فصلنامه علمی تخصصی
مهندسی و مدیریت ساخت
سال دوم، شماره چهارم
شماره پیاپی هشتم
زمستان ۱۳۹۶

ارزیابی روش های پایدارسازی دامنه های سنگی و شیب های خاکی با رویکرد کاهش هزینه زمان (مطالعه موردی : دامنه های جاده آبعلی)

رضا خوانین زاده
دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مدیریت ساخت، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران
زهرا سبزی
استادیار گروه مهندسی عمران، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران

نویسنده مسئول: رضا خوانین زاده
آدرس ایمیل:
rezakhavaninzadeh03@gmail.com

چکیده:

شیروانی‌ها در جاده های کوهستانی حلقه وصل جاده با محیط بوده و در واقع نوعی بریدگی می باشند که ثبات و تعادل طبیعی دامنه ها را به‌هم می‌زنند و می‌تواند باعث ایجاد زمین لغزش و رانش در دامنه های خاکبرداری شده و یا خاکریزی شده گردند. روش های مختلفی جهت پایدارسازی شیب وجود دارد که با توجه به شرایط منطقه و نیازها یکی از آنها جهت پایدار سازی شیب مورد استفاده قرار می گیرد. در این مطالعات به بررسی روش های مختلف پایدارسازی شیب در جاده آبعلی از لحاظ هزینه اجرایی و زمان اجرا، پرداخته شده است. با توجه به مطالعات میدانی انجام پذیرفته در این جاده محل های خطرناک شناسایی گردیده و طولی در حدود ۱ کیلومتر از جاده که در واقع با توجه به آمار حوادث جاده، خطرناکترین بخش جاده می باشد. جهت انجام مطالعات انتخاب گردیده است. روش های مورد بررسی در این مطالعه موردی عبارت از؛ دیوار حائل بتنی مسلح، نیلینگ، استفاده از گابیون و استفاده از ژئوسل می باشد. همچنین در این مطالعات استفاده از روش پوشش گیاهی نیز مورد بررسی قرار گرفت که با توجه به عدم امکان پذیری استفاده از این روش در شیب مورد بررسی، مدل این روش در نرم افزار MSP تهیه نگردید. نتایج مطالعات نشان داد که در بین روش های مورد مطالعه، نیلینگ به عنوان بهترین گزینه و دیوار بتنی مسلح به عنوان پر هزینه ترین و زمان برترین گزینه جهت پایدار سازی شیب، می باشد.

کلمات کلیدی: پایدار سازی شیب؛ دیوار حائل بتنی؛ نیلینگ؛ گابیون بندی؛ ژئوسل

Provide a model of the impact of Value Engineering and Organizational Agility in improving the competitiveness of construction industry companies

Reza Khavaninzadeh
Department of Civil Engineering, karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran

Zahra Sabzi
Assistante Professor, Department of Civil Engineering, karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran

JECM
Journal of Engineering & Construction Management
Volume 2 , Issue 4,
Winter 2018

Corresponding author:
Reza Khavaninzadeh
Email address:
rezakhavaninzadeh03@gmail.com

