بهینه‌سازی راه‌های دسترسی در معدن زغال‌سنگ تخت با هدف کمینه نمودن آسیب‌های زیست‌محیطی

سیّدمحمّد اسماعیل جلالی*[۱]، علی آزاد [۲]، مهدی نوروزی [۳]، فرخ فروهنده [۴] محمّدرضا آزاد [۵]

[۱] دانشیار دانشکده مهندسی معدن- نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود

[۲] دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی استخراج معدن، دانشگاه صنعتی شاهرود

[۳] دانشجوی دکتری مهندسی استخراج معدن، دانشگاه صنعتی شاهرود

[۴] استادیار دانشکده ریاضی، دانشگاه صنعتی شاهرود

[۵] دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی اکتشاف معدن، دانشگاه صنعتی شاهرود

چکیده

امروزه جاده‌سازی بدون رعایت ملاحظات زیست‌محیطی بنابر اعلام سازمان حفاظت محیط زیست، از عوامل کاهش مساحت جنگل‌های کشور معرفی شده است. معادن به دلایل مختلف به ویژه به دلیل نیاز به احداث جاده‌های دسترسی متعدد به نقاط مختلف یک معدن، یکی از عوامل جدی آسیب به منابع طبیعی و جنگل‌ها محسوب می‌شود. به همین دلیل در طراحی معادن، بهینه‌سازی جاده‌های دسترسی در یک محدوده معدنی به طوری که کمترین آسیب در منابع طبیعی و جنگل بروز نماید، بسیار حائز اهمیت است. در این مقاله، هدف تعیین مسیر بهینه برای احداث جاده‌های دسترسی در معدن تخت با هدف کمینه‌سازی هزینه و کاهش آسیب به پوشش گیاهی و زمین‌های کشاورزی منطقه معدن است. برای این منظور، شبکه احتمالی راه‌ها به صورت یک گراف، مدل‌سازی شده است. الگوریتم کروسکال برای یافتن کوتاه‌ترین و کم هزینه‌ترین مسیرها بین نقاط کلیدی در شبکه معدن (گمانه اکتشافی، تونل استخراجی، محل اسکان پرسنل یا نقطه‌ای خاص) تا نقاط معلوم دیگر استفاده شده است. با یافتن چنین مسیری و احداث جاده در راستای آن اولاً دسترسی به تمام نقاط شبکه میسر شده و ثانیاً کمترین آسیب زیست‌محیطی به منطقه وارد خواهد شد. در این مقاله پس از حل گراف مدل‌سازی شده شبکه راه‌ها توسط الگوریتم کراسکال، مسیر کلی بهینه به ارزش ۳۳۱ به دست آمد. این مسیر کلی شامل ۱۵ مسیر بین نقاط کلیدی است که ۶ مسیر آن بر روی جاده احداث شده از قبل در منطقه قرار دارد و بنابراین عواقب زیست‌محیطی ندارد، ۴ مسیر، از منطقه با پوشش گیاهی خیلی متراکم، ۳ مسیر، از منطقه با پوشش گیاهی خیلی ضعیف و ۲ مسیر، از منطقه با پوشش گیاهی ضعیف عبور می‌کند.

واژگان کلیدی: محیط زیست، مسیر بهینه، پوشش گیاهی، الگوریتم کراسکال، معدن تخت.

۱- مقدمه

امروزه تخریب محیط زیست به بحرانی جهانی تبدیل شده که روز به روز بر عمق و دامنه این بحران افزوده می‌شود [۱]. در ایران نیز به دلیل رشد فزاینده جمعیت، توسعه فناوری، تأمین منابع غذایی و مسکن برای جمعیت رو به رشد، روند تخریب منابع جنگلی و مراتع و به دنبال آن تخریب محیط زیست در چند دهه اخیر افزایش یافته است [۲]. مطابق آخرین آمارها، در ایران سالانه یک و نیم درصد از جنگل‌ها از دست می‌رود و در حال حاضر سهم هر ایرانی از جنگل به یک چهارم میزان جهانی آن رسیده که این آمار حاکی از فقر و کمبود شدید کشور در این زمینه است [۳].

معادن به دلایل مختلف به ویژه به دلیل نیاز به احداث جاده‌های دسترسی متعدد به نقاط مختلف یک معدن، یکی از عوامل جدی آسیب به منابع طبیعی و جنگل‌ها محسوب می‌شوند. ساخت جاده‌های دسترسی جدید در مرحله اکتشاف و توسعه معدن، از مهم‌ترین عوامل مخرب زیست‌محیطی محسوب می‌شود [۴]. میزان تخریب در مناطق کوهستانی به مراتب بیشتر از مناطق غیر کوهستانی است. در این‌گونه مناطق به دلیل ناهمواری و شیب‌دار بودن اراضی و همچنین پیچ و خم‌های فراوانی که در طول مسیر جاده ایجاد می‌شود، طول واقعی جاده افزایش می‌یابد. در واقع در حین احداث جاده نه تنها مسیر اصلی جاده تخریب می‌گردد، بلکه با خاکبرداری از شیب‌های بالادست برای ملایم نمودن شیب و واریز نمودن خاک‌های برداشت شده بر روی سطح دامنه شیب پایین دست، بخشی از اراضی حاشیه جاده نیز تخریب می‌شود [۲]. معدنکاری غیر علمی می‌تواند سبب ایجاد عدم تعادل شدید اکوسیستم و تخریب زمین در نواحی اطراف معدن‌کاری شود [۵].

* نویسنده مسئول

دریافت ۹۲/۲/۱۵ پذیرش ۹۲/۹/۱۹

در مدیریت منابع طبیعی، طراحی جاده‌های استاندارد با تراکم مناسب باعث مدیریت مناسب این منابع بر اساس اصول جنگل-شناسی خواهد شد [۶]. طراحی و برنامه‌ریزی بهینه شبکه جاده جنگلی از عوامل مهم توسعه پایدار برای جنگل‌ها است که باعث کاهش هزینه و تخریب جنگل می‌شود [۱]. لذا در طراحی معادن، بهینه‌سازی جاده‌های دسترسی در یک محدوده معدنی به طوری که کم‌ترین آسیب و دستکاری در منابع طبیعی و جنگل بروز نماید، بسیار حائز اهمیت است.

از طرفی در برنامه مدیریت زیست‌محیطی استاندارد ایالات متحده در خصوص برپایی جاده دسترسی به ناحیه معدنکاری بیان شده است که جاده‌ها باید به طریقی انتخاب شوند که هیچ درختی قطع نشود یا کمترین تعداد درخت قطع شوند [۷].

لذا در این مقاله، هدف تعیین مسیر بهینه برای احداث جاده‌های دسترسی در معدن تخت با هدف کمینه‌سازی هزینه و کاهش آسیب به پوشش گیاهی و زمین‌های کشاورزی منطقه معدن است. پوشش گیاهی متراکم، توپوگرافی نامنظم، صعوبت مسیر، سخت‌گیری‌های محیط زیست و سازمان‌های مربوطه و از همه مهم‌تر آسیب به طبیعت در منطقه تخت ایجاب می‌کند برای استخراج و تکمیل عملیات اکتشافی، مسیرهای بهینه‌ای برای احداث جاده در منطقه طراحی و پیاده‌سازی شود. در واقع هدف اصلی جستجوی مسیری است که با توجه به مشکلات فراوان زیست‌محیطی در منطقه، امکان ایجاد جاده با کم‌ترین هزینه و کم‌ترین آسیب به طبیعت بکر فراهم آورد.

