

حرکات دامنه‌ای (حرکات توده‌ای)  
با تأکید بر  
روشهای کمی تحلیل وقوع زمین لغزش

دکتر حمیدرضا مرادی  
مجتبی محمدی  
حمیدرضا یورقاسمی

تهران

۱۳۹۱



سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاهها (سمت)  
مرکز تحقیق و توسعه علوم انسانی سمت

سرشناسه: مرادی، حمیدرضا، ۱۳۴۰-  
عنوان و نام پدیدآور: حرکات دامنه‌ای (حرکات توده‌ای) با تأکید بر روشهای کمی تحلیل وقوع زمین‌لغزش / حمیدرضا مرادی، مجید محمدی، حمیدرضا پورقاسمی.  
مشخصات نشر: تهران: سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاهها (سمت)، مرکز تحقیق و توسعه علوم انسانی، ۱۳۹۱.  
مشخصات ظاهری: چهارده، ۲۰۹ ص.: مصور (بخشی رنگی)، جدول، نمودار.  
فروست: «سمت»: ۱۶۰۹. جغرافیا؛ ۹۲.  
شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۵۳۰-۷۸۵-۹ ۵۰۰۰۰ ریال.  
وضعیت فهرست‌نویسی: فیبا

یادداشت: بیست جلد به انگلیسی: Hamid Reza Moradi, Majid Mohammadi, Hamid Reza Pourghasemi. Mass Movements with Emphasis to Landslide Occur Analysis by Quantitative Methods

یادداشت: واژه‌نامه  
یادداشت: کتابخانه: ص. ۲۰۰-۱۹۰  
یادداشت: نمایه  
موضوع: حرکت توده‌ای خاک.  
موضوع: زمین‌لغزه.  
شناسه افزوده: محمدی، مجید، ۱۳۶۱-  
شناسه افزوده: پورقاسمی، حمیدرضا، ۱۳۶۰-  
شناسه افزوده: سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاهها (سمت)، مرکز تحقیق و توسعه علوم انسانی.  
رده‌بندی کنگره: ۱۳۹۱ ح ۴ م ۴/۲۱۸/۵۱۸ QZ  
رده‌بندی دیویی: ۵۵۱/۳  
شماره کتابشناسی ملی: ۲۹۱۲۰۱۸

سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاهها (سمت)



مرکز تحقیق و توسعه علوم انسانی

حرکات دامنه‌ای (حرکات توده‌ای) با تأکید بر روشهای کمی تحلیل وقوع زمین‌لغزش  
دکتر حمیدرضا مرادی، مجید محمدی و حمیدرضا پورقاسمی

چاپ اول: پاییز ۱۳۹۱

تعداد: ۱۰۰۰

حروفچینی و لیتوگرافی: «سمت»

چاپ و صحافی: پورروشن

قیمت: ۵۰۰۰۰ ریال. در این نوبت چاپ قیمت مذکور ثابت است و فروشنده‌گان و عوامل توزیع مجاز به تغییر آن نیستند.

نشانی ساختمان مرکزی: تهران، بزرگراه جلال آل احمد، غرب پل یادگار امام (ره)، روبه‌روی پمپ گاز، کد پستی ۱۴۶۳۶، تلفن ۰۲-۴۴۲۴۶۲۵۰.

www.samt.ac.ir

info@samt.ac.ir

هر شخص حقیقی یا حقوقی که تمام یا قسمتی از این اثر را بدون اجازه ناشر یا مؤلف، نشر یا پخش یا عرضه یا تکثیر یا تجدید چاپ نماید، مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت.

## سخن «سمت»

یکی از اهداف مهم انقلاب فرهنگی، ایجاد دگرگونی اساسی در دروس علوم انسانی دانشگاهها بوده است و این امر، مستلزم بازنگری منابع درسی موجود و تدوین منابع مبنایی و علمی معتبر و مستند با در نظر گرفتن دیدگاه اسلامی در مبنایی و مسائل این علوم است.

ستاد انقلاب فرهنگی در این زمینه گامهایی برداشته بود، اما اهمیت موضوع اقتضا می کرد که سازمانی مخصوص این کار تأسیس شود و شورای عالی انقلاب فرهنگی در تاریخ ۲۳/۱۲/۷ تأسیس «سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاهها» را که به اختصار «سمت» نامیده می شود، تصویب کرد.

بنابراین، هدف سازمان این است که با استمداد از عنایت خداوند و همت و همکاری دانشمندان و استادان متعهد و دلسوز، به مطالعات و تحقیقات لازم بپردازد و در هر کدام از رشته های علوم انسانی به تألیف و ترجمه منابع درسی اصلی، فرعی و جنبی اقدام کند.

دشواری چنین کاری بر دانشمندان و صاحب نظران پوشیده نیست و به همین جهت مرحله کمال مطلوب آن، باید به تدریج و پس از انتقادهای یادآورهای پیاپی ارباب نظر به دست آید و انتظار دارد که این بزرگواران از این همکاری دریغ نورزند. کتاب حاضر برای دانشجویان رشته جغرافیای طبیعی (گرایش ژئومورفولوژی) و رشته آبخیزداری در مقطع کارشناسی ارشد به عنوان منبع اصلی درس «حرکات توده های زمین»، به ارزش ۲ واحد تدوین شده است. امید است که علاوه بر جامعه دانشگاهی، سایر علاقه مندان نیز از آن بهره مند شوند.

از استادان و صاحب نظران ارجمند تقاضا می شود با همکاری، راهنمایی و پیشنهادهای اصلاحی خود، این سازمان را در جهت اصلاح کتاب حاضر و تدوین دیگر آثار مورد نیاز جامعه دانشگاهی جمهوری اسلامی ایران یاری دهند.

