۳-۲-۳
۶۷۰۸

شماره ۱

بهار ۱۳۸۳

سال دهم - شماره پیاپی ۱۵

تبریز - ایران

نشریه دانشکدهٔ

علوم انسانی و اجتماعی

ویژه نامه جغرافیا

همکاران این شماره :

- دکتر مریم بیاتی خطیبی
- دکتر محمد باقر بهشتی
- دکتر نویده بیرنگ
- دکتر محمد رضا پور محمدی
- دکتر محمد علی ترابی • نعمت الله تقوی
- دکتر محمد رضا ثروتی • دکتر سعید جهانبخش
- دکتر محمد حسین رامشت • دکتر عبدالحمید رجائی
- دکتر علی اکبر رسولی • دکتر محمد حسین رضایی مقدم
- دکتر شهرام روستایی • نادر زالی • دکتر مجید زاهدی
- دکتر بهروز ساری صراف • برومند صلاحی • موسی عابدینی
- دکتر حسنعلی غیور • دکتر احمد فاخری فرد • رسول قربانی
- ابولفضل قنبری • دکتر داود مختاری • یوسف مسعودی فر
- احد مولوی • دکتر امیر حسین ناظمی

روش تحقیق و اصول پهنه بندی خطر ناپایداری دامنه ها

دکتر شهرام روستایی*

چکیده

ناپایداری دامنه ها در مناطق کوهستانی که به صورت زمین لغزش در اشکال مختلف اتّفاق می افتد، همواره مورد توجّه دانشمندان علوم زمین، برنامه ریزان و مدیران بوده و همه ساله خسارت هنگفتی به اقتصاد کشورها وارد می سازد. کشور ما ایران به علّت موقعیّت جغرافیایی و شرایط اقلیمی و زمین شناسی خاصّ خویش، همواره تحت تأثیر خطر زمین لغزش بوده و از مناطق رانش خیز دنیا محسوب می شود. با توجّه به اهمیّت موضوع، مقالهٔ حاضر ضمن بررسی مقدماتی مفاهیم رانش زمین، روش تحقیق و نحوهٔ جمع آوری اطلاعات و داده ها برای پهنه بندی خطر زمین لغزش را ارائه می کند.

واژه های کلیدی: زمین لغزش، پهنه بندی، روش تحقیق، ژئومورفولوژی، بلایای طبیعی

مقدمه

وقوع بلایای طبیعی از مهم ترین عوامل بازدارنده و تأثیر گذار در توسعهٔ اقتصادی کشورها است؛ مخصوصاً در کشورهای در حال توسعه که میزان خسارت وارده به وسیلهٔ خطرات طبیعی، رشد یا رکود اقتصادی را برای این کشورها رقم می زند. تجارب انسان نشان داده است که خطرات حاصل از بلایای طبیعی تا حدودی قابل پیشگیری است؛ پیش بینی موفقیت آمیز زلزله در ایالات متحده و ژاپن در مقایسه با زلزلهٔ ارمنستان(۱۳۶۷)، زلزلهٔ طبس و رودبار که تاحدودی شدت یکسانی داشتند مثال خوبی است. زمین لغزش نیز از

* استادیار گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه تبریز: roostaei@tabrizu.ac.ir

تاریخ وصول مقاله: ۸۲/٤/۸ ـ تاریخ تصویب مقاله: ۸۲/۹/۲۵

جملـه بلایـای طبیعـی قابل پیش بیـنی است. برای این منظور روش های متعددی وجود دارد که یکی از آنها پهنه بندی مناطق از نظر پایداری و ناپایداری دامنه ها است.

وارنس (Varnes, 1984) پهنه بندی خطر ناپایداری دامنه را چنین تعریف می کند: ترسـیم نقشـهٔ نواحـی با احتمال یکسان وقوع ناپایداری در زمان معین. بنابراین پهنه بندی خطر ناپایداری دامنه از دو جنبه قابل بررسی و مطالعه است:

اول، ارزیابی حساسیّت زمین برای گسیختگی دامنه که در آن قابلیّت زمین برای فرایند خطر به صورت احتمال بیان می شود و هر پدیده تحت شرایط خاصّ محلّ و عوامل مختلف اتّفاق می افتد.

دوم، تعیین احتمال وقوع یک عامل محرک، احتمال وقوع یک زمین لغزش عمدتاً به وسیلهٔ احتمال وقوع حوادث تحریک کننده مثل بارندگی های شدید، زمین لرزه و غیره محاسبه می شود. تخمین احتمال وقوع لغزش مشکل تر از سایر بلایای طبیعی (سیل و زلزله) است، زیرا رابطهٔ مشخّص و معلومی بین بزرگی لغزش و دورهٔ برگشت آن وجود ندارد. از طرفی اطلاعات کافی از گذشته لغزش ها ثبت نشده تا رابطهٔ بین لغزش و عوامل به وجود آورندهٔ آن (مانند بارندگی و زلزله) برقرار شود.

زمانـی یـک ناحـیه، مسـاعد برای لغزش خوانده می شود که شرایط مکانی آن قابل مقایسـه بـا یـک مکـان لغزش یافته باشد. ناپایداری یک دامنه به عوامل متعددی از قبیل لیـتولوژی و نـوع سـنگ، هوازدگـی و پوشـش خاک سطحی، کیفیت خاک، شکل و شیب دامـنه، وضـعیّت هیدرولوژی، پوشش گیاهی، کاربری اراضی و فعالیّت انسان ها روی دامنه بسـتگی دارد. تجـزیه وتحلـیل عوامـل مذکور در رابطه با توزیع مکانی لغزش ها به وسیلهٔ سیـستم اطلاعـات جغرافـیایی[1] به عنـوان ابزار مناسب، به بهـترین وجـه امکان پذیر است (Van Westen & Soeters, 1998: 3).

بـا توجّـه بـه موارد مذکور و با در نظر گرفتن شرایطی که در گذشته باعث ناپایداری دامـنه هـا شـده اند و شناخت عوامل بالقوه فعلی وقوع لغزش ها، مراحل اصلی پهنه بندی زمین لغزش ها عبارتند از:

- ترسیم نقشهٔ توزیع لغزش ها، نوع لغزش ها، نحوهٔ فعالیّت و ابعاد آنها و غیره و این براساس مدت زمان ناپایداری مشخص می شود،
- ترسیم نقشهٔ عوامل بوجود آورندهٔ لغزش ها،

[1]. GIS= Geographical Information System

- ارزیابی و تحلیل شرایط مکانی وقوع لغزش ها.

اصول تحقیق و پهنه بندی زمین لغزش ها

فرایند ناپایداری دامنه ها محصول شرایط ژئومورفولوژیکی، هیدرولوژیکی و زمین شناسی محلی است. تغییر این شرایط به وسیلهٔ فرایندهای ژئودینامیک، فعالیت انسان ها، پوشش گیاهی، کاربری اراضی، فراوانی و شدت بارندگی و زلزله صورت می گیرد.

روش های مهندسی در بررسی لغزش ها به تجزیه و تحلیل گسیختگی های دامنه ـ های منفرد و نحوهٔ پیشگیری آنها متمرکز است. تکنیک های مورد استفاده در این قبیل مطالعات نیاز به مطالعات بزرگ مقیاس دارد و قابل استفاده برای پهنه بندی خطر ناپایداری دامنه ها نیستند (Van Vesten, 1993: 395). نیاز به چنین پهنه بندی هایی زمانی احساس می شود که برای کاهش هزینه های ساخت و ساز و محافظت سازه های مهندسی به دنبال برنامه ریزی علمی و مناسبی باشیم.