تاکنون الگوریتم‌های متعددی برای یافتن کوتاه‌ترین مسیرها در شبکه‌ای از راه‌ها ارائه شده است که از آن جمله می‌توان به الگوریتم‌های زیر اشاره نمود:

الگوریتم‌های دیکسترا[1] و بلمن فورد[2]: برای حل مسأله کوتاه-ترین مسیر تک‌مبدأ در یک شبکه [۸].

الگوریتم دابل سوییپ[3]: برای یافتن تعدادی از کوتاه‌ترین مسیرها از یک مبدأ به دیگر نقاط یک شبکه [۹].

الگوریتم‌های تک‌مسیره و دومسیره: برای یافتن کوتاه‌ترین مسیرهای بین هر دو نقطه دلخواه در یک شبکه [۱۰].

الگوریتم‌های یافتن k مسیر کوتاه: برای یافتن تعداد k مسیر کوتاه بین هر دو نقطه دلخواه در یک شبکه [۱۱].

الگوریتم جانسون[4]: برای حل مسأله کوتاه‌ترین مسیرها بین هر دو نقطه دلخواه به ویژه در شبکه‌های بزرگ [۱۲].

به عنوان نمونه‌ای از کاربرد این نوع الگوریتم‌ها می‌توان به تعیین کوتاه‌ترین مسیرهای فرار در شبکه‌ی پیچیده معادن زیرزمینی در موارد اضطراری با استفاده از الگوریتم فلوید-وارشال[5] اشاره نمود [۱۳].

در این مقاله به منظور تعیین مسیرهای بهینه بین نقاط مختلف دسترسی معدن تخت، الگوریتم کروسکال در نظر گرفته شده است. بدین ترتیب دسترسی به نقاط استراتژیک معدن از جمله تونل‌های استخراجی، گمانه‌ها، کمپ تعمیرات و ... با هزینه کمتر امکان‌پذیر می‌شود.

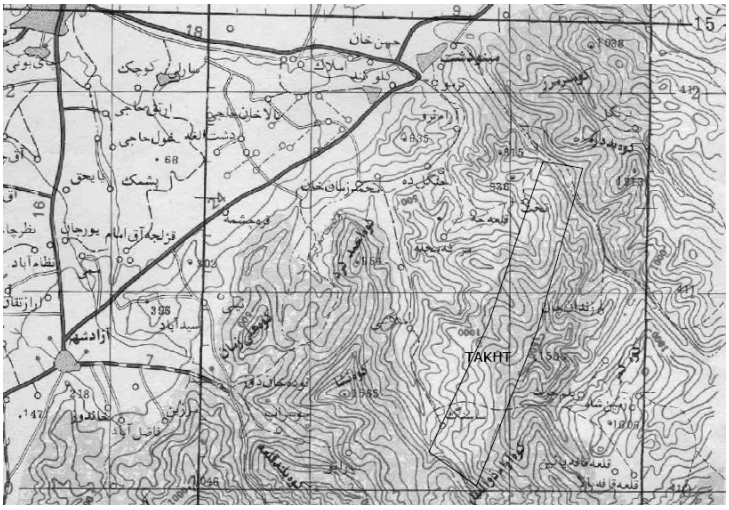
۲- معدن زغال‌سنگ تخت

معدن زغال‌سنگ تخت از نظر جغرافیایی در جنوب شرق شهرستان مینودشت و در فاصله ۱۲ کیلومتری آن واقع شده است. وجه تسمیه نام معدن از روستای مجاور آن به نام تخت گرفته شده که در شمال شرق این منطقه قرار گرفته است. محدوده منطقه تخت و کروکی راه‌های دسترسی به معدن در شکل (۱) نشان داده شده است.

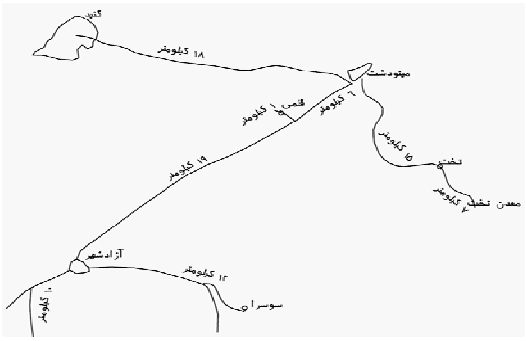
محدوده زغالی، توسط ۵ گسل بزرگ احاطه شده است، که این گسل‌ها باعث جدایی آن از مناطق دیگر می‌شوند. در این حوضه زغالی آزیموت شیب لایه‌ها ۳۰۰ درجه و شیب متوسط آن‌ها ۳۰ تا ۳۵ درجه است. اکثر زغال‌های منطقه تخت مربوط به تریاس فوقانی تا ژوراسیک پایین می‌باشند. ضخامت ناحیه زغال‌دار منطقه ۶۰۰ متر و تعداد کل لایه‌های زغالی ۲۶ لایه است. مجموع ضخامت لایه‌های زغالی منطقه در حدود ۱۳ متر و ضریب زغال‌خیزی آن ۷/۲۵ درصد است. تعداد لایه‌های زغالی قابل استخراج در منطقه ۶ لایه است که عملیات اکتشافی به صورت اولیه و پراکنده روی این لایه‌ها انجام گرفته است [۱۴].

منطقه تخت از نظر وضعیت آب و هوایی دارای تابستان‌های گرم و مرطوب و زمستان‌های سرد و پر بارش است که باعث ایجاد رودخانه‌های پرآبی چون رودخانه گرگان رود در این منطقه شده است. بارندگی زیاد سبب شده کشاورزی رونق بالایی داشته و گیاهان مختلفی در منطقه رشد نمایند، به طوری که یک پوشش گیاهی مدیترانه‌ای کل منطقه را در بر گرفته است.

1- Dijkstra
2- Bellman-Ford
3- Double-Sweep
4- Johnson
5- Floyd-Warshall



(الف)



(ب)

شکل ۱- محدوده منطقه تخت و موقعیت راه‌های دسترسی به معدن [۱۴]: الف) نقشه ۱/۲۵۰۰۰۰ راه‌های دسترسی در منطقه تخت، ب) کروکی راه‌های دسترسی به معدن تخت

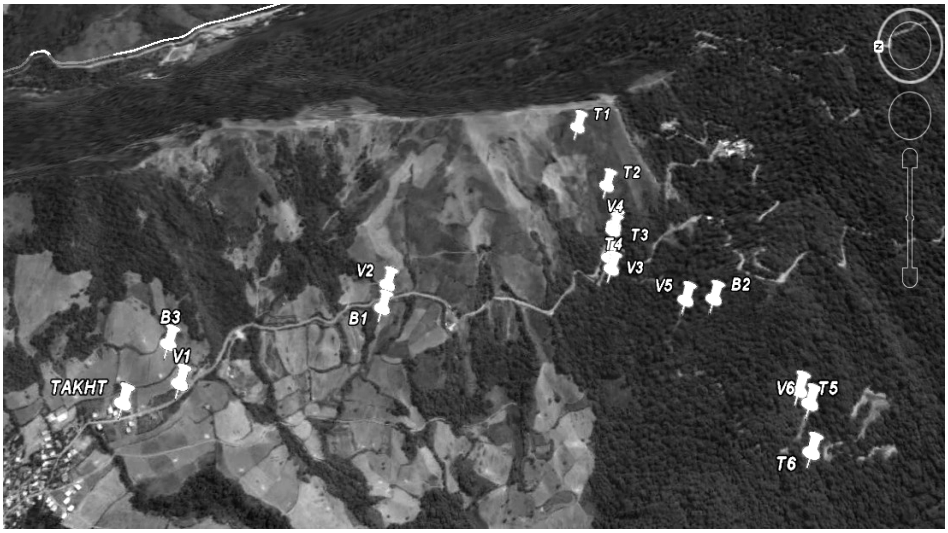
۳- مدل‌سازی راه‌های دسترسی و مسیرهای احتمالی