۱- مقدمه

یکی از انواع حوادثی که هر ساله خسارات مالی و جانی فراوانی را بر فعالیت های عمرانی وارد می نماید پدیده ناپایداری دامنه ها و شیب های تند در جاده ها می باشد. وجود عوامل مستعد کننده ناپایداری دامنه ها نظیر شیب-های تند و از جمله عوامل ایجاد خسارت می توان به هدر رفت سریع خاک، تخریب اراضی کشاورزی و مسکونی، جنگل ها، جاده ها و... می باشد. در این پژوهش مدیریت کاهش هزینه در دامنه های سنگی و شیب های خاکی ناپایدار مورد نظر است و سعی بر این است تا پایدارسازی شیب های خاکی و دامنه های سنگی با کمترین هزینه ممکن به انجام رسد. دامنه‌های سنگی متحرک در اغلب موارد با بهبود وضعیت زهکشی داخلی شان و ارائه راهکاری در جهت خروج آب و جلوگیری از هوازدگی پایدار می‌شوند[۱]. پایدارسازی شیب ها و دامنه شریان های عبوری در همه کشورها مبالغ هنگفتی را به خود اختصاص می دهد، در کشور ایران به دلیل تنوع زمین شناسی و اقلیمی آن زمین لغزش های متعدد به وقوع می پیوندد و بروز آنها اثرات اقتصادی و اجتماعی گسترده ای را بر نقاط مختلف کشور متحمل می نماید. فی کانگ[1] و همکاران [۲] در سال ۲۰۱۷ در مطالعه ای تحت عنوان " ارزیابی پایداری شیب با استفاده از فرآیندهای گواسی با عملکردهای مختلف کواریانس" بیان داشته اند که تابع کوواریانس یکی از مهمترین بخش های مدل سازی GP است. دیان کینگ[2] و همکاران [۳] در سال ۲۰۱۷ در مطالعه ای تحت عنوان « تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان سیستم پایداری شیب با استفاده از شبیه سازی زیر مجموعه جمعی» بیان داشته اند که ساز و کارهای شکست شیب معمولا پیش از تحلیل ثبات شیب، ناشناخته است. ممکن است چندین سناریو شکست احتمالی فرض شود، منجر به تعدادی از وقایع ناگواری در سناریو می شود. بکسترند[3] و همکاران [۴] در سال ۲۰۱۶ در مقاله ای تحت عنوان "برآورد کاهش هزینه برای شیب خاکی ناپایدار و دامنه های سنگی بر اساس شرایط" به بررسی پرداخت و نتایج کار را این گونه ارائه داد که پس از تصویب مدیریت اصول حمل و نقل دارایی برای پل ها و پیاده روها برخی از ادارات حمل و نقل دولت متوجه می شوند فرصتی برای گسترش همان اصول مدیریتی برای دامنه های سنگی و شیب های خاکی ناپایدار فراهم شده است. این همبستگی هزینه می تواند به نوبه خود در برنامه ریزی در سطح برنامه استفاده می شود. گسسوز[4] و همکاران [۵] در سال ۲۰۱۵ به پژوهش تحت عنوان استفاده از خصوصیات سطح خاک در ارزیابی وضعیت مرتع با استفاده از روش آنالیز کارکرد سرزمین پرداخته اند. در این تحقیق به منظور تشخیص کارکرد سیستم خاک-شکل زمین و اثرات آن در رشد گیاهان مرتعی و ارتباط بین خصوصیات خاک و شکل زمین، از دانش کارشناسی و تجزیه های آماری استفاده گردید.. جیانگ[5] و همکاران [۶] در سال ۲۰۱۵ در مقاله ای تحت عنوان « تجزیه و تحلیل قابلیت کارایی سیستم پایداری شیب در خاک های متغیر با استفاده از شبیه سازی مونت کارلو» بیان داشته اند که شبیه سازی مونت کارلو (MCS) یک روش مفهومی ساده و قوی برای ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم پایداری شیب، به ویژه در خاک های متغیر است. پارویسین[6] و همکاران [۷] در سال ۲۰۱۵ در مقاله ای به بررسی مکان شمع در پایدارسازی شیب های خاکی پرداختند و عنوان نمودند که پایدارسازی شیب های خاکی و پیشنهاد راه کارهای گوناگون، یکی از مسائل مطرح و مهم در مهندسی ژئوتکنیک است. استفاده از روش های عددی و تحلیلی در پایدارسازی شیب های خاکی به کمک شمع، از روش های متداولی است که به وسیله پژوهشگران مختلف بررسی شده است. وتزل[7] و دوتک[8] [۸] در سال ۲۰۱۵ به پژوهش تحت عنوان بررسی سطوح شیبدار و معرفی گونه های گیاهی مناسب آن پرداخته اند. در این مقاله به بررسی نقش پوشش گیاهی در جلوگیری از فرسایش خاک در سطوح شیبدار پرداخته شده است و سعی گردید که با بیان ویژگی های گیاهان مناسب کاشت در این سطوح و همچنین معرفی برخی گونه های مناسب در جهت پایداری دامنه های شیبدار و افزایش زیبایی فضای سبز شهری گام برداریم. امین منوچهریان و همکاران [۹] در سال ۲۰۱۴، در مقاله ی تحت عنوان « توسعه یک مدل برای تجزیه و تحلیل پایداری شیب برای شکست حالت مدور با استفاده از الگوریتم ژنتیک»، بیان داشته اند که برآورد پایداری شیب یک مشکل مهندسی است که شامل چندین پارامتر است. تعاملات بین فاکتورهایی که بر بی ثباتی شیب تاثیر می گذارد، پیچیده و چند فاکتوریل است، بنابراین اغلب توصیف ثبات شیب به صورت ریاضی است. در این مقاله پیشنهاد استفاده از یک الگوریتم ژنتیک (GA) به عنوان یک روش جستجوی اکتشافی برای یافتن یک مدل رگرسیون برای تحلیل ثبات شیب پیشنهاد می‌شود.

۲- مواد و روش ها

در این مطالعات به بررسی مدیریتی روش های مختلف پایدارسازی شیب در جاده آبعلی پرداخته شده است. با توجه به مطالعات میدانی انجام پذیرفته در این جاده محل های خطرناک شناسایی گردیده و طولی در حدود ۱ کیلومتر از جاده که در واقع با توجه به آمار تصادفات جاده، خطرناکترین بخش جاده می باشد. جهت انجام مطالعات انتخاب گردیده است. در این بخش ابتدا به معرفی جاده آبعلی و ارائه مشخصات فنی این جاده پرداخته شده است. سپس کیلومتراژهای پرخطر جاده جهت انجام مطالعات انتخاب می گردد. در نهایت با استفاده از نرم افزار MSP چهار روش مختلف پایدار سازی شیب در مسیر انتخابی از لحاظ هزینه زمان با همدیگر مقایسه می گردد. روش های مورد بررسی عبارت از؛ دیوار حائل بتنی مسلح، نیلینگ، استفاده از گابیون و استفاده از ژئوسل می باشد. همچنین در این مطالعات استفاده از روش پوشش گیاهی نیز مورد بررسی قرار گرفت که با توجه به عدم امکان پذیری استفاده از این روش در شیب مورد بررسی، مدل این روش در نرم افزار تهیه نگردید.