با در نظر گرفتن نقش عوامل متعدد در ناپایداری دامنه ها، مراحل تحقیق و پهنه بندی خطر ناپایداری دامنه ها عبارتند از:

- تهیه فهرستی دقیق و کامل از فرایند ناپایداری دامنه،
- مطالعهٔ این فرایندها در رابطه با شرایط محیطی آنها،
- تجزیه وتحلیل شرایط و عوامل به وجود آورندهٔ ناپایداری ها،
- نمایش توزیع فضایی و مکانی این عوامل.

در این مرحله لازم است محقق بعضی از اصطلاحات پهنه بندی خطر ناپایداری را مطالعه و تجزیه و تحلیل نماید، وارنس[1] تعاریف زیر را برای اصطلاحات مذکور ارائه داده است (مقیمی و گودرزی، ۱۳۸۲ : ۱۱-۲۴):

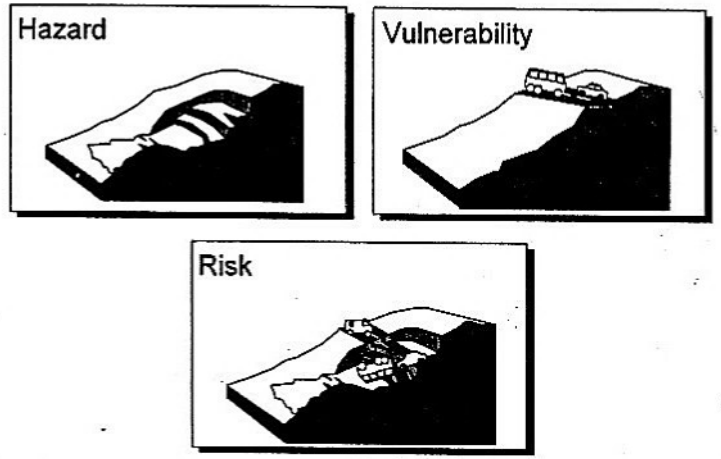
خطر طبیعی[2] : خطر طبیعی به معنی احتمال وقوع در زمان و مکان معینی که به طور بالقوه آسیب پذیر است.

خطر احتمالی[3] : احتمال از بین رفتن انسان ها، صدمه دیدن آنها، خسارت های مالی و اقتصادی در اثر وقوع یک پدیده طبیعی.

[1]. Varnes
[2]. Hazard
[3]. Risk

آسیب پذیری[1] : به معنی تعیین میزان خسارت برای عنصر معین، که در معرض خطر قرار دارد.

عنصر تحت خطر شامل انسان ها، دارایی آنها ، فعالیت های اقتصادی و غیره که در ناحیهٔ معین در معرض خطر هستند. احتمال خطر به معنی میزان خسارتی که به وسیلهٔ پدیدهٔ خاص طبیعی انتظار می رود (شکل ۱).



شکل ۱ـ اشکال شماتیک برای نشان دادن خطر، آسیب پذیری عناصر تحت خطر و احتمال خطر

خطر زمین لغزش معمولاً در نقشه هایی ارائه می شود که نشانگر توزیع مکانی درجات مختلف خطر است (پهنه بندی). پهنه بندی خطر زمین لغزش به شناخت دقیق فرایندهایی که در ناحیه فعّال هستند و عواملی که در وقوع پدیده های خسارت بار مؤثّر هستند، نیاز دارد، این بخش از کار منحصراً به وسیلهٔ متخصصین علوم زمین انجام می گیرد. تجزیه و تحلیل آسیب پذیری نیاز به شناخت دقیق تراکم جمعیت، ساخت وسازها، و فعالیت های اقتصادی و تأثیر یک پدیدهٔ خسارت بار بر روی آنها دارد. بنابراین، تخصص های دیگری مانند برنامه ریزی شهری، جغرافیای اجتماعی، اقتصاد دانان و مهندسین مورد نیاز است (Van Westen & et al.,1997: 410). تعیین میزان خطر و آسیب پذیری به روش کمّی کار دشواری بوده و از درجهٔ اطمینان پایین تری برخوردار است، با وجود این نمونه هایی از

[1]. Vulnerability

این قبیل بررسی ها در بعضی نوشته ها به چشم می خورد. تحلیل خطر با توجّه به تعاریف ارائه شده به ندرت دارای دقّت کافی است، چرا که تعیین خطر بالقوه در مناطق وسیع مشکل است. تعیین احتمالات واقعی نیاز به تحلیل فاکتورهای محرک خطر مانند زلزله ها یا بارندگی های شدید و یا مدل های پیچیده دارد، اما در اکثر موارد رابطهٔ روشنی بین این فاکتورها و وقوع لغزش ها وجود ندارد. براین اساس در اکثر نقشه های پهنه بندی خطر زمین لغزش راهنمای درجات مختلف خطر، اطلاعات زیادی در مورد حساسیت وقوع یک لغزش یا شاخص نسبی درجهٔ خطر ارائه نمی دهد و نمایش درجات خطر بالا، متوسط و پایین در نقشه ها، اطلاعات کاملی به حساب نمی آیند و کاربر قادر نیست با مطالعهٔ این نقشه ها اطلاعات کامل و دقیقی در رابطه با حساسیت منطقه به دست آورد (شریعت جعفری، ۱۳۷۵). در این نوشتار فقط تکنیک هایی برای تشخیص، تجزیه وتحلیل زمین ـ لغزش ها و روش هایی برای ارزیابی خطر آنها تشریح شده اند.

روش ها و دیدگاه ها در پهنه بندی خطر

نقشهٔ خطر ناپایداری دامنه باید اطلاعاتی در زمینهٔ احتمال مکانی، زمانی، نوع، بزرگی، سرعت، مسافت طی شده و محدودهٔ برگشت حرکت های توده ای پیش بینی شده در ناحیهٔ خاصّ را ارائه دهد (Hartlen & Viberg, 1988: 1045). این نقشه بایستی اطلاعات مربوط به نوع و نحوهٔ فعالیت لغـزش را به خوبی توزیع فضایی حرکت های توده ای نشان دهد و ابزاری اساسی در تحلیل علل وقوع زمین لغزش ها در رابطه با شرایط محیطی محسوب می شود. تفکیک ناپایداری های دامنه یی براساس نوع حرکت از دو نظر حایز اهمیت است: اول به علّت شـرایط مکانی که باعث وقوع انواع حرکات توده ای می شود؛ دوم این که خسارت ناشی از ناپایداری ها در یک محلّ براساس نوع ناپایداری محاسبه می شود.

برای پیش بینی خطر لغزش در مناطقی که فعلاً در معرض خطر نیستند از پدیده ـ های اتفاق افتاده در گذشته استفاده می شود و به این ترتیب می توان با استفاده از اوضاع گذشته برای آیندهٔ منطقه برنامه ریزی کرد. براین اساس تهیّهٔ نقشهٔ ناپایداری های اتفاق افتاده در گذشته، عوامل مؤثر در وقوع و برآورد خطر آنها از اهمیّت زیادی برخوردار است.

در رابطه با تجزیه و تحلیل شرایط مکانی به وجود آورندهٔ ناپایداری دامنه ها و ترسیم نقشهٔ آنها، دو نوع روش مطالعه وجود دارد: روش های مستقیم و روش های غیر مستقیم.