در این مقاله، شبکه احتمالی راه‌ها به صورت یک گراف، مدل‌سازی شده است. برای مدل‌سازی شبکه راه‌ها با یک گراف، هر یک از نقاط کلیدی موجود (دهانه گمانه‌ها، دهانه تونل‌ها، محل اسکان پرسنل و ...) با یک گره و ارتباط دو گره مجاور (یا همان مسیر بین دو نقطه)، با یک یال نشان داده شده است. وزن هر یال و یا ارزش مسیر بین دو نقطه ارتباط مستقیم با فاصله دو نقطه از هم و میزان پوشش گیاهی موجود در مسیر دارد. لذا در این بخش ابتدا پوشش گیاهی منطقه مورد بررسی قرار گرفته و سپس مدل‌سازی انجام می‌شود.

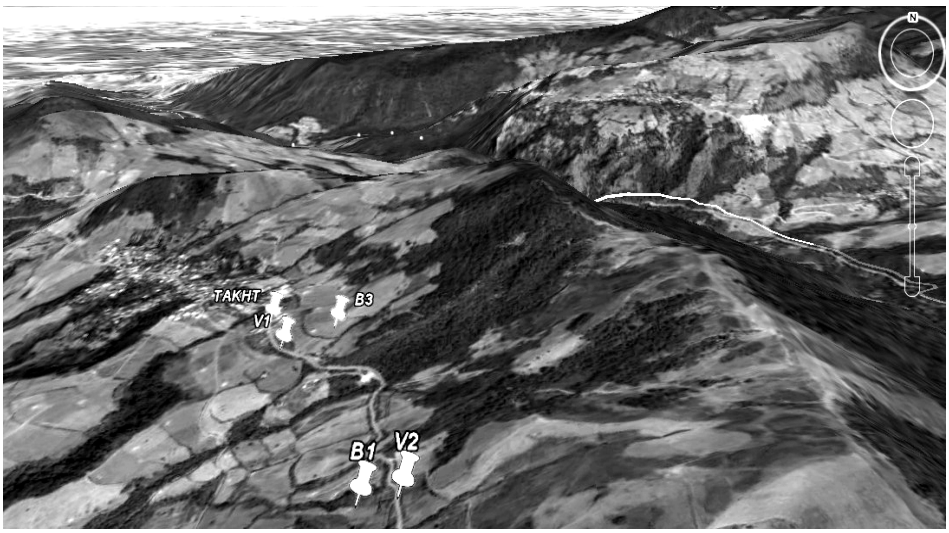
قابل ذکر است که از جمله سایر عوامل مؤثر در هزینه احداث و تعیین محل جاده‌ها می‌توان به شیب مسیر، ساخت ابنیه فنی، هزینه‌های ترابری و مصرف سوخت و غیره اشاره نمود. از آن‌جا که مهم‌ترین مشکل در بهره‌برداری از معدن تخت، مشکل تخریب زیست‌محیطی منطقه است. لذا نگرش اصلی در این مقاله کاهش آسیب‌های زیست‌محیطی ناشی از تخریب منابع طبیعی است و سایر هزینه‌ها و عوامل اقتصادی در این مورد خاص، دارای اهمیت کمتری می‌باشد.

۳-۱- بررسی پوشش گیاهی مسیرهای محتمل

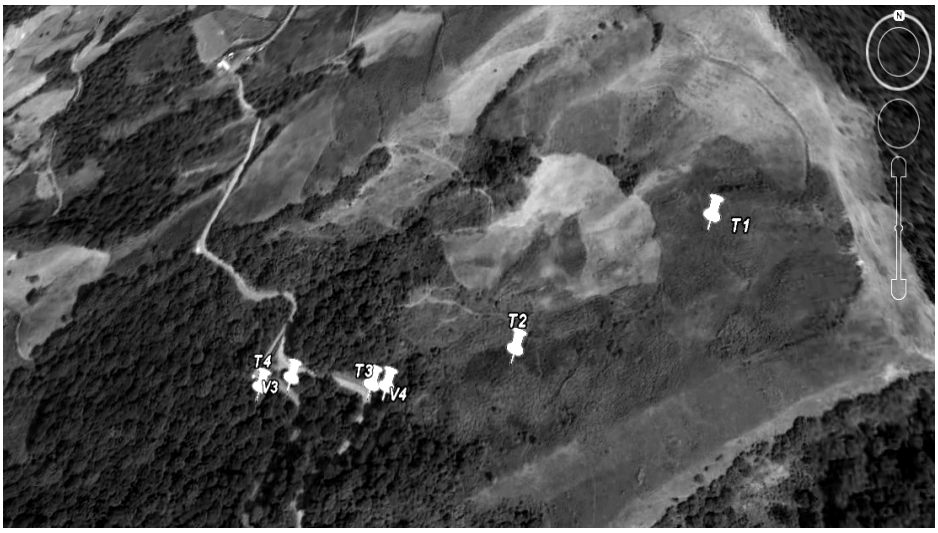
پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه و موقعیت نقاط کلیدی بر روی آن در شکل‌های (۲) إلی (۵) نشان داده شده است [۱۵]. به منظور کمّی نمودن ارزش پوشش گیاهی بر روی مسیرهای محتمل بین نقاط کلیدی در منطقه مورد نظر «ضریب پوشش گیاهی» تعریف شده است. ضریب پوشش گیاهی بیانگر میزان پوشش مسیر از گیاه (یا درخت) است. در این مقاله ضریب پوشش گیاهی بر مبنای رده‌بندی تعریف شده در جدول (۱) و شکل (۶) بین تمام نقاط کلیدی بررسی شده است.