۲-۱- معرفی جاده آبعلی

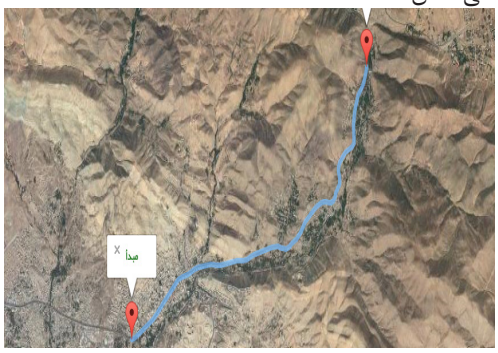
شهر آبعلی یکی از قدیم ترین مناطق استان تهران محسوب می شود. این منطقه که کمتر از ۱۰ سال است که به شهر تبدیل شده در شمال شرق بخش رودهن و در امتداد جاده هراز واقع شده و تنها یک کیلومتر با مرکز بخش فاصله دارد. شهر آبعلی که مناطق مبارک آباد و پیست اسکی آبعلی را شامل می شود دارای آب و هوای سرد در زمستان و خنک

[1] Kang
[2] Dian-Qing
[3] Beckstrand
[4] Gessesse
[5] Jiang
[6] Paroissien
[7] Wetzel
[8] Doucette

در تابستان می باشد در مجموع چهار هزار نفر جمعیت دارد. فاصله این شهر از مرکز شهر تهران برابر ۷۱ کیلومتر می باشد. جاده رودهن-آبعلی که در هدف اصلی مطالعات حاضر می باشد دارای ۸.۴ کیلومتر طول می باشد که با توجه به کوهستانی بودن مسیر یکی از جاده های پر خطر اطراف شهر تهران می باشد. شروع جاده مورد بررسی دارای ارتفاع ۱۷۴۳ متر می باشد که در خروجی شهر آبعلی این ارتفاع به ۲۰۸۶ مترمی رسد. شیب طولی جاده از کیلومتراژ ۰ تا ۲ کیلومتر برابر ٪۲.۵ ، از کیلومتراژ ۲ تا ۴ برابر ٪۵.۲ ، از کیلومتراژ ۴ تا ۶ برابر ٪۴.۲ و از کیلومتراژ ۶ تا ۸.۴ برابر ٪۳.۶ می باشد. در شکل ۱ تصویری از این جاده نشان داده شده است.

شکل ۱: تصویری از جاده آبعلی (کیلومتراژ ۴)

این جاده آسفالته به صورت چهار بانده با عرض کل ۲۵ متر طراحی و ساخته شده است. در شکل ۲ نقشه هوایی جاده آبعلی نشان داده شده است.



شکل ۲ نقشه هوایی جاده آبعلی از مبدا شهر تهران

با توجه به با توجه به آمار تلفات و تصادفات جاده آبعلی و نیز مطالعات میدانی انجام پذیرفته، در طول مسیر ۸.۴ کیلومتری جاده آبعلی دو محل حادثه خیز وجود دارد در شکل ۳ محل های حادثه خیز نشان داده شده است. مسیر حادثه خیز اول از کیلومتراژ ۱.۴ کیلومتر تا ۲.۳ کیلومتر و مسیر حادثه خیز دوم از کیلومتراژ ۵.۴ تا ۶.۴ می باشد که علت اصلی حادثه خیزی در این محل ها شیب زیاد طولی به همرا شیب عرضی و همچنین احتمال وقوع پدیده روانگرایی خاک در مسیر ۲ و ریزش سنگ در مسیر ۱ می باشد. با توجه به اینکه در مسیر ۱ به طول ۹۰۰ متر از دیوار حائل بتن آرمه استفاده شده است و از لحاظ خطر نیز بسیار پرخطرتر از مسیر ۲ می باشد لذا در این مطالعات مسیر شماره ۱ مشخص شده در این شکل، جهت مطالعات نهایی انتخاب گردیده است.

طیف کلی	خیلی زیاد	زیاد	متوسط	کم	خیلی کم
ارزش عددی	۵	۴	۳	۲	۱

شکل ۳ : مسیر های خطرناک شناسایی شده در جاده آبعلی

در شکل ۴ نقشه توپوگرافی اطراف جاده آبعلی نشان داده شده است. این مسیر کوهستانی بوده و شیب طولی بسیار زیادی دارد به طوری که از ارتفاع ۱۷۴۱ متر در رودهن شروع و به ارتفاع ۲۰۷۲ متر در آبعلی ختم می گردد. این اختلاف ارتفاع زیاد به همراه وجود شیب های عرضی این جاده را از جمله جادهای خطرناک کشور قرار داده است. تردد در این مسیر در مواقع بارش برف بسیار مشکل بوده و گاها با انسداد جاده همراه است و یکی از مشکلات عمده این مسیر احتمال ریزش سنگ و وقوع پدیده روانگرایی در خاک ها می باشد. خاک منطقه در اکثر نقاط مسیر از نوع رسی بوده و لذا پتاسیل وقوع روانگرایی را دارد.

