



## بازسازی معادن متروکه با کمک ابزار GIS

سید علیرضا آشفته، کارشناس ارشد معدن، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

شراره حاج علی، کارشناس ارشد تکتونیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال

Email: St\_a\_ashofteh@azad.ac.ir

### چکیده

این مقاله یک ابزار گسترده و جدید از نرم افزار GIS به نام ArcMine را معرفی و ارائه می دهد که به منظور پشتیبانی و برنامه ریزی برای بازسازی نواحی معادن متروک ایجاد شده است. ArcMine چهار ابزار را فراهم می کند؛ ۱- ابزار ارزیابی و تعیین خطرات نشست معدن ۲- ابزاری برای تخمین فرسایش باطله های معدنی ۳- ابزار تجزیه و تحلیل مسیرهای جریان آب در سطح ۴- ابزار شناسایی گونه های مناسب درخت برای احیاء جنگل. یک پایگاه فضایی متشکل از پارامترهایی از قبیل: نقشه توپوگرافی، نقشه زمین شناسی، نقشه تونل های معدنی و داده های گمانه ای ست که به منظور بررسی مخاطرات معدنی که می توانند به محیط زیست اطراف صدمه وارد کنند، طراحی شده و در ArcMine مورد استفاده قرار گرفته است. به کارگیری این ابزار در نواحی معادن متروکه می تواند اطلاعات مفیدی از خطرات معدنی را برای پشتیبانی و برنامه بازسازی تهیه کند. این مقاله مفهوم، ارائه و اجرای ArcMine را ارائه می دهد.

### کلمات کلیدی

معادن متروکه، ArcGis، ArcMine، محیط زیست

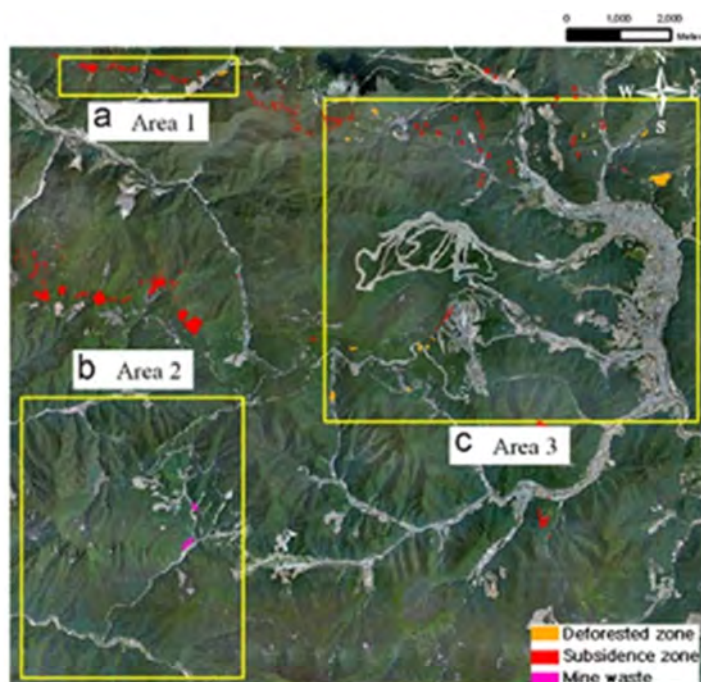


### ۱. مقدمه

معدنکاری یک صنعت جهانی است که می‌تواند برای سلامت و ایمنی مردم خطرآفرین باشد. استخراج معادن عامل صدمه به محیط‌زیست شامل زمین، خاک، آب و جنگل‌ها می‌باشد. در گذشته معادن بدون اجرای کارهای بازسازی و احیاء رها می‌شدند. اگرچه امروزه به علت نگرانی عمیق همگانی در رابطه با بازسازی معادن و وجود قوانین مصوب و اجرایی در بسیاری از کشورها اصرار بر آن است که برنامه‌های معدنی می‌بایست شامل بررسی تفصیلی و با جزئیات در مورد مدیریت محیط‌زیست باشند. علاوه بر این، این برنامه‌ها که می‌توانند مشکلات زیست‌محیطی ناشی از معدنکاری را به حداقل برسانند، می‌بایست با دقت طراحی شده و در کشورهای صنعتی و در حال توسعه به کار گرفته شوند. به طور سنتی برنامه‌های بازسازی معدن بعد از تحقیقات تفصیلی سایت طراحی می‌شدند که زمان و تلاش قابل ملاحظه‌ای را نیاز داشتند. انجام اینگونه تحقیقات در تمامی مناطق معدنی در برخی کشورها مانند کشور ایران (با معادن متروک بسیار زیاد) به علت کمبود سرمایه و نیروی انسانی کاری مشکل است. همچنین اولویت‌بندی مناطق معدنی برای پشتیبانی این برنامه‌ها لازم می‌باشد. اخیراً چندین برنامه کاربردی GIS برای اولویت‌بندی نواحی معدنی که نیازمند به کارگیری سریع برنامه‌های بازسازی هستند، ارائه شده است. اگرچه مطالعات گذشته کاربرد GIS را برای بررسی خطرات معدنی تهیه کردند اما کمتر می‌توانستند چندین مخاطره را در یک چارچوب کاری بررسی کنند. با توجه به اینکه خطرات معدنی مانند نشست زمین، تخریب و آلودگی خاک، آلودگی آب و جنگل‌زدایی معمولاً به طور همزمان رخ می‌دهند، نرم‌افزاری با توانایی ارزیابی خطرات معدنی متعدد برای پشتیبانی برنامه بازسازی به وسیله اولویت‌بندی نواحی معدنی مورد نیاز است.