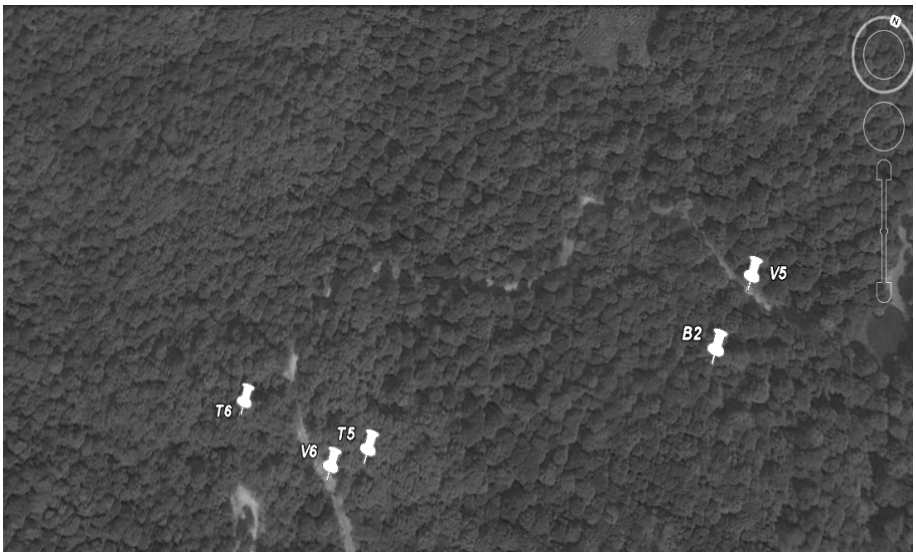
شکل ۲- پوشش گیاهی کل منطقه مشتمل بر تمام نقاط در نظر گرفته شده



شکل ۳- پوشش گیاهی بین نقاط محل اسکان (روستای تخت)، دهانه گمانه‌های B_1 و B_2 و نقاط V_1 و V_2



شکل ۴- پوشش گیاهی بین دهانه تونل‌های شماره ۱، ۲، ۳ و۴ و نقاط V_3 و V_4



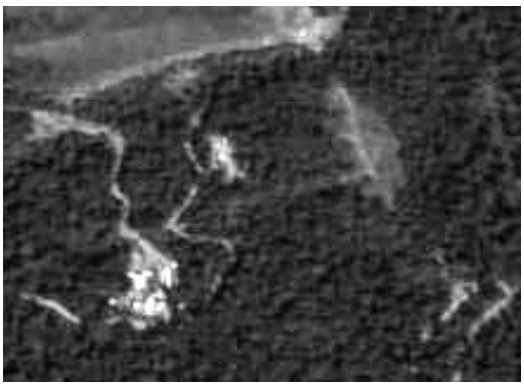
شکل ۵- پوشش گیاهی بین دهانه تونل‌های ۱ و ۲، گمانه B2 و نقاط V_5 و V_6

نقاط کلیدی شامل موقعیت ۳ دهانه گمانه (B_1-B_3)، ۶ دهانه تونل در لایه استخراجی k19 (T_1-T_6)، روستای تخت (S) (محل اسکان پرسنل) و ۶ نقطه مجازی (V_1-V_6) است. نقاط مجازی نقاط واسطی واقع بر مسیر جاده موجود در معدن (احداث شده از قبل) هستند که به منظور بهینه کردن مسیرهای احتمالی در نظر گرفته شده‌اند. در صورتی که مسیر بین دو نقطه دارای پوشش گیاهی خیلی متراکم (شکل (۶- الف)) باشد، در رده ۱ قرار گرفته و بیشترین ضریب (۸۰ تا ۱۰۰ درصد) به آن تعلق می‌گیرد. به همین ترتیب به پوشش گیاهی خیلی ضعیف (شکل (۶- هـ)) کمترین ضریب (۰ تا ۲۰ درصد) تعلق گرفته و در رده ۵ قرار می‌گیرد. هرچه ضریب پوشش گیاهی کمتر باشد، بدین معنا است که احداث جاده در آن مسیر دارای آسیب زیست‌محیطی کمتر به منطقه و در نتیجه هزینه کمتر است. سایر مسیرها با پوشش گیاهی متفاوت نیز بر اساس شکل (۲) در یکی از رده‌های ۲ تا ۴ قرار می‌گیرند.

جدول ۱- رده‌بندی پوشش گیاهی

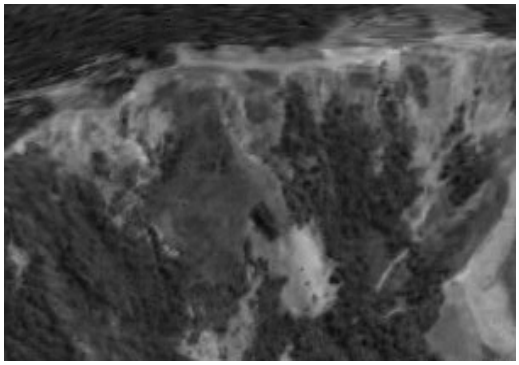
پوشش گیاهی	رده	ضریب (٪)
خیلی ضعیف	۵	۰ تا ۲۰
ضعیف	۴	۲۰ تا ۴۰
متوسط	۳	۴۰ تا ۶۰
متراکم	۲	۶۰ تا ۸۰
خیلی متراکم	۱	۸۰ تا ۱۰۰

(الف)

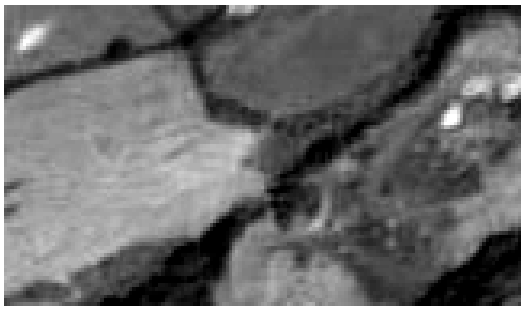


(ب)

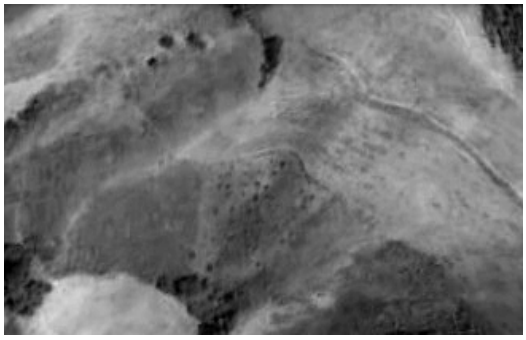
شکل ۶- رده‌بندی پوشش گیاهی: الف) پوشش خیلی متراکم، ب) پوشش متراکم، ج) پوشش متوسط، د) پوشش ضعیف، هـ) پوشش خیلی ضعیف



(ج)



(د)

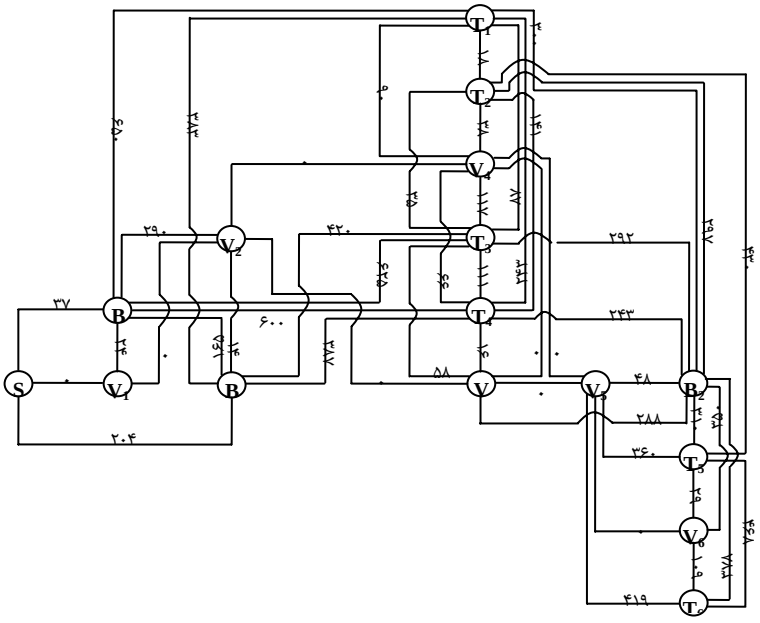


(هـ)

