

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

فصلنامه‌ی علمی - پژوهش علوم فنی

دانشگاه خاتم‌النبیین

معاونت علمی

ریاست تحقیقات

سال پنجم، شماره‌ی چهارم، خزان ۱۴۰۱

شناسه

صاحب امتیاز: دانشگاه خاتم‌النبیین

مدیر مسؤول: دکتر عبدالقیوم سجادی

سر دبیر: استاد عباس محبی

دبیر اجرایی: سید محمد سجادی

اعضای هیأت تحریر

۱. عباس محبی، رییس دانشکده‌ی کمپیوترساینس و انجیری دانشگاه خاتم‌النبیین
۲. محمدعلی فهیمی، عضو هیأت علمی دانشکده‌ی کمپیوترساینس و انجیری دانشگاه خاتم‌النبیین
۳. سید محمدشریف شاکر، عضو هیأت علمی دانشکده‌ی کمپیوترساینس و انجیری دانشگاه خاتم‌النبیین
۴. قربان‌علی فروغ، رییس دانشکده‌ی کمپیوترساینس دانشگاه تعلیم و تربیه استاد ربانی
۵. انجیر محمدعیسی نوید، عضو هیأت علمی دانشکده‌ی کمپیوترساینس و انجیری دانشگاه خاتم‌النبیین
۶. محمدحسین سلطانی، عضو هیأت علمی دانشکده‌ی کمپیوترساینس دانشگاه کابل

نویسندگان: ذبیح‌الله نیکزاد، محمدابوالفضل افصلی، عبدالله حلیمی، مرتضی مبلغ،

فاطمه کرامتی و دکتر غلام‌رضا شیران، ابوالفضل سلطانی و سید محمد سجادی

ویراستار ادبی: سید محمد سجادی

صفحه‌آرا: امین‌الله سخی‌زاده

آدرس: کابل، سرک دارالامان، دانشگاه خاتم‌النبیین

شماره‌ی تماس: ۰۷۸۷۷۰۰۷۰۰

E-mail: info@knu.edu.af

Web: www.knu.edu.af

یادآوری: هر گونه استفاده از محتوای این فصلنامه تنها با ذکر منبع مجاز است.

شیوه‌نامه‌ی تنظیم و نشر مقالات

الف) شرایط عمومی

۱. مقاله‌ی ارسال شده باید ارزش و اهمیت علمی-پژوهشی داشته باشد؛
۲. مقاله‌ی ارسال شده قبلاً در جای دیگر چاپ نشده باشد؛
۳. حجم مقالات حد اکثر ۶۵۰۰ تا ۷۰۰۰ کلمه باشد؛
۴. مقالات باید دارای مسأله‌ی مشخص، پاسخ‌های روشن به مسأله‌ی تحقیق بوده دارای نوآوری باشد؛
۵. مشخصات کامل نویسنده شامل (نام و تخلص، رتبه‌ی علمی، آخرین درجه‌ی تحصیلی با ذکر رشته، ایمیل آدرس و شماره‌ی تماس) به دوزبان فارسی و انگلیسی در آن درج شده باشد؛
۶. چکیده: چکیده‌ی مقاله باید اطلاعات اساسی پژوهش را به صورت مختصر و در حد فضای مجاز چکیده، ارائه کند. نگارش چکیده روشن می‌سازد که چرا و چگونه یک پژوهش انجام شده یا مقاله‌ی نوشته شده به چه نتایجی رسیده است. چکیده‌ی مقاله باید در یک پاراگراف و حداکثر ۲۵۰ کلمه نوشته شود و در متن آن بیان مسأله و هدف پژوهش، روش تحقیق، یافته‌ها و نتیجه‌گیری ذکر شده باشد؛
۷. چکیده به زبان انگلیسی ترجمه شده باشد.

ب) نحوه‌ی تنظیم مقاله

۱. مقاله باید دارای ساختار علمی شامل (عنوان، چکیده، کلیدواژه، مقدمه، بدنه و نتیجه) باشد؛
۲. ارجاع‌های درون متنی به پیروی از سیستم (APA) باشد؛ مانند: (تخلص نویسنده، سال: ص)
۳. کتاب‌شناسی پایانی نیز به پیروی از سیستم (APA) ترتیب شده باشد؛ مانند نمونه‌های ذیل:
مقاله: تخلص، نام اصلی. (سال). عنوان مقاله. نام نشریه. سال چندم. شماره. محل نشر
کتاب: تخلص، نام اصلی. (سال). عنوان کتاب. مترجم (اگر کتاب ترجمه شده) ناشر: محل نشر.

ج) فرایند پذیرش

۱. مقاله‌ها پس از دریافت جهت داوری به ارزیاب داده خواهد شد؛
۲. اگر مقاله نیاز به بازنگری داشته باشد، نویسنده پیشنهادها را ارزیاب را باید اعمال نماید؛
۳. در صورت پذیرفته شدن نهایی مقاله، به نویسنده اطلاع داد خواهد شد؛
۴. نویسنده حق نشر مقاله‌ی ارائه شده را به نشریه‌ی دیگر ندارد؛
۵. مسؤلیت محتوایی مقاله متوجه نویسنده بوده نشریه در این خصوص مسؤلیت ندارد.

فهرست مطالب

- سخن نخست ۱
- برنامه‌ریزی بهینه منابع فتوولتائیک ساختمانی و ایستگاه‌های شارژ سریع: مطالعه موردی روی شبکه توزیع کابل ۳
فاطمه کرامتی و دکتر غلام رضا شیران
- استفاده از سنگ اسلیت-فیلیت به عنوان مصالح طبیعی برای بهبود ویژگی‌های ژئوتکنیکی خاک رس مارنی ۳۷
مرتضی مبلغ ابوالفضل سلطانی
- حفاظت از سیستم‌های انرژی باد در برابر اثرات برخورد غیرمستقیم صاعقه ۵۷
عبدالله حلیمی
- بهبود مقاومت خاک واگرا با استفاده از پودر ضایعات شیشه ۷۷
مرتضی مبلغ
- ارزیابی فنی نیروگاه خورشیدی فتوولتائیک (PV) روی سقف شیروانی؛ مطالعه‌ی موردی دانشگاه خاتم‌النبین^(ص) در شهر کابل ۹۳
سید محمد سجادی
- طراحی و پیاده‌سازی دستگاه ثبت سیگنال الکترواکولوگرافی (EOG) برای بهبود رفتار چشمی کودکان اوتیسم ۱۱۷
محمد افضل افضلی
- مروری بر روش‌های بازیابی تصویر مبتنی بر محتوا بر اساس ویژگی شکل ۱۳۱
ذبیح‌الله نیک‌زاد

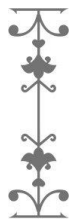
سخن نخست

زندگی امروزی بشر از زاویه‌های مختلفی بستگی مستقیم به دانش، تولید علم و صنعت دارد؛ می‌توان گفت که به هر میزانی که جامعه پیش‌رفت می‌نماید، پیچیدگی آن نیز بیش‌تر می‌گردد. نیازهای جدید جوامع از یک‌سو و حل مشکلات پیچیده از جانب دیگر، باعث می‌گردد، میان تولید علم و صنعت یک ارتباط تنگاتنگی شکل گیرد. تولید علم در بستر دانشگاه و تحقیقات علمی آن نمود پیدا می‌کند و ارتباط صنایع و دانشگاه موضوع مهمی است؛ زیرا بسیاری از مشکلات صنعت و حتی اشتغال افراد مسلکی از این طریق حل می‌گردد.

جهان امروز جهان تحقیق و تولید علم است و طی سال‌های گذشته سرمایه‌گذاری‌ها و برنامه‌ریزی‌های بسیاری برای تحقیقات و تولید علم صورت گرفته است تا شرایط زندگی و اقتصادی مردم بهبود یابد. یکی از مباحث مهم که امروزه مطرح است، تولید محصولات با کیفیت با کم‌ترین هزینه است که این مهم با مطالعه، پژوهش و استفاده از نتایج آن به دست خواهد آمد.

دانشکده‌ی کمپیوترساینس و انجیرری دانشگاه خاتم‌النبیین^(ص) سعی می‌کند با استفاده از تحقیقات کاربردی در حوزه‌ی علوم فنی ارتباط میان دانشگاه و صنعت را کم‌تر نماید و بر این اساس سعی کرده است در فصلنامه‌ی شماره‌ی چهارم خویش مقالاتی در رابطه به استفاده از منابع طبیعی جهت بهبود فرایندها و تولید محصولات بهتر به چاپ برساند تا گامی در جهت تقویت پژوهش و استفاده از نتایج آن در صنعت کشور برداشته باشد.

سردبیر





سال پنجم، شماره چهارم، خزان ۱۴۰۱



برنامه‌ریزی بهینه منابع فتوولتائیک ساختمانی و ایستگاه‌های شارژ سریع: مطالعه موردی روی شبکه توزیع کابل

فاطمه کرامتی^۱، دکتر غلام‌رضا شیران^۲

چکیده

در سال‌های اخیر با توجه به مزیت اقتصادی منابع تولید پراکنده و لزوم توجه ویژه به مسائل زیست‌محیطی، استفاده از منابع تولید پراکنده و خودروهای الکتریکی رشد چشم‌گیری داشته است. برنامه‌ریزی بهینه منابع تولید پراکنده علاوه بر مزایای اقتصادی قادر به بهبود کیفیت توان شبکه توزیع است. بنابراین جایگذاری بهینه منابع تولید پراکنده به منظور کاهش تلفات شبکه و بهبود پروفیل ولتاژ امری ضروری است. از طرفی برنامه‌ریزی غیربهینه ایستگاه‌های شارژ سریع می‌تواند باعث افزایش انحراف ولتاژ، تلفات شبکه و زمان سفر رانندگان در شبکه حمل‌ونقل شود. همچنین یکی از نیازهای اساسی در جهت گسترش حمل‌ونقل الکتریکی، جایگذاری ایستگاه‌های شارژ سریع قابل دسترس در شبکه حمل‌ونقل می‌باشد. بنابراین جایگذاری بهینه ایستگاه‌های شارژ سریع نیازمند توجه به محدودیت‌های شبکه توزیع و حمل‌ونقل می‌باشد. در این مقاله، به برنامه‌ریزی بهینه ایستگاه‌های شارژ سریع و منابع فتوولتائیک ساختمانی قابل نصب در بام ساختمان‌ها در شهر کابل پرداخته شده است. در روش ارائه شده، از پخش بار AC و مدل بهبودیافته جایگذاری تاسیسات با هزینه پله‌ای استفاده شده است. مدل غیرخطی عدد صحیح پیشنهادی با استفاده از

^۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران.

ایمیل: f.keramati_93@grad.kashanu.ac.ir

^۲. استادیار دانشکده عمران و حمل و نقل دانشگاه اصفهان، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

ایمیل: gh.shiran@trn.ui.ac.ir

نرم افزار GAMS روی شبکه ۲۲ باس کابل با هدف بهبود کیفیت توان و پوشش حداکثری جریان ترافیکی اجرا شده است و در نهایت نتایج عددی کارایی روش پیشنهادی در بهبود کیفیت توان را نشان داد.

واژگان کلیدی: خودروهای الکتریکی، ایستگاه های شارژ سریع، منابع فتوولتائیک، بهینه سازی، کیفیت توان.

فهرست علائم

۱. مجموعه ها

S^I	مجموعه باس های شبکه توزیع
S^S	مجموعه باس های اسلک
S^{line}	مجموعه خطوط شبکه توزیع

۲. اندیس ها

k	اندیس سطح عملیاتی ایستگاه شارژ سریع
i, j	اندیس باس های شبکه توزیع
r	اندیس ناحیه ترافیکی
n	اندیس گره های ترافیکی شبکه حمل و نقل
t	اندیس بازه زمانی

۳. پارامترها

C_n^{FCS}	هزینه نصب ایستگاه شارژ سریع (\$)
C_n^{CS}	هزینه نقطه شارژ (\$)
$C_{n,k}^{wait}$	هزینه انتظار خودروهای الکتریکی در ایستگاه شارژ سریع (\$/h)
C^t	ضریب تبدیل زمان به پول (\$/h)
C^{ucs}	هزینه تجهیزات الکترونیک قدرت ایستگاه شارژ سریع (\$/MWh)
$C_t^{P/Q}$	هزینه خرید توان اکتیو و راکتیو از شبکه بالادست (\$/MW) و (\$/MVar) در بازه زمانی t



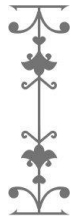
λ_r	تعداد خودروهای الکتریکی پلاگین ناحیه ترافیکی r
$T_{n,r}$	کوتاه‌ترین زمان سفر خودروهای الکتریکی پلاگین موجود در ناحیه ترافیکی r که ایستگاه شارژ سریع n را انتخاب کردند.
$\Delta l_{n,k}$	اندازه هر بازه عملیاتی در تابع پله‌ای هزینه انتظار ایستگاه شارژ سریع
γ^{max}	بیشترین تعداد مجاز نقاط شارژ
p^{CS}	توان هر نقطه شارژ (kW)
C^{PEV}	توان مصرفی خودروهای الکتریکی پلاگین (kWh/km)
D^{rng}	محدوده دامنه رانندگی خودروهای الکتریکی پلاگین (km)
Y, B, G	ماتریس ادمیتانس، سوسپتانس و کندوکتانس
$B_{i,j}$	ماتریس مشخصه باس، در صورتی که خط i, j وجود داشته باشد برابر یک و در غیر اینصورت برابر صفر است.
$P/Q_{i,t}^l$	توان اکتیو و راکتیو بار مصرفی متصل به باس i در بازه زمانی t
γ	ضریب شارژ خودرو الکتریکی پلاگین
s^{base}	توان مبنا
p_i^{max}	ظرفیت منبع فتوولتائیک در باس i
	۴. متغیرها
$P_{i,t}^{pv}$	توان خروجی منبع فتوولتائیک قرار گرفته در باس i و در بازه زمانی t
$P_{i,t}/Q_{i,t}$	توان تزریقی باس مرجع i در بازه زمانی t
X_i^{pv}, X_i^{FCS}	متغیر تصمیم‌گیری باینری برای نصب منبع فتوولتائیک و ایستگاه شارژ سریع
Y_n	متغیر عدد صحیح مربوط به تعداد نقاط شارژ در ایستگاه شارژ سریع n
$\alpha_{n,k,t}$	تعداد خودروهای الکتریکی پلاگین که ایستگاه شارژ سریع n را انتخاب کردند و در سطح عملیاتی k در بازه زمانی t قرار گرفته‌اند.

$\beta_{n,r,t}$	درصدی از خودروهایی الکتریکی پلاگین موجود در سفر مبدا-مقصد r که ایستگاه شارژ سریع n را در بازه زمانی t انتخاب کردند
$S_i^{FCS}, P_{i,t}^{FCS}, Q_{i,t}^{FCS}$	توان ظاهری، اکتیو و راکتیو ایستگاه شارژ سریع i در بازه زمانی t
$P/Q_{i,j,t}^{line}$	توان اکتیو و راکتیو عبوری از خط j در بازه زمانی t
$\theta_{i,t}$	زاویه ولتاژ باس i در بازه زمانی t
$V_{i,t}$	اندازه ولتاژ باس i در بازه زمانی t

۱- مقدمه

رشد روزافزون تقاضای انرژی الکتریکی و همچنین پیشرفت های اخیر در تکنولوژی ساخت واحدهای تولید پراکنده (DG) موجب محبوبیت ویژه در استفاده و گسترش از این واحدها شده است. DGها به دلیل مزایای فراوان همچون افزایش قابلیت اطمینان، کاهش تلفات، بهبود پروفیل ولتاژ، کاهش پیک بار شبکه، کاهش اثرات مخرب زیست محیطی ناشی از تولید برق و غیره، یکی از تجهیزات مهم در پیشرفت و توسعه سیستم های قدرت محسوب می شوند. بنابراین برنامه ریزی بهینه منابع تولید پراکنده در راستای سودمندی هر چه بیشتر این واحدها امری ضروری است (Zhang et al, 2017).