### ۲. روش‌های مدل کردن خطرات معدنی با استفاده از Gis

ArcMine معادلات و مدل‌های بسیاری از منابع مختلف را برای فراهم کردن چهار ابزار ذکر شده که می‌توانند چندین خطر را در یک چارچوب کاری بررسی کنند، به کار گرفته است. در این قسمت معادلات و مدل‌های استفاده شده در ArcMine تشریح می‌شوند.



شکل (۱): مدل کردن خطرات معدنی با استفاده از Gis

### ۱.۲. ارزیابی خطر نشست

برای به دست آوردن نتایج منطقی در به کارگیری مدل‌های نشست معدن، انتخاب فاکتورهای مناسب ضروری است. ابزار نشست در ArcMine گزینه‌های مختلفی را در انتخاب این فاکتورها فراهم می‌کند و تاثیر هر کدام را با استفاده از دو مدل آنالیز GIS بر پایه تئوری فازی (Fuzzy Theory) و نسبت فراوانی (Frequency Ratio) در ترکیب با سیستم تحلیل مراتبی (Analytic Hierarchy Process)، تخمین می‌زند. تئوری فازی نیازمند انتخاب مجموعه‌ای از اپراتورهای فازی است تا مقدار هر فاکتور را به مقادیر نرمال شده بین صفر و یک تبدیل کند. بعد از این انتخاب، اندیس خطر نشست (SHI) که احتمال وقوع نشست مربوطه را نشان می‌دهد، به وسیله ترکیب مقادیر فازی نرمال شده فاکتورها (NFVs) محاسبه می‌شود:

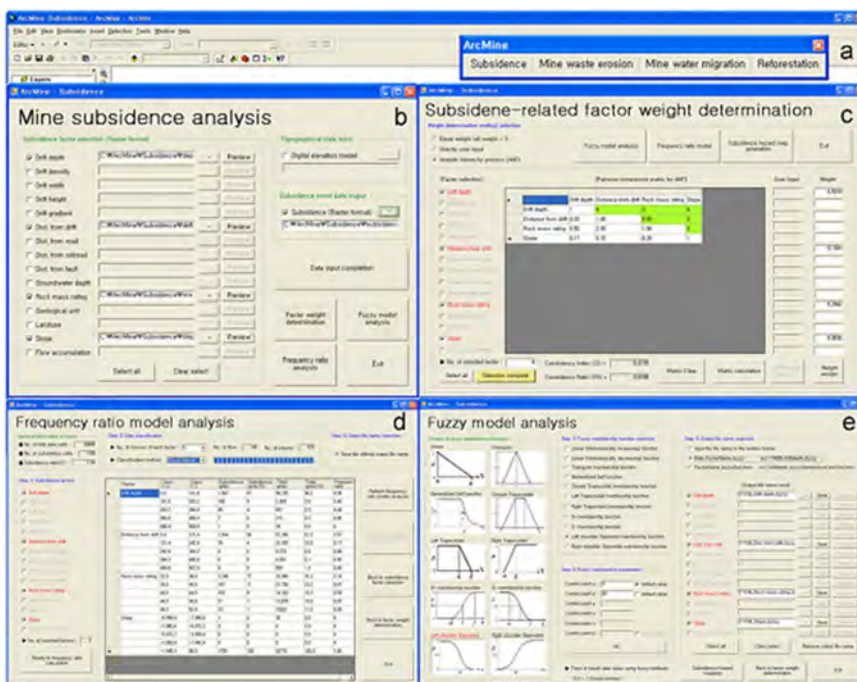
$$SHI = \sum_{i=1}^n \omega_i NFV_i$$

که  $\omega_i$  وزن هر فاکتور و  $n$  عدد فاکتور می‌باشد. اگر مقدار SHI نزدیک به ۱ باشد بدان معناست که احتمال وقوع نشست نسبتاً بالاست در حالی که اگر مقدار SHI نزدیک به صفر شد بدین معنی است که احتمال وقوع نسبتاً پایین است. مدل نشست بر پایه تئوری فازی است و به داده‌های حاصل از وقوع نشست‌های قبلی برای ارزیابی پتانسیل نشست آینده نیازی ندارد. در شرایطی که داده‌های قبلی در دسترس باشند مدل نشست بر اساس نسبت فراوانی می‌تواند به عنوان جایگزین برای محاسبه SHI استفاده شود. این روش بر پایه یک محاسبه احتمالاتی است که رابطه بین نشست مشاهده شده (قبلاً به وقوع پیوسته) و فاکتورهای نشست را تشریح می‌کند:

$$SHI = \sum_{i=1}^n \omega_i FR_i$$

که  $FR_i$  مقدار نسبت فراوانی هر فاکتور،  $\omega_i$  وزن و  $n$  شماره هر فاکتور می‌باشد. اگر  $FR$  بزرگتر یا مساوی ۱ باشد، فاکتور نشان‌دهنده یک همبستگی مثبت بین فاکتور و نشست می‌باشد. AHP ارائه شده توسط Saaty در سال ۱۹۹۷ یکی از خبره‌ترین سیستم‌ها می‌باشد که به وسیله اختصاص دادن وزن به هر فاکتور با عدم دقت مقابله می‌کند. این روش یک مسئله پیچیده را به چند مرحله تقسیم می‌کند و سپس یک وزن نسبی به هر فاکتور (به وسیله محاسبه یک ماتریس

مقایسه دوتایی) اختصاص می‌دهد. در نهایت وزن‌های مربوطه به فاکتورها می‌توانند تعیین شوند و در معادلات استفاده شوند.



شکل (۲): نوار ابزار نشست در محیط ArcMine

(رابط گرافیکی کاربر برای انتخاب: داده‌های ورودی - عامل و ابزار - تجزیه و تحلیل - مدل‌سازی)

## ۲.۲. تخمین فرسایش خاک

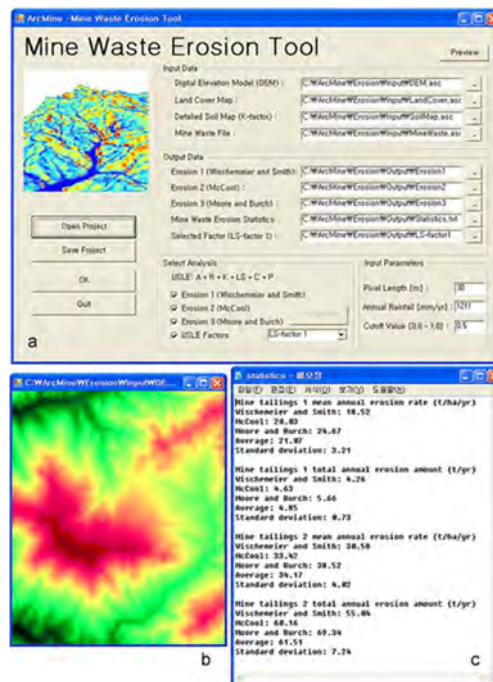
برای تخمین فرسایش خاک و باطله‌های اطراف معادن متروک، معادله عمومی فرسایش خاک (USLE) در ابزار فرسایش باطله معدنی به کار گرفته شده است. USLE به طور گسترده‌ای به منظور تخمین متوسط تخریب سالیانه خاک بر واحد سطح زمین مورد استفاده قرار گرفته است. این روش ۶ فاکتور اصلی که بر روی فرسایش خاک تاثیر می‌گذارند را در نظر می‌گیرد که شامل فاکتور فرسایشی باران (R)، فاکتور فرسایش‌پذیری خاک (K)، فاکتور طول شیب (L)، فاکتور تندی شیب (S)، فاکتور مدیریت کشت (C) و فاکتور شیوه حفاظت محیط‌زیست (P) می‌باشد. معادله مربوط برای محاسبه متوسط نرخ سالیانه فرسایش خاک (تن بر هکتار در سال) به این صورت تعریف می‌شود:

$$A = R K L S C P$$

برای محاسبه R از رابطه زیر استفاده می‌شود که در آن AAR متوسط بارش سالیانه است.

$$R = 38.5 + 0.35AAR$$

مقدار K با توجه به بافت خاک، مواد ارگانیک محتوا، نفوذپذیری و دیگر فاکتورها تغییر می‌کند. یک نقشه تشریحی خاک، شامل طبقه‌بندی انواع خاک برای محاسبه K به کار گرفته شده است. L و S تاثیر توپوگرافی را بررسی می‌کنند. چندین روش برای پیش‌بینی آنها وجود دارد. C نشان‌دهنده نوع پوشش گیاهی، نحوه کشت و دیگر شرایط پوشش زمین می‌باشد. مقدار P می‌بایست به وسیله زاویه شیب و پوشش گیاهی منطقه تعیین شود.