## فهرست مطالب

| صفحه   | عنوان                                       |
|--------|---------------------------------------------|
| نه     | فهرست جدولها                                |
| دوازده | فهرست شکلها                                 |
| ۱      | پیشگفتار                                    |
| ۳      | مقدمه                                       |
| ۹      | فصل اول: انواع حرکات توده‌ای                |
| ۹      | طبقه‌بندی حرکات توده‌ای از دیدگاه‌های مختلف |
| ۱۸     | ۱. ریزش                                     |
| ۲۱     | ۲. واژگونی                                  |
| ۲۲     | ۳. روانه (جریان)                            |
| ۲۳     | ۴. گسترش جانبی                              |
| ۲۴     | ۵. زمین لغزش                                |
| ۲۷     | ۶. روانه گلی                                |
| ۲۷     | ۷. خزش                                      |
| ۲۹     | ۸. واریزه                                   |
| ۳۰     | مقایسه سرعت انواع حرکات توده‌ای             |
| ۳۲     | فصل دوم: پیکرشناسی زمین لغزش                |
| ۳۲     | پیکرشناسی لغزش                              |
| ۳۳     | ۱. تاج                                      |
| ۳۳     | ۲. پرتگاه انفصالی لغزش                      |
| ۳۳     | ۳. افتگاه فرعی                              |
| ۳۴     | ۴. توده اصلی                                |

|    |                                                    |
|----|----------------------------------------------------|
| ۳۵ | ۵. پای لغزش                                        |
| ۳۵ | ۶. رأس لغزش                                        |
| ۳۶ | ۷. پیشانی توده لغزش                                |
| ۳۶ | ۸. سطح لغزش                                        |
| ۳۷ | ۹. پنجه سطح گسیختگی                                |
| ۳۷ | ۱۰. سطح گسیختگی                                    |
| ۳۷ | ۱۱. توده لغزشی                                     |
| ۳۷ | ۱۲. حفره لغزش (حفره انفصالی)                       |
| ۳۷ | ۱۳. پهنه انباشت                                    |
| ۳۷ | ۱۴. فضای تهی شده                                   |
| ۳۷ | ۱۵. قله                                            |
| ۳۹ | ۱۶. پهلوی لغزش                                     |
| ۳۹ | ۱۷. ابعاد لغزش                                     |
| ۴۱ | فصل سوم: بررسی عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش        |
| ۴۱ | عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش                       |
| ۴۱ | ۱. کاهش مقاومت برشی مواد                           |
| ۴۲ | ۲. افزایش وزن توده مواد در بالادست گسیختگی         |
| ۴۲ | ۳. کاهش وزن توده مواد در پایین دست گسیختگی         |
| ۴۷ | اولویت بندی عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش           |
| ۴۸ | روش رگرسیون                                        |
| ۴۹ | روش تحلیل سلسله مراتبی                             |
| ۵۳ | فصل چهارم: تحلیل وقوع زمین لغزش                    |
| ۵۳ | اصطلاحات مورد استفاده در مورد تحلیل وقوع زمین لغزش |
| ۵۸ | مقیاس پهنه بندی                                    |
| ۵۹ | بعضی از روشهای مورد استفاده در پهنه بندی           |
| ۵۹ | روش استیونس                                        |
| ۶۱ | روش نیلسن و برابر                                  |

|     |                                                           |
|-----|-----------------------------------------------------------|
| ۶۱  | روش آنبالاگان                                             |
| ۶۵  | روش فرمانداری کاناگوا در ژاپن (۱۹۹۳)                      |
| ۶۵  | مدل مورا - وارسون                                         |
| ۷۰  | مدل حائری - سمیعی                                         |
| ۷۶  | مدل پاچوری و پنت                                          |
| ۷۸  | مدل ارزش اطلاعات                                          |
| ۷۸  | مدل تراکم سطح                                             |
| ۷۹  | مدل فاکتور اطمینان                                        |
| ۸۱  | مدل فرایند تحلیل سلسله مراتبی                             |
| ۸۱  | منطق فازی                                                 |
| ۹۱  | تهیه نقشه وقوع زمین لغزش با استفاده از منطق فازی          |
| ۹۸  | رگرسیون لجستیک                                            |
| ۱۰۰ | شبکه عصبی مصنوعی                                          |
| ۱۱۲ | شبکه‌های تصمیم بیزین                                      |
| ۱۱۸ | درخت تصمیم‌گیری                                           |
| ۱۲۶ | ارزیابی نقشه پهنه‌بندی زمین لغزش                          |
| ۱۲۹ | فصل پنجم: پایدارسازی حرکات توده‌ای                        |
| ۱۳۰ | اصول کلی در پایدارسازی حرکات توده‌ای                      |
| ۱۳۲ | روشهای مکانیکی در کنترل ناپایداریه‌ای دامنه‌ای            |
| ۱۴۲ | روشهای بیولوژیک در کنترل ناپایداریه‌ای دامنه‌ای           |
| ۱۴۸ | فصل ششم: مطالعه لغزش با استفاده از نرم افزارهای رایانه‌ای |
| ۱۴۸ | نرم افزار ILWIS                                           |
| ۱۴۸ | نحوه نصب نرم افزار                                        |
| ۱۵۰ | آیکونهای اصلی نرم افزار                                   |
| ۱۵۰ | مختصات نقشه                                               |
| ۱۵۰ | وارد کردن نقشه اسکن شده به نرم افزار                      |
| ۱۵۱ | ساختن سامانه مختصات جهانی (UTM)                           |

|     |                                                           |
|-----|-----------------------------------------------------------|
| ۱۵۲ | تبدیل طول و عرض جغرافیایی به UTM                          |
| ۱۵۳ | زمین مرجع کردن                                            |
| ۱۵۴ | رقومی کردن نقشه داده‌های نقطه‌ای (مثال: نقشه زمین لغزشها) |
| ۱۵۶ | رقومی کردن خطوط منحنی تراز                                |
| ۱۵۸ | رقومی کردن نقشه آبراهه و گسل                              |
| ۱۵۹ | تهیه نقشه مدل رقومی ارتفاع (DEM)                          |
| ۱۶۰ | رقومی و دستری کردن نقشه نقطه‌ای                           |
| ۱۶۱ | تهیه نقشه طبقات ارتفاعی                                   |
| ۱۶۲ | تهیه نقشه شیب                                             |
| ۱۶۳ | فیلتر کردن نقشه                                           |
| ۱۶۴ | نقشه جهت شیب                                              |
| ۱۶۶ | تهیه نقشه‌های چندضلعی با پلی گونی                         |
| ۱۶۷ | مراحل تهیه نقشه حریم                                      |
| ۱۶۸ | مشاهده مشخصه‌های آماری یک نقشه (مساحت، محیط و غیره)       |
| ۱۶۸ | اضافه کردن داده‌های جدید و وزن‌دهی به نقشه                |
| ۱۷۰ | تلفیق نقشه‌ها                                             |
| ۱۷۰ | جمع کردن وزن نقشه‌ها با یکدیگر                            |
| ۱۷۱ | خروجی گرفتن                                               |
| ۱۷۲ | نرم افزار EXPERT CHOICE                                   |
| ۱۷۳ | مقایسه‌های زوجی در نرم افزار EXPERT CHOICE                |
| ۱۷۵ | معرفی مدول منطق فازی در نرم افزار IDRISI KILIMANJARO      |
| ۱۷۶ | روش نصب نرم افزار                                         |
| ۱۷۶ | مراحل فازی سازی                                           |
| ۱۸۳ | پیوست                                                     |
| ۱۹۰ | منابع                                                     |
| ۲۰۱ | واژه نامه                                                 |
| ۲۰۴ | نمایه                                                     |