۱- ترسیم نقشهٔ تجربی که از روش ژئومورفولوژی کاربردی استفاده می کند، در این روش محقق رابطهٔ مستقیم بین زمین لغزش ها و وضعیّت ژئومورفولوژیکی و زمین - شناسی محل را بررسی می کند که به روش مستقیم ترسیم نقشه معروف است.

۲- روش اکتشافی یا به عبارتی، روش غیر مستقیم ترسیم نقشه که شامل ترسیم نقشهٔ عناصر مختلف و تجزیه و تحلیل (آماری) همهٔ این عوامل در رابطه با وقوع پدیدهٔ ناپایداری است. به این وسیله رابطهٔ بین شرایط مکانی وقوع لغزش ها تعیین می شود. براساس نتایج این تجزیه و تحلیل علل وقوع ناپایداری مشخص خواهد شد.

اگر بخواهیم دو روش بالا را در قالب مدل هایی ارائه کنیم، به سه گروه قابل تقسیم هستند:

۱- مدل های جعبهٔ سفید[1] ، براساس مدل های طبیعی (مدل های پایداری دامنه و مدل های هیدرولوژیکی) که به مدل های جبری نیز معروفند.

۲- مدل های جعبهٔ سیاه [2]، که بر اساس مدل های طبیعی نیستند بلکه به تحلیل - های آماری وابستگی دارند.

۳- مدل های جعبهٔ خاکستری[3] ، که براساس مدل های طبیعی و آماری شکل می - گیرند(Carrara, 1983) .

۱) مقیاس های پهنه بندی خطر

توسعه و کاربرد یک روش شناسی مشخّص در پهنه بندی خطر، شرط ضروری رسیدن به یک نسبت سود/ هزینهٔ قابل قبول و اطمینان از ارزش کاربردی آنها است. مقیاس کار برای تحلیل ناپایداری دامنه با توجّه به نیاز کاربر و وسعت منطقهٔ مورد مطالعه تعیین می شود. برای دستیابی به استاندارد مشخّص، انجمن بین المللی مهندسی زمین - شناسی (IAEG, 1976) مقیاس های زیر را برای مطالعه و انجام پهنه بندی ارائه داده است (شکل ۲):

[1]. White Box
[2]. Black Box
[3]. Grey Box

♠ مقیاس ملی: (۱ : ۱۰۰۰۰۰۰ <)
♠ مقیاس منطقه ای: (۱ : ۵۰۰۰۰۰ - ۱ : ۱۰۰۰۰۰)
♠ مقیاس متوسط: (۱ : ۵۰۰۰۰ - ۱ : ۲۵۰۰۰)
♠ مقیاس بزرگ: (۱ : ۱۵۰۰۰ - ۱ : ۵۰۰۰).

پهنه بندی در مقیاس ملّی، نقشهٔ نواحی مشکل دار کل یک کشور را که می تواند برای مدیران سیاسی و اجرایی کاربرد داشته باشد ارائه می دهد. در این مقیاس جزئیّات کار ارائه نمی شود و فقط مسائل عمومی قابل طرح هستند.

ترسیم نقشه در مقیاس منطقه ای برای برنامه ریزان منطقه ای کاربرد دارد؛ این نقشه ها در مراحل اولیّهٔ پروژه های توسعهٔ منطقه ای استفاده می شوند و برای اجرای پروژه های مهندسی در مقیاس منطقه ای مناسب هستند. وسعت منطقهٔ مورد مطالعه از ۱۰۰۰کیلو متر مربع بیشتر است و به این دلیل اطلاعات تفصیلی و دقیق در روی نقشه ها قابل ارائه نیستند. نقشه های تهیّه شده در مقیاس منطقه ای خطر حرکت های توده ای را در رابطه با توسعهٔ مناطق شهری، روستایی و اقدامات زیربنایی نشان می دهد. روش کار در تهیّهٔ این نقشه ها به این صورت است که زمین به واحدهای چند صد هکتاری تقسیم و براساس حساسیّت قطعات به حرکت های توده ای درجه بندی می شوند.

نقشه های پهنه بندی خطر به مقیاس متوسّط برای تعیین خطر در نواحی ویژه ای که به وسیلهٔ ساخت های مهندسی بزرگ، جاده ها و طرح های شهری متأثر می شوند، کاربرد دارند. نواحی مورد مطالعه چند صد کیلومتر وسعت دارند و با توجّه به مقیاس نقشه جزئیّات زیادی را می توان در روی آن ترسیم نمود.

پهنه بندی خطر در مقیاس بزرگ، در سطح تحقیقات محلی قبل از اجرای طرح های مهندسی مورد استفاده قرار می گیرد. این مقیاس هم چنین برای برآورد تغییرپذیری ضریب اطمینان به عنوان تابعی از شرایط متغییر دامنه یا تحت تأثیر عوامل محرّک از قبیل بارندگی و زلزله به کار می رود. وسعت ناحیهٔ مورد مطالعه چند ده کیلو متر مربع است و درجهٔ خطر در این نقشه ها مطلق است که شامل احتمال گسیختگی برای هر واحد نقشه با مساحت یک هکتار یا کمتر است.

با توجّه به این که انتخاب مقیاس تجزیه و تحلیل معمولاً بستگی به کاربرد نتایج دارد، به این دلیل انتخاب تکنیک ترسیم نقشه آزاد خواهد بود. این انتخاب به نوع مشکل، قابلیّت دسترسی به داده ها، منابع مالی، زمان و میزان تخصصِ محقق بستگی دارد.

۱- مقیاس ملّی :
- ♠ ۱:۱۰۰۰۰۰۰ >
- ♠ به عنوان سیاهه
- ♠ تمامی استان های یک کشور
- ♠ براساس داده های ثبت شده

۳- مقیاس متوسط :
- ♠ ۱:۲۵۰۰۰ تا ۱:۵۰۰۰۰
- ♠ برنامه ریزی محلی
- ♠ نواحی بالای ۲۰۰ کیلومتر مربع
- ♠ روش های آماری

۲- مقیاس منطقه ای :
- ♠ ۱:۱۰۰۰۰۰ >
- ♠ برنامه ریزی منطقه ای
- ♠ نواحی بزرگ
- ♠ روش های ساده

۴- مقیاس بزگ :
- ♠ ۱:۱۰۰۰۰ >
- ♠ برنامه ریزی دقیق وتفصیلی
- ♠ نواحی کوچک
- ♠ آنالیز پایداری

شکل ۲ ـ مقیاس های پهنه بندی خطر زمین لغزش (IAEG, 1976)

۲) جمع آوری اطلاعات

پدیدهٔ ناپایداری دامنه به عوامل متعددی بستگی دارد و عوامل طبیعی و انسانی در این امر مشارکت دارند. بنابراین برآورد و بررسی خطر زمین لغزش به اطلاعاتی در مورد فاکتورهای متعدد از ساختمان زمین شناسی گرفته تا کاربری زمین نیاز دارد. داده های مورد نیاز برای تحلیل خطر زمین لغزش ها عبارتند از:

الف) داده های ژئومورفولوژیکی،
ب) داده های توپوگرافیکی،
ج) کاربری زمین،
د) زمین شناسی مهندسی یا ژئوتکنیک،
ه) داده های هیدرولوژیکی (شریعت جعفری ، ۱۳۷۵).