شکل ۶- (ادامه)

۳-۲- مدل‌سازی

گراف مدل‌سازی شده شبکه احتمالی راه‌ها متشکل از ۱۶ گره و ۴۸ یال در شکل (۷) نشان داده شده است. مختصات گره‌های گراف در جدول (۲) آمده است [۱۵ و ۱۶]. در مدل‌سازی این گراف، یال‌های غیرمعقول و اضافه بین گره‌ها در نظر گرفته نشده است. این یال‌ها، یال‌هایی هستند که جاده‌سازی در آن مسیرها با توجه به فاصله زیاد و پوشش گیاهی بسیار متراکم به طور کاملاً واضحی دارای وزن بسیار زیاد (تخریب زیست‌محیطی زیاد و هزینه بالا) و در نتیجه غیر اقتصادی است. وزن هر یال برابر با حاصل‌ضرب ضریب پوشش گیاهی و فاصله یک گره تا گره دیگر در نظر گرفته شده است. برای تعیین ارزش معادل یال‌ها لازم است که ابتدا فاصله و سپس ضریب پوشش گیاهی بین تمام گره‌های گراف محاسبه و تعریف شود. در صورتی که دو رأس یال در مسیر جاده از قبل احداث شده واقع شده باشد، به دلیل عدم وجود پوشش گیاهی، هزینه ناشی از تخریب زیست‌محیطی منظور نشده و به آن یال، ارزش صفر اختصاص داده می‌شود. در غیر این صورت، به دلیل این‌که مسیر حد فاصل گره‌ها را پوشش گیاهی در بر گرفته، احداث جاده مستلزم تخریب پوشش گیاهی بوده و در نتیجه هزینه تحمیلی به صورت حاصل‌ضرب فاصله در ضریب پوشش گیاهی محاسبه می‌شود. براین اساس، ارزش معادل یال‌ها بین نقاط کلیدی مشخص شده در شکل (۲)، محاسبه و در جدول (۳) بیان شده است.



شکل ۷- گراف مدل‌سازی شده شبکه احتمالی راه‌ها

جدول ۲- مختصات گره‌های گراف

نقاط	X	Y	Z	نقاط	X	Y	Z
S	۳۶۱۱۳۸	۴۱۱۳۹۷۳	۷۰۳	T_5	۳۶۱۱۱۸	۴۱۱۲۷۷۸	۶۶۸
B_1	۳۶۱۳۹۳	۴۱۱۳۳۴۰	۷۹۶	T_6	۳۶۰۹۸۸	۴۱۱۲۲۷۳	۶۲۴
B_2	۳۶۱۳۶۸	۴۱۱۲۴۶۱	۷۳۱	V_1	۳۶۱۱۸۹	۴۱۱۳۸۴۳	۷۱۱
B_3	۳۶۱۳۰۰	۴۱۱۳۸۸۵	۷۰۰	V_2	۳۶۱۴۶۲	۴۱۱۳۳۲۶	۷۳۳
T_1	۳۶۱۸۹۲	۴۱۱۲۷۵۹	۸۶۲	V_3	۳۶۱۵۲۱	۴۱۱۲۷۰۸	۷۴۴
T_2	۳۶۱۷۲۷	۴۱۱۲۶۸۸	۷۲۲	V_4	۳۶۱۶۰۰	۴۱۱۲۶۸۴	۷۶۶
T_3	۳۶۱۶۱۲	۴۱۱۲۶۷۴	۷۶۶	V_5	۳۶۱۳۷۹	۴۱۱۲۵۲۵	۷۲۴
T_4	۳۶۱۴۹۱	۴۱۱۲۷۰۲	۷۲۲	V_6	۳۶۱۰۸۵	۴۱۱۲۲۵۳	۶۸۰

جدول ۳- مشخصات یال‌های گراف

نام یال	فاصله دو گره (متر)	ارزش معادل یال	نام یال	فاصله دو گره (متر)	ارزش معادل یال	نام یال	فاصله دو گره (متر)	ارزش معادل یال	نام یال	فاصله دو گره (متر)	ارزش معادل یال
SV_1	۱۴۰	۰	B_2T_3	۳۲۴	۲۹۲	T_4T_1	۴۰۵	۲۴۳	B_3V_2	۵۸۰	۲۹۰
V_1B_3	۱۲۰	۲۴	B_2V_3	۳۲۰	۲۸۸	T_4V_3	۱۸	۱۶	V_2V_3	۵۰۰	۰
SB_3	۱۸۵	۳۷	B_2T_2	۴۲۵	۲۹۷	V_3V_4	۳۲	۰	B_3T_4	۱۲۰۰	۶۰۰
SB_1	۶۸۰	۲۰۴	B_2T_4	۲۷۰	۲۴۳	V_3V_5	۱۱۵	۰	T_1B_3	۱۳۰۰	۶۵۰
V_1V_2	۵۸۵	۰	T_4V_4	۱۱۰	۶۶	V_4T_3	۱۳۰	۱۱۷	B_2V_6	۳۵۰	۳۵۰
V_2V_4	۵۸۰	۰	T_5T_2	۶۱۵	۴۳۰	T_3T_2	۱۱۵	۳۵	T_2V_4	۱۲۷	۳۸
V_2B_1	۷۰	۱۴	B_1T_3	۷۰۰	۴۲۰	T_3T_1	۲۹۰	۸۷	B_2T_5	۳۱۰	۳۱۰
B_1T_4	۶۴۵	۳۸۷	B_1T_1	۷۶۶	۳۸۳	T_2T_1	۱۸۰	۱۸	T_6T_5	۵۲۰	۴۶۸
T_4T_3	۱۲۵	۱۱۱	B_2T_1	۶۰۰	۳۰۰	V_5V_6	۳۹۰	۰	B_3B_1	۵۵۰	۱۶۵
T_4T_2	۲۳۶	۱۴۱	T_6V_5	۴۶۵	۴۱۹	B_2V_5	۵۳	۴۸	V_4V_5	۶۰۰	۰
V_4T_1	۳۰۰	۹۰	V_5T_5	۳۶۰	۳۶۰	V_6T_6	۱۰۹	۱۰۹	T_6B_2	۴۲۰	۳۷۸
B_3T_3	۱۲۵۰	۶۲۵	T_3V_3	۹۷	۵۸	V_6T_5	۳۲	۲۹			

۴- تحلیل شبکه راه‌ها با استفاده از الگوریتم کراسکال

الگوریتم کروسکال یکی از انواع الگوریتم‌های حریصانه[1] الگوریتم حریصانه یک الگوریتم جستجوگر است که برای حل مسائل بهینه‌سازی به کار می‌رود. این الگوریتم به ترتیب عناصر داده‌ها را گرفته و هر بار عنصری را که طبق یک معیار معین، بهترین است، بدون توجه به انتخاب‌های قبلی و انتخاب‌های آینده، برمی‌گزینند. این راهبرد تضمین نمی‌کند که جواب‌های بهینه‌ای برای مسأله پیدا کند، اما ثابت شده است که بعضی از راهبردهای حریصانه، منجر به درخت پوشایی[2] با کمترین وزن می‌شوند. الگوریتم کراسکال یکی از این راهبردها است. گام‌های این الگوریتم به ترتیب زیر است [۱۲، ۱۷ و ۱۸]:

- ایجاد یک مجموعه تهی به نام R.
- مرتب کردن یال‌های گراف با ترتیب صعودی ارزش آن‌ها.
- انتخاب یالی که کمترین ارزش را دارد.
- اضافه کردن یال انتخاب شده به مجموعه جواب R.
- انتخاب یال بعدی با کمترین ارزش از یال‌های باقی‌مانده.
- بررسی این که آیا دو سر یال انتخاب شده روی یک درخت واقع است یا خیر؟
- اگر دو سر یال متعلق به یک درخت نباشد به مجموعه جواب اضافه، در غیر این صورت یال بعدی بررسی می‌شود.