## فهرست جدولها

| صفحه | عنوان                                                                        |
|------|------------------------------------------------------------------------------|
| ۴    | جدول ۱: مثالهایی از حرکات توده‌ای بزرگ و تعداد مرگ و میر ناشی از آنها        |
| ۶    | جدول ۲: گزارش جمع‌بندی اطلاعات و خسارات مربوط به ...                         |
| ۱۲   | جدول ۱-۱: طبقه‌بندی حرکات توده‌ای                                            |
| ۱۴   | جدول ۱-۲: طبقه‌بندی انواع حرکات توده‌ای                                      |
| ۱۵   | جدول ۱-۳: طبقه‌بندی حرکات توده‌ای                                            |
| ۱۷   | جدول ۱-۴: طبقه‌بندی انواع حرکات توده‌ای                                      |
| ۱۷   | جدول ۱-۵: طبقه‌بندی حرکات توده‌ای بر اساس مقیاس سرعت                         |
| ۱۸   | جدول ۱-۶: انواع حرکات توده‌ای                                                |
| ۲۳   | جدول ۱-۷: تقسیم‌بندی انواع مختلف جریان                                       |
| ۴۳   | جدول ۳-۱: عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش                                       |
| ۴۴   | جدول ۳-۲: عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش (شرستا)                               |
| ۴۵   | جدول ۳-۳: عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش                                       |
| ۵۰   | جدول ۳-۴: مقادیر ترجیحات و قضاوت کازشناسی                                    |
| ۵۱   | جدول ۳-۵: ماتریس وزن‌دهی به معیارها در بخشی از حوزه آبخیز هرا                |
| ۵۶   | جدول ۴-۱: طبقه‌بندی زمین لغزشها از نظر بزرگی                                 |
| ۵۷   | جدول ۴-۲: طبقه‌بندی احتمالی زمین لغزش (P)                                    |
| ۵۷   | جدول ۴-۳: طبقه‌بندی خطر زمین لغزش ( $H = M \times P$ )                       |
| ۵۷   | جدول ۴-۴: طبقه‌بندی حساسیت زمین لغزش برای تلفات مالی (V)                     |
| ۵۷   | جدول ۴-۵: طبقه‌بندی ریسک ویژه (SR)                                           |
| ۵۹   | جدول ۴-۶: روشهای تحلیل پایداری و ارتباط آنها با مقیاس نقشه                   |
| ۶۰   | جدول ۴-۷: عوامل مؤثر در برآورد خطر زمین لغزش به روش استیونس و نحوه امتیازدهی |
| ۶۱   | جدول ۴-۸: پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل نیلسن                    |
| ۶۲   | جدول ۴-۹: پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل نیلسن اصلاح شده          |

|     |                                                                                |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------|
| ۶۲  | جدول ۴-۱۰ پیشینه وزنه‌های مربوط به هر یک از عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش منطقه |
| ۶۲  | جدول ۴-۱۱ پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش آنبالاگان                  |
| ۶۳  | جدول ۴-۱۲ تعیین وزن مربوط به هر یک از عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش ...         |
| ۶۶  | جدول ۴-۱۳ عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش و وزنه‌های مربوط به آن در ...           |
| ۶۷  | جدول ۴-۱۴ برآورد استعداد وقوع زمین لغزش در هر یک از واحدهای شبکه‌ای            |
| ۶۷  | جدول ۴-۱۵ پستی و بلندی نسبی در افزایش استعداد بروز زمین لغزش                   |
| ۶۸  | جدول ۴-۱۶ رده‌بندی لیتولوژی از نظر مقاومت در برابر زمین لغزش                   |
| ۶۹  | جدول ۴-۱۷ رده‌بندی میانگین بارندگی ماهانه                                      |
| ۶۹  | جدول ۴-۱۸ میزان انباشتی میانگین بارندگی ماهانه در ناپایداری دامنه‌ها           |
| ۶۹  | جدول ۴-۱۹ تأثیر شدت زمین لرزه به عنوان یک عامل محرک در ایجاد زمین لغزش         |
| ۷۰  | جدول ۴-۲۰ تأثیر شدت بارندگی در ایجاد زمین لغزش                                 |
| ۷۰  | جدول ۴-۲۱ طبقه‌بندی پتانسیل خطر زمین لغزش                                      |
| ۷۲  | جدول ۴-۲۲ رده‌بندی سنگها از نظر مقاومت در برابر زمین لغزش                      |
| ۷۲  | جدول ۴-۲۳ تأثیر زاویه شیب در افزایش ناپایداری دامنه                            |
| ۷۳  | جدول ۴-۲۴ تأثیر طول گسل در افزایش ناپایداری دامنه‌ها در واحد شبکه ...          |
| ۷۳  | جدول ۴-۲۵ تأثیر طول گسل در افزایش ناپایداری دامنه‌ها در واحد شبکه ...          |
| ۷۳  | جدول ۴-۲۶ تأثیر طول رودخانه و راه در ناپایداری دامنه‌ها در هر واحد شبکه ...    |
| ۷۴  | جدول ۴-۲۷ تأثیر طول رودخانه و راه در ناپایداری دامنه‌ها در هر واحد شبکه ...    |
| ۷۴  | جدول ۴-۲۸ رده‌بندی میانگین بارندگی ماهانه                                      |
| ۷۴  | جدول ۴-۲۹ میزان انباشتی میانگین بارندگی ماهانه در ناپایداری دامنه‌ها           |
| ۷۵  | جدول ۴-۳۰ شدت بارندگی در ایجاد زمین لغزش                                       |
| ۷۵  | جدول ۴-۳۱ خطر نسبی زمین لرزه در ایجاد زمین لغزش                                |
| ۷۶  | جدول ۴-۳۲ ضرایب نسبی C در استان مازندران                                       |
| ۷۶  | جدول ۴-۳۳ طبقه‌بندی پتانسیل خطر نسبی زمین لغزش مشتق شده از معادله کلی مدل      |
| ۷۷  | جدول ۴-۳۴ سامانه وزن‌دهی به هر یک از عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش              |
| ۱۱۷ | جدول ۴-۳۵ چهار حالت پتانسیل ایجاد زمین لغزش                                    |
| ۱۴۴ | جدول ۵-۱ بررسی تأثیرات پوشش گیاهی بر حرکات دامنه‌ای                            |
| ۱۴۵ | جدول ۵-۲ معرفی گونه‌های مختلف و شرایط آنها در کنترل ناپایداریها                |
| ۱۴۶ | جدول ۵-۳ وظایف و کمیت‌های پوشش گیاهی                                           |