در کنار مزایای فراوان DGها موضوع کنترل جریان هارمونیک خروجی این واحدها اهمیت فراوانی دارد. این منابع به دلیل مجهز بودن به مبدل های الکترونیک قدرت قادر به تولید جریان هارمونیک همچون بار غیر خطی هستند. بنابراین برای برطرف کردن جریان هارمونیک این منابع مطالعات زیادی صورت گرفته است. مطالعات پیرامون برنامه ریزی منابع تولید پراکنده با هدف بهبود کیفیت توان را می توان به دو دسته تقسیم کرد: دسته اول به بررسی جایگذاری و تعیین اندازه بهینه فیلترهای هارمونیک در حضور DGها و با هدف کاهش THD ولتاژ، تلفات شبکه و بهبود پروفیل ولتاژ پرداخته اند (Lakum and Mahajan, 2019, Sakar et al, 2018). دسته دوم روش های کنترلی مختلفی را برای کمینه کردن جریان هارمونیک تولیدی DGها



پیشنهاد داده‌اند (Ramya et al, 2019). به عبارتی دیگر در این مطالعات منابع فتولتائیک با روش کنترلی خاصی، قادر به کنترل هارمونیک در خروجی خود بوده و جریان هارمونیکی به شبکه تزریق نمی‌کنند.

در چند دهه اخیر منابع تولید پراکنده و خودروهای الکتریکی (EV) به دلیل مزایای زیست‌محیطی مورد توجه محققین و سرمایه‌گذاران قرار گرفته است. بازدهی بیشتر خودروهای الکتریکی نسبت به خودروهای بنزینی باعث گسترش و محبوبیت این خودروها شده است (Zhang et al, 2017)، به طوری که پیش‌بینی شده است، فروش این خودروها در سال ۲۰۴۰ به ۷۰ درصد فروش کل خودروها خواهد رسید (Barkenbus, 2020). همچنین برخی از انواع آن‌ها مانند خودروهای الکتریکی قابل اتصال به شبکه (PEV) برای تأمین انرژی باتری‌های خود به شبکه توزیع متصل شده و از طریق آن انرژی مورد نیاز باتری خودرو را تأمین می‌کنند. با مدیریت شارژ و دشارژ PEVها در شبکه توزیع نه تنها می‌توان تلفات شبکه را کاهش داد، بلکه می‌توان باعث بهبود پروفیل ولتاژ و پیک‌سایی شبکه توزیع شد. لازم به ذکر است که شارژ آهسته PEVها در منزل چندین ساعت و در ایستگاه‌های شارژ سریع خودروهای الکتریکی پلاگین (PEVF-CS) چند دقیقه طول می‌کشد. اگرچه شارژ PEVها در PEVF-CS مزایای زیادی همچون مدت زمان انتظار پایین به دلیل دریافت توان بالا را دارد، اما این تقاضای توان بالا می‌تواند چالش‌هایی را برای شبکه توزیع به همراه داشته باشد (Shahraki et al, 2015).

افغانستان یک کشور کوهستانی واقع در جنوب آسیا است که توسط کشورهای چین، پاکستان، ایران، ترکمنستان و تاجیکستان احاطه شده است. اگرچه در چند دهه اخیر آلودگی هوا و مشکلات زیست‌محیطی در افغانستان رشد چشمگیری داشته است، اما میزان انتشار سالانه CO₂ این کشور در حدود ۳/۱۴ درصد انتشار سالانه ژاپن است. از طرفی دیگر افغانستان دارای موقعیت جغرافیایی خوبی برای استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر از جمله آبی، بادی، خورشیدی و زمین‌گرمایی است (Anwarzai, 2018, Ershad et al, 2016). از آن جایی که رشد اقتصادی یک کشور رابطه مستقیم با دسترسی مصرف‌کنندگان به برق دارد، بنابراین بررسی برنامه‌ریزی بهینه منابع تولید پراکنده در افغانستان بسیار اهمیت پیدا کرده است.



در مطالعه حاضر به برنامه‌ریزی بهینه منابع تولید پراکنده و ایستگاه‌های شارژ سریع در شبکه توزیع کابل با در نظرگیری محدودیت‌های حمل و نقل و توزیع پرداخته شده است.

۲- مرور مطالعات گذشته

۲-۱- منابع تولید پراکنده

مطالعات زیادی در راستای برنامه‌ریزی بهینه DGها صورت گرفته است. در مراجع (Ahmadi et al, 2018, HassanzadehFard and Jalilian, 2018,) (Yammani et al, 2016) به جایگذاری و تعیین اندازه بهینه DGها با هدف بهبود کیفیت توان پرداخته شده است. در مرجع (HassanzadehFard and Jalilian, 2018) برنامه‌ریزی بهینه DGها با هدف کاهش تلفات شبکه و THD و ولتاژ مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این مطالعه حاکی از آن است که جایگذاری بهینه DGها باعث کاهش تلفات، THD و ولتاژ و همچنین بهبود پروفیل ولتاژ می‌شود. در مرجع (Yammani et al, 2016) با در نظرگیری تابع هدف چند منظوره در برنامه‌ریزی بهینه DGها سعی در کاهش انحراف ولتاژ و تلفات شبکه داشته است. مرجع (Prabha et al., 2015) با استفاده از فاکتور حساسیت تلفات (LSF)^۱ و الگوریتم چکه‌آب‌های هوشمند (IWD)^۲ به جایگذاری بهینه DGها و با هدف کاهش تلفات خطوط پرداخته است. در این مطالعه روش پیشنهادی در شبکه‌های ۱۰، ۳۳ و ۶۹ باس IEEE پیاده شده و کاهش زمان محاسبات، هدف اصلی این مطالعه بوده است.

برخی مطالعات DGها را منبع تولید جریان هارمونیکی در نظر گرفته‌اند و برای کاهش تأثیرات منفی آن‌ها فیلترهای اکتیو و پسیو را پیشنهاد داده‌اند. در واقع DGها را به عنوان بار غیرخطی که قادر به افزایش THD و ولتاژ شبکه است، در نظر گرفته‌اند (Kumar and Kumar, 2017, Lakum and Mahajan, 2019). مراجع (Lakum and Mahajan, 2021, Sakar et al, 2018) به برنامه‌ریزی بهینه فیلترهای هارمونیکی و DGها در شبکه توزیع پرداخته‌اند. مرجع (Sakar et al, 2018) فیلترهای پسیو را به دلیل ساختار ساده، نگهداری بدون مشکل و قیمت پایین برای کاهش هارمونیکی ناشی از DGها پیشنهاد داده است. مرجع (Lakum and

¹ Loss Sensitivity Factor

² Intelligent Water Drops



Mahajan, 2021) به برنامه‌ریزی بهینه فیلترهای اکتیو با استفاده از الگوریتم گرگ خاکستری (GWO)^۱ با هدف کاهش THD ولتاژ پرداخته است. نتایج این مطالعات نشان داده است جایگذاری بهینه فیلترهای هارمونیکی باعث کاهش THD ولتاژ و بهبود پروفیل ولتاژ شبکه و کاهش اثرات منفی DGها شده است.

از طرفی دیگر بسیاری از مطالعات نشان داده‌اند که DGها با روش کنترلی خاص قادر به بهبود کیفیت توان شبکه هستند. مرجع (Bighash et al, 2018) با ارائه روش کنترل پیشنهادی در سیستم فتوولتائیک ساختمانی (R-TPVS)^۲ به کمینه کردن جریان ولتاژ هارمونیکی مراتب بالاتر پرداخته است. در مرجع (Munir and Li, 2013) بهبود کیفیت توان توسط منابع فتوولتائیک بررسی شده است. این مطالعه نشان می‌دهد که تغییر جایگذاری منابع فتوولتائیک باعث تغییر پروفیل ولتاژ شده و این منابع قادر به جبران جریان هارمونیکی تولیدی بارهای غیرخطی شبکه می‌باشند.

در مرجع (Ahmadi et al, 2018) به جایگذاری بهینه R-TPVSها با استفاده از الگوریتم ژنتیک در شبکه ۱۶۲ باس کابل را ارائه داده است. این مطالعه برنامه‌ریزی بهینه R-TPVSها را در باس‌های کاندید با هدف کمینه کردن تلفات شبکه و انحراف ولتاژ، بررسی کرده است. مرجع (Ahmadi et al, 2019) رویکرد چند هدفه جهت تخصیص تنظیم‌کننده‌های ولتاژ پله‌ای (SVR)^۳، خازن، مزارع بادی متمرکز (CWF)^۴ و سیستم‌های ذخیره‌ساز در شبکه ۱۶۲ باس کابل را ارائه داده است. در این مطالعه ۶ سناریو از ترکیبات مختلف SVR، خازن، CWF و سیستم ذخیره‌ساز بررسی شده است. نتایج مطالعه نشان داده است با جایگذاری بهینه و انتخاب ترکیب مناسب می‌تواند تلفات شبکه را تا ۶۰ درصد کاهش دهد. در مرجع (Ahmadi et al, 2021) برنامه‌ریزی بهینه DGها و سیستم‌های ذخیره‌ساز با استفاده از الگوریتم چند هدفه چند منظمی (MOMVO)^۵ در شبکه ۶۸ باس کابل بررسی شده است. در این مطالعه در مرحله اول به تعیین مکان بهینه DGها با هدف کاهش انحراف ولتاژ و در مرحله دوم به تعیین ظرفیت DGها با هدف کاهش هزینه‌های نصب DGها و سیستم‌های ذخیره‌ساز و همچنین تلفات شبکه پرداخته است. در مرجع (Danish et al, 2020) به

¹ Grey Wolf Optimizer

² Roof-Top PV System

³ Step Voltage Regulator

⁴ Centralized Wind Farm

⁵ Multi-Objective Multi-Verse Optimization

برنامه‌ریزی بهینه سیستم‌های ذخیره‌ساز باتری در حضور منابع فتوولتائیک پرداخته شده است. پیک‌سایی بار مصرفی و الگوی شارژ و دشارژ بهینه سیستم‌های ذخیره‌ساز باتری از اهداف اصلی این مطالعه بوده است. در مرجع (Noorzad and Senjyu, 2017) جایگذاری بهینه منابع فتوولتائیک و SVRها با هدف کاهش تلفات در شبکه ۱۵۸ باس کابل مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این مطالعه نشان داد که جایگذاری بهینه منابع فتوولتائیک و SVRها در شبکه توزیع کابل، کاهش تلفات و بهبود ولتاژ چشم‌گیری را به همراه دارد.

۲-۲- ایستگاه‌های شارژ

در سال‌های اخیر میزان توجه به PEVها به دلیل مسائل اقتصادی، بحران انرژی و نگرانی‌های زیست‌محیطی افزایش یافته است. از طرفی دیگر پیشرفت روز افزون در فناوری خودروهای الکتریکی و بهره‌وری مطلوب آن‌ها نسبت به خودروهای بنزینی موجب نفوذ هرچه بیشتر این خودروها در شبکه توزیع و حمل‌ونقل شده است (Zhang et al, 2017). برنامه‌ریزی بهینه ایستگاه‌های شارژ سریع نقش بسزایی در گسترش استفاده از خودروهای الکتریکی دارند. بنابراین یکی از نیازهای اساسی در جهت گسترش حمل‌ونقل الکتریکی، جایگذاری ایستگاه‌های شارژ سریع قابل دسترس در شبکه حمل‌ونقل می‌باشد.

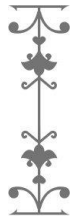
مطالعات حوزه برنامه‌ریزی بهینه ایستگاه‌های شارژ را می‌توان به سه دسته تقسیم کرد. دسته اول به جایگذاری و تعیین اندازه بهینه ایستگاه‌های شارژ با در نظر گرفتن محدودیت‌های شبکه حمل‌ونقل پرداخته‌اند. در این دسته، مطالعات بسیاری از روش‌های برنامه‌ریزی جایگاه‌های سوخت‌رسانی در شبکه حمل‌ونقل برای برنامه‌ریزی ایستگاه‌های شارژ، اتخاذ و توسعه یافته است. این روش‌ها را می‌توان به چهار دسته شامل مدل‌های مبتنی بر گره ترافیکی، مبتنی بر خطوط حمل‌ونقل، جریان ترافیکی و شبیه‌سازی شبکه حمل‌ونقل تقسیم کرد (Zhang et al, 2016). در مرجع (Cruz- Zambrano et al, 2013) جایگذاری ایستگاه‌های شارژ سریع با برنامه‌ریزی مکان‌یابی پوشش جریان ترافیکی^۱ در شهر بارسلونا بررسی شده است. این مطالعه در ابتدا مدل برنامه‌ریزی مکان‌یابی پوشش ترافیکی را بر شبکه مورد مطالعه پیاده‌سازی کرده و در ادامه با تغییر تابع هدف به کمینه‌سازی هزینه‌ها پرداخته است. ساخت تعداد

¹ Flow-Capturing Location Model



زیادی ایستگاه شارژ در مدت زمان نسبتاً کوتاه غیرممکن است بنابراین ارائه‌دهندگان خدمات شارژ، ایستگاه‌های شارژ را به تدریج وارد شبکه می‌کنند. از طرفی تقاضای شارژ ثابت نیست و به مرور زمان در حال افزایش است. مرجع (Chung and Kwon, 2015) مدل مکان‌یابی سوخت‌رسانی چنددوره‌ای را برای جایگذاری ایستگاه‌های شارژ پیشنهاد داده است. این مطالعه با جایگذاری ایستگاه‌های شارژ در شبکه حمل و نقل کره جنوبی، اهمیت در نظرگیری چندین دوره زمانی در افق برنامه‌ریزی را نشان داده است.

دسته دوم تنها محدودیت‌های شبکه توزیع را در برنامه‌ریزی بهینه ایستگاه‌های شارژ سریع در نظر گرفته‌اند. نفوذ بالای خودروهای الکتریکی در شبکه قدرت به عنوان تقاضای بار بزرگ می‌تواند چالش‌های زیادی را برای شبکه قدرت به همراه داشته باشد. مرجع (Clement-Nyns et al, 2009) تأثیر افزایش تقاضای شارژ خودروهای برقی مدیریت نشده را در شبکه توزیع مطالعه کرده است. نتایج نشان می‌دهد که این تقاضای مدیریت نشده می‌تواند باعث افزایش تلفات و انحراف ولتاژ در شبکه توزیع شود. از طرفی عدم قطعیت الگوی شارژ اثر مخربی بر کیفیت توان به ویژه پروفیل ولتاژ در طول فیدرهای شبکه توزیع خواهد داشت (Dubey and Santoso, 2015, Leou et al, 2018). از طرفی دیگر تقاضای شارژ خودروهای الکتریکی، ماهیت تکانه‌ای داشته و باعث افزایش تپ تنظیم‌کننده‌های ولتاژ می‌شود. بنابراین تقاضای شارژ خودروهای الکتریکی باعث کاهش عمر ترانسفورماتورها و تنظیم‌کننده‌های الکتریکی می‌شود، برای حل این مشکل شرکت‌های توزیع باید ترانسفورماتورها را ارتقا و تعداد تنظیم‌کننده‌های ولتاژ را افزایش دهند (Mao et al, 2019). ایستگاه‌های شارژ سریع به دلیل استفاده از تجهیزات الکترونیک قدرت، قادر به جبران توان راکتیو، تنظیم ولتاژ و فیلترکردن هارمونیک در شبکه توزیع هستند. ایستگاه‌های شارژ سریع با رویکرد کنترلی جدید می‌توانند، بدون درگیر شدن باتری و تأثیری بر فرآیند شارژگیری، توان راکتیو مورد نیاز شبکه را تأمین کنند. این جبران توان راکتیو باعث بهبود پروفیل ولتاژ، ضریب قدرت بارهای مجاور و کاهش تلفات شبکه می‌شود (Yong et al, 2015). مرجع (Khalid et al, 2021) رویکرد کنترلی برای ایستگاه‌های شارژ سریع، پیشنهاد داده است که منجر به نزدیک شدن ضریب توان ایستگاه‌های شارژ به یک می‌شود.