شکل (۳): نوار ابزار باطله معدن در محیط ArcMine (رابطه گرافیکی کاربر در پنجره اصلی - پنجره پیش‌نمایش - نتیجه و مدل فرسایش)

### ۳.۲. مهاجرت آب معدن (وابسته به زمان)

به منظور پیش‌بینی مهاجرت آب بعد از اینکه بارش آغاز می‌شود، جهت جریان و سرعت جریان بایستی مشخص شود. اگر جریان سطحی آشفته و ثابت باشد، عمق آب  $y$  و سرعت جریان  $v$  آب سطحی از رابطه زیر محاسبه می‌شوند:

$$y = \left( \frac{nq_0}{S_0^2} \right)^{\frac{3}{5}}$$

$$v = \frac{q_0}{y}$$

که  $n$  ضریب رفتار زبری،  $q_0$  تخلیه بر واحد سطح و  $S_0$  زاویه شیب سطح می‌باشد.  $n$  وابسته به مصالح سطحی است که از نقشه پوشش زمین تهیه شده است و  $S_0$  را می‌توان از توابع شیب بر پایه GIS به دست آورد. برای محاسبه تغییرات  $v$  در هر پیکسل در واحد زمان، بایستی برای مقدار  $q_0$  در فواصل زمانی مورد نظر در معادله تصمیم‌گیری شود. پیکسل‌ها به عنوان جریان خروجی در معادله تعریف می‌شود و نشان می‌دهد که جریان خروجی از یک پیکسل با جریان ورودی به یک پیکسل مشابه، همانند جریان ثابت برابر خواهد شد.

$$Q_{out_i}^{t+\Delta t} = Q_{in_i}^t = \sum Q_{out_i}^t + L(P_e)_i^t$$

که  $Q_{in_i}^t$  جریان ورودی کل در زمان  $t$  برای پیکسل  $i$  می‌باشد و برابر است با  $Q_{out_i}^{t+\Delta t}$ ; کوتاه‌ترین فاصله زمانی در آنالیزها می‌باشد.  $\sum Q_{out_i}^t$  مجموع کل جریان‌های خروجی پیکسل‌های مجاور بالادست،  $P_e$  بارش مؤثر در سلول  $i$  در زمان  $t$  و  $L$  طول پیکسل می‌باشد. الگوریتم D8 (The Eight Direction Single Flow Algorithm) را در نظر بگیرید.

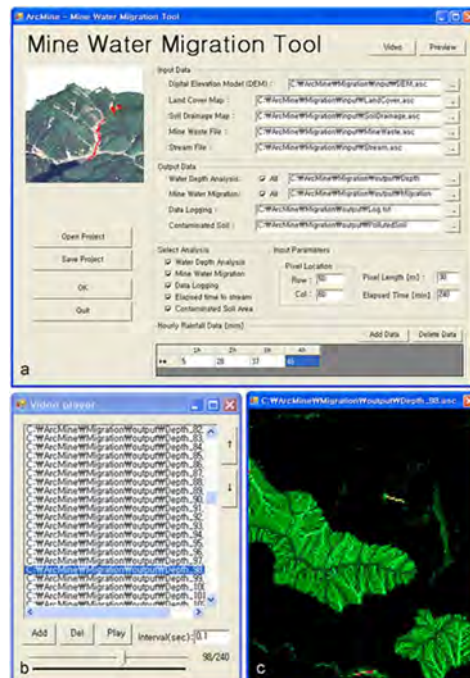
برای محاسبه جهت جریان بین پیکسل‌ها و همچنین برای مشخص کردن پیکسل‌های بالادست مجاور به کار گرفته شده است. بارش مؤثر  $P_e$  بخشی از بارش است که به کانال جریان می‌رسد. برای پیش‌بینی آن از روش Curve Number که توسط دپارتمان کشاورزی ایالات متحده در سال ۱۹۸۶ ارائه شد، استفاده می‌شود. برای هر پیکسل با استفاده از نقشه زهکشی خاک و نقشه پوشش زمین، محاسبه می‌شود. CN وابسته به حداکثر پتانسیل نگهداری رطوبت خاک می‌باشد؛

$$S = \frac{25.400}{CN} - 254$$

بعد از محاسبه S در معادله  $P_e$  به دست می‌آید:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

که  $P_e$  بارش مؤثر، P میزان بارش و  $I_a$  (Initial Abstraction)، که عموماً  $0.2S$  فرض می‌شود. بر اساس این معادله  $P_e$  برای بازه های زمانی یک دقیقه‌ای از اطلاعات بارش در مدت یک ساعت محاسبه می‌شود. بارش مؤثر با استفاده از یک نقشه زهکشی خاک، نقشه پوشش زمین و داده‌های بارش در طول یک ساعت محاسبه می‌شود و جهت جریان تخلیه برای هر پیکسل را مشخص می‌کند. سپس عمق آب برای هر پیکسل در هر بازه زمانی یک دقیقه‌ای به وسیله وارد کردن مقادیر تخلیه به معادله و با داده‌های زاویه شیب، محاسبه می‌شود. نهایتاً سرعت جریان برای هر پیکسل با استفاده از معادله برای بازه زمانی یک دقیقه‌ای محاسبه می‌شود. همچنین به وسیله جهت جریان و سرعت جریان، پیش‌بینی مهاجرت آب در طول زمان ممکن خواهد بود.