|     |                                                                      |
|-----|----------------------------------------------------------------------|
| ۱۴۶ | جدول ۵-۴ مزایا و معایب انواع مختلف پوشش گیاهی                        |
| ۱۶۵ | جدول ۶-۱ تعیین حد بالا برای تهیه نقشه شیب با آن جهت                  |
| ۱۶۶ | جدول ۶-۲ تعیین حد بالا برای تهیه نقشه شیب با پنج طبقه                |
| ۱۶۹ | جدول ۶-۳ وزن به دست آمده از مدلهای پهنه‌بندی زمین لغزش برای عامل شیب |
| ۱۷۳ | جدول ۶-۴ مثالی از ماتریس مقایسه‌های زوجی                             |

www.ketab.ir

## فهرست شکلها

| صفحه | عنوان                                                        |
|------|--------------------------------------------------------------|
| ۵    | شکل ۱ تعداد کشته شدگان زمین لغزش در دنیا طی سالهای ۱۹۰۳-۲۰۰۴ |
| ۵    | شکل ۲ هزینه خسارات زمین لغزش در دنیا طی سالهای ۱۹۰۳-۲۰۰۴     |
| ۱۱   | شکل ۱-۱ طبقه بندی انواع حرکات توده ای                        |
| ۱۳   | شکل ۱-۲ جریان - واریزه                                       |
| ۱۳   | شکل ۱-۳ لغزش - واریزه                                        |
| ۱۴   | شکل ۱-۴ جریان - اسلامب                                       |
| ۱۶   | شکل ۱-۵ طبقه بندی انواع حرکات دامنه ای بر اساس نوع حرکت      |
| ۱۹   | شکل ۱-۶ نمایی از ریزشهای مشاهده شده در جاده هراز             |
| ۲۰   | شکل ۱-۷ انواع ریزش روی دامنه                                 |
| ۲۰   | شکل ۱-۸ نسبت بین فاصله افقی و عمودی شکل ریزش                 |
| ۲۱   | شکل ۱-۹ نمایی از واژگونی و طرح گرافیکی آن                    |
| ۲۲   | شکل ۱-۱۰ نمونه ای از طرح گرافیکی یک روانه (جریان)            |
| ۲۴   | شکل ۱-۱۱ نمایی از گسترش جانبی و طرح گرافیکی آن               |
| ۲۵   | شکل ۱-۱۲ نمایی از لغزش                                       |
| ۲۶   | شکل ۱-۱۳ لغزش چرخشی (الف) و لغزش انتقالی (ب)                 |
| ۲۶   | شکل ۱-۱۴ لغزش چرخشی مکرر (الف) و لغزش چرخشی متوالی (ب)       |
| ۲۸   | شکل ۱-۱۵ نمایی از یک روانه گلی (کیلومتر ۶۵ جاده هراز)        |
| ۲۹   | شکل ۱-۱۶ پدیده خزش و آثار آن                                 |
| ۳۰   | شکل ۱-۱۷ نمایی از واریزه در جاده هراز                        |
| ۳۱   | شکل ۱-۱۸ سرعت انواع حرکات توده ای                            |
| ۳۳   | شکل ۲-۱ نمایی از تاج یک زمین لغزش                            |
| ۳۴   | شکل ۲-۲ نمایی از پرتگاه انفصالی و فرعی                       |
| ۳۵   | شکل ۲-۳ نمایی از توده اصلی و پای لغزش                        |
| ۳۶   | شکل ۲-۴ نمایی از نوک و پنجه لغزش                             |
| ۳۸   | شکل ۲-۵ اجزاء یک زمین لغزش                                   |