دسته سوم محدودیت‌های شبکه حمل‌ونقل و توزیع را به طور همزمان در نظر گرفته‌اند. از آنجایی که رفتار رانندگان خودروهای الکتریکی دارای عدم قطعیت است بنابراین تصمیم‌گیری آن‌ها می‌تواند به طور همزمان بر هر دو شبکه تأثیر بگذارد. بنابراین در نظرگیری محدودیت‌های هر دو شبکه در برنامه‌ریزی PEVF-CS امری ضروری است. مرجع (Zhang et al, 2016) به بررسی جایگذاری و تعیین اندازه ایستگاه‌های شارژ خودروهای الکتریکی در شبکه حمل‌ونقل بزرگراهی و شبکه توزیع ۱۱۰ ولت پرداخته است. همچنین محدودیت‌های شبکه حمل‌ونقل بر اساس مدل مکان‌یابی پوشش‌دهنده‌ی جریان ترافیکی و مقید به ظرفیت^۱ (CFRLM) فرموله شده است.

مرجع (Zhang et al, 2017) فرم بسته‌ای برای توانایی ارائه خدمات ایستگاه‌های شارژ سریع با توجه به محدودیت دامنه رانندگی ناهمگن و تقاضای شارژ در نظر گرفته و مدل برنامه‌ریزی مخروطی مرتبه دوم و روش CFRLM بر اساس مسیرهای فرعی (CFRLM-SP)^۲ را پیشنهاد داده است. در این مطالعه مدل‌سازی محدودیت‌های شبکه قدرت با پخش بار AC باعث افزایش دقت محاسبات شده است. مرجع (Hashemian et al, 2020) با در نظر گرفتن عدم قطعیت در تقاضای شارژ و نیز قابلیت بهبوددهندگی کیفیت توان به برنامه‌ریزی ایستگاه‌های شارژ در شبکه حمل‌ونقل و توزیع پرداخته است. این مطالعه ایستگاه‌های شارژ را در فرکانس اصلی مصرف‌کننده توان اکتیو و در سایر فرکانس‌ها به عنوان فیلتر اکتیو در نظر گرفته است. همچنین با خطی‌سازی مدل غیرخطی عدد صحیح باعث افزایش سرعت و دقت محاسبات در مقیاس بزرگ شده است.

۳-۲- منابع تولید پراکنده و ایستگاه‌های شارژ

مرجع (Golla et al, 2022) با استفاده از روش LSF به بررسی جایگذاری بهینه ایستگاه‌های شارژ خودروهای الکتریکی و DGها پرداخته است. در این روش باس‌های با ولتاژ برابر و بیشتر از یک پریونیت مکان‌های کاندید ایستگاه‌های شارژ خودروهای الکتریکی و همچنین باس‌های با ولتاژ کمتر از یک پریونیت به عنوان باس‌های ضعیف و مکان‌های کاندید برای جایگذاری DGها در نظر گرفته شده است. در نهایت جایگذاری بهینه ایستگاه‌های شارژ و DGها منجر به بهبود پروفیل ولتاژ شده

¹ Capacitated Flow Refueling Location Model
² Capacitated Flow Refueling Location Model Based on Sub-Paths

است. مطالعه (Nasir et al, 2020) ایستگاه‌های شارژ و DGها را به عنوان منابع تولید هارمونیک جریان در نظر گرفته و با جایگذاری بهینه فیلترهای پسیو باعث بهبود کیفیت توان شده است. مطالعه (Battapothula et al, 2019) جایگذاری ایستگاه‌های شارژ و DGها را با توجه به تعداد خودروهای الکتریکی و شبکه حمل‌ونقل و توزیع بررسی کرده است. مرجع (Amer et al, 2020) به بررسی جایگذاری و تعیین اندازه بهینه ایستگاه‌های شارژ سریع و مزارع بادی با هدف افزایش سود سرمایه‌گذاران پرداخته است. در مرجع (Zeng et al, 2020) برنامه‌ریزی بهینه ایستگاه‌های شارژ و DGها با توجه به عدم قطعیت رفتار رانندگان انجام شده است.

در بسیاری از مطالعات محدودیت‌های شبکه حمل‌ونقل در برنامه‌ریزی همزمان ایستگاه‌های شارژ و منابع تولید پراکنده در نظر گرفته نشده است. در صورتی که در نظر گرفتن محدودیت‌های شبکه حمل‌ونقل و همچنین تمام باس‌های شبکه توزیع به عنوان مکان‌های کاندید برای ایستگاه‌های شارژ سریع و منابع تولید پراکنده به دلیل انتخاب‌های بیشتر، می‌تواند منجر به جواب‌های بهتری شود.

در این مطالعه به بررسی برنامه‌ریزی بهینه ایستگاه‌های شارژ سریع و تولیدات پراکنده در شهر کابل پرداخته شده است. در نهایت نوآوری‌های مسأله به شرح زیر است:

۱. مدل‌سازی مسئله جایگذاری و تعیین اندازه بهینه ایستگاه‌های شارژ سریع با رویکرد کنترلی جدید در شبکه توزیع
۲. کمینه کردن تلفات شبکه و در نظر گرفتن محدودیت‌های شبکه حمل‌ونقل.
۳. برنامه‌ریزی بهینه همزمان ایستگاه‌های شارژ سریع و تولیدات پراکنده در شهر کابل

ساختار مقاله در ادامه به این شرح است: در بخش سوم به طرح مسأله پرداخته شده است. در بخش چهارم و پنجم به ترتیب روش پیشنهادی و نتایج شبیه‌سازی با سناریوهای مختلف بر روی شبکه توزیع کابل، ارائه شده است. در نهایت در بخش ششم نتیجه‌گیری مقاله ارائه شده است.

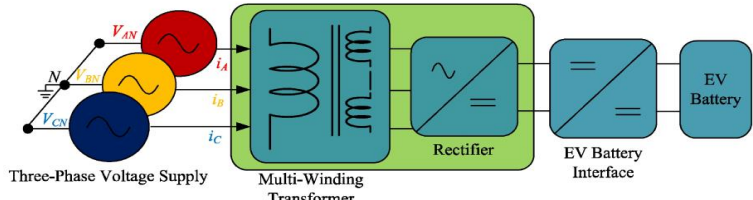
۳- طرح مسأله

در مطالعه حاضر به بررسی جایگذاری همزمان ایستگاه‌های شارژ سریع و سیستم‌های فتوولتائیک قابل نصب در بام ساختمان‌ها با در نظرگیری محدودیت‌های هر

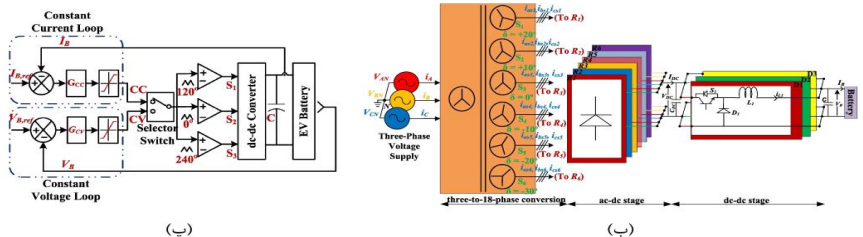




دو شبکه حمل و نقل و توزیع پرداخته شده است. شکل (۱) ساختار ایستگاه‌های شارژ سریع را نشان می‌دهد. ایستگاه‌های شارژ سریع با توجه به روش کنترلی دارای ضریب توان نزدیک به یک و تولید هارمونیک در محدوده مجاز استاندارد IEEE 519 هستند (Khalid et al, 2021). در این مطالعه به برنامه‌ریزی بهینه ایستگاه‌های شارژ سریع و منابع فتوولتائیک با هدف کاهش هزینه‌های نصب ایستگاه‌های شارژ سریع، بهبود کیفیت توان شبکه و پوشش حداکثری جریان ترافیکی پرداخته شده است. از مدل بهبود یافته جایگذاری تاسیسات با هزینه پله‌ای، جهت مدل‌سازی محدودیت‌های حمل و نقل استفاده شده است (Hashemian et al, 2020, Miralinaghi et al, 2017). این مدل چند سطح عملیاتی برای ایستگاه شارژ سریع تعریف شده که در هر سطح تعداد PEV‌های مشخصی می‌تواند قرار بگیرد. همچنین این مدل تمام تقاضای شارژ در شبکه حمل و نقل را پوشش می‌دهد و زمان انتظار رانندگان در ایستگاه‌های شارژ سریع را محاسبه می‌کند. برای مدل‌سازی محدودیت‌های شبکه توزیع از پخش بار AC استفاده شده است (Tang and Ferris, 2015). مدل بهینه‌سازی پیشنهادی به صورت مدل غیرخطی عدد صحیح (MINLP) ارائه شده است. در مدل پیشنهادی شبکه حمل و نقل درون شهری در نظر گرفته شده و بنابراین نگرانی در مورد دامنه رانندگی خودروهای الکتریکی وجود نخواهد داشت.



(الف)



(پ)

(ب)

شکل ۱: (الف) ساختار کلی ایستگاه شارژ سریع، (ب) مدار معادل ایستگاه شارژ سریع، (پ) مدار کنترلی برای شارژهای PEV در حالت جریان ثابت و ولتاژ-جریان ثابت

۴- روش پیشنهادی

در مطالعه حاضر به بررسی جایگذاری همزمان ایستگاه‌های شارژ سریع و منابع تولید پراکنده با در نظرگیری محدودیت‌های هر دو شبکه حمل و نقل و توزیع در شهر کابل پرداخته شده است. ایستگاه‌های شارژ سریع به عنوان بار مصرفی با ضریب توان یک در شبکه توزیع، مدل شده اند.

۴-۱- تابع هدف

در برنامه‌ریزی ایستگاه‌های شارژ سریع و منابع فتوولتائیک فرض بر این است که باس‌های شبکه توزیع در چهار ناحیه ترافیکی متفاوت قرار دارند. ایستگاه‌های شارژ سریع به واسطه تجهیزات الکترونیک قدرت و روش کنترلی خاص دارای ضریب توان یک هستند. در این مطالعه تابع هدف به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\begin{aligned}
 F = & \sum_n C_n^{FCS} \cdot (X_n^{FCS}) + C_n^{CS} \cdot (Y_n) \\
 & + \sum_i C^{DG} \cdot (P_i^{max}) \\
 & + \sum_n \sum_i C^{ucs} \cdot (P_i^{FCS} \cdot X_n^{FCS}) \\
 & + \sum_t \sum_k \sum_n C_{n,k}^{wait} \cdot (\alpha_{n,k,t}) \\
 & + C^t \sum_t \sum_r \sum_n \lambda_{r,t} \cdot (\beta_{n,r,t} \cdot T_{n,r}) \\
 & + C^V \cdot \sum_i 1 - V_{i,t} \\
 & + \sum_t \sum_i C_t^P \cdot (P_{i,t} + P_t^{loss} + P_{i,t}^{pv}) \\
 & + C_t^Q \cdot (Q_{i,t})
 \end{aligned} \tag{1}$$

تابع هدف شامل هزینه‌های جایگذاری ایستگاه‌های شارژ و منابع فتوولتائیک و همچنین هزینه‌های جانبی از جمله هزینه ارتقاء ایستگاه‌های شارژ، هزینه انتظار رانندگان خودروهایی الکتریکی در ایستگاه‌های شارژ سریع، هزینه سفر در شبکه حمل و نقل، هزینه جریمه انحراف ولتاژ و در آخر هزینه خرید توان اکتیو و راکتیو از شبکه بالادست و منابع فتوولتائیک است. عبارت اول تا سوم، هزینه‌های ساخت ایستگاه‌های

شارژ سریع و هزینه ارتقاء (تجهیزات الکترونیک قدرت) ایستگاه‌های شارژ سریع و منابع فتوولتائیک را بیان می‌کنند. عبارت چهارم و پنجم به ترتیب هزینه انتظار رانندگان PEV در ایستگاه‌های شارژ سریع و هزینه سفر جریان‌های ترافیکی در شبکه حمل و نقل را نشان می‌دهد. عبارت ششم هزینه جریمه انحراف ولتاژ را بیان می‌کند. عبارت هفتم هزینه خرید توان اکتیو و راکتیو از شبکه بالادست و منابع فتوولتائیک را ارائه می‌دهد.

۲-۴- محدودیت‌های شبکه توزیع و منابع فتوولتائیک

برنامه‌ریزی بهینه ایستگاه‌های شارژ سریع در شبکه توزیع می‌بایست، محدودیت شاخص‌های شبکه توزیع را رعایت کند. محدودیت شاخص‌های شبکه توزیع شامل محدودیت‌های عملیاتی، امنیتی و محدودیت‌های ایستگاه شارژ و منابع فتوولتائیک می‌شود. در این مقاله از مدل پخش بار AC برای برنامه‌ریزی بهینه ایستگاه‌های شارژ و منابع فتوولتائیک استفاده شده است (Akbari-Dibavar et al, 2019). محدودیت‌های پخش بار AC به شرح زیر است:

$$P_t^{loss} = \sum_{i,j} 0.5 \times G_{i,j} \times ((V_{i,t})^2 + (V_{j,t})^2 - 2V_{i,t}V_{j,t} \cos(\delta_{i,t} - \delta_{j,t})) \quad \forall t \quad (2)$$

$$P_{i,j,t}^{line} = \frac{(V_{i,t})^2}{Z_{i,j}} \cos(\theta_{i,j}) - \frac{V_{i,t}V_{j,t}}{Z_{i,j}} \cos(\delta_{i,t} - \delta_{j,t} + \theta_{i,j}) \quad \forall (i,j) \in S^{line,t} \quad (3)$$

$$Q_{i,j,t}^{line} = \frac{(V_{i,t})^2}{Z_{i,j}} \sin(\theta_{i,j}) - \frac{V_{i,t}V_{j,t}}{Z_{i,j}} \sin(\delta_{i,t} - \delta_{j,t} + \theta_{i,j}) \quad \forall (i,j) \in S^{line,t} \quad (4)$$

$$P_{i,t} + P_{i,t}^{pv} - \sum_i P_{i,t}^l + P_{i,t}^{FCS} = \sum_{j \in S^l} B_{i,j} P_{i,j,t}^{line} \quad \forall i \in S^s, t \quad (5)$$

$$Q_{i,t} - \sum_{(nl,i) \in M^{nl}} Q_{i,t}^l = \sum_{j \in S^l} B_{i,j} Q_{i,j,t}^{line} \quad \forall i \in S^s, t \quad (6)$$

$$0 \leq P_{i,t}^{pv} \leq P_{max}^{pv} \times IF_t \times X_i^{pv} \quad \forall i, t \quad (7)$$

$$-\overline{S_{i,j,t}^{line}} \leq S_{i,j,t}^{line} \leq \overline{S_{i,j,t}^{line}} \quad \forall (i,j) \in S^{line}, t \quad (8)$$

$$-\overline{P_{i,t}} \leq P_{i,t} \leq \overline{P_{i,t}} \quad \forall i, t \quad (9)$$

$$-\overline{Q_{i,t}} \leq Q_{i,t} \leq \overline{Q_{i,t}} \quad \forall i, t \quad (10)$$

$$0.9 \leq V_{i,t} \leq 1.05 \quad \forall i, t \quad (11)$$

$$-\frac{\pi^{rad}}{2} \leq \delta_{i,t} \leq \frac{\pi^{rad}}{2} \quad \forall i, t \quad (12)$$

$$-\overline{P_{i,t}^{pv}} \leq P_{i,t}^{pv} \leq \overline{P_{i,t}^{pv}} \quad \forall i, t \quad (13)$$

معادله (۲) توان اکتیو تلفاتی را نشان می‌دهد. معادلات (۳) و (۴) توان عبوری بین باس‌های شبکه در هر بازه زمانی را مشخص می‌کند. معادلات (۵) و (۶) به ترتیب تعادل توان اکتیو و راکتیو را در هر باس و بازه زمانی نمایش می‌دهد. معادله (۷) محدودیت تولید توان اکتیو منابع فتوولتائیک را براساس تغییرات تابش خورشید، نمایش می‌دهد. معادلات (۸) تا (۱۳) محدودیت متغیرهای شبکه را بیان می‌کنند.