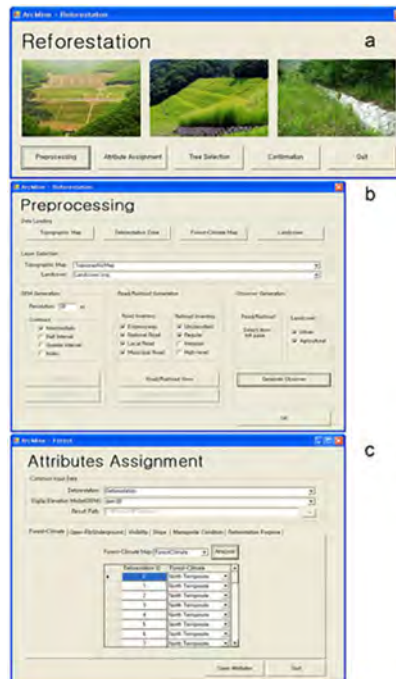


شکل (۴): نوار ابزار مهاجرت آب معدن در محیط ArcMine (رابط گرافیکی کاربر در پنجره اصلی - پنجره پردازش و پیش‌نمایش کاربر)

## ۴.۲. شناسایی گونه‌های درختی مناسب برای احیاء جنگل



این کار می‌بایست با توجه به شرایط مختلف مانند توپوگرافی، زمین‌شناسی و آب‌وهوا طبقه‌بندی شود. ابزار احیاء جنگل در ArcMine شش عامل را بررسی می‌کند تا به کمک آنها انواع نواحی بدون جنگل را دسته‌بندی کند: نوع آب‌وهوای جنگل، قابلیت دید، زاویه شیب، شرایط مدیریتی، روش معدنکاری و هدف از احیاء جنگل، نوع آب‌وهوا به وسیله عمل خواباندن (Overlay)، نقشه آب‌وهوایی شامل اطلاعات مربوط به دما، میزان بارش، رطوبت و غیره تعیین می‌شود. اگر یک عارضه دارای انواع آب‌وهوا باشد، عمل Overlay کردن در مرکز ژئومتریکی آن انجام می‌شود شکل (a-5). قابلیت دید (نمایان یا غیر نمایان بودن محیط اطراف) یکی از مهم‌ترین عوامل در انتخاب گونه درختی مناسب می‌باشد زیرا زیبایی منظره و چشم‌انداز یکی از اصلی‌ترین مسائل در برنامه بازسازی معدن می‌باشد. نوع قابلیت دید برای هر پیکسل توسط آنالیز حوضه دید بر پایه GIS تعیین می‌شود و سپس آمار ناحیه‌ای (حداکثر، حداقل، متوسط و غیره) و انواع قابلیت دید در داخل مرز یک ناحیه بدون جنگل می‌تواند به ویژگی قابلیت دید اختصاص داده شود شکل (b-5). زاویه شیب به وسیله آنالیز شیب و آمار ناحیه‌ای تعیین می‌شود که شبیه روشی است که برای محاسبه اندیس قابلیت دید استفاده می‌شود. قابلیت دسترسی برای بازسازی مورد بررسی قرار گرفته و به وسیله اندازه‌گیری فاصله مسیر پیاده‌رو از جاده و راه‌آهن و به سمت منطقه مورد نظر مشخص می‌شود. کم‌هزینه‌ترین مسیر از تبدیل شیب به هزینه به دست می‌آید و به وسیله آنالیز تعیین می‌شود. یک معبر با زاویه قائم می‌تواند به عنوان محدودیت دسترسی در نظر گرفته شود شکل (c-5). روش معدنکاری و هدف از احیاء جنگل نیز از اهمیت بالایی در این پروسه برخوردار است. ArcMine این اجازه را به کاربر می‌دهد تا مقادیر ویژگی برای این فاکتورها وارد کند. زمانی که طبقه‌بندی این مناطق (بدون جنگل) با در نظر گرفتن شش معیار نامبرده کامل شد، گونه‌های درختی مناسب برای منطقه تعیین می‌شود. باید توجه داشت که مدل استفاده شده در ابزار احیاء جنگل می‌تواند در صورت در دسترس بودن داده‌های دیگر نظیر رطوبت محتوا، PH خاک و غیره ویرایش شود.