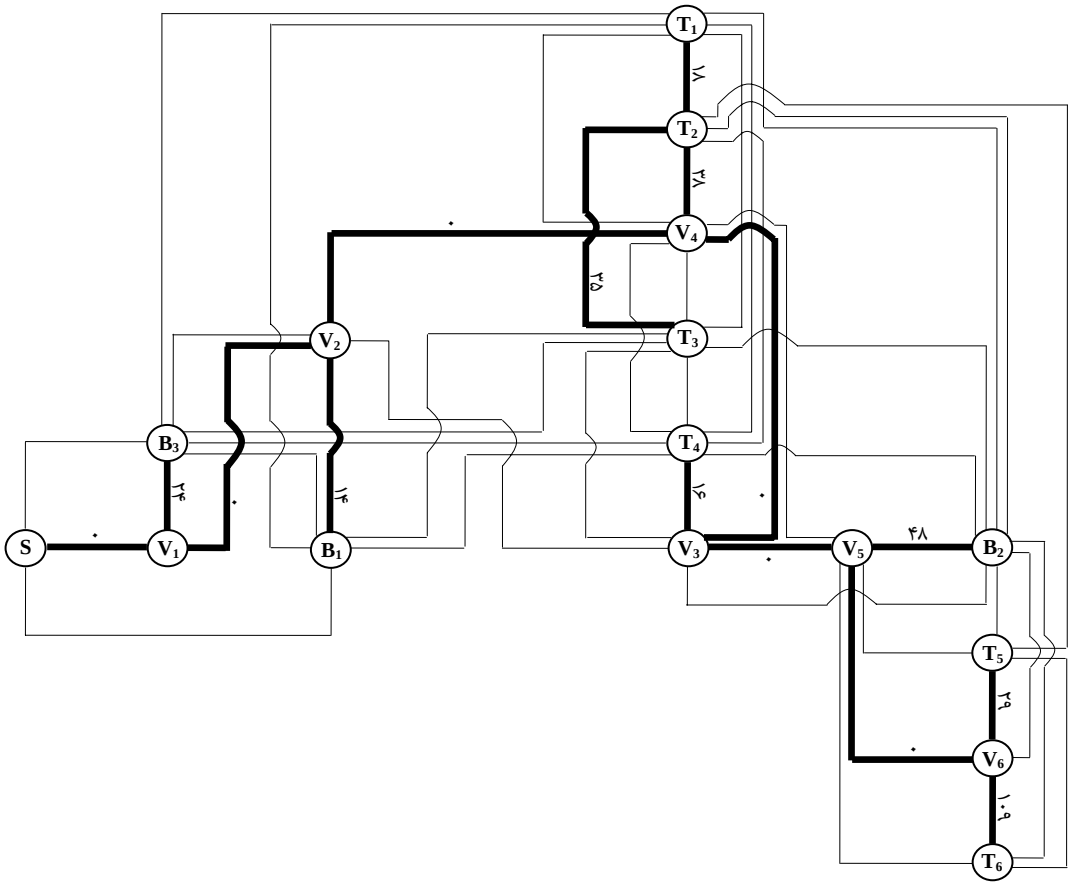
روال فوق تا جایی که تمام یال‌ها بررسی شوند، ادامه می‌یابد.

در جدول (۴) نتیجه اجرای الگوریتم کراسکال بر روی گراف شکل (۷) بیان شده است. در این جدول ردیف‌هایی که به رنگ تیره نمایش داده شده، مسیر بهینه را ارائه می‌دهند. در شکل (۸) درخت پوشای کمینه حاصل از اجرای الگوریتم بر روی گراف شکل (۷) نشان داده شده است. در این شکل مسیر بهینه با خطوط پر رنگ نمایش داده شده است. با یافتن چنین مسیری و احداث جاده در راستای آن اولاً دسترسی به تمام نقاط شبکه میسر شده و ثانیاً کمترین آسیب زیست‌محیطی به منطقه وارد خواهد شد.

1- Heuristic
2- Spanning tree

جدول ۴- یال‌های مرتب شده گراف بر مبنای ارزش یال‌ها به ترتیب صعودی و حل گراف (یال‌های رنگ شده)

ردیف	یال	ارزش	ردیف	یال	ارزش	ردیف	یال	ارزش	ردیف	یال	ارزش
۱	SV_1	۰	۱۴	V_6T_5	۲۹	۲۶	T_4T_2	۱۴۱	۳۸	V_5T_5	۳۶۰
۲	V_1V_2	۰	۱۵	T_3T_2	۳۵	۲۷	B_3B_1	۱۶۵	۳۹	T_6B_2	۳۷۸
۳	V_2V_4	۰	۱۶	SB_3	۳۷	۲۸	SB_1	۲۰۴	۴۰	B_1T_1	۳۸۳
۴	V_3V_4	۰	۱۷	T_2V_4	۳۸	۲۹	T_4T_1	۲۴۳	۴۱	B_1T_4	۳۸۷
۵	V_3V_5	۰	۱۸	B_2V_5	۴۸	۳۰	B_2T_4	۲۴۳	۴۲	T_6V_5	۴۱۹
۶	V_5V_6	۰	۱۹	T_3V_3	۵۸	۳۱	B_2V_3	۲۸۸	۴۳	B_1T_3	۴۲۰
۷	V_4V_5	۰	۲۰	T_4V_4	۶۶	۳۲	B_3V_2	۲۹۰	۴۴	T_5T_2	۴۳۰
۸	V_2V_3	۰	۲۱	T_3T_1	۸۷	۳۳	B_2T_3	۲۹۲	۴۵	T_6T_5	۴۶۸
۹	V_2B_1	۱۴	۲۲	V_4T_1	۹۰	۳۴	B_2T_2	۲۹۷	۴۶	B_3T_4	۶۰۰
۱۰	T_4V_3	۱۶	۲۳	V_6T_6	۱۰۹	۳۵	B_2T_1	۳۰۰	۴۷	B_3T_3	۶۲۵
۱۱	T_2T_1	۱۸	۲۴	T_4T_3	۱۱۱	۳۶	B_2T_5	۳۱۰	۴۸	T_1B_3	۶۵۰
۱۲	V_1B_3	۲۴	۲۵	V_4T_3	۱۱۷	۳۷	B_2V_6	۳۵۰			



شکل ۸- مسیر بهینه شبکه راه‌ها بین نقاط دسترسی در معدن تخت

۵- نتیجه‌گیری

در مدیریت منابع طبیعی وجود جاده‌های استاندارد با تراکم مناسب باعث مدیریت مناسب این منابع خواهد شد. طراحی و برنامه‌ریزی بهینه شبکه جاده‌ها در مناطق جنگلی از عوامل مهم توسعه پایدار برای جنگل‌ها است که باعث کاهش هزینه و تخریب آن می‌شود. در این مقاله، هدف پیاده‌سازی طرحی است که مسیر بهینه جهت احداث جاده در منطقه معدن تخت را مشخص کند تا بر مبنای آن با توجه به مشکلات فراوان زیست-محیطی در منطقه، کمترین آسیب به طبیعت بکر منطقه وارد شود. الگوریتم کراسکال برای تعیین مسیر بهینه بین نقاط