۳-۴- محدودیت‌های شبکه حمل و نقل

در این مطالعه زمان انتظار رانندگان خودروهای الکتریکی در ایستگاه شارژ سریع به صورت تابع پله‌ای از سطح عملیاتی ایستگاه شارژ در نظر گرفته شده است. در واقع با افزایش تعداد خودروهای الکتریکی در ایستگاه شارژ سریع، زمان انتظار و سطح عملیاتی ایستگاه شارژ افزایش می‌یابد (Hashemian et al, 2020).

$$P_{i,t}^{Fcs} = \frac{(\sum_k \alpha_{n,k,t}) \times C^{PEV} \times D^{rng}}{\gamma \times S^{base}} \quad \forall i, t \quad (14)$$

$$\sum_k \alpha_{n,k,t} = \sum_r \lambda_{r,t} \cdot (\beta_{n,r,t}) \quad \forall n, t \quad (15)$$

$$\sum_k \alpha_{n,k,t} \leq \frac{p^{CS}}{C^{PEV} \cdot (D^{rng})} \cdot (Y_n) \quad \forall n, t \quad (16)$$

$$\alpha_{n,k,t} \leq \Delta l_{n,k} \cdot (Y_n) \quad \forall n, k, t \quad (17)$$

$$\sum_n \beta_{n,r,t} = 1 \quad \forall r, t \quad (18)$$

$$X_n^{fcs} \leq Y_n \leq Y_n^{max} X_n \quad \forall n \quad (19)$$

معادله (۱۴) توان اکتیو ایستگاه شارژ سریع را مشخص می‌کند. معادله (۱۵) نشان می‌دهد که مجموع خودروهایی که ایستگاه شارژ را انتخاب می‌کنند با مجموع خودروهایی که نیاز به شارژ دارند، برابر هستند. معادلات (۱۶) و (۱۷) تعداد خودروهای موجود در هر سطح عملیاتی ایستگاه شارژ را محدود می‌کند. برای اطمینان از پوشش کامل جریان‌های ترافیکی شبکه حمل‌ونقل، معادله (۱۸) در نظر گرفته شده است. معادله (۱۹) محدودیت تعداد نقاط شارژ ایستگاه‌های شارژ سریع را بیان می‌کند.

۵- نتایج شبیه‌سازی

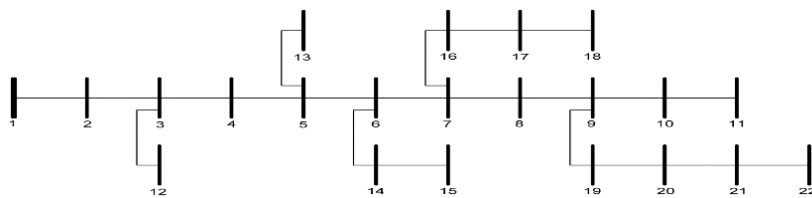
در این مطالعه روش پیشنهادی بر روی شبکه ۲۲ باس کابل پیاده‌سازی شده است (شکل ۲). این شبکه از پست موجود در باس (۱) تغذیه می‌شود. سطح ولتاژ و توان نامی این شبکه به ترتیب ۱۱۰ ولت/۲۰ کیلوولت و ۵۰ مگاوات است. سایر اطلاعات این شبکه در مرجع (Danish et al, 2020) موجود است. باس‌های ۴، ۵، ۶، ۷، ۹، ۱۰، ۱۸، ۱۹، ۲۰ و ۲۱ به عنوان باس‌های کاندید برای نصب منابع فتوولتائیک انتخاب شده‌اند و ظرفیت نصب منابع فتوولتائیک بر اساس مساحت قابل دسترس بیان شده است (Danish et al, 2020). برای مباحث ترافیکی همانند مرجع (Battapothula et al, 2019) از ۴ ناحیه برای مجزا کردن باس‌های شبکه توزیع استفاده شده است (شکل ۳). تعداد خودروهای الکتریکی در هر ناحیه و زمان سفر در داخل و بین نواحی به ترتیب در جدول (۱) و (۲) نشان داده شده است. جدول (۳) تغییرات ضریب توان تولیدی منابع فتوولتائیک نشان را می‌دهد. اطلاعات تغییرات جریان ترافیکی، بار مصرفی شبکه توزیع، هزینه خرید توان اکتیو و راکتیو از شبکه بالادست در (Hashemian et al, 2020) موجود است.

در این مطالعه هزینه خرید توان اکتیو از منابع فتوولتائیک برابر هزینه خرید توان اکتیو از شبکه بالادست در نظر گرفته شده است. هزینه نصب و تجهیزات الکترونیکی قدرت ایستگاه‌های شارژ سریع به ترتیب ۱۶۳۰۰۰ و ۶۳۲۲۰ دلار بر

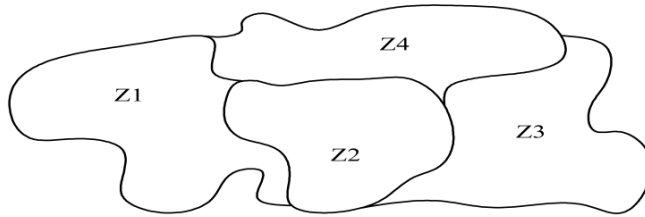


مگاوات فرض شده است (Hashemian et al, 2020). ضریب تبدیل زمان سفر به هزینه برابر ۱۰ دلار بر ساعت و توان شارژها برابر ۶۰ کیلووات در نظر گرفته شده است. مقادیر مجاز مینیمم و ماکزیمم ولتاژ برابر ۹/۰ و ۵/۱ است. در این مطالعه سطح باتری خودروهای الکتریکی در هنگام ورود و خروج از ایستگاه‌های شارژ سریع برابر ۱۰ و ۸۰ درصد فرض شده است. توان مصرفی خودروهای الکتریکی برابر ۱۵/۰ کیلووات ساعت و دامنه رانندگی آن‌ها برابر ۱۰۰ کیلومتر در نظر گرفته شده است.

در این مقاله ۳ سناریو مختلف بر روی شبکه توزیع کابل پیاده شده است. جدول (۴) مشخصات سناریوها را نشان داده است. پخش بار AC بر روی شبکه ۲۲ باس کابل، جهت بدست آوردن ولتاژ باس‌ها و تلفات اکتیو شبکه انجام شده است. باس ۲۲ دارای کمترین مقدار ولتاژ در ۲۴ ساعت است (شکل ۴). تلفات شبکه قبل از جایگذاری منابع فتوولتائیک و ایستگاه‌های شارژ سریع در شکل (۵) نشان داده شده است. همانطور که مشخص است در ساعت ۲۰، شبکه دارای بیشترین تلفات اکتیو است که این مقدار برابر ۱۱۲۱ کیلووات است. در سناریو اول، برنامه‌ریزی بهینه منابع فتوولتائیک ساختمانی در شبکه توزیع کابل با توجه به محدودیت‌های شبکه توزیع پیاده شده است. در سناریو دوم برنامه‌ریزی بهینه ایستگاه‌های شارژ سریع با توجه به محدودیت‌های شبکه توزیع و حمل و نقل انجام شده است. در سناریو سوم برنامه‌ریزی بهینه منابع فتوولتائیک و ایستگاه‌های شارژ سریع در شبکه توزیع کابل با توجه به محدودیت‌های شبکه توزیع و حمل و نقل به طور همزمان پیاده شده است.



شکل ۲: شبکه ۲۲ باس کابل



شکل ۳: نواحی ترافیکی شبکه حمل و نقل کابل

جدول ۱: تقاضای شارژ نواحی ترافیکی شبکه حمل و نقل

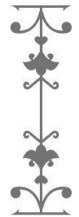
ناحیه	۱	۲	۳	۴
تقاضای شارژ	۲۱۰	۱۸۵	۱۵۰	۱۳۰

جدول ۲: زمان سفر در داخل و بین نواحی

ناحیه	۲-۱	۳-۱	۴-۱	۳-۲	۴-۲	۴-۳
زمان سفر (دقیقه)	۲۰	۲۷	۲۰	۱۰	۱۵	۱۵

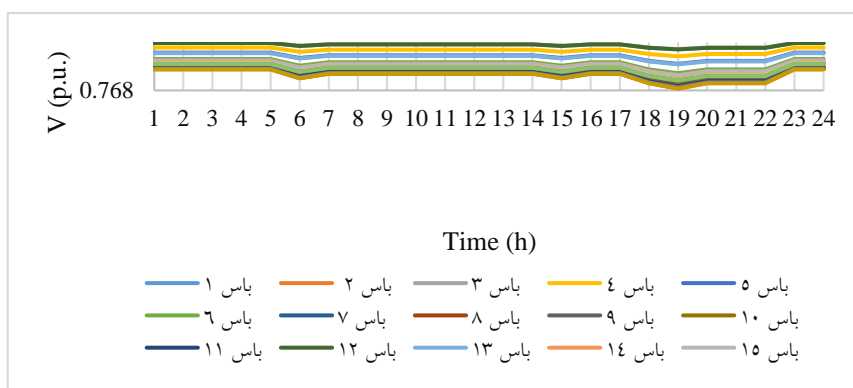
جدول ۳: تغییرات ضریب توان تولیدی منابع فتوولتائیک

زمان (ساعت)	IF_t	زمان (ساعت)	IF_t	زمان (ساعت)	IF_t
۱	۰	۹	۰/۹	۱۷	۰/۹۵
۲	۰	۱۰	۰/۹۵	۱۸	۰/۸
۳	۰	۱۱	۰/۹۸	۱۹	۰/۴
۴	۰	۱۲	۱	۲۰	۰
۵	۰	۱۳	۱	۲۱	۰
۶	۰/۵	۱۴	۱	۲۲	۰
۷	۰/۶	۱۵	۱	۲۳	۰
۸	۰/۸	۱۶	۰/۹۸	۲۴	۰

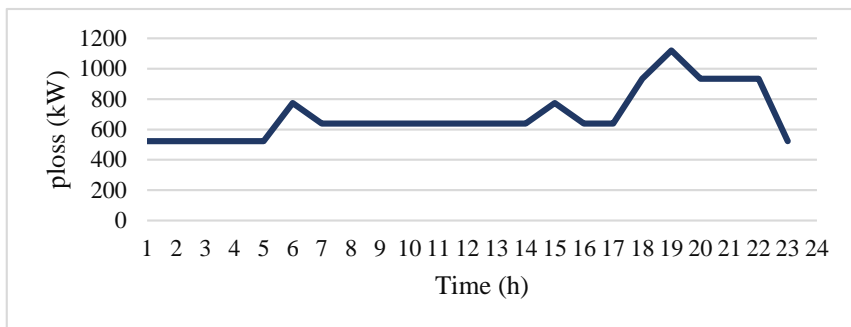


جدول ۴: مشخصات سناریوها

سناریوها	سناریو اول	سناریو دوم	سناریو سوم
ایستگاه شارژ سریع	x	✓	✓
منبع فتوولتائیک	✓	x	✓
محدودیت‌های شبکه حمل و نقل	x	✓	✓
محدودیت‌های شبکه توزیع	✓	✓	✓
زمان سفر	x	✓	✓
کاهش تلفات شبکه	✓	✓	✓
کاهش انحراف ولتاژ	✓	✓	✓
زمان سفر	x	✓	✓



شکل ۴: ولتاژ باس‌ها قبل از جایگذاری منابع فتوولتائیک و ایستگاه‌های شارژ سریع



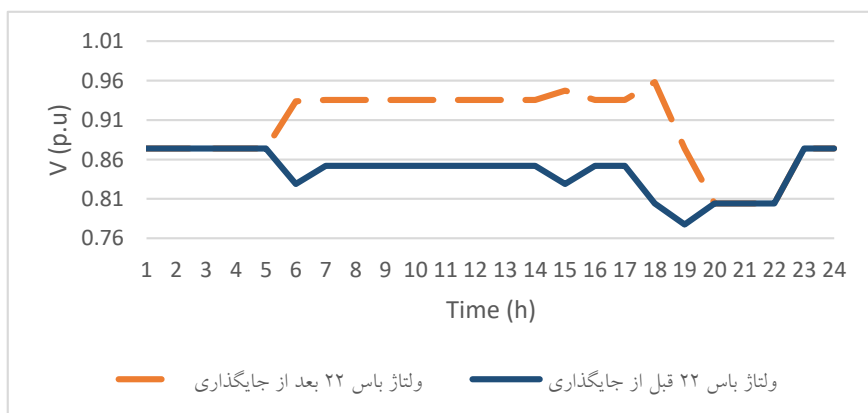
شکل ۵: تلفات شبکه قبل از جایگذاری منابع فتوولتائیک و ایستگاههای شارژ سریع

۱-۵- سناریوی اول

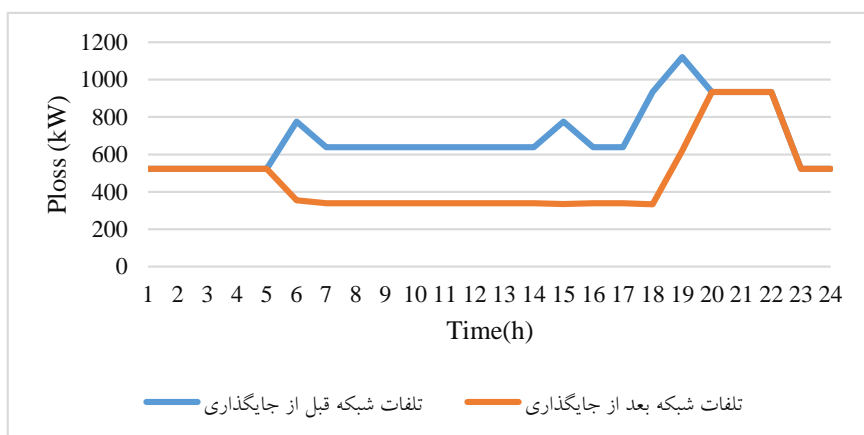
در این سناریو جایگذاری بهینه منابع فتوولتائیک ساختمانی با توجه به محدودیت‌های شبکه توزیع کابل پیاده شده است. نتایج نشان داده است که در این سناریو باس‌های ۱۸ و ۲۱ به عنوان مکان بهینه نصب منابع فتوولتائیک ساختمانی انتخاب شده است. شکل (۶) و (۷) به ترتیب ولتاژ باس ۲۲ و توان تلفاتی قبل و بعد از جایگذاری منابع فتوولتائیک ساختمانی در باس‌های ۱۸ و ۲۱ را نشان می‌دهد. تغییرات توان تزریقی باس اسلک قبل و بعد از جایگذاری منابع فتوولتائیک ساختمانی و همچنین توان تولیدی منابع فتوولتائیک ساختمانی متصل به باس ۱۸ و ۲۱ در شکل (۸) نشان داده شده است. همانطور که انتظار می‌رفت، باس ۲۱ به دلیل موقعیت مناسب برای نصب منابع فتوولتائیک ساختمانی با توان بالا در این سناریو انتخاب شده است و همچنین توان تولیدی باس ۱ در زمان تولید توان، توسط منابع فتوولتائیک کاهش پیدا کرده است. کاهش انحراف ولتاژ و تلفات شبکه در زمان حضور منابع فتوولتائیک ساختمانی قابل توجه است. به عبارتی بعد از جایگذاری منابع فتوولتائیک ساختمانی تلفات شبکه در پیک تقاضا (ساعت ۱۸) ۶۴ درصد کاهش یافته است و همچنین ولتاژ باس‌ها در محدوده مجاز قرار گرفته است. هزینه جریمه برای انحراف ولتاژ و تلفات شبکه برابر ۳۲۸/۱۸ دلار است. همچنین هزینه خرید توان اکتیو و راکتیو به ترتیب برابر ۵۹۵۶ و ۲۰۵۱ دلار بدست آمده است. از آنجایی که در باس ۲۱ قابلیت نصب منبع فتوولتائیک ساختمانی با ظرفیت ۲۹۵۵ کیلووات وجود دارد و نصب منبعی با این ظرفیت هزینه بالایی را دارد، در ادامه این سناریو بدون در نظرگیری باس ۲۱ به عنوان مکان کاندید پیاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که باس ۲۰ در صورت حذف باس



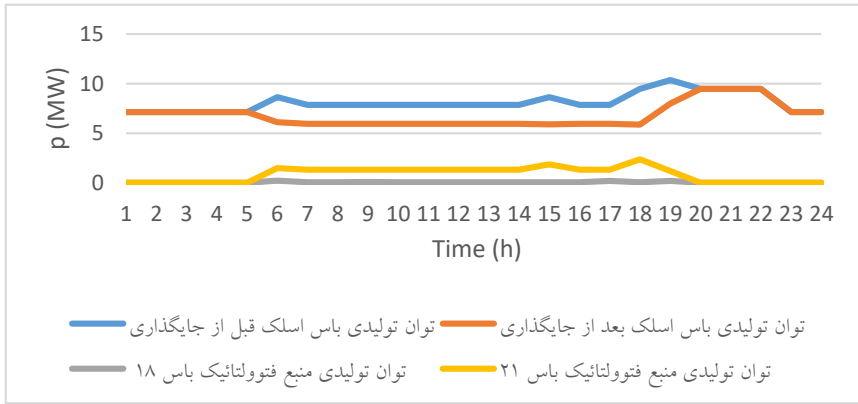
۲۱ مکان بهینه برای نصب منبع فتوولتائیک ساختمانی است (شکل ۹). تغییرات توان تزریقی باس اسلک و منابع فتوولتائیک ساختمانی، توان تلفاتی شبکه و ولتاژ باس ۲۲ قبل و بعد از جایگذاری منابع فتوولتائیک ساختمانی در باس ۱۸ و ۲۰ به ترتیب در شکل (۱۰)، (۱۱) و (۱۲) نشان داده شده است. همانطور که شکل‌ها نشان می‌دهند، توان تلفاتی بعد از جایگذاری منابع فتوولتائیک ساختمانی در حدود ۳۰ درصد کاهش پیدا کرده است و همچنین ولتاژ باس‌ها بهبود کمتری داشته‌اند. از طرفی ماکزیمم توان تولیدی منبع فتوولتائیک نصب شده در باس ۱۸ برابر ۲۲۵ کیلووات است که برابر ۸۰ درصد ظرفیت این منبع است.