شکل (5): تجزیه و تحلیل مناطق فرونشت

(ابزار باطله و فرسایش معدن - ابزار مهاجرت آب معدن - ابزار احیاء جنگل)



### ۳. اجرا

#### ۱.۳. پایگاه داده‌ها

تمامی ابزارها نیازمند یک مدل DEM (Digital Elevation Model) برای اجرای یک آنالیز فضایی از جهت جریان، انباشتگی جریان، شیب، میدان دید و دیگر عملیات‌ها می‌باشد. ابزار نشست نیازمند داده‌های عارضه‌های خطی مانند جاده‌ها، خطوط آهن و نقشه دریافت‌های معدنی می‌باشد. دریافت‌های معدنی به تونل‌هایی اطلاق می‌شود که به صورت افقی برای معدنکاری زیرزمینی حفر شده‌اند. در ابزار فرسایش باطله‌ها، یک نقشه خاک تشریحی، نقشه پوشش زمین و داده‌های بارش سالیانه برای کاربرد USLE لازم است. اگر عارضه‌های چند وجهی (پلی‌گون) اضافی برای باطله معدنی فراهم باشد، فرسایش باطله می‌تواند به خوبی فرسایش خاک تخمین زده شود. داده‌های ورودی برای ابزار مهاجرت آب، شبیه به آنهایی است که در ابزار فرسایش باطله استفاده شد با این تفاوت که از داده‌های بارش ساعتی به جای داده‌های بارش سالیانه برای محاسبه تغییرات وابسته به زمان استفاده می‌شود. اگر داده‌های مسیر عبور آب (رودخانه، مسیل و غیره) هم موجود باشد، امکان پیش‌بینی مدت زمان سپری شده برای آنکه آب به داخل آن جریان پیدا کند وجود دارد.

#### ۲.۳. ابزار نشست در ArcMine

این ابزار می‌تواند برای مدیریت خطر نشست مورد استفاده قرار گیرد. برای اجرای آنالیز نشست کاربر دکمه "Subsidence" را در نوار ابزار فعال می‌کند شکل (۲-a). این ابزار از طریق ۴ مرحله تحلیلی عمل می‌کند. گام اول انتخاب و وارد کردن داده‌های عواملی است که مرتبط با نشست ناشی از معدنکاری می‌باشند شکل (۲-b). فهرست داده‌های نشست می‌بایست با به کارگیری مدل FR وارد شوند. ابزار نشست ۱۵ فاکتور را به کار می‌گیرد. برای مثال عمق دریافت، تراکم دریافت‌ها، عرض دریافت، زاویه دریافت، فاصله از نزدیک‌ترین دریافت، فاصله از نزدیک‌ترین جاده و خط آهن، فاصله از نزدیک‌ترین گسل، عمق آب زیرزمینی، RMR، واحد زمین‌شناسی، نوع کاربری زمین، شیب و انباشتگی جریان. گام دوم اختصاص دادن وزن به فاکتورهای انتخاب شده می‌باشد شکل (۲-c). به این ترتیب یک اهمیت نسبی را برای فاکتورهای انتخاب شده تعریف می‌کند و آنها را درون یک مدل ترکیبی در طول اجرای گام نهایی می‌گنجانند. ابزار نشست ۳ گزینه را برای وزن‌دهی فراهم می‌کند (وزن مساوی، وارد کردن مستقیم توسط کاربر و AHP). اگر AHP انتخاب شود کاربر می‌بایست ماتریس مقایسه‌ای دوتایی برای فاکتورهای انتخاب شده در برنامه بسازد. در تمام روش‌ها وزن‌های داده شده به مقادیر نرمال تبدیل می‌شوند. اگرچه این گام را می‌توان (اگر کاربر نیازی به وزن‌دهی ترکیبی برای هر فاکتور نداشته باشد) در نظر نگرفت. گام سوم انتخاب و اعمال یکی از ۲ روش آنالیز است. ابزار نشست انتخاب مدل FR شکل (۲-d) یا مدل فازی شکل (۲-e) را پیشنهاد می‌کند. مدل فازی تمام مقادیر فاکتورها را به مقادیر نرمال (بین ۰ و ۱) تبدیل می‌کند که یک اندیس آسیب‌پذیری نسبی را نشان می‌دهد. وقتی که مدل فازی انتخاب می‌شود تابع عضویت فازی و پارامترهای ورودی برای هر فاکتور منتخب لازم است. مدل FR مقدار FR را برای کلاس هر فاکتور بین صفر و مقداری تعریف نشده محاسبه می‌کند. کاربر می‌تواند تعداد کلاس‌ها را انتخاب کند و سپس یکی از روش‌های کلاس‌بندی را برای محاسبه FR انتخاب کند.

