجود و دشت واقع در غرب خرم آباد با توجه به سطح آب زیرزمینی بالا و وجود آبرفت های مستعد، بیشترین خطرپذیری را نسبت به



شکل ۲: منحنی های هم شدت ارائه شده توسط سازمان زمین شناسی.



شکل ۳: نقشه واحدهای زمین ریخت‌شناسی استان لرستان [۲].



شکل ۴: نقشه پهنه‌بندی خطر روانگرایی استان لرستان [۲].

$M_W$  : ممان بزرگای

$M_L$  : بزرگای محلی

$R_F$  : فاصله افقی بین گسل عامل زلزله تا دورترین محل

روانگرایی

$LSI$  : شاخص شدت روانگرایی

## فهرست علائم

$M$  : بزرگای زمین لرزه

$M_f$  : بزرگای زمین لرزه بر اساس آژنس هواشناسی ژاپن

$R$  : فاصله دورترین محدوده روان شده تا رومرکزی زمین لرزه برحسب کیلومتر

## مراجع

- 1 - Mir Mohammad Hosseini, S., Arefpour, B. and Ghasemi, A. (1997) "Manual of zonation on seismic geotechnical hazards." *The Technical Committee for Earthquake Geotechnical Engineering, TC4* (Translated to Persian)
- 2 - Jafari, M.K., Askari, A., MahdaviFar, M. A. and Amini Hosseini, K. (1999). "Seismic and geotechnical earthquake engineering hazard zonation in lorestan." *International Institute of Earthquake Engineering and Seismology* (in Persian).



- 3 - Abstract of selected papers presented to: The training course in Japan (1991) for the first phase of training program on Earthquake Engineering and Disaster Management, Volume VI, Liquefaction (Technical Memorandum Public Works Research Institute).
- 4 - Kuribayashi, E. and Tatsuoka, F. (1975). "Brief Review of soil liquefaction during earthquakes in Japan." *Soils and Foundation*, Vol. 15, No. 4, PP. 81-92.
- 5 - Ambraseys, N.N. (1988) *Engineering Seismology, Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 1', PP.1-105.
- 6 - Liu, Y. and Zio, J.F. (1984). *Seismic Liquefaction of Sand*, Earthquake Press, China (in Chinese).
- 7 - Youd, T. L., and Idriss, I. M. (2001). "Liquefaction resistance of soils: Summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on evaluation of liquefaction resistance of soils." *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 127, No. 4, PP. 297-313.
- 8 - Iwasaki, T., Tokida, K., Tatsuoka, F., Watanabe, S., Yasuda, S. and Sato, H. (1982) "Microzonation for soil liquefaction potential using simplified methods." *Proc. 3rd Int. Conf. on Microzonation, Seattle*, Vol. 3, PP. 1319-1330.
- 9 - Youd, T. L. and Perkins, D. M. (1978). "Mapping of liquefaction induced ground failure potential." *J. GED, ASCE*, Vol. 104, No. 4, PP.433-446.
- 10 - Seed, H.B. and Idriss, I.M. (1971) "Simplified procedure for evaluation soil liquefaction potential." *J. SMFD, ASCE*, Vol. 97, No. 9, PP.1249-1273.
- 11 - Seed, H.B. and Idriss, I.M. and Arango, I. (1983). "Evaluation of liquefaction potential using field performance data." *L. GE, ASCE*, Vol. 109, No. 3, PP. 458-482.