چون در مقیاس ناحیه ای هدف از تهیهٔ نقشه های خطر زمین لغزش، فقط نمایش ناپایداری های موجود بوده و ارائهٔ اطلاعات تفصیلی مقدور نیست، لذا با صرفه ترین روش برای جمع آوری دادها تفسیر عکس های هوایی و ماهواره ای است. در مقیاس متوسط تقریبا همهٔ لایه های داده ای ارائه شده در جدول شماره ۱ به استثنای اطلاعات دقیق آب های زیر زمینی و داده های زمین شناسی مهندسی قابل جمع آوری هستند. برای

جدول ۱ـ داده های ورودی برای پهنه بندی خطر ناپایداری دامنه ها (Van Westen, 1998)

لایه های داده ها		داده های همراه جداول	روش جمع آوری	مقیاس تجزیه و تحلیل		
				ناحیه ای	متوسط	بزرگ
ژئو مورفولوژی	۱-واحدهای زمین	واحدهای زمینی ترسیم نقشه	تفسیر عکس هوایی و ماهواره ای+ پیمایش	۳	۳	۳
	۲-واحد ژئومورفولوژی	تفسیر ژئومورفولوژیکی	تفسیرعکس+ پیمایش	۲	۳	۳
	۳-زمین لغزش ها(جدید) ۴-زمین لغزش ها (قدیمی)	نوع، عمق، ابعاد و غیره	تفسیرعکس+ پیمایش	۱	۳	۳
تو پوگرافی	۵- مدل های رقومی	طبقات ارتفاعی	نقشه توپوگرافی+GIS	۲	۳	۳
	۶- نقشهٔ شیب	طبقات زاویهٔ شیب	GIS+DTM	۲	۳	۳
	۷- نقشهٔ جهت دامنه	طبقات جهت دامنه	GIS+DTM	۲	۳	۳
	۸- طول دامنه	طبقات طول دامنه	GIS+DTM	۲	۳	۳
	۹- تقعر/تحدب	تقعر/تحدب	GIS+DTM	۱	۱	۳
زمینشناسی مهندسی	۱۰- لیتولوژی	مقاومت سنگ و غیره	نقشه+عکس+ پیمایش	۲	۳	۳
	۱۱- توالی مواد	نوع،تراکم و عمق مواد	نقشه+ آزمایشگاه	۱	۲	۳
	۱۲- نقشهٔ زمین شناسی ساختمانی	نوع و طول گسل،جهت شیب، محور چی...	تفسیرعکس+ پیمایش	۳	۳	۳
	۱۳-شتاب زلزله	حداکثر شتاب زلزله	داده های لرزه نگاری	۳	۳	۳
کاربریزمین	۱۴- ساخت های زیر بنایی (جدید و قدیمی)	انواع جاده، راه آهن، توسعهٔ شهری و ...	تفسیرعکس+ نقشه پیمایش	۳	۳	۳
	۱۵- نقشهٔ کاربری زمین (جدید و قدیمی)	انواع کاربری زمین	تفسیرعکس+ نقشه پیمایش	۲	۳	۳
هیدرولوژی	۱۶- زهکشی	نوع،رتبه،طول	تفسیرعکس+نقشه	۳	۳	۳
	۱۷- حوضهٔ آبخیز	ابعاد،رتبه،اندازه و ...	تفسیرعکس+نقشه	۲	۳	۳
	۱۸- بارندگی	مقدار،زمان و ...	داده های هواشناسی	۲	۳	۳
	۱۹- درجهٔ حرارت	شدت و زمان	داده های هواشناسی	۲	۳	۳
	۲۰- تبخیر وتعرق	مقدار و زمان	داده های هواشناسی	۲	۳	۳
	۲۱- نقشه های سطح ایستایی آب	عمق و سطح ایستایی آب در زمان و مکان	اندازه گیری+ حفاری مدل ها	۱	۱	۲

پهنه بندی خطر ناپایداری دامنه ها در مقیاس بزرگ (کار در نواحی کوچک) همهٔ داده های مورد نیاز قابل جمع آوری است. داده های مذکور در مقیاس بررسی های ناحیه ای، متوسط و بزرگ با شرح کامل در جدول شماره ۱ ارائه شده است.

فرایند پهنه بندی خطر زمین لغزش

در ۴ دههٔ اخیر تحقیقات زیادی در زمینهٔ ناپایداری دامنه ها به عمل آمده است. در کشور ایران نیز با تأسیس مؤسسهٔ بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله و همچنین راه اندازی واحد مطالعهٔ زمین لغزش ها در اداره آبخیزداری وزارت جهاد کشاورزی تحقیقات خوبی به عمل آمده و یا در حال انجام است. برای نمونه می توان به کارهای کمک پناه و منتظرقایم (۱۳۷۳) اشاره کرد.

این فعالیّت ها عمدتاً برای حلّ مشکل ناپایداری در مکان های معیّن با استفاده از روش های مهندسی برای محافظت و جلوگیری از ناپایداری ها انجام شده است. مهندسین در زمینهٔ ناپایداری دامنه ها و اقدامات محافظتی به شرایط و تکنیک های مکانی و روش های جبری و احتمالاتی تکیه نموده اند. تغییر پذیری وسیع خواص ژئوتکنیکی، ناهمگن بودن محیط طبیعی در مقیاس منطقه ای در مقایسه با همگنی مورد نیاز برای روش های جبری و صرف وقت و هزینهٔ زیاد برای تحقیق در مقیاس محلّی، روش های مهندسی را در مقیاس منطقه ای با مشکل مواجه کرده و باصرفه نیستند. به این ترتیب برای حلّ این مشکل و با در نظر گرفتن اینکه بررسی یک خطر بر اساس مطالعهٔ دقیق شرایط طبیعی یک ناحیه و تجزیه وتحلیل همهٔ پارامترهای مؤثّر در فرایند ناپایداری دامنه ها انجام می گیرد. روش های متعددی برای تحلیل ناپایداری دامنه ها ارائه شده است. از بررسی کارهای محققینی مثل هانسن (Hansen, 1984) وارنس(Varnes, 1984) و وان وستن و سویتر(Van Westen & Soeter, 1998). روش های زیر را برای جمع آوری اطلاعات و پهنه بندی زمین لغزش ها ارائه نمود:

- شناسایی و لیست برداری از زمین لغزش ها،
- روش ژئومورفولوژیکی،
- روش های آماری،
- روش های جبری.

۱) شناسایی زمین لغزش ها

آسان ترین روش برای پهنه بندی خطر زمین لغزش تهیهٔ لیست زمین لغزش های موجود با استفاده از تفسیر عکس های هوایی، بررسی های میدانی و پایگاه های اطلاعاتی موجود در رابطه با زمین لغزش های قدیمی است. نتیجهٔ چنین کاری تهیهٔ نقشهٔ توزیع فضایی حرکات توده ای است که هم می تواند به صورت مقیاسی و هم به صورت نقاط پراکنش ارائه شود (Wieczorek,1984:338). نقشه های توزیع حرکات توده ای، زیربنا و ابزار کارآمد برای سایر روش های پهنه بندی خطر زمین لغزش ها هستند و چون انواع و نحوهٔ پراکنش زمین لغزش ها را در یک منطقه نشان می دهند می توان آنها را به عنوان نقشهٔ مقدماتی و پایهٔ زمین لغزش های منطقه مورد استفاده قرار داد. عیب این نقشه ها این است که فقط برای فاصلهٔ زمانی کوتاه کاربرد دارند و تغییرات زمانی حرکات توده ای را به خوبی نشان نمی دهند، چون احتمال دارد لغزش هایی در فاصلهٔ بین دو عکس برداری اتفاق افتند. بنابراین باید براساس عکس های متوالی، اقدام به تهیهٔ نقشهٔ کامل توزیع زمین لغزش ها نمود (Canutti & et al. 1986: 236). این نقشه ها برای مطالعهٔ تغییرات زمانی یک عامل مثلاً کاربری اراضی ضرورت دارند.