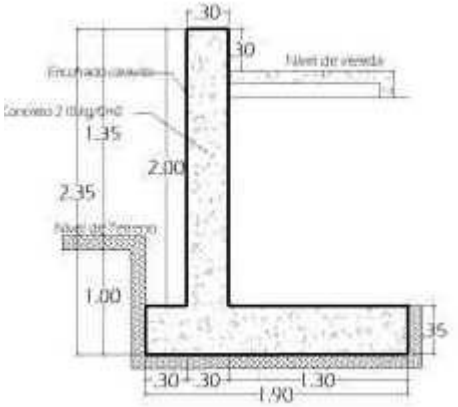
شکل ۴: توپوگرافی جاده آبعلی

۳-نتایج و بحث

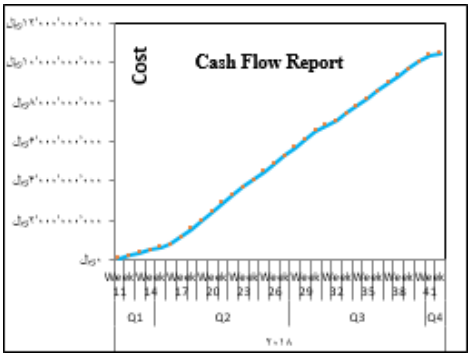
در این بخش به ارائه نتایج حاصل از مدل های هزینه زمان نرم افزار MSP در انتخاب روش مناسب جهت استفاده در مسیر شماره ۱ انتخابی پرداخته شده است. همچنین نتایج تحلیل های سلسله مراتبی AHP جهت انتخاب گزینه نهایی پایدار سازی ارائه گردیده است.

۳-۱- پایدار سازی با استفاده از دیوار حائل بتنی

در مسیر انتخابی نهایی از کیلومتراژ ۱.۴ تا ۲.۳ از دیوار حائل بتن آرمه جهت پایدار سازی شیب اطراف و مقابله با ریزش کوه استفاده شده است. مقطع عرضی دیوار حائل در شکل ۵ نشان داده شده است. با توجه به WBS تعریف شده مدت زمان اجرای پروژه ۱۵۴ روز برآورد شده است. در شکل ۶ نمودار تجمعی هزینه—زمان در پروژه دیوار حائل نشان داده شده است.



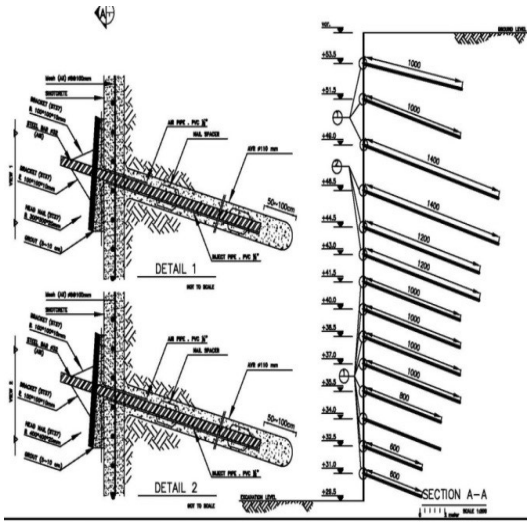
شکل ۵: مقطع عرضی دیوار حائل بتن آرمه



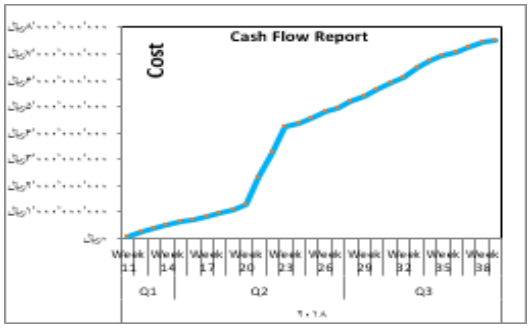
شکل ۶: نمودار تجمعی هزینه – زمان در پروژه دیوار حائل

۳-۲- پایدار سازی شیب با استفاده از روش نیلینگ

روش اجرای کار نیلینگ به این صورت است که ابتدا دیواره ها رگلاژ می شوند. سپس شبکه های مش های فولادی بوسیله میخ های ۵۰ سانتیمتری نصب می شوند و روی آن به ضخامت حدود ۱۰ تا ۱۵ سانتیمتر بتن پاشی می شود. مرحله بعد حفاری گمانه ها و جا زدن میلگرد یا کابل است. در ادامه گمانه ها با دوغاب سیمان تزریق شده و پس از گیرش دوغاب، هد نیل ها بسته می شود. در شکل ۷ جزئیات اجرایی نیلینگ نشان داده شده است. با توجه به WBS تعریف شده مدت زمان اجرای پروژه ۱۳۹ روز برآورد شده است. در شکل ۷ نمودار تجمعی هزینه – زمان در پروژه نیلینگ نشان داده شده است.