|     |                                                                             |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------|
| ۳۹  | شکل ۲-۶ ابعاد لغزش                                                          |
| ۴۲  | شکل ۳-۱ مقطع خاک                                                            |
| ۴۷  | شکل ۳-۲ میزان تأثیر عوامل مختلف بر وقوع زمین لغزش                           |
| ۵۲  | شکل ۳-۳ وزن هر یک از فاکتورهای مؤثر در خروجی نرم افزار EXPERT CHOICE در ... |
| ۵۶  | شکل ۴-۱ طرح ارائه شده برای خطر، آسیب پذیری و ریسک                           |
| ۸۰  | شکل ۴-۲ شماییک مراحل انجام مدل فاکتور اطمینان                               |
| ۸۳  | شکل ۴-۳ ارتباط بین پیچیدگی یک سامانه و دقت مدل                              |
| ۸۴  | شکل ۴-۴ مقایسه مجموعه کلاسیک (الف) و مجموعه فازی (ب)                        |
| ۸۶  | شکل ۴-۵ توابع عضویت فازی در مقابل تابع عضویت بولین                          |
| ۸۸  | شکل ۴-۶ تابع عضویت User-defined                                             |
| ۹۰  | شکل ۴-۷ ساختار اصلی سامانه های فازی خالص                                    |
| ۹۱  | شکل ۴-۸ ساختار اصلی سامانه های فازی TSK                                     |
| ۹۱  | شکل ۴-۹ ساختار اصلی سامانه های فازی با فازی ساز و غیر فازی ساز              |
| ۹۵  | شکل ۴-۱۰ منحنی ایدئال $\pi$                                                 |
| ۹۷  | شکل ۴-۱۱ منوی FIS در محیط برنامه MATLAB جهت معرفی هشت پارامتر ...           |
| ۱۰۲ | شکل ۴-۱۲ ساختار شبکه عصبی مصنوعی جهت دسته بندی خطر زمین لغزش                |
| ۱۱۱ | شکل ۴-۱۳ کاهش خطا در طول مرحله آموزش                                        |
| ۱۱۹ | شکل ۴-۱۴ طرح کلی به کارگیری مدل ارزیابی چندمعیاره مکانی مبتنی بر ...        |
| ۱۲۰ | شکل ۴-۱۵ نحوه ورود هر یک از عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش به سیستم SMCE      |
| ۱۲۱ | شکل ۴-۱۶ فلوچارت درخت تصمیم گیری پهنه بندی حساسیت زمین لغزش                 |
| ۱۲۲ | شکل ۴-۱۷ نقشه عامل انسانی مؤثر بر وقوع زمین لغزش و زیرمعیارهای آن           |
| ۱۲۳ | شکل ۴-۱۸ نقشه عامل هیدرولوژی مؤثر بر وقوع زمین لغزش و زیرمعیار آن           |
| ۱۲۴ | شکل ۴-۱۹ نقشه عامل ژئومورفولوژی مؤثر بر وقوع زمین لغزش و زیرمعیارهای آن     |
| ۱۲۵ | شکل ۴-۲۰ نقشه پهنه بندی حساسیت زمین لغزش منطقه مورد مطالعه با ...           |
| ۱۳۳ | شکل ۵-۱ پایدارسازی دامنه ها به وسیله کاهش شیب                               |
| ۱۳۷ | شکل ۵-۲ زهکشیهای جمع کننده آب                                               |
| ۱۴۰ | شکل ۵-۳ زهکشی از پشت دیواره نگهدارنده                                       |
| ۱۴۲ | شکل ۵-۴ نمونه ای از شبکه های توری در جاده هراز                              |
| ۱۵۱ | شکل ۶-۱ مسیر فراخوانی نقشه اسکن شده به نرم افزار                            |
| ۱۵۲ | شکل ۶-۲ مراحل ساخت سامانه مختصات جهانی                                      |

|     |                                                                          |
|-----|--------------------------------------------------------------------------|
| ۱۵۳ | شکل ۶-۳ تبدیل طول و عرض جغرافیایی به مختصات جهانی                        |
| ۱۵۴ | شکل ۶-۴ زمین مرجع کردن نقشه                                              |
| ۱۵۵ | شکل ۶-۵ رقومی کردن نقشه نقطه‌ای                                          |
| ۱۵۶ | شکل ۶-۶ رقومی کردن خطوط تراز منحنی                                       |
| ۱۵۷ | شکل ۶-۷ ایجاد پنجره Create Domain                                        |
| ۱۵۸ | شکل ۶-۸ رقومی کردن نقشه عناصر خطی آبراهه و گسل                           |
| ۱۵۹ | شکل ۶-۹ تهیه نقشه مدل رقومی ارتفاع                                       |
| ۱۶۱ | شکل ۶-۱۰ رقومی کردن نقشه‌های نقطه‌ای                                     |
| ۱۶۲ | شکل ۶-۱۱ تهیه نقشه طبقات ارتفاعی                                         |
| ۱۶۳ | شکل ۶-۱۲ تهیه نقشه شیب در راستای محور x                                  |
| ۱۶۴ | شکل ۶-۱۳ فیلترسازی نقشه‌های تهیه شده                                     |
| ۱۶۷ | شکل ۶-۱۴ تهیه نقشه پلی‌گونی                                              |
| ۱۶۸ | شکل ۶-۱۵ مشخصه‌های آماری نقشه شیب                                        |
| ۱۶۹ | شکل ۶-۱۶ چگونگی اعمال وزن هر یک از طبقه‌های عامل شیب به ...              |
| ۱۷۰ | شکل ۶-۱۷ مراحل تلفیق نقشه‌های عامل                                       |
| ۱۷۲ | شکل ۶-۱۸ مراحل استخراج نقشه نهایی                                        |
| ۱۷۳ | شکل ۶-۱۹ تعیین تابع هدف در نرم‌افزار EXPERT CHOICE                       |
| ۱۷۴ | شکل ۶-۲۰ چگونگی اعمال وزنهای مربوط به هر یک از عوامل تأثیرگذار در ...    |
| ۱۷۵ | شکل ۶-۲۱ خروجی مربوط به نرم‌افزار EXPERT CHOICE                          |
| ۱۷۷ | شکل ۶-۲۲ فراخوانی نقشه مورد نظر در نرم‌افزار IDRISI                      |
| ۱۷۸ | شکل ۶-۲۳ نمایش مراحل فازی‌سازی                                           |
| ۱۷۸ | شکل ۶-۲۴ انتخاب تابع عضویت فازی سینوسی (S شکل)                           |
| ۱۷۹ | شکل ۶-۲۵ انتخاب نقشه مورد نظر جهت فازی‌سازی با تابع عضویت سینوسی (S شکل) |
| ۱۷۹ | شکل ۶-۲۶ خروجی نقشه فازی شده با تابع عضویت سینوسی (S شکل)                |
| ۱۸۰ | شکل ۶-۲۷ انتخاب نقشه مورد نظر جهت فازی‌سازی با تابع عضویت فازی خطی       |
| ۱۸۰ | شکل ۶-۲۸ خروجی نقشه فازی شده با تابع عضویت خطی                           |
| ۱۸۱ | شکل ۶-۲۹ انتخاب نقشه مورد نظر جهت فازی‌سازی با تابع عضویت فازی L شکل     |
| ۱۸۱ | شکل ۶-۳۰ خروجی نقشه فازی شده با تابع عضویت L شکل                         |
| ۱۸۲ | شکل ۶-۳۱ انتخاب نقشه مورد نظر جهت فازی‌سازی با تابع عضویت فازی ...       |
| ۱۸۲ | شکل ۶-۳۲ خروجی نقشه فازی شده با تابع عضویت تعریف کاربر (User defined)    |