توزیع زمین لغزش را همچنین می توان به صورت نقشهٔ تراکم نشان داد. رایت و همکارانش(Wright & et al., 1974) روشی را برای محاسبهٔ تراکم زمین لغزش ها ارائه داده اند که در این روش نتایج مقـادیر تراکم به وسیلهٔ خطوط همچند[1] نشان داده می شود. گرچه این روش رابطهٔ بین حرکات توده ای و عوامل به وجود آورندهٔ آنها را مشخّص نمی کند، امّا روش خوبی برای نمایش تراکم لغزش ها به صورت کمّی است.

۲) روش ژئومورفولوژیکی

در این روش نظر تخصصی ژئومورفولوژیست و بررسی های میدانی، دو عامل اساسی در طبقه بندی خطر زمین لغزش هستند. ترسیم نقشهٔ حرکات توده ای و جایگاه ژئومورفولوژیکی آنها عامل اصلی در تعیین خطر است. در این رابطه دو نوع تجزیه و تحلیل مطرح است :

الف) تجزیه و تحلیل ژئومورفولوژیکی: اساس این روش به وسیلهٔ کین هولز (Kienholz, 1978) پایه ریزی شد. بدین ترتیب وی روشی را برای تهیهٔ نقشهٔ ترکیبی

---

[1]. Isopleths

خطر زمین لغزش ارائه داد. هم چنین روش ژئومورفولوژیکی به عنوان روش مستقیم تهیهٔ نقشه شناخته شده؛ بدین معنی که خطر به طور مستقیم به وسیلهٔ ژئومورفولوژیست مجرّب در روی زمین تشخیص داده می شود. ژئومورفولوژیست در این روش از استدلال قیاسی بهره می گیرد. بنابراین ارائهٔ رابطه و فرمول مشخص مشکل است چرا که شرایط از مکانی به مکان دیگر متفاوت و متغیّر است. با توجّه به پیشرو بودن اروپا در زمینهٔ تهیهٔ نقشه های ژئومورفولوژی و زمین شناسی مهندسی، نمونه هایی از این متدولوژی برای ارزیابی ناپایداری دامنه ها در آنجا به کار رفته است.

ب) روش ترکیب کیفی نقشه: این روش به منظور رفع مشکل، نقش عوامل پنهان در ترسیم نقشه های ژئومورفولوژی توسعه یافته است. در این روش متخصص علوم زمین تخصص خود را برای ارزیابی مقادیر وزنی پارامترهای موجود نقشه ها به کار می برد و شرایط موجود در یک منطقه طبقه بندی شده و برای هریک از طبقات و عناصر آنها وزنی اعمال می شود. با جمع بندی این وزن ها در طبقات، گروه های مختلف خطر مشخص و نقشه خطر ترسیم می گردد. استیونسون (Stevenson, 1977) از این روش در منطقهٔ تاسمانی برای پهنه بندی خطر زمین لغزش استفاده کرده و براساس تجربیّات حاصله، اظهار می دارد که در این روش وزن دهی دقیق و صحیح عوامل مشکل است چون مستلزم کار میدانی وسیع و دقیق می باشد.

۳) روش های آماری

درتجزیه وتحلیل آماری خطر زمین لغزش، ترکیب عواملی که در گذشته سبب لغزش شده اند به وسیلهٔ روش های آماری تعیین شده و روش های کمّی برای نواحی بدون لغزش در شرایط مشابه ارائه می شود. برای این منظور دو روش آماری وجود دارد.

الف ـ تحلیل آماری دو متغیره: در این روش هر نقشهٔ عامل (شیب، زمین شناسی، کاربری زمین و ...) با نقشهٔ توزیع لغزش ها ترکیب شده و مقادیر وزنی براساس تراکم لغزش ها برای هر گروه محاسبه می شود (نوع دامنه، واحد لیتولوژی، نوع کاربری زمین و غیره). اولین نمونهٔ چنین تحلیلی به وسیلهٔ براب و همکارانش (Brabb &et al.1972) ارائه شد که ترکیب ساده ای از نقشه های توزیع لغزش، لیتولوژی و شیب بود. با گسترش پژوهش های کمّی زمین لغزش ها، روش های آماری متعددی تاکنون ارائه شده است که از جملهٔ آنها عبارتند از: روش محاسبهٔ استعداد وقوع زمین لغزش ها (Van westen, 1993)، روش ارزش اطلاعات (Yin&Yan, 1988)، روش های ارائهٔ

مدل واقعی، روش های ترکیبی، روش محاسبهٔ ضریب اطمینان و روش منطق فازی (Chung & Fabbri, 1993).

ب ـ مدل های آماری چند متغیره: کاربرد روش های آماری چند متغیره در پهنه بندی خطر زمین لغزش ها توسّط کارارا و همکارانش (Carrara, et al., 1990-1992) در ایتالیا توسعه یافت. در این رابطه ایشان همهٔ عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش را در روی محدودهٔ مشخّص، ممیزی کردند و به این ترتیب در هریک از واحدها، وجود یا عدم زمین لغزش را تعیین کردند. سپس ماتریس حاصله به روش رگرسیون چندگانه یا تحلیل ممیزی بررسی شده است.

با استفاده از این روش ها، در نواحی همگن و یا نواحی ویژه ای که در آن فرایندهای ناپایداری دامنه از نظر شکل هندسی اختلاف اندکی دارند، نتیجهٔ مطلوبی به دست می ـ آید. زمانی که روش های آماری پیچیده به کار می رود، مطابق با نوع لغزش، زیرمجموعه هایی باید ایجاد شود و برای این کار حجم وسیعی داده باید جمع آوری گردد (Kobashi & Suzuki, 1988). بنابراین نتیجه می شود که کاربرد روش های آماری پیچیده، به نیروی انسانی متخصص و تجربی زیادی نیاز دارد.

٤) روش های جبری

مدل های جبری با وجود مشکلات مربوط به جمع آوری داده های کافی، به طور فزاینده در تحلیل خطر زمین لغزش ها به کار می روند، مخصوصاً به کمک GIS که حجم وسیعی از محاسبات را انجام می دهد. این روش ها زمانی قابل استفاده است که شرایط ژئومورفولوژیکی و زمین شناسی در کلّ منطقهٔ مورد مطالعه همگن بوده و زمین لغزش از نوع ساده باشد. مزیّت این مدل ها این است که براساس مدل های ناپایداری دامنه، محاسبهٔ مقادیر کمّی نا پایداری را امکان پذیر می سازند (ضرایب اطمینان). این روش معمولا برای زمین لغزش های از نوع انتقالی کاربرد دارد (Ward, et al., 1982: 25) و مدل های شبیه سازی آب های زیر زمینی در این روش ضرورت است. درکاربرد روش های جبری برای انتخاب نوع داده های ورودی و عواملی که باید در تحلیل وارد شوند از روش های تصادفی استفاده می شود (Hammond, et al., 1992; Mulder, et al., 1988).