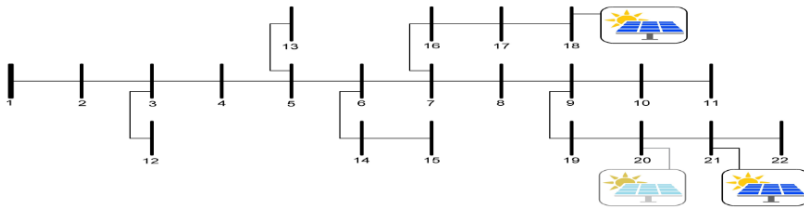
شکل ۶: تغییرات ولتاژ باس ۲۲ قبل و بعد از جایگذاری منابع فتوولتائیک ساختمانی در باس ۱۸ و ۲۱



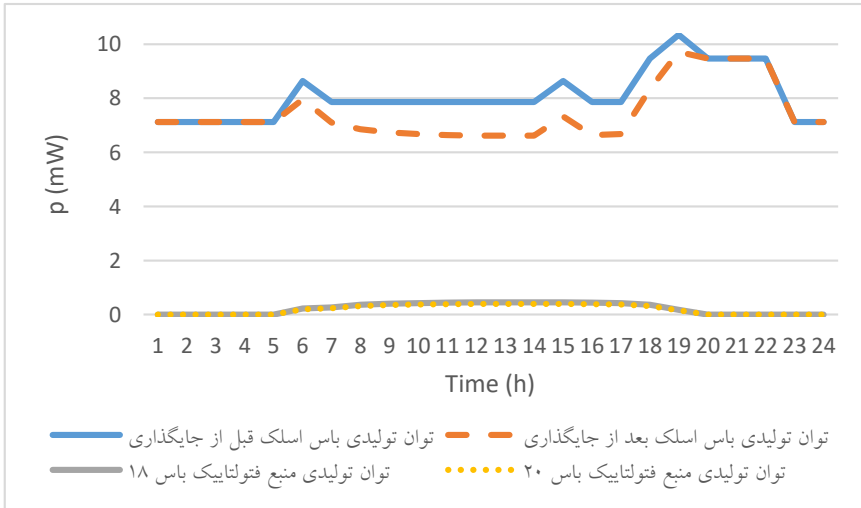
شکل ۷: تغییرات توان تلفاتی قبل و بعد از جایگذاری منابع فتوولتائیک ساختمانی در باس ۱۸ و ۲۱



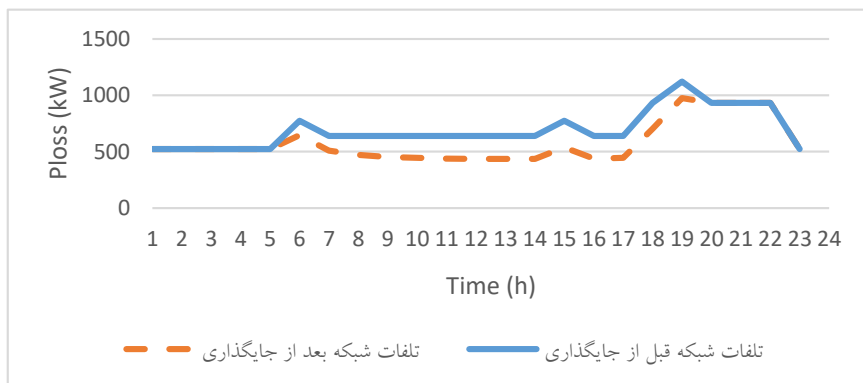
شکل ۸: توان تولیدی باس اسلک و منابع فتوولتائیک ساختمانی قبل و بعد از جایگذاری در باس ۱۸ و ۲۱



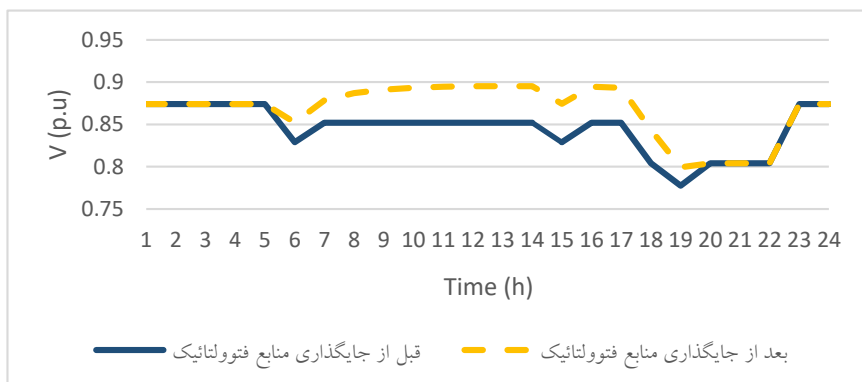
شکل ۹: مکان بهینه نصب منابع فتوولتائیک ساختمانی در سناریو اول



شکل ۱۰: توان تولیدی باس اسلک و منابع فتوولتائیک ساختمانی قبل و بعد از جایگذاری در باس ۱۸ و ۲۰



شکل ۱۱: تغییرات توان تلفاتی قبل و بعد از جایگذاری منابع فتوولتائیک ساختمانی در باس ۱۸ و ۲۰



شکل ۱۲: تغییرات ولتاژ باس ۲۲ قبل و بعد از جایگذاری منابع فتوولتائیک ساختمانی در باس ۱۸ و ۲۰

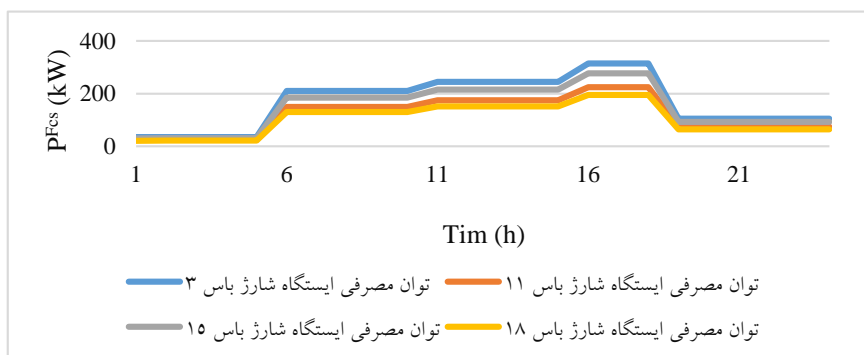
۲-۵- سناریوی دوم

در این سناریو برنامه ریزی بهینه ایستگاه‌های شارژ سریع با توجه به محدودیت‌های شبکه توزیع کابل و حمل و نقل پیاده شده است. در این سناریو باس‌های ۳، ۱۱، ۱۵ و ۱۸ به عنوان مکان‌های بهینه نصب ایستگاه‌های شارژ سریع انتخاب شده است. شکل (۱۳) و (۱۴) تغییرات توان تولیدی باس اسلک قبل و بعد از جایگذاری ایستگاه‌های شارژ سریع و توان مصرفی ایستگاه‌های شارژ سریع را نشان می‌دهد. شکل (۱۵) و (۱۶) به ترتیب ولتاژ باس ۲۲ و توان تلفاتی قبل و بعد از جایگذاری ایستگاه‌های شارژ سریع را نشان می‌دهد. ولتاژ باس ۲۲ در ساعت پیک تقاضا بعد از جایگذاری ایستگاه‌های شارژ سریع در حدود ۰/۸ در صد کاهش و تلفات شبکه و توان تولیدی

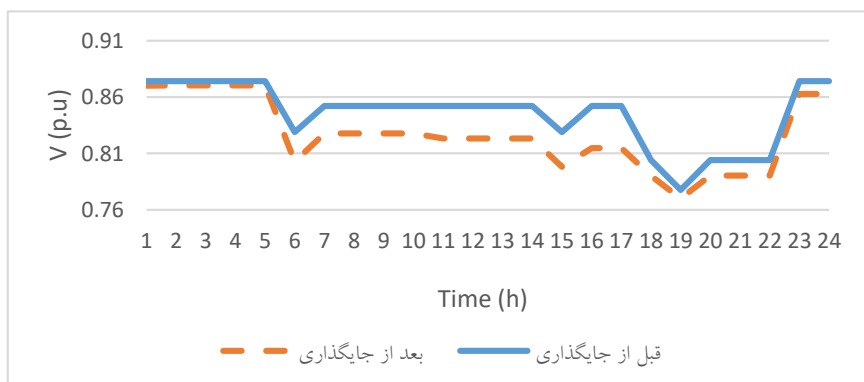
باس اسلک به ترتیب ۳۶ و ۱۸ درصد افزایش پیدا کرده است. جزئیات نتایج این سناریو در جدول (۵) نشان داده شده است.



شکل ۱۳: توان تولیدی باس اسلک قبل و بعد از جایگذاری ایستگاه‌های شارژ سریع

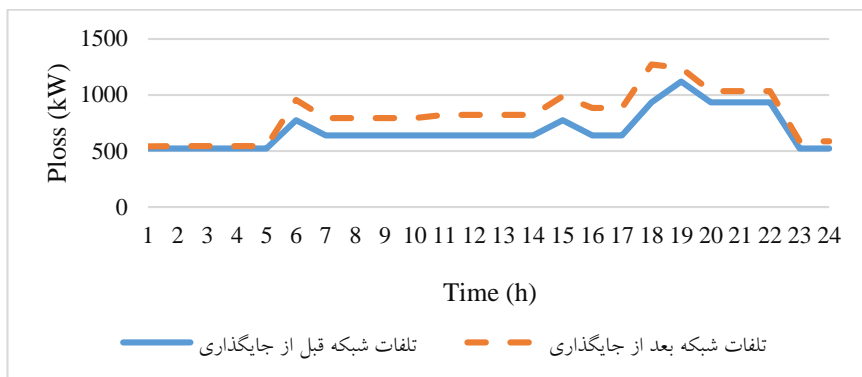


شکل ۱۴: توان مصرفی ایستگاه‌های شارژ سریع



شکل ۱۵: ولتاژ باس ۲۲ قبل و بعد از جایگذاری ایستگاه‌های شارژ سریع





شکل ۱۶: تلفات شبکه قبل و بعد از جایگذاری ایستگاه‌های شارژ سریع

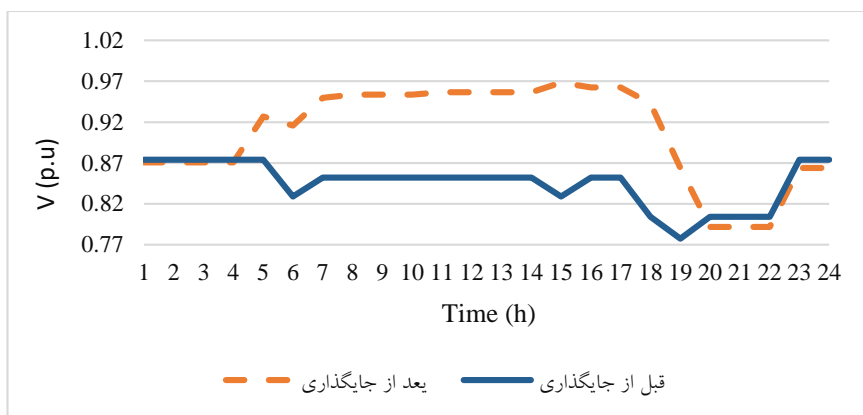
جدول ۵: جزئیات نتایج سناریو دوم

نتایج	سناریو دوم
هزینه نصب ایستگاه‌های شارژ سریع (\$)	۱ میلیون
هزینه ارتقا ایستگاه‌های شارژ سریع (\$)	۷۱۱۲
هزینه سفر (\$)	۴۲۰۷۵
هزینه انتظار رانندگان (\$)	۱۵۲۹
هزینه جریمه (\$)	۶۰۱
مجموع نقاط شارژ	۱۷
مجموع توان ایستگاه‌های شارژ سریع (MW)	۱/۱۵

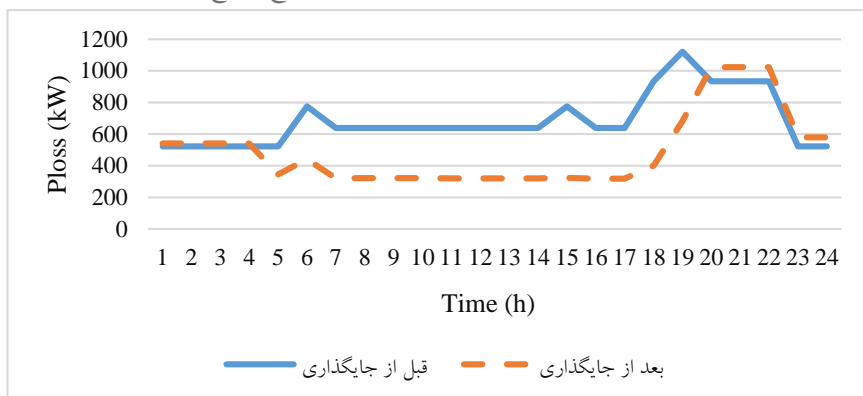
۳-۵- سناریوی سوم

در این سناریو برنامه‌ریزی بهینه ایستگاه‌های شارژ سریع و منابع فتوولتائیک ساختمانی با در نظرگیری محدودیت‌های هر دو شبکه حمل و نقل و توزیع کابل انجام شده است. باس‌های ۳، ۶، ۱۷ و ۲۰ به عنوان مکان‌های بهینه نصب ایستگاه‌های شارژ سریع در این سناریو انتخاب شده‌اند. همچنین باس‌های ۱۸ و ۲۱ همانند سناریو اول به عنوان مکان‌های کاندید منابع فتوولتائیک انتخاب شده‌اند. به عبارتی مکان‌های کاندید ایستگاه‌های شارژ سریع با در نظرگیری منابع فتوولتائیک ساختمانی تغییر پیدا کرده

است. ولتاژ باس ۲۱، تلفات شبکه و توان تزریقی باس اسلک به ترتیب در شکل‌های (۱۷)، (۱۸) و (۱۹) نشان داده می‌شود. همانطور که مشخص است در ساعت ۲۰ تا ۲۲، ولتاژ باس ۲۲ بعد از جایگذاری ایستگاه‌های شارژ سریع و منابع فتوولتائیک ساختمانی کاهش و تلفات در این ساعت افزایش یافته است. در این ساعات توان تولیدی منابع فتوولتائیک ساختمانی صفر بوده و بار مصرفی ایستگاه شارژ سریع که مقدار قابل توجهی دارد، باعث بدتر شدن کیفیت توان شبکه شده است. جزئیات نتایج این سناریو به همراه سناریو دوم جهت مقایسه در جدول (۶) نشان داده شده است. مکان بهینه ایستگاه‌های شارژ سریع و منابع فتوولتائیک ساختمانی هر سه سناریو در شکل (۲۰) نشان داده شده است.