## پیشگفتار

امروزه استفاده بیش از حد از منابع موجود به دلیل رشد جمعیت و افزایش تقاضا به مشکلی بزرگ تبدیل شده است. بسیاری از منابع موجود مانند آب و خاک تجدیدپذیر نبوده و اگر باشند نیاز به زمان طولانی برای تجدید دارند که متأسفانه با روند افزایشی تخریب، جین فرصتی برای منابع تأمین نمی‌شود. حرکات توده‌ای که به موجب آن هر ساله حجم زیادی از منابع از دسترس خارج می‌شود یکی از پدیده‌هایی است که متأسفانه به آن توجه جدی نمی‌شود. مطالعات اجرایی مربوط به حرکات توده‌ای و مدیریت آن اغلب بعد از وقوع این پدیده صورت می‌گیرد که معمولاً کمک چندانی به کاهش خسارات آن نمی‌کند. مطالعات پژوهشی نیز معطوف به کارهایی می‌شود که اول آنکه نتایج آن در دسترس همگان نیست و دوم آنکه خیلی کم به مرحله اجرا می‌رسد. حتی در تفکیک انواع حرکات نیز بسیاری از کارشناسان با توجه به طبقه‌بندیهای مختلفی که از این حرکات وجود دارد دچار سردرگمی می‌شوند. در کتاب حاضر سعی بر این است که حرکات توده‌ای قبل از هر چیز مورد شناسایی و در مراحل بعد عوامل ایجادکننده و تحلیل خطر این پدیده مورد بحث قرار گیرد. در این مجموعه علاوه بر مطالعات و پژوهشهای اینجانبان در زمینه حرکات توده‌ای، مطالعات دیگر در کشور و سایر نقاط دنیا مورد بحث قرار گرفته است. امید است با چاپ این کتاب بتوانیم گامی کوچک در کاهش تخریب منابع برداریم و سهمی هر چند کوچک در پیشرفت علم و آبادانی کشور عزیزمان داشته باشیم. کتاب شامل مباحث ذیل است:

در مقدمه کلیات و تاریخچه‌ای از وقوع حرکات توده‌ای در جهان و ایران، میزان خسارات مالی و جانی و مناطق مستعد وقوع این پدیده بیان می‌شود. در فصل

اول انواع حرکات توده‌ای و تعاریف آنها از دیدگاههای مختلف بررسی می‌شود. در فصل دوم به بررسی زمین‌لغزش به عنوان مهم‌ترین نوع حرکت توده‌ای در ایران و ریخت‌شناسی آن می‌پردازیم. در فصل سوم عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش مورد تحلیل قرار می‌گیرد. در فصل چهارم روشهای مطالعه و آنالیز وقوع زمین‌لغزش شرح داده می‌شود. در فصل پنجم پایدارسازی حرکات توده‌ای و در فصل ششم نرم‌افزارهای مورد استفاده در مطالعات زمین‌لغزش و نحوه کار با این نرم‌افزارها شرح داده می‌شود. با توجه به اینکه چاپ هر اثر علمی خالی از اشکال و کاستی نیست، بنابراین صمیمانه از خوانندگان محترم، به ویژه استادان و دانشجویان تقاضا داریم در صورت تمایل ما را از نظریات و پیشنهادات خود بی‌بهره نگذارند و ما را در ارتقای مطالب این اثر یاری دهند.

دکتر حمیدرضا مرادی

تابستان ۱۳۸۹

## مقدمه

انسان با مسائل زیست محیطی فراوانی مواجه است. بلایای طبیعی جزئی از این مشکلات هستند. بلایای طبیعی سالانه موجب کشته و مجروح شدن صدها هزار تن و بی خانمان شدن میلیون‌ها نفر در سراسر جهان می‌شود (محمدی، ۱۳۸۶: ۱). حرکات توده‌ای<sup>۱</sup> و به ویژه زمین لرزه<sup>۲</sup> یکی از مهم‌ترین بلایای طبیعی است که وجود عواملی از قبیل مستعد بودن ناآزمودنیها از نظر منشأ ساختمانی و دینامیک، قطع درختان و بهره‌برداریهایی رویه از جنگلها، رعایت نکردن اصول فنی و نگهداری جاده‌های جنگلی و روستایی، اعمال نکردن مدیریت صحیح و بهره‌برداری غیر اصولی از منابع موجود باعث تشدید آن شده است (شادفر و همکاران، ۱۳۸۴: ۶۳). حرکات توده‌ای اصطلاحی است که دربرگیرنده کلیه انواع حرکات دامنه‌ای است و عموماً به کلیه رویدادهایی گفته می‌شود که در اثر نابرداری در دامنه‌ها اتفاق می‌افتد و سبب جابه‌جایی توده‌ای از مواد در طول دامنه می‌شود. این اصطلاح دربرگیرنده فرایندهایی است که به حرکت توده‌ای از مواد رسوبی، سنگ، خاک یا ترکیبی از آنها به سمت پایین دامنه منجر می‌شود. حرکات توده‌ای هر ساله در بسیاری از مناطق دنیا سبب کشته شدن افراد زیادی می‌شود. نمونه‌ای از لغزشهای بزرگ و مرگ‌ومیر ناشی از آنها در جدول ۱ نشان داده شده است.

بررسی آمار کشته‌شدگان ناشی از حرکات توده‌ای نشان می‌دهد که قاره امریکا بیشترین آمار تلفات را به خود اختصاص داده است (شکل ۱). از نظر خسارت مالی حاصل از زمین لغزش نیز اروپا در رتبه اول قرار دارد (شکل ۲).