کلیدی خاص (گمانه اکتشافی، تونل استخراجی، محل اسکان پرسنل یا نقطه‌ای خاص) به کار برده شده است. با استفاده از این روش می‌توان با کم‌ترین آسیب به پوشش گیاهی و زمین‌های کشاورزی منطقه، اقدام به احداث جاده جهت استخراج و تکمیل عملیات اکتشافی در معدن نمود. در نهایت پس از حل گراف مدل‌سازی شده شبکه راه‌ها توسط الگوریتم کراسکال، مسیر کلی بهینه به ارزش ۳۳۱ به دست آمد. این مسیر کلی شامل ۱۵ مسیر بین نقاط کلیدی است که ۶ مسیر آن بر روی جاده احداث شده از قبل در منطقه قرار دارد و بنابر این عواقب زیست‌محیطی ندارد. ۴ مسیر از منطقه با پوشش گیاهی خیلی متراکم، ۳ مسیر از منطقه با پوشش گیاهی خیلی ضعیف و ۲ مسیر از منطقه با پوشش گیاهی ضعیف عبور می‌کند.

۶- مراجع

[۱] احمدی، ع.، حاجی نژاد، ع.،"تخریب محیط زیست مانعی در برابر توسعه پایدار"، چهارمین کنگره بین-المللی جغرافیدانان جهان اسلام، زاهدان، ایران، ۲۵-۲۷ فروردین، ۱۳۸۹، ص ۳۳-۳۷.

[۲] رضایی، پ.،"نقش جنگل‌ها در رشد اقتصادی و بهبود وضعیت زیست‌محیطی و اثرات مخرب جاده‌های جنگلی بر جنگل‌ها"، همایش منطقه‌ای جنگل‌ها و محیط زیست ضامن توسعه پایدار، بوشهر، ایران، ۷-۸ اردیبهشت، ۱۳۹۰، ص ۱۲۰-۱۲۹.

[۳] فکوهی، ن.، "مؤسسه انسان‌شناسی و فرهنگ"، http://anthropology.ir، ۱۶ آبان، ۱۳۹۱.

[4] Oviir, M., Utouh, L. S. L., "Auditing Mining: Guidance for Supreme Audit Institutions", INTOSAI Working Group on Environmental Auditing (WGEA), 2010, pp 16-17.

[5] Naveen Saviour, M., "Environmental Impact of Soiland Sand Mining: A Review", International Journal of Science, Environment and Technology, 2012, 1 (3), 125-134.

[۶] جهانبازی گوجانی، ح.، حسینی، ع.، نقوی، ح.،"نقش جاده‌سازی در ایجاد لغزش و تخریب پوشش جنگلی در ناحیه رویشی زاگرس (مطالعه موردی استان چهارمحال و بختیاری)"، همایش منطقه‌ای جنگل‌ها و محیط زیست ضامن توسعه پایدار، بوشهر، ایران، ۷-۸ اردیبهشت، ۱۳۹۰، ص ۱-۱۳.

[7] Diamond Corner Building, "Miningand Environment Impact Guide, Gauteng Department of Agriculture, Environment and Conservation", Diamond Corner Building, 2008, pp 1-1119.

[8] Rosen, K. H., "Discrete Mathematics and its Applications", 6th Edition, Mc Graw-Hill, 2006.

[9] Taylor, G. D., "Logistic Engineering Handbook", CRC Publisher, 2007.

[10] Qin, X., Lu, H., Wang, Y., "A K-Shortest-Paths-Based Algorithm for Stochastic Traffic Assignment Model and Comparison of Computation Precision with Existing Methods", The Eastern Asia Society for Transportation Studies, 2005, 5, 1218-1232.

[11] Eppstein, D., "Finding K Shortest Paths", SIAM Journal on Computing, 1990, 28 (3), 652-673.

[12] Cormen, T. H., Leiserson, C. E., Rivest, R. L., "Intruduction to Algorithms", 3nd Edition, Mc Graw-Hill, 2001, pp 1-1312.

[13] Jalali, S. E., Noroozi, M., "Determination of the Optimal Escape Routes of Undergroundmine Networks in Emergency Cases", Safety Science, 2009, 47 (8), 1077-1082.

[۱۴] شرکت البرز شرقی، "گزارش نهایی معدن زغال سنگ تخت"، بخش فنی مهندسی شاهرود، آبان، ۱۳۸۸.

[15] Keyhole, Inc., "Google Earth Plus", 2004.

[۱۶] نقیب‌زاده، م.،"طراحی الگوریتم‌ها، تحلیل، طراحی و ارزیابی کارایی"، مشهد، ۱۳۸۸، ص ۱-۲۴۳.

[۱۷] قلی‌زاده، ب.، "طراحی و تحلیل الگوریتم‌ها"، تهران، ۱۳۸۹، ص ۱-۱۱۸.

Journal of Civil and Environmental Engineering
Volume 44, Issue 2, Summer 2014

EXTENDED ABSTRACT

Optimization of Access Routes in Takht Coal Mine for Minimizing Environmental Damages

Seyed Mohammad Esmaiel Jalali [a,*], Ali Azad [a], Mehdi Noroozi [a], Farroukh Forouhandeh [b], Mohammad Reza Azad [a]

[a] *Faculty of Mining Enineering., Petroleum and Geophysics, University of Shahrood, Shahrood 3619995161, Iran*
[b] *Mathematical Department, University of Shahrood, Shahrood 3619995161, Iran*

Received: 05 May 2013; **Accepted:** 10 December 2013

Keywords:
Environment, Optimal route, Kruskal algorithm, Takht coal mine

1. Introduction

Unscientific mining has caused degradation of land, severe ecological imbalance and damage to the land use patterns in and around mining regions [1]. Mines due to a variety of reasons, especially because of need for construction of several access roads to different parts of a mine, are considered as one of the major causes of damage to natural resources and forests. Construction of new access roads during mine exploration and development is among the most important environmental damaging factors [2]. In this paper, Kruskal's algorithm has been considered to determine the optimal routes between different access points of the Takht coal mine in such a way to reduce costs and environmental damages.

2. Methodology

In this paper, the possible network of routes has been modeled in the form of a graph. In this network, each available key point (such as collar of the boreholes, entrance of the tunnels, staff accommodation) has been shown by a node. The relation between two adjacent nodes has been considered as an edge in this simulated graph. The weight of each edge or the value of route between two points is directly related to the distance between two points and the amount of vegetation existing around the route.

2.1. Vegetation consideration

In order to quantify the value of vegetation on the possible routes between key points in the investigated areas, "vegetation coefficient" is defined. Vegetation coefficient indicates the rate of plants (e.g. trees and etc.) coverage of the paths. In this paper vegetation coefficient is evaluated based on the classification defined in Table 1 across all the key points. The lower the vegetation coefficient is, the less the environmental damage is, so that the cost will be diminished.