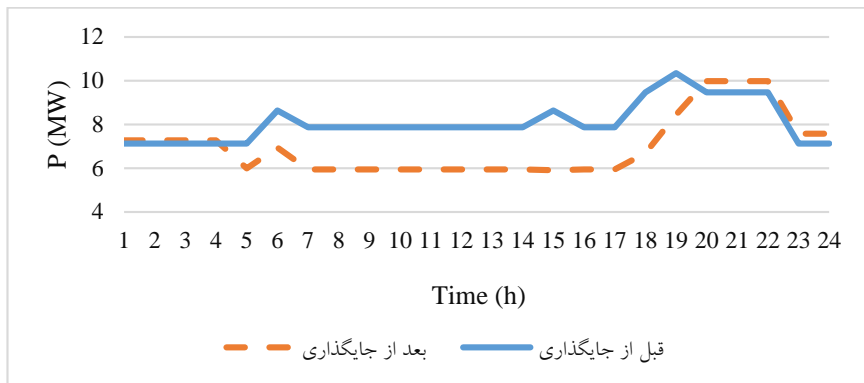


شکل ۱۷: ولتاژ باس ۲۲ قبل و بعد از جایگذاری ایستگاه‌های شارژ سریع و منابع فتوولتائیک ساختمانی



شکل ۱۸: تلفات شبکه قبل و بعد از جایگذاری ایستگاه‌های شارژ سریع و منابع فتوولتائیک ساختمانی

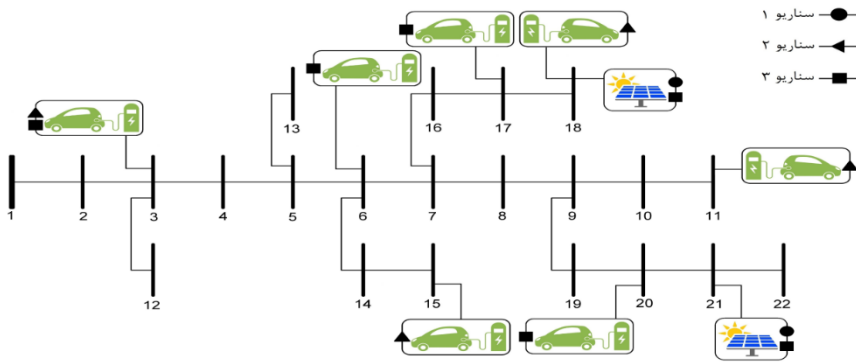




شکل ۱۹: توان تزریقی باس اسلک قبل و بعد از جایگذاری ایستگاه‌های شارژ سریع و منابع فتوولتائیک ساختمانی

جدول ۶: جزئیات نتایج سناریو دوم و سوم

نتایج	سناریو دوم	سناریو سوم
هزینه نصب ایستگاه‌های شارژ سریع (\$)	۱۰۰۷۴۲۶	۹۸۶۵۱۹
هزینه ارتقا ایستگاه‌های شارژ سریع (\$)	۷۱۱۲	۶۴۰۱
هزینه سفر (\$)	۴۲۰۷۵	۳۸۹۴۹
هزینه انتظار رانندگان (\$)	۱۵۲۹	۱۵۳۱/۵
هزینه جریمه (\$)	۶۰۱	۳۲۸/۴۱۷
مجموع نقاط شارژ	۱۷	۱۶
مجموع توان ایستگاه‌های شارژ سریع (MW)	۱/۱۵	۱/۰۵



شکل ۲۰: مکان‌های بهینه جهت نصب ایستگاه‌های شارژ سریع و منابع فتوولتائیک در سناریوهای مختلف

نتیجه‌گیری

در این مطالعه برنامه‌ریزی بهینه ایستگاه‌های شارژ سریع و منابع فتوولتائیک ساختمانی در شبکه توزیع کابل مورد بررسی قرار گرفت. کاهش زمان سفر، زمان انتظار رانندگان و همچنین پوشش کامل تقاضای شارژ و بهبود کیفیت توان، اهداف اصلی روش پیشنهادی است. جایگذاری بهینه منابع فتوولتائیک ساختمانی باعث بهبود کیفیت توان می‌شود. از طرفی جایگذاری ایستگاه‌های شارژ سریع بدون منابع فتوولتائیک ساختمانی باعث بدتر شدن و وضعیت شبکه از نظر کیفیت توان می‌شود. اگرچه ایستگاه‌های شارژ سریع با روش کنترلی خاص خود توان راکتیوی از شبکه دریافت نمی‌کنند اما با توجه به توان مصرفی بالا، باعث افزایش تلفات شبکه می‌شوند. جایگذاری بهینه همزمان ایستگاه‌های شارژ سریع و منابع فتوولتائیک ساختمانی نه تنها باعث بهبود کیفیت توان می‌شود، بلکه مکان بهینه ایستگاه‌های شارژ سریع را تغییر می‌دهد. بنابراین برنامه‌ریزی بهینه ایستگاه‌های شارژ سریع و منابع فتوولتائیک ساختمانی با در نظر گرفتن محدودیت‌های شبکه‌ی حمل‌ونقل و توزیع و شاخص‌های کیفیت توان منجر به بهبود کیفیت توان شبکه می‌شود.

- AHMADI, M., ADEWUYI, O. B., DANISH, M. S. S., MANDAL, P., YONA, A. & SENJYU, T. 2021. Optimum coordination of centralized and distributed renewable power generation incorporating battery storage system into the electric distribution network. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 125, 106458.
- AHMADI, M., LOTFY, M. E., DANISH, M. S. S., RYUTO, S., YONA, A. & SENJYU, T. 2019. Optimal multi-configuration and allocation of SVR, capacitor, centralised wind farm, and energy storage system :a multi-objective approach in a real distribution network. *IET Renewable Power Generation*, 13, 762-773.
- AHMADI, M., LOTFY, M. E., SHIGENOBU, R., YONA, A. & SENJYU, T. 2018. Optimal sizing and placement of rooftop solar photovoltaic at Kabul city real distribution network. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 12, 303-309.
- AKBARI-DIBAVAR, A., NOJAVAN, S. & ZARE, K. 2019. Optimal sitting and sizing of energy storage systems in a smart distribution network considering network constraints and demand response program. *Journal of Energy Management and Technology*, 3, 14-25.
- AMER, A., AZZOUZ, M. A., AZAB, A. & AWAD, A. S. 2020. Stochastic planning for optimal allocation of fast charging stations and wind-based DGs. *IEEE Systems Journal*, 15, 4589-4599.
- ANWARZAI, M. A. 2018. Research and analysis of Afghanistan's wind, solar, and geothermal resources potential.
- BARKENBUS, J. N. 2020. Prospects for electric vehicles. *Sustainability*, 12, 5813.
- BATTAPOTHULA, G., YAMMANI, C. & MAHESWARAPU, S. 2019. Multi-objective simultaneous optimal planning of electrical vehicle fast charging stations and DGs in distribution system. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, 7, 923-934.

- BIGHASH, E. Z., SADEGHZADEH, S. M., EBRAHIMZADEH, E. & BLAABJERG, F. 2018. Adaptive-harmonic compensation in residential distribution grid by roof-top PV systems. *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, 6, 2098-2108.
- CHUNG, S. H. & KWON, C. 2015. Multi-period planning for electric car charging station locations: A case of Korean Expressways. *European Journal of Operational Research*, 242, 677-687.
- CLEMENT-NYNS, K., HAESSEN, E. & DRIESEN, J. 2009. The impact of charging plug-in hybrid electric vehicles on a residential distribution grid. *IEEE Transactions on power systems*, 25, 371-380.
- CRUZ-ZAMBRANO, M., CORCHERO, C., IGUALADA-GONZALEZ, L. & BERNARDO, V. Optimal location of fast charging stations in Barcelona: A flow-capturing approach. 2013 10th International Conference on the European Energy Market (EEM), 2013 .IEEE, 1-6.
- DANISH, S. M. S., AHMADI, M., DANISH, M. S. S., MANDAL, P., YONA, A. & SENJYU, T. 2020. A coherent strategy for peak load shaving using energy storage systems. *Journal of Energy Storage*, 32, 101823.
- DUBEY, A. & SANTOSO, S. 2015. Electric vehicle charging on residential distribution systems: Impacts and mitigations. *IEEE Access*, 3, 1871-1893.
- ERSHAD, A. M., BRECHA, R. J. & HALLINAN, K. 2016. Analysis of solar photovoltaic and wind power potential in Afghanistan. *Renewable Energy*, 85, 445-453.
- GOLLA, N. K., SUDABATTULA, S. K. & SURESH, V. 2022. Optimal Placement of Charging Station and Distributed Generator along with Scheduling in Distribution System using Arithmetic Optimization Algorithm. *International Journal of Renewable Energy Research (IJRER)*, 12, 970-980.
- HASHEMIAN, S. N., LATIFY, M. A. & YOUSEFI, G. R. 2020. PEV fast-charging station sizing and placement in coupled



transportation-distribution networks considering power line conditioning capability. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 11, 4773-4783.

HASSANZADEHFARD, H. & JALILIAN, A. 2018. Optimal sizing and location of renewable energy based DG units in distribution systems considering load growth. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 101, 356-370.

KHALID, M. R., ALAM, M. S., KRISHNAMURTHY, M., AL-AMMAR, E. A., ALRAJHI, H. & ASGHAR, M. S. J. 2021. A Multiphase AC-DC Converter With Improved Power Quality for EV Charging Station. *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, 8, 909-924.

KUMAR, N. & KUMAR, A. 2019. Techno-economic analysis of non-linear DG penetration in radial distribution systems. *Distributed Generation & Alternative Energy Journal*, 32, 54-74.

LAKUM, A. & MAHAJAN, V. 2019. Optimal placement and sizing of multiple active power filters in radial distribution system using grey wolf optimizer in presence of nonlinear distributed generation. *Electric Power Systems Research*, 173, 281-290.

LAKUM, A. & MAHAJAN, V. 2021. A novel approach for optimal placement and sizing of active power filters in radial distribution system with nonlinear distributed generation using adaptive grey wolf optimizer. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 24, 911-924.

LEOU, R. C., TENG, J. H., LU, H. J., LAN, B. R., CHEN, H. T., HSIEH, T. Y. & SU, C. L. 2018. Stochastic analysis of electric transportation charging impacts on power quality of distribution systems. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 12, 2725-2734.

MAO, D., GAO, Z. & WANG, J. 2019. An integrated algorithm for evaluating plug-in electric vehicle's impact on the state of power grid assets. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 105, 793-802.



- MIRALINAGHI, M., KESKIN, B. B., LOU, Y. & ROSHANDEH, A. M. 2017. Capacitated refueling station location problem with traffic deviations over multiple time periods. *Networks and Spatial Economics*, 17, 129-151.
- MUNIR, S. & LI, Y. W. 2013. Residential distribution system harmonic compensation using PV interfacing inverter. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 4, 816-827.
- NASIR, S. S., AYOP, R. & JAMIAN, J. Harmonic Distortion Improvement Considering Bulk Charging Station and Distributed Generation. 2020 IEEE International Conference on Power and Energy (PECon), 2020. IEEE, 276-281.
- NOORZAD, A. S. & SENJYU, T. 2017. Multi-objective Optimization of Afghanistan Kabul City Distribution Network for Real-time Voltage Control and Power Loss Reduction.
- PRABHA, D. R., JAYABARATHI, T., UMAMAGESWARI, R. & SARANYA, S. 2015. Optimal location and sizing of distributed generation unit using intelligent water drop algorithm. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 11, 106-113.
- RAMYA, K., VINOTH KUMAR, K., IRFAN, M., MESFORUSH, S., MOHANASUNDARAM, K. & VIJAYAKUMAR, V. 2019. Fuzzy based hybrid incorporating wind solar energy source by reduced harmonics. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 36, 4247-4256.
- SAKAR, S., BALCI, M. E., ALEEM, S. H. A. & ZOBAA, A. F. 2018. Integration of large-scale PV plants in non-sinusoidal environments: Considerations on hosting capacity and harmonic distortion limits. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 176-186.
- SHAHRAKI, N., CAI, H., TURKAY, M. & XU, M. 2015. Optimal locations of electric public charging stations using real world vehicle travel patterns. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 41, 165-176.



- TANG, L. & FERRIS, M. 2015. Collection of power flow models: Mathematical formulations. *University of Wisconsin: Madison, WI, USA*.
- YAMMANI, C., MAHESWARAPU, S. & MATAM, S. K. 2016. A Multi-objective Shuffled Bat algorithm for optimal placement and sizing of multi distributed generations with different load models. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 79, 120-131.
- YONG, J. Y., RAMACHANDARAMURTHY, V. K., TAN, K. M. & MITHULANANTHAN, N. 2015. Bi-directional electric vehicle fast charging station with novel reactive power compensation for voltage regulation. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 64, 300-310.
- ZENG, B., DONG, H., SIOSHANSI, R., XU, F. & ZENG, M. 2020. Bilevel robust optimization of electric vehicle charging stations with distributed energy resources. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 56, 5836-5847.
- ZHANG, H., MOURA, S. J., HU, Z., QI, W. & SONG, Y. 2017. A second-order cone programming model for planning PEV fast-charging stations. *IEEE Transactions on power Systems*, 33, 2763-2777.
- ZHANG, H., MOURA, S. J., HU, Z. & SONG, Y. 2016. PEV fast-charging station siting and sizing on coupled transportation and power networks. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 9, 2595-2605.



سال پنجم، شماره چهارم، خزان ۱۴۰۱



استفاده از سنگ اسلیت-فیلیت به عنوان مصالح طبیعی برای بهبود ویژگی‌های ژئوتکنیکی خاک رس مارنی

مرتضی مبلغ^{۱*}، ابوالفضل سلطانی^۲

چکیده

در سال‌های گذشته به دلایل پیدایش مشکلات زیست‌محیطی و افزایش هزینه‌های مصالح صنعتی مثل آهک و سیمان برای بهبود خاک‌های مسئله‌دار، محققین تلاش‌هایی برای کاهش استفاده از این مصالح در پروژه‌های بهسازی خاک‌ها کرده‌اند. به همین دلیل استفاده از منابع طبیعی و زائدات کارخانجات صنعتی می‌تواند گزینه مناسبی باشد. در این تحقیق نیز از پودر سنگ اسلیت-فیلیت (SPP) به عنوان افزودنی بهبوددهنده خواص ژئوتکنیکی خاک رس مارنی (خاک مسئله‌دار) استفاده شده است. نتایج بدست آمده از آزمایش‌های حدود آتربرگ و تراکم استاندارد نشان دادند که با افزودن ۵، ۷ و ۱۰ درصد وزنی SPP به خاک رس مارنی، کاهش معناداری در پلاستیسیته، افزایش رطوبت بهینه و کاهش وزن مخصوص خشک حداکثر حاصل می‌شود. همچنین در نتایج آزمایش‌های مقاومت فشاری محدود نشده (UCS) و نسبت باربری کالیفرنیا (CBR) نیز افزایش قابل ملاحظه‌ی مقادیر به دست آمده دیده می‌شود که نشان‌دهنده تاثیر مناسب این افزودنی بر ظرفیت باربری خاک پایه است. در نهایت به منظور شناخت مورفولوژی نمونه‌های بهینه، آنالیزهای FE-SEM و

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی ژئوتکنیک دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی و مسئول مکاتبات، دانشگاه تربیت

دبیر شهید رجایی، تهران، ایران

ایمیل: mortezamobaleghm2@gmail.com

۲. دانشیار دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران

ایمیل: asoltani@sru.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۲۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۱۵

میکروسکوپ پلاریزان انجام شد و نتایج تغییرات در ساختار خاک پس از افزودن SPP را نشان دادند.

واژگان کلیدی: رس مارنی، بهسازی، سنگ اسلیت-فیلیت، سنگ‌های دگرگونی، UCS، CBR.