روش های مختلف پهنه بندی خطر زمین لغزش در هر مقیاسی کاربرد یکسانی ندارند. بعضی از آنها به داده های ورودی دقیقی نیاز دارند که فقط از نواحی کوچک با

صرف وقت و هزینهٔ زیاد می توان جمع آوری نمود. بنابراین، در انتخاب روش مناسب، در نظر گرفتن مقیاس نقشه کشی، نوع تحلیل و هزینه و سود ضرورت دارد. جدول شماره ۲ روش های تجزیه و تحلیل زمین لغزش ها را متناسب با مقیاس انتخابی نشان می دهد.

جدول ۲ ـ روش های مطالعهٔ زمین لغزش ها باتوجه به مقیاس نقشه های مورد نیاز

نوع تحلیل	روش ها	ویژگی ها	داده های مورد نیاز	منطقه ای ۱/۱۰۰۰۰	متوسط ۱/۲۵۰۰۰	بزرگ ۱/۱۰۰۰۰
سیاهه برداری	تحلیل توزیع لغزش ها	تحلیل توزیع و طبقه بندی لغزش ها	۳	اما × بلی	بلی	بلی
	تحلیل فعالیت لغزش ها	تحلیل تغییرات الگوی لغزش ها	۴-۵-۱۴-	خیر	بلی	بلی
	تحلیل تراکم لغزش ها	محاسبهٔ تراکم لغزش	۱-۲-۳	اما × بلی	خیر	خیر
سلسله مراتبی	تحلیل ژئومورفولوژیکی	کاربرد در پهنه بندی	۲-۳-۴	بلی	اما×× بلی	بلی
	ترکیب کیفی نقشه	کاربرد در تهیهٔ نقشه های عاملی	۲-۳-۵-۶ -۷- ۸-۹-۱۰-	بلیاما...××	بلیاما...×	خیر
آماری	تحلیلهای آماری دو متغیره	محاسبهٔ اهمیت عوامل مؤثر	۲-۳-۵-۶ -۷- ۸-۹-۱۰-	خیر	بلی	خیر
	تحلیل های آماری چند متغیره	محاسبهٔ پیش بینی فرمول از ماتریس داده ها	۲-۳-۵-۶ ۷-۸- ۹-۱۰-	خیر	بلی	خیر
جبری	تحلیل های ضریب اطمینان	کاربرد مدل های هیدرولوژیکی و پایداری دامنه	۶-۱۱-۱۲ ۱۳- ۱۶-۲۰	خیر	خیر	بلی...× ×××

شماره ها در ستون چهارم مربوط به داده های ورودی است (به جدول ۱ مراجعه شود). (×) فقط با داده های قابل اطمینان توزیع زمین لغزش ها مقدور است. این حالت در ترسیم نقشه نسبت هزینه و سود همخوانی ندارد. (××) برای عینیت بخشیدن به نتایج، کاملاً به وسیلهٔ روش های کمی تقویت می شود. (×××) فقط زمانی است که داده های واقعی کافی در زمینهٔ توزیع عوامل کنترل کنندهٔ زمین لغزش ها موجود باشد. (××××)فقط تحت شرایط همگن بودن زمین و با در نظر گرفتن تغییرپذیری عوامل ژئوتکنیکی.

(Van Westen & Soeters, 1998)

ارزیابی روش های مختلف و بررسی پیشینهٔ پژوهش های مربوط به پهنه بندی خطر زمین لغزش ها نشان می دهد که اصول ژئومورفولوژی کاربردی یا روش های مستقیم تهیهٔ نقشه، با استفاده از روش های علمی و تجربی قصد آن دارند که علل واقعی وقوع ناپایداری ها را نشان دهند؛ امّا با در نظر گرفتن مقیاس گسیختگی دامنه ها و پیچیدگی علل وقوع ناپایداری ها، روش های مستقیم ترسیم نقشه در مقیاس های بزرگ قابل اجرا هستند و در مقیاس های دیگر از نظر اجرایی مشکل دارند. بنابراین ترکیب روش های ژئومورفولوژیکی و روش وزنی به منظور مشارکت دادن تمامی عوامل مؤثر در ناپایداری، ضرورت دارد و سبب می شود که پژوهش انجام یافته دقیق وقابل تجدید در شرایط مختلف از نظر جغرافیایی باشد.

امروزه در پژوهش های زمین لغزش، تأکید روی ترکیب روش های غیرمستقیم تهیهٔ نقشه و روش های تحلیلی است. برای تعیین مناطق لیتولوژیکی همگن در مقیاس کوچک (۱۰۰۰۰۰ :۱تا ۵۰۰۰۰ :۱)محقق نیاز به تصاویر ماهواره ای ، عکس های هوایی و پیمایش زمین دارد. چون در وقوع زمین لغزش ها عوامل متعددی دخالت دارند، بنابراین استفاده از روش های ترکیبی برای شناسایی علل وقوع لغزش ها مناسب تر خواهد بود. براین اساس نقشه های عامل بهترین وسیله برای نمایش وضعیّت ناپایداری منطقه هستند و صحّت و دقت پیش بینی را بالا می برند(Van Westen & Soeters, 1998: 14).

اعتبار روش ها

مهم ترین سئوالی که در هر پژوهش مطرح می شود، درجهٔ دقت و صحّت آن است. هدف از دقّت و صحّت در پژوهش های مربوط به زمین لغزش و پهنه بندی خطر آنها این است که آیا نقشهٔ تهیه شده، به دقت نواحی دارای زمین لغزش و نواحی فاقد زمین لغزش را نشان می دهد.

بررسی و تعیین دقّت و صحّت نقشه های خطر زمین لغزش معمولاً کار مشکلی است. در واقع بهترین روش برای تعیین خطر، مشاهدهٔ مستقیم آن در زمان وقوع است و چنین کاری با توجه به وسعت منطقه و نامعلوم بودن زمان وقوع مقدور نیست. بنابراین پژوهشگر مجبور است از روش های ترکیبی استفاده نماید. یکی از روش های مهم در این رابطه ترکیب اطلاعات موجود در روی نقشه های نهایی تهیه شده از لغزش های موجود و الگوی زمین لغزش ها در طبیعت است. توزیع فراوانی درجهٔ خطر زمین لغزش های موجود در منطقه، نواحی بدون خطر را به خوبی نشان می دهد. از طریق توزیع فراوانی درجات

خطر برای نواحی دارای زمین لغزش، در صد زمین لغزش هایی که دارای پایداری نسبی هستند مشخص می شود. اگر نقشهٔ توزیع زمین لغزش های اتفاقی منطقه در دسترس باشد، نقشه های پهنه بندی خطر زمین لغزش تهیه شده برای منطقه از طریق آنها قابل اصلاح هستند. همچنین دقّت و صحّت پیش بینی هایی که براساس توزیع زمین لغزش ـ های قدیمی صورت گرفته به وسیلهٔ نقشهٔ توزیع زمین لغزش های جوانتر ترمیم می شود (Ohmori & Sugaei, 1995). در نهایت این که با مقایسهٔ نقشه های خطر زمین لغزش تهیه شده به وسیلهٔ روش های مختلف (مثلاً روش های آماری و جبری و ...)می توان به درجهٔ صحّت و دقّت نقشه ها پی برد و آنها را اصلاح نمود.

دقّت وصحّت پیش بینی خطر وقوع زمین لغزش ها به عوامل متعددی بستگی دارد که مهم ترین آنها عبارتند از:

- دقّت مدل هایی به کار رفته،
- دقت جمع آوری و ورود داده ها،
- میزان تجربه و تخصص پژوهشگر،
- اندازه و مقیاس منطقهٔ مورد مطالعه.