شکل ۷ : جزئیات اجرایی نیلینگ

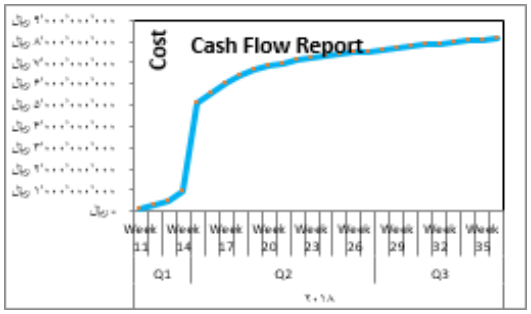


شکل ۸: نمودار تجمعی هزینه – زمان در پروژه نیلینگ

۳-۳- پایدار سازی شیب با استفاده از گابیون بندی

گابیون برگرفته از واژه ای ایتالیایی به معنای قفس بزرگ است و به قفس، استوانه یا جعبه ای گفته می شود که با سنگ، شن یا حتی بتن پر می شود. گابیون به تورهای سیمی و فلزی گفته می شود که به شکل قفس درآمده اند و داخل آن ها با سنگ و قلوه سنگ های درشت و کوچک پر می شود و دارای کارکردهای مختلفی می باشد. سنگ های درون گابیون به صورت خشکه چین بر روی هم قرار می گیرند. در شکل ۹ جزئیات گابیون مورد استفاده در پروژه نشان داده شده است. با توجه به WBS تعریف شده مدت زمان اجرای پروژه ۱۲۶ روز برآورد شده است. در شکل ۱۰ نمودار تجمعی هزینه – زمان در پروژه گابیون بندی نشان داده شده است.

شکل ۹: جزئیات گابیون مورد استفاده



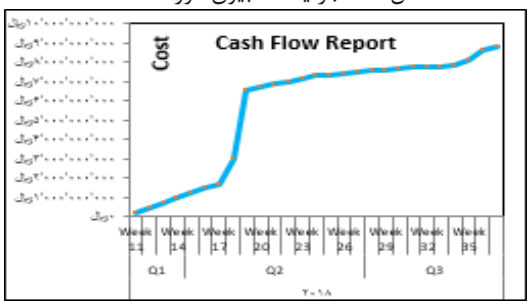
شکل ۱۰: نمودار تجمعی هزینه – زمان در پروژه نیلینگ

۳-۴- پایدار سازی شیب با استفاده از ژئوسل

ژئوسل‌ها مصالحی هستند که در پایدارسازی شیب‌ها جهت کاهش پیامدهای زیست محیطی و کاهش لغزش زمین به کار گرفته می‌شود. زمانی که از سازه‌های نگهدارنده مرسوم با جنس بتن و فولاد برای پایداری شیب‌ها یا کاهش لغزش زمین استفاده می شود، معمولاً منظره زیبایی نداشته و با محیط زیست سازگار نیستند. لیکن وقتی این شبکه‌های لانه زنبوری پلی اتیلنی که به همراه خاک گیاه کاری شده جایگزین آنها می شوند، سازگاری بیشتری با محیط زیست دارند. این فرآیند با نام محافظت بیوتکنیکی شیب نیز

شناخته شده است. ژئو سل فرآورده‌ای پلیمری، سه بعدی و نفوذپذیر با ساختاری لانه زنبوری یا سلولی که با استفاده از ژئوگرید بوسیله سوزن‌های ویژه با آرایشی مثلثی یا مربع شکل مونتاژ شده و یا اینکه در کارخانه با استفاده از نوارهای پلیستری سوزن دوزی شده یا پلی اتیلن فشرده (HDPE) تولید می‌شود. در شکل ۱۱ نحوه اجرای ژئوسل نشان داده شده است. با توجه به WBS تعریف شده مدت زمان اجرای پروژه ۱۳۵ روز برآورد شده است. در شکل ۱۲ نمودار تجمعی هزینه – زمان در پروژه گابیون بندی نشان داده شده است.

شکل ۱۱: جرئیات گابیون مورد استفاده



شکل ۱۲ : نمودار تجمعی هزینه – زمان در پروژه نیلینگ

۳-۵- پایدار سازی شیب با استفاده از پوشش گیاهی

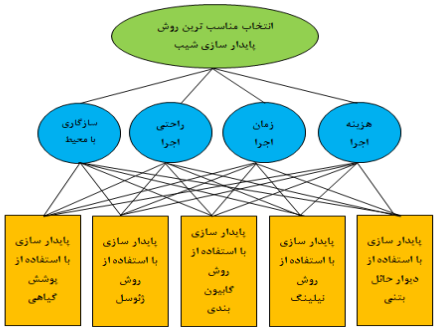
استفاده از روش های بیومهندسی جهت پایدارسازی شیب های طبیعی و مصنوعی، گرچه دیرتر از روش های دیگر مطرح شده اند، اما امروزه بسیار مورد توجه قرار گرفته اند. حفاظت خاک با مدیریت پوشش گیاهی جهت پایدارسازی شیب ها یکی از موارد حائز اهمیت ژئوتکنیکی در پروژه های مختلف، ازجمله ساحل سازی رودخانه ها می باشد. در این میان محدودیت ها و مسایل مختلفی همچون شرایط اجتماعی و زیست محیطی، وضعیت اقلیمی، مسایل فنی و همچنین محدودیت های اقتصادی و اجرایی، شرایط محدود کننده ای در انتخاب این روش ها در محدوده های شهری و غیر شهری ایجاد می نماید. از سوی دیگر امروزه استفاده ازروشهای بیومهندسی، به تنهایی یا در کنار روش های مختلف سازه ای، علاوه بر رعایت جنبه های فنی، سلیقه و نگرش خاصی در ترکیب پدیده ها را بوجود آورده است. با توجه به بررسی های انجام پذیرفته، شیب مورد مطالعه در منطقه از نوع صخره ای و سنگی می باشد و استفاده از پوشش گیاهی جهت پایدار سازی مناسب نمی باشد. علاوه بر این آب هوای کوهستانی منطقه نیز یکی از دلایل عدم کاربرد این روش در مسیر می باشد. در این مطالعات از مدل سازی این پروژه نیز صرف نظرشده است. در جدول ۱ هزینه اجرایی هر یک از روش ها مطابق فهرست بهای سال ۱۳۹۶ نشان داده شده است.