۱- مقدمه

خاک‌های رسی زمانی که در معرض رطوبت قرار می‌گیرند سفتی خود را از دست داده و در نتیجه ظرفیت باربری خود را از دست می‌دهند و متراکم می‌شوند. این کاهش ظرفیت باربری باعث نشست زیاد خاک و خسارات جدی به پی سازه می‌شود. کاهش مقاومت خاک‌های رسی نرم باعث از دست رفتن ظرفیت باربری و نشست زیاد خاک شده و خسارات جدی به ساختمان و پی وارد می‌شود (Sakr, 2009). مارن‌ها از خاک‌های رسی مسئله‌دار هستند که به طور معمول در آن‌ها ۳۵ تا ۶۵ درصد کربنات کلسیم وجود دارد و در صورت قرار گرفتن در معرض جریان آب، متورم می‌شوند و مشکلاتی را در پایداری بستر پروژه‌های عمرانی ایجاد می‌کنند (Ouhadi, 2003) از سوی دیگر گسیختگی‌های شدید در بسیاری از خاک‌های مارنی تثبیت شده به روش شیمیایی گزارش شده است، براین اساس عمدتاً عوامل مکانیکی به تنهایی برای توضیح این گسیختگی‌ها چندان جامع نیست (Elert, 2017). این خاک هم چنین رفتار رمبنده، واگرا، تورمی و دوام به وارفتگی کم را در حضور آب بروز می‌دهد (Behnia, 1993). از این رو در صورت وجود خاک‌های مارنی در پروژه‌های عمرانی، نیاز به بهسازی این خاک‌ها وجود دارد (McDowell, 1959).

بهبود و تقویت رفتار مکانیکی خاک‌ها با روش‌های فیزیکی و شیمیایی صورت می‌گیرد تا در جهت تعیین کاربری دقیق‌تر خاک‌ها، حفاظت خاک‌ها، رفع مشکلات ژئوتکنیکی، کاهش خطرات سازه‌ها و رفع مخاطرات زیست‌محیطی راه‌حل‌های مناسبی اتخاذ گردد. در طی سال‌های گذشته با توجه به استحصال آسان و قیمت پایین مواد افزودنی نظیر آهک و سیمان، استفاده از این مواد در بهسازی مشخصات رفتاری خاک‌های مسئله‌دار مورد توجه قرار گرفته است. اما با توجه به تاثیرات نامطلوب این دو ماده‌ی افزودنی، محققین تلاش‌هایی برای کاهش استفاده از این مواد یا جایگزین کردن با سایر مواد کم‌خطر داشته‌اند. پوزولان یکی از مهم‌ترین مواد به کار رفته در ساختار سیمان می‌باشد که در صورت پیدا کردن این ماده در سایر منابع طبیعی می‌توان



تلاش‌هایی را توسط ماده جدید برای بهسازی خاک مسئله‌دار کرد. وجود ماده پوزلان در سیمان باعث شده است که این مواد پس از آسیاب و وارد شدن به سیمان، در مجاورت رطوبت با هیدروکسید کلسیم Ca(OH)_2 واکنش شیمیایی داده و ترکیباتی با مواد سیمانی (ژل سیلیکاتی) به وجود آورند که این مواد باعث ایجاد مقاومت و پایداری محصولات بتنی شوند (Amin, 2019). تمام پوزلان‌های طبیعی یا از سنگ‌ها و کانی‌های آتشفشانی سرچشمه گرفته‌اند و یا محصول هوازدگی سایر سنگ‌ها و کانی‌ها هستند. در حین فوران آتشفشان‌های انفجاری، خنک شدن سریع ماگمای دارای ترکیب آلومینا سیلیکاتها، منجر به تشکیل شیشه یا فازهای شیشه‌ای با ساختار نامنظم (آمورف) می‌شود. آلومینوسیلیکات‌های با ساختار نامنظم در معرض محلول آهک، ناپایدار هستند و همین ویژگی اساس کاربرد پوزولان‌ها است (Mehta, 2014) در ترکیبات شیمیایی پوزولان‌های طبیعی عمدتاً SiO_2 ، Al_2O_3 و Fe_2O_3 وجود دارد که مجموع محتوای این سه اکسید پوزولانی به بیش از ۷۰٪ می‌رسد. سایر اکسیدهای موجود در پوزولان‌ها شامل CaO ، MgO ، Na_2O ، K_2O و ... می‌باشند (Pekmezci, 2004).

در سال‌های اخیر، مسائل زیست‌محیطی سبب تمایل بیشتر به استفاده از محصولات و ضایعات کارخانجات صنعتی به عنوان ماده جایگزین (و یا کاهش استفاده از) سیمان و آهک برای ساخت و ساز شده است. به همین منظور محصولاتی از قبیل خاکستر بادی، سرباره، خاکستر پوسته برنج، پسماندهای معدنی و پودر ضایعات سنگی به صورت مخلوط با آهک و سیمان برای بهبود خواص ژئوتکنیکی خاک‌های مشکل ساز و خواص مهندسی مواد تثبیت کننده‌ی پوزولانی استفاده شده است و نتایج قابل قبولی به دست آمده است (Lazaro, 1970) همچنین استفاده از پودر سنگ‌ها به عنوان مواد افزودنی به خاک‌های مسئله‌دار رایج شده است و در پژوهش‌هایی استفاده از سنگ‌های آذرین و رسوبی گزارش شده است اما اطلاعات بسیار کمی بر روی خواص مهندسی مواد تثبیت کننده‌ی پوزولانی با استفاده از سنگ‌های دگرگونی به عنوان یک ماده افزودنی منتشر شده است که در ادامه به بررسی برخی از این پژوهش‌ها پرداخته خواهد شد.

سنگ فیلیت یکی از سنگ‌های دگرگونی است که در پژوهشی به بررسی یک ماده‌ی جدید با استفاده از خاک رس تشکیل شده از سنگ فیلیت و درصدی از سیمان پرداخت شده است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد، محصول نهایی طرح که شامل خاک



رس فیلیتی و سیمان به نسبت‌های ۵، ۷ و ۹ در صد وزنی تهیه شده است، خواص مهندسی رس فیلیتی طبیعی را بهبود داده است. ترکیب منتخب این طرح رس فیلیت با ۵ درصد وزنی سیمان بود و خصوصیات ژئوتکنیکی شاخص خمیری ۱۰/۵٪، حداکثر چگالی خشک $2/17 \text{ kg/m}^3$ ، مقدار رطوبت بهینه ۸ درصد برای تراکم اصلاح شده، مقاومت فشاری محدود نشده $0/74 \text{ MPa}$ و مقدار ضریب نفوذ پذیری بسیار کم $(10 \times 7/4)$ بدست آمد. کاربردهای بالقوه محصول نهایی این مطالعه شامل ساخت و ساز ساختمان، سقف‌ها، پیاده روها و زیرسازی جاده می‌شود. به عنوان مثال، می‌توان آجر و کاشی را با استفاده از رس فیلیت با افزودنی سیمان تولید کرد. در چنین مواردی، کامپوزیت‌های رس فیلیت-سیمان از پتانسیل استفاده به عنوان یک گزینه کم‌هزینه برخوردار هستند که به صورت محلی در دسترس هستند مانند نواحی اندونزی، اسپانیا و ایران. تحقیقات بیشتر در مورد استفاده از رس‌های فیلیتی در تهیه ملات و بتن برای کاربردهای خاص مواد در حال انجام است و موضوع گزارش‌های آینده خواهد بود (Garzón, 2015). در تحقیقاتی دیگر، از ترکیب خاک رس تشکیل شده از سنگ فیلیت و درصدهایی از سیمان (۰، ۲۰، ۵۰ و ۸۰ درصد وزنی) استفاده شد. نتایج نشان دادند که با افزایش مقدار فیلیت مقدار تراکم حجمی کاهش می‌یابد. این موضوع به این دلیل است که فیلیت خاصیت پرکنندگی بسیار مناسبی دارد. همچنین، با افزایش مقدار فیلیت خاصیت جذب آب این ملات بالا رفته است زیرا کانی‌های ورقه‌ای خاصیت آبدوستی دارند. این مصالح قابلیت استفاده در کارهای عمرانی را دارند و به علت کاهش در صد حضور سیمان در مصالح باعث بهبود خاصیت زیست‌محیطی کارهای عمرانی می‌شود (Garzón, 2017).

۲- مصالح و روش‌ها

به طور کلی در این تحقیق ابتدا مصالح خام شامل خاک پایه و سنگ اسلیت-فیلیت از منابع شناسایی شده جمع‌آوری شدند و سپس آزمایش‌های آنالیز مواد شامل آنالیزهای XRF، XRD، BET، DLS و تصاویر حاصل از میکروسکوپ پلاریزان و میکروسکوپ الکترونی روبشی FE-SEM بر روی این مصالح انجام شد. در نهایت آزمایش‌های ژئوتکنیکی همچون تراکم استاندارد، دانه‌بندی، تعیین چگالی ذرات جامد (Gs)، حدود اتربرگ و مقاومت فشاری تک محوری (UCS) و نسبت باربری کالیفرنیا (CBR) برای خاک مینا و خاک تقویت شده با درصدهای مختلف افزودنی (۳، ۷ و ۱۰ درصد) مطابق با استانداردهای ASTM انجام گردید (جدول ۱).

جدول ۱: استانداردهای مورد استفاده در انجام آزمایش‌های ژئوتکنیکی

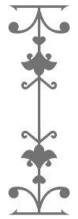
استاندارد	آزمایش
ASTMD422-63	دانه‌بندی
ASTM D854-83	تعیین چگالی
ASTM D698-07	تراکم استاندارد
ASTM D4318-87	حدود آتربرگ
ASTM D2166-00	مقاومت فشاری تک محوری-محصور
	نشده
ASTM D1883-16	نسبت باربری کالیفرنیا

۳- خاک پایه

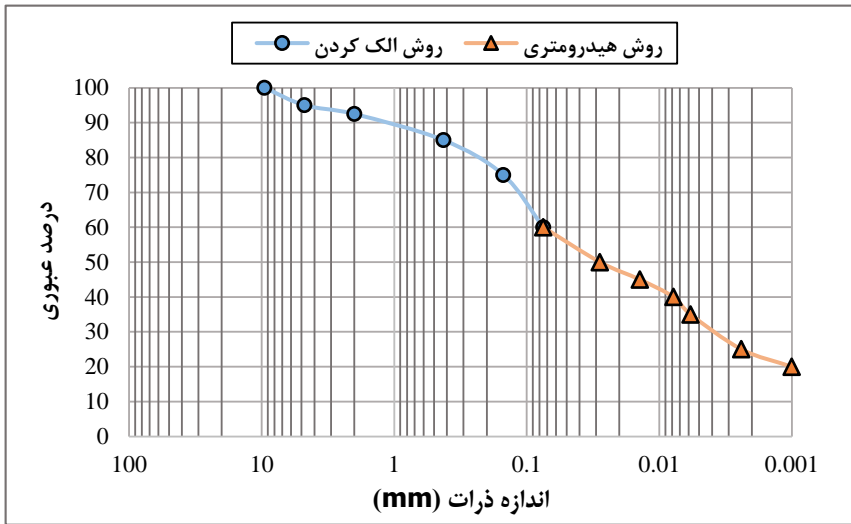
به منظور بررسی تاثیر پودر سنگ‌های اسلیت-فیلیت بر روی خاک رس مارنی، در این تحقیق از خاک رس منطقه بی‌بی شهربانو شهرری تهران به عنوان خاک رس سرباره معدنی مسئله‌دار جهت بهسازی آن به عنوان خاک پایه استفاده شده است (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت برداشت خاک پایه از منطقه بی‌بی شهربانو شهرری تهران



پس از برداشت خاک پایه از موقعیت مورد نظر برای شناخت خصوصیات پایه، آزمایش های حدود آتبرگ، چگالی ذرات جامد (G_s)، تراکم استاندارد، دانه بندی، مقاومت فشاری محصور نشده (UCS) و نسبت باربری کالیفرنیا (CBR) مطابق با استانداردهای ASTM انجام شد که نتایج آن در جدول (۲) آورده شده است. باتوجه به نتایج دانه بندی مشخص شد که خاک پایه دارای ۵ درصد شن، ۳۰ درصد ماسه، ۲۵ درصد سیلت و ۴۰ درصد رس می باشد (شکل ۲).



شکل ۲: منحنی دانه بندی خاک پایه

جدول ۲: ویژگی های پایه خاک پایه مورد مطالعه

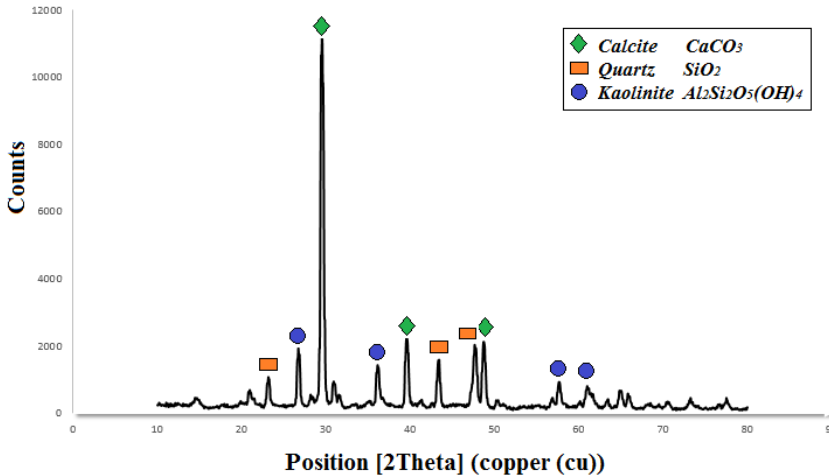
مشخصات	مقدار	استاندارد
حد روانی LL	۲۷	ASTM D4318
حد خمیری PL	۱۶	ASTM D4318
شاخص خمیری PI	۱۱	ASTM D4318
چگالی ذرات جامد G_s	۲/۵۶	ASTM D854
طبقه بندی خاک (USCS)	CL	ASTM D2487
وزن مخصوص خشک حداکثر (gr/cm^3)	۱/۹۵	ASTM D698
درصد رطوبت بهینه	۱۱	ASTM D698
UCS(kPa)	۲۸/۵	ASTM D2166

CBR(%)	۱۹	ASTM D1883
شن(%)	۵	ASTM D6913
ماسه(%)	۳۰	ASTM D6913
سیلت(%)	۲۵	ASTM D6913
رس(%)	۴۰	ASTM D6913

۴- آنالیزهای کانی شناختی خاک پایه

به منظور شناسایی ترکیب کانی‌های محتمل و ساختارشناسی خاک، آنالیزهای XRF، XRD و FE-SEM بر روی خاک پایه انجام شد. با توجه به شکل (۳)، نتایج آزمون XRD برای خاک پایه نشان می‌دهد که کلسیت، کوارتز و کائولینیت کانی‌های اصلی خاک پایه هستند که پیک اصلی XRD کلسیت است که نشان از درصد بالای آهک در این خاک رس می‌باشد (شکل ۳). این نتایج با نتایج به دست آمده از آزمایش XRF مطابقت دارد زیرا در این آزمایش هم درصد زیادی از CaO به دست آمده است و می‌توان گفت که این خاک از نوع رس مارنی است (جدول ۳).