عوامل مذکور اکثراً وابسته به هم هستند. مقیاس منطقهٔ مورد مطالعه مشخص می ـ کند که کدام نوع داده در چه حدّی باید جمع آوری شودو چه روش تجزیه وتحلیل باید مورد استفاده قرار گیرد.

در مورد پهنه بندی خطر زمین لغزش و درجهٔ دقّت و صحّت آن، مسئله ای که بیشتر مورد توجه می باشد این است که: آیا روشی که برای تهیهٔ نقشه به کار رفته نظر شخصی محقق است یا این که روش، عینیّت دارد و به وسیله افراد دیگری قابل تجدید و پیاده شدن است. روشی مطلوبیت دارد که هر کاربری بتواند آن را اجرا نماید و قایم به فرد نباشد.

از دیدگاه ژئومورفولوژی، مطالعهٔ زمین لغزش ها و پهنه بندی خطر آنها اگر به وسیلهٔ ژئومورفولوژیست مجرب صورت گیرد، مقبولیت دارد و ممکن است به نتیجهٔ دقیقی هم برسد، امّا چون از روش موضوعی در پژوهش استفاده می شود، قابل تکرار توسط محقق دیگر نیست و نتیجهٔ یکسان حاصل نمی شود. درجهٔ مطلوبیّت و نزدیک به واقع بودن هرگونه پژوهش در مورد خطر ناپایداری دامنه ها، به نحوهٔ جمع آوری داده ها و روش تجزیه و تحلیل آنها بستگی دارد. کاربرد روش های تحلیل عینی از قبیل تحلیل های آماری یا جبری،ممکن است به نتایج نسبی منجر شود و آن هم بستگی به عواملی دارد که در تجزیه و تحلیل ناپایداری دامنه ها وارد می شود. برای نمونه، عکس های هوایی موجود

برای منطقهٔ مورد مطالعه ممکن است به تعداد مفسرین آنها نتایج مختلف داشته باشند. بنابراین با توجّه به این که تمامی عوامل و پارامترهای مورد نیاز در پژوهش همگن نیستند و ترکیبی از عینیت و ذهنیت وجود دارد، می توان گفت که اکثر نتایج در صدی از نسبی بودن را به همراه دارند (Fookes, et al., 1991: 254).

اکثر نقشه های مورد استفاده در تحلیل خطر زمین لغزش ها براساس تفسیر عکس ـ های هوایی بوده، بنابراین درجهٔ ذهنیت و موضوعیت آنها بالا است. همچنین برای عواملی که نیاز به اندازه گیری دارند (مثلا مقاومت خاک، رطوبت و ...) درجات مختلف ذهنیت متناسب با دقت اندازه گیری متصوّر است.

متناسب با نوع جمع آوری داده ها و نحوهٔ تحلیل آنها، سطوح مختلفی از عینیّت و صحّت برای نقشه های خطر زمین لغزش در مقیاس های مختلف وجود دارد. پژوهشگران علوم زمین در دهه های اخیر براساس تجربه به این نتیجه رسیده اند که در مطالعهٔ ناپایداری دامنه ها برای پرهیز از هرگونه ذهنیت و نسبی گرایی و یا برای به حداقل رساندن آن، از تحلیل های آماری و کمّی استفاده نمایند(Nuland, 1976). با وجود این، تخصص پژوهشگر و دقّت وی در جمع آوری داده ها و انتخاب پارامترهای دخیل در وقوع زمین لغزش ها نقش اصلی را ایفا می کند.

نتیجه

مقالهٔ حاضر ضمن بررسی مقدماتی مفاهیم رانش زمین، روش تحقیق و نحوهٔ جمع ـ آوری اطلاعات و داده ها برای پهنه بندی خطر زمین لغزش را ارائه می کند. بررسی ها نشان می دهد که پهنه بندی خطر ناپایداری دامنه ها از دو جنبه قابل بررسی و مطالعه است:

اول، ارزیابی حساسیّت زمین برای گسیختگی دامنه که در آن قابلیّت زمین برای فرایند خطر به صورت احتمال بیان می شود و هر پدیده تحت شرایط خاصّ محلّ و عوامل مختلف اتّفاق می افتد.

دوم، تعیین احتمال وقوع یک عامل محرک. احتمال وقوع یک زمین لغزش عمدتاً به وسیلهٔ احتمال وقوع حوادث تحریک کننده مثل بارندگی های شدید، زمین لرزه و غیره محاسبه می شود. تخمین احتمال وقوع لغزش مشکل تر از سایر بلایای طبیعی (سیل و زلزله) است زیرا رابطهٔ مشخّص و معلومی بین بزرگی لغزش و دورهٔ برگشت آن وجود

ندارد. از طرفی اطلاعات کافی از گذشته لغزش ها ثبت نشده تا رابطهٔ بین لغزش و عوامل به وجود آورندهٔ آن (مانند بارندگی و زلزله) برقرار شود.

باتوجّـه بـه مـوارد مذکـور و با در نظر گرفتن شرایطی که در گذشته باعث ناپایداری دامـنه ها شده اند و شناخت عوامل بالقوه فعلی وقوع زمین لغزش ها، مراحل اصلی پهنه ـ بندی زمین لغزش ها عبارتند از:

- ☑ ترسیم نقشهٔ توزیع لغزش ها، نوع لغزش ها، نحوهٔ فعالیّت و ابعاد آنها و غیره و این براساس مدت زمان ناپایداری مشخص می شود،
- ☑ ترسیم نقشهٔ عوامل بوجود آورندهٔ لغزش ها،
- ☑ ارزیابی و تحلیل شرایط مکانی وقوع لغزش ها،
- ☑ تهیه فهرستی دقیق و کامل از فرآیند ناپایداری دامنه،
- ☑ مطالعهٔ این فرآیندها در رابطه با شرایط محیطی آنها،
- ☑ تجزیه وتحلیل شرایط و عوامل بوجود آورندهٔ ناپایداری ها،
- ☑ نمایش توزیع فضایی و مکانی این عوامل.

در مورد پهنه بندی خطر زمین لغزش و درجهٔ دقّت و صحّت آن، مسئله ای که بیشتر مورد توجه می باشد این است که: آیا روشی که برای تهیهٔ نقشه به کار رفته نظر شخصی محقق است یا این که روش، عینیّت دارد و به وسیله افراد دیگری قابل تجدید و پیاده شدن است. روشی مطلوبیت دارد که هر کاربری بتواند آن را اجرا نماید و قایم به فرد نباشد.

از دیدگاه ژئومورفولوژی، مطالعهٔ زمین لغزش ها و پهنه بندی خطر آنها اگر به وسیلهٔ ژئومورفولوژیست مجرب صورت گیرد، مقبولیت دارد و ممکن است به نتیجهٔ دقیقی هم برسد، امّا چون از روش موضوعی در پژوهش استفاده می شود، قابل تکرار توسط محقق دیگر نیست و نتیجهٔ یکسان حاصل نمی شود. درجهٔ مطلوبیّت و نزدیک به واقع بودن هرگونه پژوهش در مورد خطر ناپایداری دامنه ها، به نحوهٔ جمع آوری داده ها و روش تجزیه و تحلیل آنها بستگی دارد. کاربرد روش های تحلیل عینی از قبیل تحلیل های آماری یا جبری، ممکن است به نتایج نسبی منجر شود و آن هم بستگی به عواملی دارد که در تجزیه و تحلیل ناپایداری دامنه ها وارد می شود. برای نمونه، عکس های هوایی موجود برای منطقهٔ مورد مطالعه ممکن است به تعداد مفسرین آنها نتایج مختلف داشته باشند. بنابراین با توجّه به این که تمامی عوامل و پارامترهای مورد نیاز در پژوهش همگن نیستند و ترکیبی از عینیت و ذهنیت وجود دارد، می توان گفت که اکثر نتایج در صدی از نسبی بودن را به همراه دارند.