جدول ۱: هزینه اجرایی روش های مختلف

دیوار حائل بتن آرمه	۱۰٬۴۲۲٬۶۸۰٬۰۰۰
تیلینگ	۷٬۴۷۸٬۱۲۵٬۰۰۰
گابیون بندی	۸٬۱۰۶٬۰۰۰٬۰۰۰
ژئوسل	۸٬۱۰۶٬۰۰۰٬۰۰۰

۳-۶- تحلیل سلسله مراتبی AHP

فرایند تحلیل سلسسله مراتبی (AHP) یکی از معروفترین فنون تصمیم گیری چند منظوره است که اولین بار توسط توماس. ال. ساعتی عراقی الاصل در دهه ۱۹۷۰ ابداع گردید. این روش در هنگامی که عمل تصمیم گیری با چند گزینه رقیب و معیار تصمیم گیری روبرو است می تواند استفاده گردد. معیارهای مطرح شده می توانند کمّی و کیفی باشند. اساس این روش تصمیم گیری بر مقایسات زوجی نهفته است. تصمیم گیرنده با فراهم آوردن درخت سلسله مراتب تصمیم، آغاز می کند. درخت سلسله مراتب تصمیم، عوامل مورد مقایسه و گزینه های رقیب مورد ارزیابی در تصمیم را نشان می دهد. سپس یک سری مقایسات زوجی انجام می گیرد. این مقایسات وزن هر یک از فاکتورها را در راستای گزینه های رقیب مشخص می سازد. در نهایت منطق AHP به گونه ای ماتریس های حاصل از مقایسات زوجی را با همدیگر تلفیق می سازد که تصمیم بهینه حاصل آید. اولین قدم در فرایند تحلیل سلسله مراتبی، ایجاد یک نمایش گرافیکی می باشد. که در آن هدف، معیارها، زیرمعیارها و گزینه ها نشان داده می شود. در شکل ۱۳ نمودار سلسله مراتبی انتخاب روش پایدار سازی را نشان می دهد.



شکل ۱۳: نمودار سلسله مراتبی انتخاب روش پایدار سازی

در مرحله دوم فرایند سلسله مراتبی عناصر هر سطح نسبت به عنصر مربوطه خود در سطح بالاتر به صورت زوجی مقایسه شده و وزن آن ها محاسبه می شود. که این وزن ها را وزن نسبی می نامیم. سپس با تلفیق وزن های نسبی، وزن نهایی هر گزینه مشخص می گردد. کلیه مقایسه ها در فرایند سلسله مراتبی به صورت زوجی انجام می گیرد. به طور مثال اگر بخواهیم روش های پایدار سازی را از نظر معیار هزینه مقایسه کنیم ابتدا روش دیوار حائل بتنی را با روش نیلینگ از این نظر مقایسه کرده و سپس این مقایسه را با مورد گابیون بند، ژئوسل و پوشش گیاهی انجام می دهیم. این مقایسه ها توسط مقادیر کمی ۱ تا ۹ که در جدول ۲ مشخص گردیده اند، انجام می پذیرد. همچنین در جدول ۳ اهمیت نسبی معیارهای کلی از دیدگاه

خبرگان و در جداول ۴ تا ۷ ماتریس های مقایسه زوجی گزینه های مختلف پایدار سازی نشان داده شده است. در این جداول ردیف بردار ویژه از نرمال کردن میانگین های هندسی هر سطر بدست آمده است. به طورب که ابتدا میانگین هندسی هر سطر محاسبه گردیده و مقدار بردار ویژه هر سط از تقسیم این عدد به مجموع بردار های ویژه تمامی سطر ها محاسبه گردیده است. میانگین هندسی برای عدد عبارت است از ریشه n ام حاصلضرب اعداد می باشد.

جدول ۲: جدول کمیتی مقایسه دودویی شاخص ها

امتیاز	تعریف	توضیح
۱	Equally preferred اهمیت مساوی	در تحقق هدف، دو شاخص اهمیت مساوی دارند.
۳	Moderately preferred اهمیت اندکی بیشتر	تجربه نشان می‌دهد که برای تحقق هدف، اهمیت آ اندکی بیشتر از آ است.
۵	Strongly preferred اهمیت بیشتر	تجربه نشان می‌دهد که برای تحقق هدف، اهمیت آ بیشتر از آ است.
۷	Very strongly preferred اهمیت خیلی بیشتر	تجربه نشان می‌دهد که برای تحقق هدف، اهمیت آ خیلی بیشتر از آ است.
۹	Extremely preferred اهمیت مطلق	اهمیت خیلی بیشتر آ نسبت به آ به طور قطعی به اثبات رسیده است.
۸ و ۶،۴،۲	Intermediate values ترجیحات بینابین	هنگامی که حالت میانه وجود دارد.