Table 1. Vegetation classification

Vegetation	Category	Index (%)
Very poor	5	0-20
Poor	4	20-40
Average	3	40-60
Dense	2	60-80
Very dense	1	80-100

* Corresponding Author
E-mail addresses: jalalisme@shahroodut.ac.ir (Seyed Mohammad Esmaiel Jalali), ali_azad1362@yahoo.com (Ali Azad), mnoroozi.mine@gmail.com (Mehdi Noroozi), f.forouhandeh@shahroodut.ac.ir (Farroukh Forouhandeh).

2.2. Modeling

The modeled graph of the possible routes in this network consisting of 16 nodes and 48 edges is shown in Fig. 1. In this figure, the value of each edge is written on the same edge. To determine the equivalent value of edges, it is necessary to calculate and define the gap between edges primarily and then the vegetation index between all nodes of the graph. If the two nodes of the edge are to be located on the path to pre-built road, due to no vegetation, a zero value will be assigned to that edge. Otherwise, since the path between nodes is surrounded by the vegetation, road construction requires the destruction of vegetation and subsequently, the enforced cost is calculated as the product of gap multiplied by vegetation index.

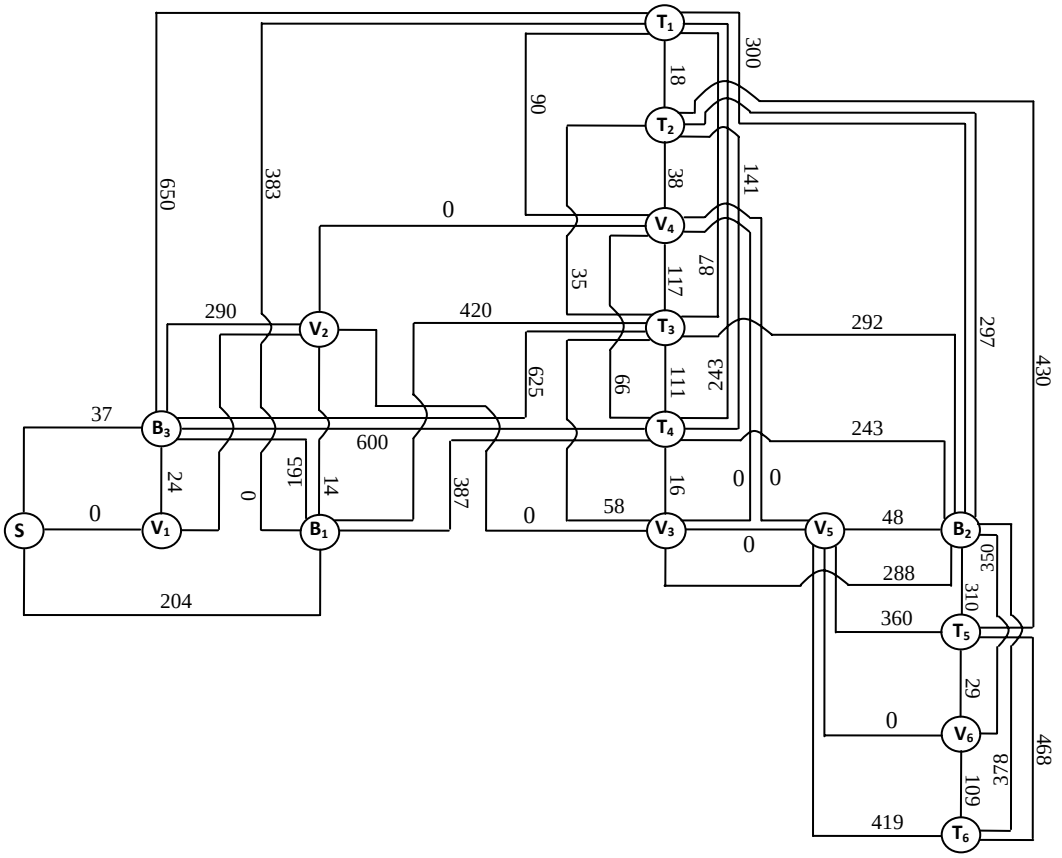


Fig. 1. A modeled graph of possible path network

3. Results

Fig. 2 shows the result of implementing Kruskal's algorithm on the graph of Fig. 1. The optimal route is marked on the graph and also the minimum spanning tree from algorithm implementation is shown.

4. Conclusions

Finally, after solving the modeled graph of routes network by Kruskal algorithm, the general optimal path was obtained with the value of 331. This general route includes 15 paths between key points that 6 of them have been constructed in the pre-built road of the region, and therefore, there are no environmental consequences. Four paths are passed though the region with very dense vegetation, 3 paths are passed through the region with very poor vegetation and the 2 paths are passed through the region with poor vegetation. By this method, the road (for completing the exploration process and exploitation) can be constructed with the least costs and minimum environmental damage.

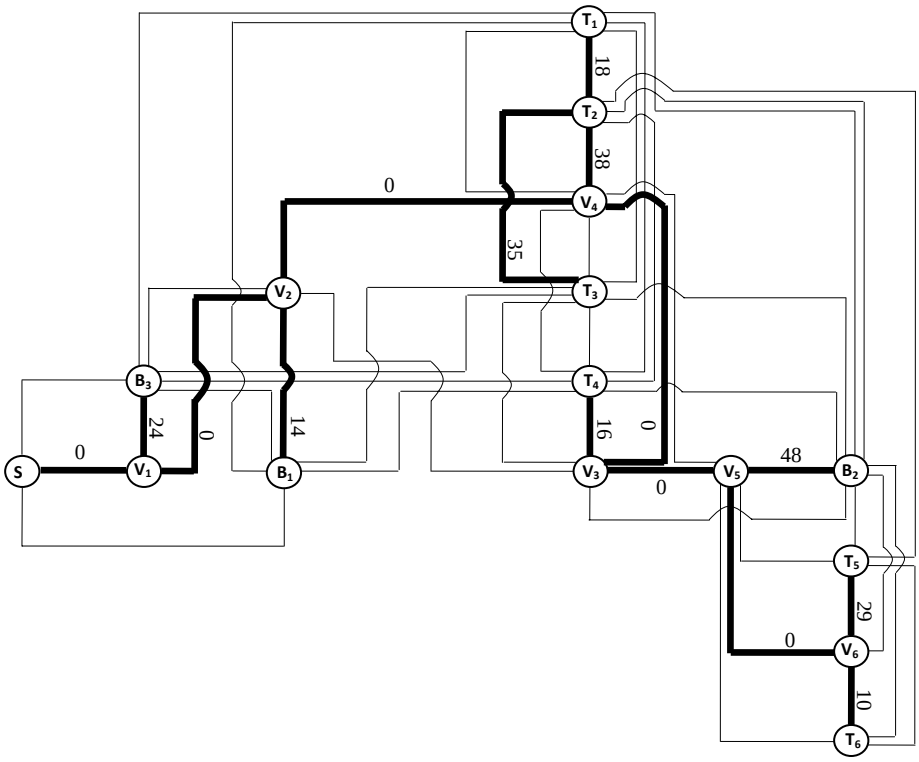


Fig. 2. The optimal route of path network between access points in flat mine

5. References

[1] Naveen Saviour, M., "Environmental Impact of Soil and Sand Mining: A Review", International Journal of Science, Environment and Technology, 2012, 1 (3), 125-134.

[2] Oviir, M., Utouh, L. S. L., "Auditing Mining: Guidance for Supreme Audit Institutions", INTOSAI Working Group on Environmental Auditing (WGEA), 2010, PP16-17.