#### ۳.۳. ابزار فرسایش باطله معدن در ArcMine





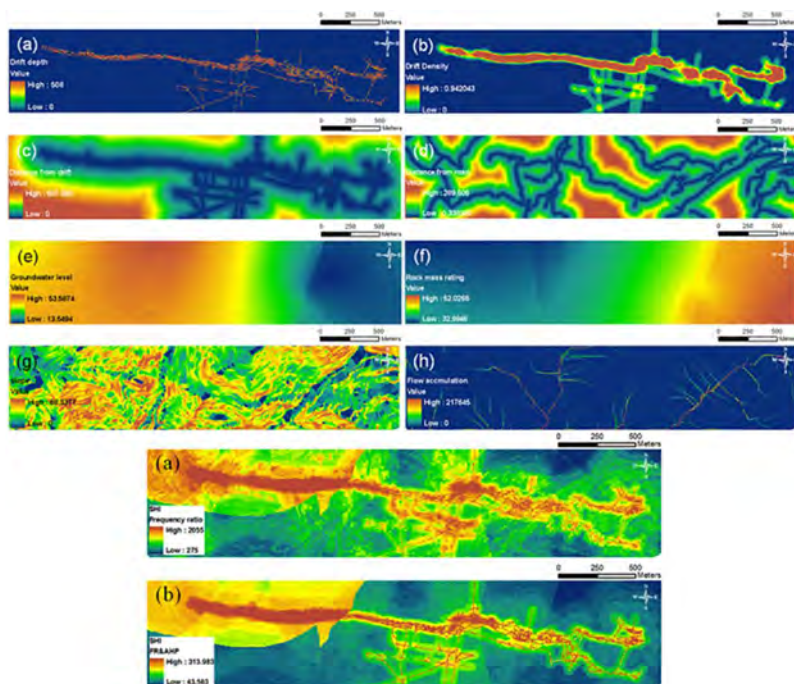
این ابزار فاکتورهای USLE را محاسبه می‌کند و فرسایش خاک را در تمام منطقه مورد نظر تخمین می‌زند. داده‌های بارش سالانه، یک نقشه خاک تشریحی، یک DEM و یک نقشه پوشش زمین، داده‌های اولیه ورودی برای این ابزار هستند. فاکتور R از داده‌های بارش سالیانه محاسبه می‌شود، فاکتور K با توجه به سری‌های خاک (یکی از ویژگی‌های نقشه تشریحی خاک) محاسبه می‌شود و فاکتور LS با طول شیب و زاویه شیب گرفته شده از DEM تعیین می‌شود. ابزار فرسایش باطله ۳ گزینه را برای تخمین زدن فاکتور LS فراهم می‌کند. اگر عارضه پلی‌گون باطله فراهم باشد، آمار فرسایش باطله برای روش‌های انتخاب شده می‌تواند به صورت یک فایل متنی به دست آید شکل (C-4). نقشه پوشش زمین برای محاسبه C و زاویه شیب و شرایط کشت برای محاسبه فاکتور P به کار می‌روند. در نهایت مقادیر فرسایش باطله و خاک برای تمام پیکسل‌ها در منطقه به وسیله ترکیب و جمع‌آوری فاکتورهای USLE تخمین زده می‌شوند.

### ۴.۳ ابزار مهاجرت آب در ArcMine

یک DEM، نقشه پوشش زمین، نقشه زهکشی خاک، عارضه پلی‌گون باطله و داده‌های بارش ساعتی برای این ابزار مورد نیاز است. نقشه پوشش زمین و نقشه زهکشی خاک برای محاسبه CN برای تمام پیکسل‌ها نیاز است و مقدار CN یک پیکسل مشخص، نشان‌دهنده پتانسیل گذر آب (رواناب) آن پیکسل است. اگر داده‌های بارش ساعتی فراهم باشد، عمق بارش مؤثر با توجه به مقادیر CN محاسبه می‌شود. این ابزار با در نظر گرفتن زاویه شیب، جهت جریان و بارش مؤثر، عمق آب را در یک زمان مشخص پیش‌بینی می‌کند. سرعت آب در هر پیکسل نیز محاسبه می‌شود و مسافت مهاجرت آب در گذر زمان می‌تواند پیش‌بینی شود. اگر چک باکس "All" انتخاب شده باشد، فایل‌های نتیجه در هر بازه زمانی ذخیره می‌شوند و کاربر می‌تواند فایل‌ها را به صورت یک ویدیو تماشا کند. این ابزار همچنین دو عملگر (تابع) را فراهم می‌کند که اجازه می‌دهد کاربر درجه ریسک بین مناطق مختلف را با هم مقایسه کند. از آنجایی که زمین‌های زراعی آلوده برای انسان مضر است، این ابزار تعداد پیکسل‌های زمین زراعی را می‌شمارد و مساحت آن را در مسیر گذر آب محاسبه می‌کند.