جدول ۳: اهمیت نسبی معیارهای کلی از دیدگاه خبرگان

معیار های کلی	هزینه اجرا	زمان اجرا	راحتی اجرا	سازگاری با محیط	بردار ویژه
هزینه اجرا	۱	۵	۷	۵	۰،۶۳۶۷
زمان اجرا	۱/۵	۱	۳	۲	۰،۱۸۳۲
راحتی اجرا	۱/۷	۱/۳	۱	۲	۰،۰۹۷۳
سازگاری با محیط	۱/۵	۱/۲	۱/۲	۱	۰،۰۸۲۸

جدول ۴: ماتریس مقایسه زوجی گزینه ها بر اساس معیار هزینه اجرا

هزینه اجرا	دیواربتن آرمه	نیلینگ	گابیون بندی	ژئوسل	پوشش گیاهی	بردار ویژه
دیواربتن آرمه	۱	۱/۵	۱/۳	۱/۲	۲	۰،۰۹۱
نیلینگ	۵	۱	۲	۳	۷	۰،۴۵۷
گابیون بندی	۳	۱/۲	۱	۲	۳	۰،۲۳۶
ژئوسل	۲	۱/۳	۱/۲	۱	۳	۰،۱۵۱
پوشش گیاهی	۱/۲	۱/۷	۱/۳	۱/۳	۱	۰،۰۶۴

جدول ۵: ماتریس مقایسه زوجی گزینه ها بر اساس معیار زمان اجرا

زمان اجرا	دیواربتن آرمه	نیلینگ	گابیون بندی	ژئوسل	پوشش گیاهی	بردار ویژه
دیواربتن آرمه	۱	۱/۲	۱/۵	۱/۳	۲	۰،۰۸۹
نیلینگ	۲	۱	۱/۳	۱/۲	۳	۰،۱۴۷
گابیون بندی	۵	۳	۱	۲	۷	۰،۴۴۶
ژئوسل	۳	۲	۱/۲	۱	۵	۰،۲۶۲
پوشش گیاهی	۱/۲	۱/۳	۱/۷	۱/۵	۱	۰،۰۵۵

جدول۶: ماتریس مقایسه زوجی گزینه ها بر اساس معیار راحتی اجرا

راحتی اجرا	دیوار بتن آرمه	نیلینگ	گابیون بندی	ژئوسل	پوشش گیاهی	بردار ویژه
دیواربتن آرمه	۱	۲	۱/۳	۱/۲	۳	۰،۱۵۶
نیلینگ	۱/۲	۱	۱/۵	۱/۲	۲	۰،۱۰۴
گابیون بندی	۳	۵	۱	۲	۷	۰،۴۵۲
ژئوسل	۲	۲	۱/۲	۱	۵	۰،۲۳۴
پوشش گیاهی	۱/۳	۱/۲	۱/۷	۱/۵	۱	۰،۰۵۴

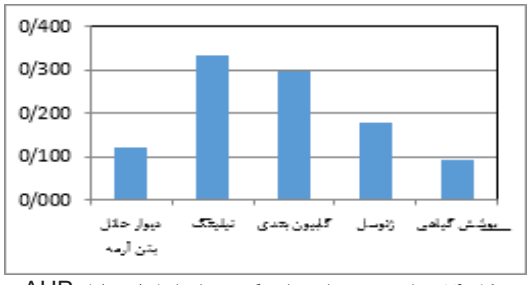
جدول ۷: ماتریس مقایسه زوجی بر اساس معیار سازگاری با محیط

سازگاری با محیط	دیوار بتن آرمه	نیلینگ	گابیون بندی	ژئوسل	پوشش گیاهی	بردار ویژه
دیواربتن آرمه	۱	۱/۲	۱/۵	۱/۳	۱/۷	۰،۰۵۱
نیلینگ	۲	۱	۱/۳	۱/۲	۱/۵	۰،۰۸۴
گابیون بندی	۵	۳	۱	۲	۱/۲	۰،۲۵۸
ژئوسل	۳	۲	۱/۲	۱	۱/۳	۰،۱۴۹
پوشش گیاهی	۷	۵	۲	۳	۱	۰،۴۵۸

در جدول ۸ وزن های نسبی هر یک از گزینه های و وزن نهایی آنها جهت تصمیم گیری، ارائه گردیده است. همچنان که در جدول نیز قابل ملاحظه می باشد، وزن نهایی نیلینگ برابر ۰.۳۳۵می باشد و به عنوان مناسب ترین گزینه برای پایدار سازی شیب در محدوده مورد مطالعه انتخاب می گردد. همچنین بر اساس نتایج تحلیل سلسله مراتبی AHP، گابیون بندی، ژئوسل، دیوار بتنی آرمه و پوشش گیاهی با وزن های نهایی ۰.۲۹۷، ۰.۱۷۹، ۰.۱۲۲ و ۰.۰۹۴ به عنوان گزینه های بعدی انتخاب گردیدند. در شکل ۱۴ وزن های نهایی هر یک از گزینه های اجرایی در نمودار میله ای مقایسه گردیده اند.