---

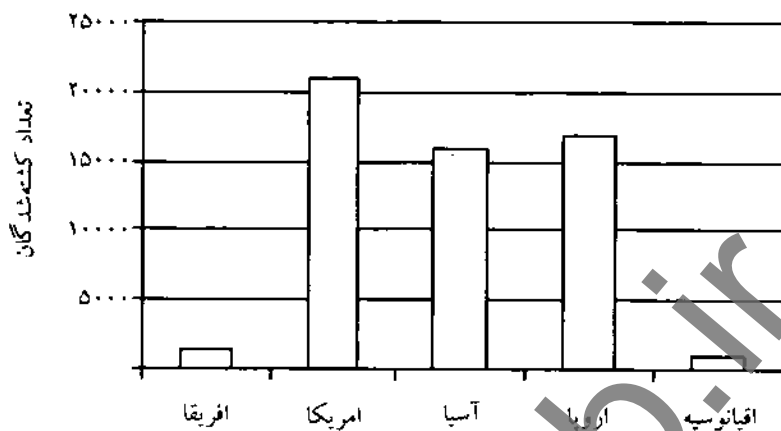
1. mass movement  
2. landslide

جدول ۱. مثالهایی از حرکات توده‌ای بزرگ و تعداد مرگ و میر (نفر) همکاران، (۱۳۷۳)

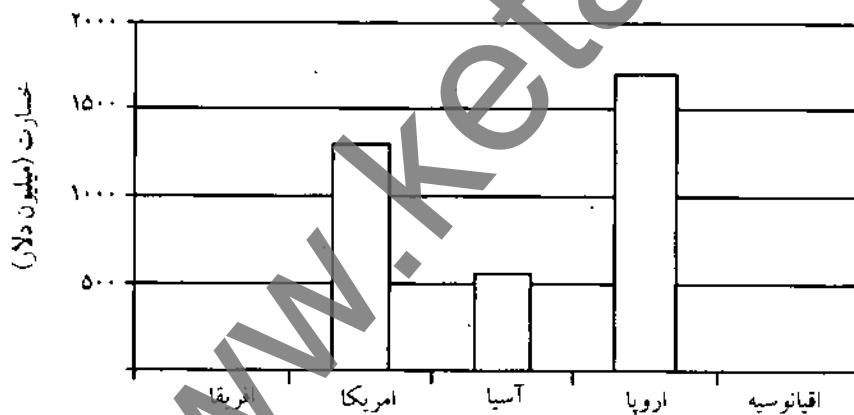
| زمان وقوع | کشور     | تعداد مرگ و میر (نفر) | توضیحات                                                                         |
|-----------|----------|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| ۱۵۸۴      | فرانسه   | ۳۰۰                   | زمین لغزه موجب تخریب شهر رن گردید.                                              |
| ۱۷۴۱      | امریکا   | ۲۲                    | لغزش سنگ                                                                        |
| ۱۸۰۶      | سوئیس    | ۴۵۷                   | لغزش کنگلومرای دوران سوم که موجب تخریب دهکده شد.                                |
| ۱۸۹۳      | بروز     | ۱۱۱                   | جرمی در حدود ۵۵ میلیون متر مکعب از خاک رس به داخل دره رودخانه لغزید.            |
| ۱۹۰۳      | کانادا   | ۷۰                    | ریزش سنگ و بهمن واریزه                                                          |
| ۱۹۲۰      | چین      | ۲۰۰۰۰۰                | گسیختگی و جریان مصالح که بر اثر زلزله به وقوع پیوست.                            |
| ۱۹۵۹      | امریکا   | ۱۸                    | لغزش بر اثر زلزله به وقوع پیوست.                                                |
| ۱۹۶۳      | ایتالیا  | ۳۰۰۰                  | بر اثر لغزش سنگ بزرگی به داخل دریاچه سد، سیل بزرگی به راه افتاد.                |
| ۱۹۶۶      | بریتانیا | ۱۴۴                   | گسیختگی در محل تجمع مواد اضافی حاصل از بهره‌برداری معدن زغال سنگ به وقوع پیوست. |
| ۱۹۷۱      | امریکا   | ۳۱                    | گسیختگی خاک رس                                                                  |
| ۱۹۸۲      | کلمبیا   | ۲۳۰۰۰                 | بهمن واریزه‌ای که در اثر پوشش برفی به وقوع پیوست.                               |

دقت در شکل ۲ نشان می‌دهد که میزان خسارات ناشی از زمین لغزش در اروپا به طور متوسط سالانه ۱۷ میلیون دلار برآورد شده است (کوهورست و همکاران، ۲۰۰۵: ۱۲۴).

ایران نیز به دلیل شرایط خاص آب‌وهوایی، فیزیوگرافی و تغییر کاربری همواره با مشکل حرکات توده‌ای مواجه است و توجه به این محدودیت طبیعی امری ضروری به نظر می‌رسد. تخریب جاده‌ها، بزرگراه‌ها، خطوط انتقال نیرو و انرژی (برق، گاز و نفت)، از بین رفتن و تخریب گسترده منابع طبیعی (مراعات، جنگل‌ها،



شکل ۱ تعداد کشته‌شدگان زمین‌لغزش در دنیای طی سالهای ۱۹۰۳-۲۰۰۴ (کوه‌رست و همکاران، ۲۰۰۵: ۱۲۴)



شکل ۲ هزینه خسارات زمین‌لغزش در دنیای طی سالهای ۱۹۰۳-۲۰۰۴ (کوه‌رست و همکاران، ۲۰۰۵: ۱۲۴)

زمینهای کشاورزی، باغها و غیره)، رسوب‌زایی گسترده و سریع و کمک به پر شدن مخزن سدها و بستر رودخانه‌ها از رسوب، تخریب ابنیه فنی، منازل و مناطق مسکونی از جمله خسارات ناشی از بروز حرکات توده‌ای است (کورکی‌نژاد، ۱۳۸۰). در ایران در مورد خسارات ناشی از حرکات توده‌ای مطالعاتی صورت گرفته که نتایج آن در جدول ۲ نشان داده شده است. دقت در جدول ۲ نشان می‌دهد که خسارات ناشی از ۴۹۰۰ زمین‌لغزش ثبت شده در کشور ۱۲۶۸۹۳ میلیارد ریال برآورد گردیده است.