### ۵.۳ ابزار احیاء جنگل در ArcMine

برای این ابزار به عنوان داده‌های ورودی، یک ناحیه بدون جنگل (تعریف شده به شکل یک عارضه پلی‌گون) به عنوان یک قالب برای ذخیره نتایج آنالیزها مورد نیاز است. همچنین یک DEM برای توپوگرافی اصلی ناحیه، جایی که قابلیت دید، زاویه شیب و کم‌هزینه‌ترین مسیر آنالیز می‌شوند، لازم است. ویژگی قابل مشاهده بودن و یا غیرقابل مشاهده بودن منطقه از مناطق مسکونی، شبکه حمل‌ونقل و غیره می‌توانند به وسیله آنالیز قابلیت دید تعیین شوند. ویژگی زاویه شیب به عنوان میانگین شیب درون یک منطقه محاسبه می‌شود و کم‌هزینه‌ترین مسافت مسیر از منطقه تا جاده‌ها و خطوط آهن قابل دسترسی را محاسبه می‌کند؛ کاربر می‌تواند خوب یا ضعیف بودن این ویژگی را تعیین کند. آب‌وهوای جنگل و ویژگی فضایی نقشه آب‌وهوای جنگل در مرکز ژئومتری عارضه مورد نظر تعیین و دیگر ویژگی‌ها (روش معدنکاری و هدف از احیاء جنگل) به صورت دستی و با مقادیر مناسب تخصیص می‌یابند. زمانی که ورودی‌ها فراهم شوند گونه‌های درختی مناسب نمایش داده می‌شوند.



شکل (۶): نقشه‌های موضوعی

(شامل عمق رانش و فاصله - امتیاز توده سنگ - زاویه شیب - سطح آب زیرزمینی و نسبت خطر)

#### ۴. نتایج

ArcMine متشکل از ۴ ابزار است که مخاطرات جدی را در مناطق معادن متروک پوشش می‌دهد. ابزار پیش‌بینی نشست در ArcMine برای ارزیابی آسیب‌پذیری نسبی ناشی از وقوع نشست اطراف حفریات معدنی مورد استفاده قرار می‌گیرد. پیدا کردن نواحی از زمین که آسیب‌پذیر در ریزش هستند معمولاً اولین گام برای حل کردن مسائل نشست معدن می‌باشد. علاوه بر این، این ابزار می‌تواند اطلاعات مفیدی برای کمک به پیدا کردن نقاطی که نیازمند مانیتورینگ زمین هستند فراهم کند. ابزار فرسایش باطله، نرخ فرسایش سالیانه خاک را تخمین می‌زند. توزیع فضایی فرسایش خاک نه تنها برای تخمین مقدار فرسایش مفید است بلکه در طراحی موقعیت مکانی باطله نیز مفید است. ابزار مهاجرت آب برای مشخص کردن نواحی به شدت آلوده که به بررسی‌های مفصل نیاز دارند، استفاده می‌شود. این کار می‌تواند به وسیله آنالیز کردن مسیرهای جریان آب آلوده، کیفیت آب محیط‌زیست اطراف را بهبود ببخشد. در نهایت ابزار احیاء جنگل به کاربر اجازه می‌دهد تا گونه‌های درختی مناسب را برای این منظور تعیین کند. این نکته باید در نظر گرفته شود که ArcMine مطابق ابزارهای مهندسی که در معدنکاری مورد استفاده قرار می‌گیرند نیست. ابزار مهندسی ضرورتاً فضایی نبوده و معمولاً مخاطرات را در یک نقطه خاص بررسی می‌کنند. به هر حال این مسئله از ارزش تکنیک‌های تشریح شده در این مقاله کم نمی‌کند. زیرا روش‌های مبتنی بر GIS می‌توانند به عنوان یک فیلتر ارزشمند برای تعیین نواحی حیاتی جهت بازسازی معدن عمل کنند. ArcMine می‌تواند زمان و میزان تلاش‌ها برای بررسی تفصیلی سایت را اولویت‌بندی نواحی معدنی، کاهش دهد. همچنین می‌تواند تاثیر برنامه بازسازی معدن را توسط ارزیابی چندین نوع مخاطره در یک قالب کاری بهبود ببخشد. ArcMine قابل انتقال و کاربری در دیگر نواحی معدنی چه در کشورهای صنعتی و چه در کشورهای در حال توسعه می‌باشد. در هر صورت معادلات و مدل‌های به کار گرفته شده در



ArcMine می‌بایست با توجه به شرایط مشخص سایت مورد نظر ویرایش شوند زیرا قابل دسترس بودن و کیفیت داده‌های GIS در هر کشور متفاوت می‌باشد. نسخه موجود ArcMine می‌تواند برنامه‌ریزی بازسازی معدن در مقیاس بزرگ را پشتیبانی کند در صورتی که برای کار در مقیاس کوچک به علت محدودیت اندازه سلول داده فضایی، نمی‌تواند مناسب باشد. با توجه به توضیحات داده شده در کارهای آینده عملکرد ArcMine توسط به کارگیری داده‌هایی با رزولیشن بالا می‌تواند جالب توجه باشد.

### ۵. منابع

آشفته، سید علیرضا و حاج‌علی، شراره؛ ارزیابی اثرات زیست‌محیطی معادن متروکه با استفاده از ژئوشیمی و زمین‌آمار، اولین همایش زمین‌شیمی کاربردی ایران، دانشگاه دامغان، شهریور ۱۳۹۲