ارزیابی روش های مختلف و بررسی پیشینهٔ پژوهش های مربوط به پهنه بندی خطر زمین لغزش ها نشان می دهد که اصول ژئومورفولوژی کاربردی یا روش های مستقیم تهیهٔ نقشه، با استفاده از روش های علمی و تجربی قصد آن دارند که علل واقعی وقوع ناپایداری ها را نشان دهند. امّا با در نظر گرفتن مقیاس گسیختگی دامنه ها و پیچیدگی علل وقوع ناپایداری ها، روش های مستقیم ترسیم نقشه در مقیاس های بزرگ قابل اجرا هستند و در مقیاس های دیگر از نظر اجرایی مشکل دارند. بنابراین ترکیب روش های ژئومورفولوژیکی و روش وزنی به منظور مشارکت دادن تمامی عوامل مؤثر در ناپایداری ضرورت دارد و سبب می شود که پژوهش انجام یافته دقیق وقابل تجدید در شرایط مختلف از نظر جغرافیایی باشد.

در خاتمه با توجّه به پژوهش های به عمل آمده، می توان نتیجه گیری کرد که برای مطالعه و پهنه بندی دقیق خطر زمین لغزش ها بهتر است تلفیقی از روش های توصیفی و کمّی و آماری را مورد استفاده قرار دهیم. هم چنین در مطالعه مناطق مختلف با توجّه به وسعت منطقه مقیاس مطلوب برای پهنه بندی را به کار گیریم.

فهرست منابع

الف ـ منابع فارسی

شریعت جعفری، محسن (۱۳۷۵)؛ **زمین لغزش: مبانی و اصول پایداری شیب های طبیعی**، تهران: انتشارات سازه.

کمک پناه، علی و سعید منتظرقایم (۱۳۷۳)؛ **پهنه بندی زمین لغزش در ایران**، تهران: مؤسسهٔ بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، جلد سوم.

مقیمی، ابراهیم و شاپور گودرزی نژاد (۱۳۸۲)؛ **مخاطرات محیطی**، تهران: انتشارات سمت.

ب ـ منابع خارجی

Brabb, E.E. et al (1972); **Landslide Susceptibility in San Mateo County, California**,US. Geological Survey Miscellaneous Field Studies Map, MF360, scale 1:62500.

Canutti, P. et al (1986); "Slope Stability Mapping in Tuscany, Italy", In: **International geomorphology**, Part1: 231-239, New York: Wiley & Sons.

Carrara, A.(1983); "Multivariate Models for Landslide Hazard Evaluation", **Mathematical Geology**, 15, No.3: 403-427.

Carrara, A. et al (1990); **Geographical Informatim Systems and Multivariate Models in Landslide Hazard Evaluation**. ALPS 90 Alpine Landslide Practical Seminar, 6th International Conference and Field Workshop on Landslides. Aug. 31Sept. 12, 1990, Milano, Italy:17-28.

Carrara, A. et al (1991); **GIS Techniques and Statistical Models in Evaluating Landslide Hazard**. Earth Surface Processes and Landforms,Vol.16, No.5: 427-445.

Carrara, A. et al (1992); **Uncertainty in Assessing Landslide Hazard and Risk**. ITC-Journal, 1992-2: 172-183.

Fookes, P.G. et al (1991); "Some Observations on a Comparative Aerial Photography Interpretation of a Landslipped Area", **Quarterly Journal of Engineering Geology**, 24: 249-265.

Hammand, C.J., et al (1992); **Landslide Hazard Assessment Using Monte Carlo Simulation**, Proceedings of the 6th International Symposium on Llandslides, Christchurch, New Zealand, Vol.2: 959-964.

Hansen, A. (1984); "Landslide Hazard Analysis", In: **Slope Instability**.,D. Brunsden and D.B. Prior(edits), New York: Wiley & Sons: 523-602.

Hartlen, J & Viberg, L. (1988); **General Report: Evaluation of Landslide Hazard**, Proceedings of the 5th International Symposium on Landslides, Lausanne, Switzerland,Vol.2: 1037-1057.

IAEG (1976); **Engineering Geological Maps, a Guide to Their Preparation**, International Association of Engineering Geologists, Paris: The UNESCO Press.

Kienholz, H. (1978); **Maps of Geomorphology and Natural Hazards of Grindelwald, Switzerland, scale 1:10000**. Arctic and Alpine Research 10: 169-184.

Kobashi, S. & Suzuki, M. (1988); **Hazard Index for the Judgment of Slope Stability in the Rokko Mountain Region**, Proceedings Interpraevent, 1988, Graz, Austria, Band 1: 223-233.

Nuland, H. (1976); **A Prediction Model for Landslips**, Catena, 3: 215-230.

Ohmori, H. & T. Sugai (1995); **Toward Geomorphometric Models for Estimating Landslide Dynamics and Forecasting Landslide Occurrence in Japanese Mountains**. Z. Geomorph, N.F. Suppl, Bd.: 101-149.

Stevenson, P.C. (1977); **An Empirical Method for the Evaluation of Relative Landslide Risk**, Bulletin International Association of Engineering Geologists, No.16: 69-72.

Van Westen, C.J. (1993); **Remote Sensing and GIS for Geological Hazard Mitigation**, Anniversary Address at the 43 Dies Natalis of ITC, Enschede, 17 December 1993, ITC-Journal 1993-4: 393-399.

- Van Westen, C.J., et al (1997); **Prediction of the Occurrence of Slope Instability Phenomena Through GIS-Based Hazard Zonation**, Geologisches Rundschau (1997) 86: 404-414.
- Van Westen, C.J & R. Soeters (1998); **Geographic Information Systems in Slope Instability Zonation, Workshop on GIS in Landslide Hazard**, ITC Press, Netherlands.
- Varnes, D.J (1984); **Landslide Hazard Zonation: a Review of Principles and Practice Commission on Landslide of the IAEG, UNESCO**, Natural Hazards No.3.
- Ward, T.J & et al. (1982); **Use of a Mathematical Model for Estimating Potential Landslide Sites in Steep Forested Drainage Basins,** In: R .T. H. Davidesand, A. J. Pierce (Editors), Erosion and Sedimentation in the Pacific Rim Steeplands. IAHS Publ. No 32:21-41.
- Wieczorek, G.F. (1984); **Preparing a Detailed-Inventory Map for Hazard Evaluation and Reduction**, Bull. Ass. Eng. Geol. Vol. 21, No.3: 337-342.
- Wright, R.H & Nilson. T.H (1974); **Isopleth Map of Landslide Deposits, Southern San Francisco Bay Region, California**. US. Geological field Studies Map Mf-550.
- Yin, K.L & Yan, T.Z (1988); **Statistical Prediction Model for Slope Instability of Metamorphosed Rocks**. Proceedings of the 5th International Symposium on Landslides, Lausanne, Switzerland, Vol. 2: 1269-1272.