جدول ۲ گزارش جمع‌بندی اطلاعات و خسارات مربوط به ۴۹۰۰ زمین‌لغزش از سال ۱۳۷۲ تا پایان شهریور ۱۳۸۶ (گروه مطالعه امور زمین‌لغزشها، ۱۳۸۶: ۳۲)

| نوع خسارت                                         | میزان خسارت    |
|---------------------------------------------------|----------------|
| تلفات جانی                                        | ۱۷۸ نفر        |
| تلفات احشام                                       | ۱۹۹۱ رأس       |
| مناطق مسکونی                                      | ۲۱۳۴ باب       |
| زمین زراعی                                        | ۵۹۷۴/۱۱ هکتار  |
| اراضی جنگلی                                       | ۶۹۴۱ هکتار     |
| اراضی صنعتی                                       | ۱۶۸۸۶ هکتار    |
| باغها                                             | ۷۲۰ هکتار      |
| راه اصلی                                          | ۲۵۲/۶۷ کیلومتر |
| راه روستایی                                       | ۴۶ کیلومتر     |
| راه جنگلی                                         | ۳ کیلومتر      |
| راه آهن                                           | ۶ کیلومتر      |
| پلها                                              | ۰/۰۹ کیلومتر   |
| کانال آبیاری                                      | ۳/۷۲ کیلومتر   |
| لوله انتقال گاز                                   | ۰/۵۲ کیلومتر   |
| لوله انتقال آب                                    | ۳/۳۸ کیلومتر   |
| لوله انتقال نفت                                   | ۰/۱ کیلومتر    |
| دکل انتقال نیرو                                   | ۳۷ عدد         |
| خسارات کلی ناشی از زمین‌لغزش: ۱۲۶۸۹۳ میلیارد ریال |                |

بررسی پدیده حرکات توده‌ای از یک سو به منظور شناسایی مناطق دارای قابلیت حرکات توده‌ای در محدوده فعالیت‌های بشری حائز اهمیت بوده و از سوی دیگر جهت شناسایی مکانهای امن برای توسعه زیستگاههای جدید و یا سایر کاربریهای آتی انسان نظیر جاده‌ها، مسیرهای انتقال نیرو، انرژی و غیره در مقیاسهای مختلف مورد توجه برنامه‌ریزان قرار دارد (سفیدگری و همکاران، ۱۳۸۴: ۵۷۴). یکی از مشکلات عمده که غالباً پیامدهای سوء خطرهای طبیعی را مضاعف می‌سازد نبود برنامه‌ریزیهای از پیش تعیین شده در مورد مسئولیت ارگانها و هماهنگ کردن

فعالیت‌های آنهاست. بنابراین برای حفظ سرمایه‌های ملی ضروری است تا در برخورد با بلایای طبیعی مدیریتی جامع اعمال شود. به این ترتیب، با اتخاذ تدابیر و فعالیت‌های مناسب موجب پیشگیری، کنترل و ترمیم خسارت‌های ایجاد شده گردد. وجود مدیریتی واحد جهت برنامه‌ریزی‌های مربوط و واگذاری مسئولیت‌ها و وظایف گروه‌ها و سازمان‌های مختلف مرکزی، منطقه‌ای و محلی از ضروریات مدیریت بلایای طبیعی<sup>۱</sup> است (میرصانعی، ۱۳۸۲: ۲). برای مدیریت صحیح سوانح طبیعی و همچنین حرکات توده‌ای قبل از هر اقدامی باید ماهیت، مکانیزم، عوامل محرک، پیامدها و راه‌های کنترل این پدیده را به خوبی شناخت و مورد تجزیه و تحلیل قرار داد. ارزیابی خطرهای این پدیده مانند بسیاری از موضوعات زمین‌شناسی محیطی به دلیل تنوع عوامل مؤثر در وقوع آن مسئله‌ای پیچیده است. نبود قطعیت که ناشی از گنگ بودن، ناکامل و مبهم بودن شرایط و مفاهیم مرتبط با پارامترهایی نظیر زمین‌شناسی، هیدرولوژیک، تکنیکی، پوشش گیاهی، بارندگی، فرسایش، نوسانات درجه حرارت و غیره در بروز ناپایداری دامنه‌ای<sup>۲</sup> است لزوم استفاده از روش‌های دقیق و مناسب را در بررسی ناپایداری‌های دامنه‌ای، منطقی می‌کند (فاطمی عقدا و همکاران، ۱۳۸۴: ۴۴؛ پورقاسمی، ۱۳۸۶: ۱). تاکنون متخصصان مختلف علوم طبیعی مطالعات زیادی در مورد حرکات توده‌ای انجام داده‌اند، ولی به دلیل پیچیده بودن این پدیده، بیشتر مدل‌های مورد استفاده حالت کیفی داشته و برای منطقه‌ای خاص کاربرد دارند. در سال‌های اخیر روش‌ها از حالت کیفی و تجربی خارج شده و به سمت روش‌های آماری و کمی سوق یافته‌اند. در این روش‌ها بر اساس شرایط موجود در منطقه و پراکنش حرکات توده‌ای، رابطه‌ای بین عوامل مؤثر و وقوع حرکات توده‌ای پیدا شده است و منطقه بر اساس رابطه به دست آمده از نظر حساسیت به این حرکات بررسی می‌شود (فیض‌نیا و همکاران، ۱۳۸۰). امروزه استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی<sup>۳</sup>، تجزیه و تحلیل در علوم مختلف و همچنین مطالعات مربوط به علوم زمین و به ویژه حرکات

1. natural hazards

2. slope instability

3. geographic information system (GIS)

توده‌ای را تا حد زیادی آسان و دقیق‌تر کرده است. دلیل این امر حجم زیاد اطلاعات و پویا و تغییرپذیر بودن این اطلاعات در محیط GIS است. تشکیل بانک اطلاعاتی از نقشه‌های موضوعی مختلف و امکان ارتباط و توسعه با فناوری پیشرفته پردازش تصاویر ماهواره‌ای<sup>۱</sup> از قابلیت‌های GIS است. به طور کلی مزایای استفاده از GIS برای پهنه‌بندی وقوع زمین‌لغزش را می‌توان به این صورت خلاصه کرد (فرج‌زاده و منظرالقائم، ۱۳۷۵):

الف) با تشکیل بانک اطلاعاتی از منطقه در هر زمان امکان دستیابی به آنها میسر است.

ب) امکان آزمون مدل‌های مختلف ناپایداری دامنه‌ای وجود دارد.

ج) سرعت و دقت در مقایسه با روشهای دستی و سنتی بیشتر است.