جدول ۸: مقایسه وزن های نسبی هر گزینه و وزن نهایی گزینه ها

	هزینه اجرا	زمان اجرا	راحتی اجرا	سازگاری با محیط	وزن نهایی
دیواربتن آرمه	۰،۰۹۱	۰،۰۸۹	۰،۴۵۲	۰،۰۵۱	۰،۱۲۲
نیلینگ	۰،۴۵۷	۰،۱۴۷	۰،۱۰۴	۰،۰۸۴	۰،۳۳۵
گابیون بندی	۰،۲۳۶	۰،۴۴۶	۰،۴۵۲	۰،۲۵۸	۰،۲۹۷
ژئوسل	۰،۱۵۱	۰،۲۶۲	۰،۲۳۴	۰،۱۴۹	۰،۱۷۹
پوشش گیاهی	۰،۰۶۴	۰،۰۵۵	۰،۰۵۴	۰،۴۵۸	۰،۰۹۴



شکل ۱۴: مقایسه وزن های نهایی گزینه ها حاصل از تحلیل AHP

۴- نتیجه گیری

در این مطالعات به بررسی روش های مختلف پایدارسازی شیب در جاده آبعلی از لحاظ هزینه اجرایی و زمان اجرا، پرداخته شده است. با توجه به مطالعات میدانی انجام پذیرفته در این جاده محل های خطرناک شناسایی گردیده و طولی در حدود ۱ کیلومتر از جاده جهت انجام مطالعات انتخاب گردیده است. روش های مورد بررسی در این مطالعه موردی عبارت از؛ دیوار حائل بتنی مسلح، نیلینگ، استفاده از گابیون و استفاده از ژئوسل می باشد. نتایج مطالعات نشان داد که در بین روش های مورد مطالعه، نیلینگ به عنوان بهترین گزینه و دیوار بتنی مسلح به عنوان پر هزینه ترین و زمان برترین گزینه جهت پایدار سازی شیب، می باشد. نتایج مطالعات

نشان داد که استفاده از روش های نیلینگ، گابیون بندی و ژئوسل به ترتیب باعث کاهش ٪۲۹، ٪۲۲ و ٪۱۶ هزینه های پروژه می گردد. همچنین این کاهش ها در زمان اجرا نیز مشاهده گردیده است به طوری که میزان کاهش زمان اجرا برای روش های نیلینگ، گابیون بندی و ژئوسل به ترتیب برابر ٪۱۰، ٪۱۸ و ٪۱۲ می باشد. با توجه به اینکه هزینه اجرایی یکی از پارامتر های موثر در انتخاب روش مناسب پایدار سازی می باشد لذا این پارامتر در تحلیل های AHP نیز بسیار تاثیر گذار گردیده و یکی از دلایل عمده انتخاب روش نیلینگ به عنوان روش نهایی پایدار سازی شیب جاده آبعلی می باشد. با توجه به نتایج حاصل از مطالعات می توان گزینه نیلینگ را برای تمامی طول مسیر جاده آبعلی پیشنهاد نمود. همچنین با توجه به شباهت اقلیمی، جنس خاک، ضریب چسبندگی و ارتفاع و شیب ناپایدار ترانشه ها در جاده آبعلی و جاده رودهن، این روش برای پایدار سازی بخش هایی دامنه های جاده رودهن نیز قابل تعمیم می باشد.

مراجع

[1] Miguel Ángel Vega-Velázquez, Abel García-Nájera, Humberto Cervantes, A survey on the Software Project Scheduling Problem, International Journal of Production Economics, Volume 202, August 2018, Pages 145-161

[2] Kang, F. Xu, B. Junjie L, Sizeng Z . (2017). Slope stability evaluation using Gaussian processes with various covariance functions . Applied soft computing journal ..vol 60, Pages 387–396

[3] Dian-Qing Li , Zhi-Yong Yang , Zi-Jun Cao , Siu-Kui Au , Kok-Kwang Phoon (2017). System Reliability Analysis of Slope Stability Using Generalized Subset Simulation. Applied mathematical modeling journal. Vol 46. .Pages 650-664

[4] Beckstrand, D., Mines, A., Thompson, P. D., & Benko, B. (2016). Development of Mitigation Cost Estimates for Unstable Soil and Rock Slopes Based on Slope Condition. In Transportation Research Board 95th Annual .(Meeting (No. 16-4286

[5] Gessesse, B., Bewket, W., & Bräuning, A. (2015). Model□based characterization and monitoring of runoff and soil erosion in response to land use/land cover changes in the Modjo watershed, Ethiopia. Land Degra- .dation & Development, 26(7), 711-724

[6] Jiang, S. H., Li, D. Q., Cao, Z. J., Zhou, C. B., and Phoon, K. K. (2015). Efficient system reliability analysis of slope stability in spatially variable soils using Monte Carlo simulation. Journal of Geotechnical and Geoenvi- .ronmental Engineering, 141(2), 04014096

[7] Paroissien, J. B., Darboux, F., Couturier, A., Devillers, B., Mouillot, F., Raclot, D., & Le Bissonnais, Y. (2015). Optimization place candles in earthen slopes. Journal of environmental management, 150, 57-68

[8] Wetzel, T. A., & Doucette, W. J. (2015). Plant leaves as indoor air passive samplers for volatile organic compounds (VOCs). .Chemosphere, 122, 32-37

[9] Manouchehrian A, Gholamnejad J, Sharifzadeh M (2014) Development of a model for analysis of slope stability for circular mode failure using genetic algorithm. Envi- .ron Earth Sci 71(3):1267-1277