جدول ۳: آنالیز شیمیایی XRF خاک پایه مورد مطالعه

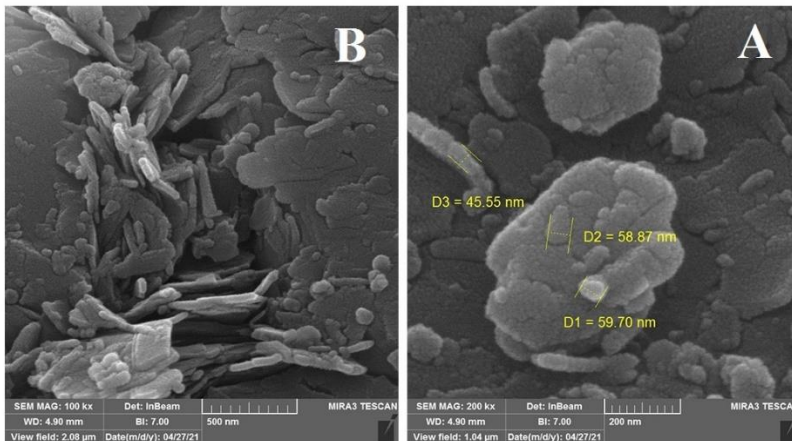


عنوان مصالح طبیعی برای بهبود...
استفاده از سنگ اسلیت-فیلیت به

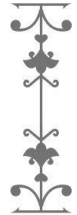
ترکیب شیمیایی	درصد وزنی (wt%)
SiO ₂	۱۳/۵۴
Al ₂ O ₃	۲/۹۷
Fe ₂ O ₃	۳/۲۵
CaO	۴۲/۳
Na ₂ O	۰/۶۸
K ₂ O	۰/۶۶۳
MgO	۰/۸۷
P ₂ O ₅	۰/۲۷
LOI	۳۴/۹
سایر ترکیبات	۰/۵۱

شکل ۳: آنالیز XRD خاک پایه مورد مطالعه

در شکل (۴) تصاویر FE-SEM خاک پایه در بزرگ‌نمایی ۲۰۰ و ۵۰۰ نانومتر نشان داده شده است. این تصاویر به خوبی ساختار ورقه‌ای رس کائولینیت را نشان می‌دهد. همچنین با توجه به وجود حفرات، ناپوستگی‌ها و لبه‌های تیز، به نظر می‌رسد که در صورت استفاده از این خاک در پروژه‌های عمرانی نیاز به بهسازی و بهبود ویژگی‌های ژئوتکنیکی احساس می‌شود.

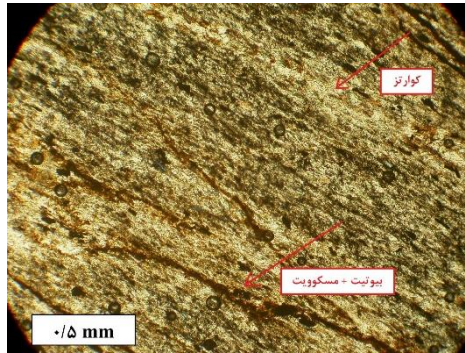


شکل ۴: آنالیز FE-SEM خاک پایه در بزرگ‌نمایی‌های (A) ۲۰۰ نانومتر (B) ۵۰۰ نانومتر



۵- اسلیت-فیلیت

سنگ اسلیت-فیلیت نوعی از سنگ‌های دگرگونی هستند که در زمان پیدایش حرارت کمی را تحمل کرده‌اند و جزء سنگ‌های دگرگونی دمای پایین به حساب می‌آیند. به همین دلیل دارای ساختار ورقه‌ای و مقاومت پایین در برابر ضربه هستند. شکل (۵) تصویر میکروسکوپ پلاریزان سنگ اسلیت-فیلیت را نشان می‌دهد. از منظر کانی‌شناسی می‌توان به وجود کانی‌های مسکویت (میکای سفید)، بیوتیت (میکای سیاه) و کانی‌های ثانویه شامل اکسیدهای آهن و کربنات‌ها که در بین رگ‌ها و بین ورقه‌ها به صورت کامل متبلور شده‌اند، اشاره کرد. کانی‌های اصلی تشکیل دهنده اسلیت-فیلیت، فیلسیلیکات‌های آلومینیومی هستند که همگی کریستالین و به صورت کشیده شده‌اند (شکل ۵).



شکل ۵: تصویر میکروسکوپ پلاریزان سنگ اسلیت-فیلیت در نور PPL

سنگ‌های مورد مطالعه در این تحقیق از دامنه کوه‌های الوند شهر همدان ایران برداشت شده‌اند و پس از خردایش و سایش توسط دستگاه لس‌آنجلس (شکل ۶) تحت آزمایش XRF و XRD قرار گرفتند. نتایج آنالیز XRF نشان دادند که این سنگ‌ها بیش از ۷۰٪ وزنی حاوی اکسیدهای پوزولانی ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) هستند و مطابق با استاندارد ASTM C618 پوزولان‌های طبیعی محسوب می‌شوند (جدول ۴). در شکل (۷) آنالیز شیمیایی XRD مربوط به کانی‌های سنگ‌های اسلیت-فیلیت نشان داده شده است. عناصر اصلی این سنگ‌ها کوارتز، مگنتیت و فیلسیلیکات آبدار کلینوکلر است. پیک اصلی این آنالیز مربوط به کانی کوارتز است که نشانه رشد و تبلور کانی کوارتز در سنگ‌های پیلیتی و حرارت پایین است. حضور کانی مگنتیت در تطابق با مقدار قابل توجه اکسید آهن (۹/۵۴ درصد وزنی) گزارش شده در آنالیز XRF است.

پیک سوم کانی انعطاف پذیر ولی غیرالاستیکی به نام کلینوکلر است که موجب رنگ سبز نمونه‌های فیلیتی شده است و شاخص دمای کم در سنگ‌های گروه دگرگونی مجاورتی است. همچنین نوعی کانی کلریت از خانواده فیلوسیلیکات‌ها است.

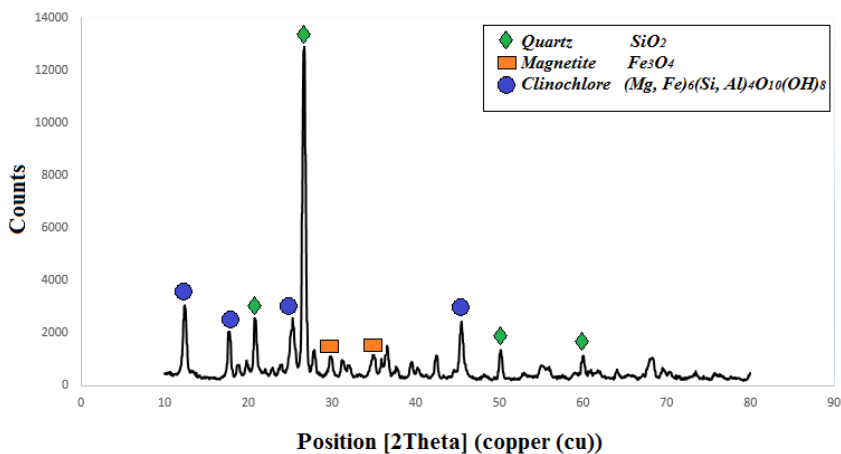


شکل ۶: مراحل سایش سنگ اسلیت-فیلیت (A) دستگاه لس آنجلس (B) پودر حاصل

جدول ۶: نتایج آنالیز XRF برای پودر سنگ اسلیت-فیلیت

ترکیب شیمیایی	درصد وزنی (wt%)
SiO ₂	۵۴/۵۵
Al ₂ O ₃	۲۰/۸۱
Fe ₂ O ₃	۹/۵۴
CaO	۰/۹۳
Na ₂ O	۰/۷۸
K ₂ O	۴/۵۳
MgO	۱/۵۱
P ₂ O ₅	۰/۰۸
LOI	۵/۷۶
سایر ترکیبات	۱/۵۱



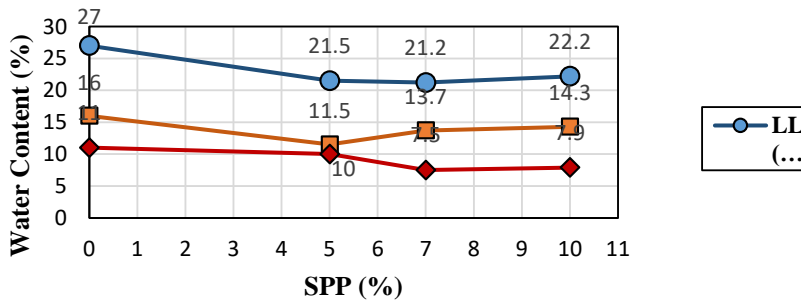


شکل ۷: آنالیز XRD سنگ اسلیت-فیلیت

۶- آنالیز نتایج آزمایشگاهی

۱-۶- آزمایش حدود آتربرگ

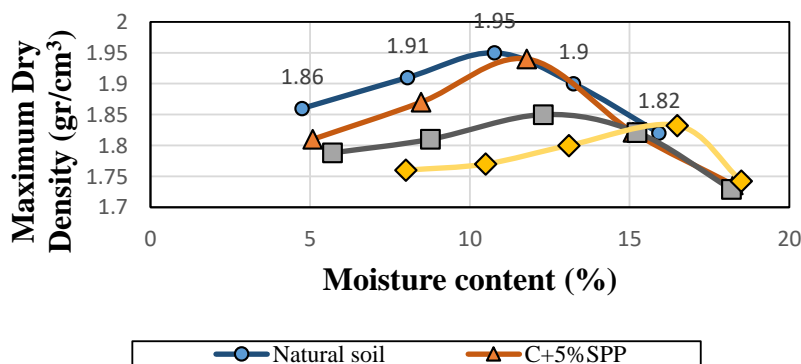
با توجه به نتایج به دست آمده از شکل (۸)، با افزودن مقادیر ۵، ۷ و ۱۰ درصد اسلیت-فیلیت به خاک پایه، حد روانی خاک پایه از ۲۷ درصد به ۲۱/۲ درصد کاهش یافته و بعد تا ۲۲/۲ درصد افزایش یافته است. در حد خمیری نیز با افزودن ۵ درصد اسلیت-فیلیت به خاک پایه ابتدا حد خمیری تا ۱۱/۵ درصد کاهش یافته و بعد با افزودن مقادیر ۷ و ۱۰ درصد، حد خمیری تا ۱۴/۳ درصد افزایش یافته است. در شاخص خمیری نیز با اضافه کردن ۵ درصد اسلیت-فیلیت روند نزولی تغییرات قابل ملاحظه‌ای نداشته است و با افزایش اسلیت-فیلیت تا ۷ درصد، شاخص خمیری تا ۷/۵ درصد کاهش داشته است و بعد از آن با افزایش تا ۱۰ درصد، به ۷/۹ درصد رسیده است. به طور کلی با اضافه کردن پودر اسلیت-فیلیت به خاک پایه موارد کاهش شاخص خمیری، حد روانی و حد خمیری نسبت به نمونه خاک پایه دیده می‌شود. به نظر می‌رسد که به سبب واکنش‌های تبادل کاتیونی، ذرات به یکدیگر نزدیک‌تر شده، بافت خاک از نظر فیزیکی تغییر کرده و مانند خاک با ذرات درشت‌تر عمل کند که این امر موجب کاهش حد خمیری و حد روانی و در نتیجه کاهش شاخص خمیری شده است. با کاهش شاخص خمیری، پلاستیسیته خاک نیز کاهش می‌یابد.



شکل ۸: تغییرات حدود آتریرگ برای خاک پایه به همراه درصدهای مختلف اسلیت-فیلیت

۲-۶- آزمایش تراکم

طبق شکل (۹) با افزایش درصد افزودنی به خاک پایه، وزن مخصوص کاهش یافته و در صد رطوبت بهینه افزایش می‌یابد. به نظر می‌رسد علت این موضوع می‌تواند بالا بودن سطح ویژه ذرات اسلیت-فیلیت باشد. این ذرات با جذب آب اضافه شده، درصد رطوبت را بالا می‌برند و از طرفی حفرات موجود بین ذرات خاک کاهش می‌یابد و در نتیجه ساختار خاک از پراکنده به فولکوله تبدیل می‌شود. ذرات خاک در ساختار فولکوله به نسبت ساختار پراکنده درشت‌تر هستند و به همین دلیل تراکم کمتری حاصل می‌شود و در نهایت باعث کاهش وزن مخصوص خاک می‌شود. دلیل دیگر این است که وزن مخصوص ذرات اسلیت-فیلیت نسبت به وزن مخصوص ذرات خاک کمتر است و همین اختلاف وزن مخصوص باعث کاهش وزن مخصوص خشک حداکثر ترکیب‌های خاک با ذرات اسلیت-فیلیت می‌شود.

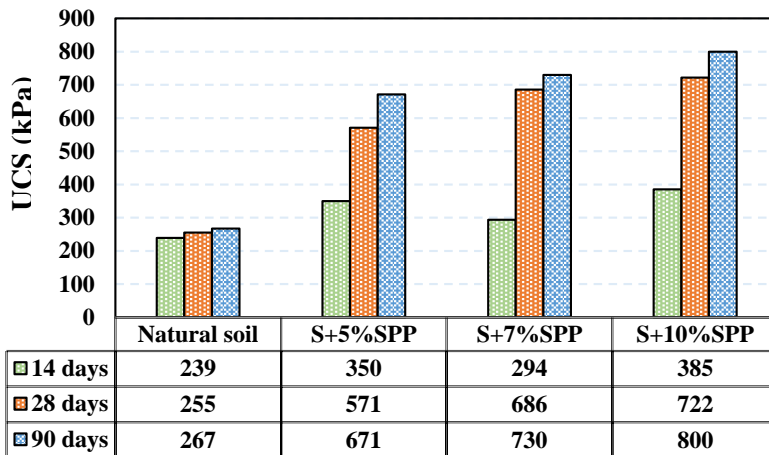


شکل ۹: تغییرات درصد رطوبت بهینه و وزن مخصوص خشک حداکثر برای خاک پایه به همراه درصدهای مختلف اسلیت-فیلیت

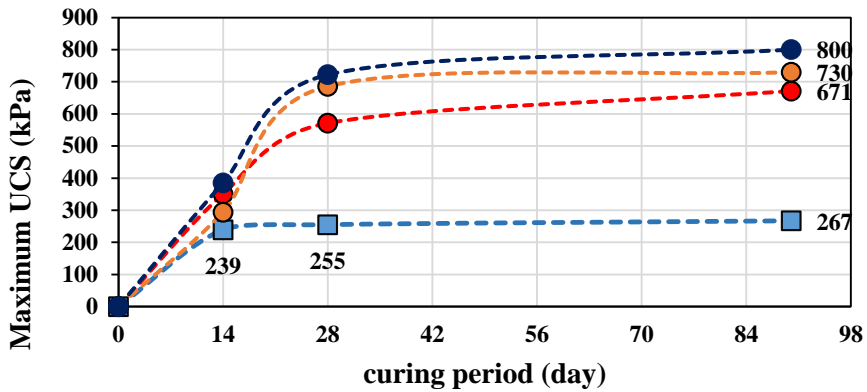


۳-۶- آزمایش مقاومت فشاری محصور نشده

باتوجه به نتایج به دست آمده از آزمایش UCS (شکل ۱۰)، مقاومت فشاری محصور نشده برای خاک پایه بدون حضور افزودنی از دوره ۱۴ تا ۹۰ روزه تغییرات ناچیزی داشته است که این موضوع به این علت است که رطوبت نمونه‌ها به خوبی حفظ شده است و روش عمل‌آوری نمونه‌ها مناسب بوده است. همچنین پس از افزودن ۵، ۷ و ۱۰ درصد پودر اسلیت-فیلیت به خاک پایه، نمونه‌ها در سنین ۱۴، ۲۸ و ۹۰ روزه به ترتیب از ۲۳٪ تا ۶۱٪، ۱۲۴٪ تا ۱۸۳٪ و ۱۵۱٪ تا ۲۰۰٪ رشد داشته‌اند که نشان‌دهنده تاثیر مطلوب پودر اسلیت-فیلیت بر مقاومت فشاری محصور نشده خاک پایه است. مطابق شکل (۱۱) که تاثیر زمان عمل‌آوری بر روی مقاومت فشاری حداکثر نمونه‌های منتخب را نشان می‌دهد، با افزایش زمان عمل‌آوری از ۱۴ تا ۲۸ روز، رس با ۱۰٪ اسلیت-فیلیت افزایش قابل ملاحظه‌ای پیدا می‌کند ولی با افزایش زمان عمل‌آوری از ۲۸ تا ۹۰ روز این افزایش مقاومت، شیب ملایم‌تری پیدا می‌کند. این موضوع نشان‌دهنده آن است که نتیجه بهسازی خاک رس مارنی با اسلیت-فیلیت در کوتاه مدت بهتر از بلند مدت است.



شکل ۱۰: نتایج آزمایش UCS بر روی نمونه‌های خاک پایه با اسلیت-فیلیت در دوره‌های ۱۴، ۲۸ و ۹۰ روزه (برحسب کیلو پاسکال)

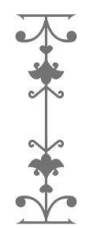


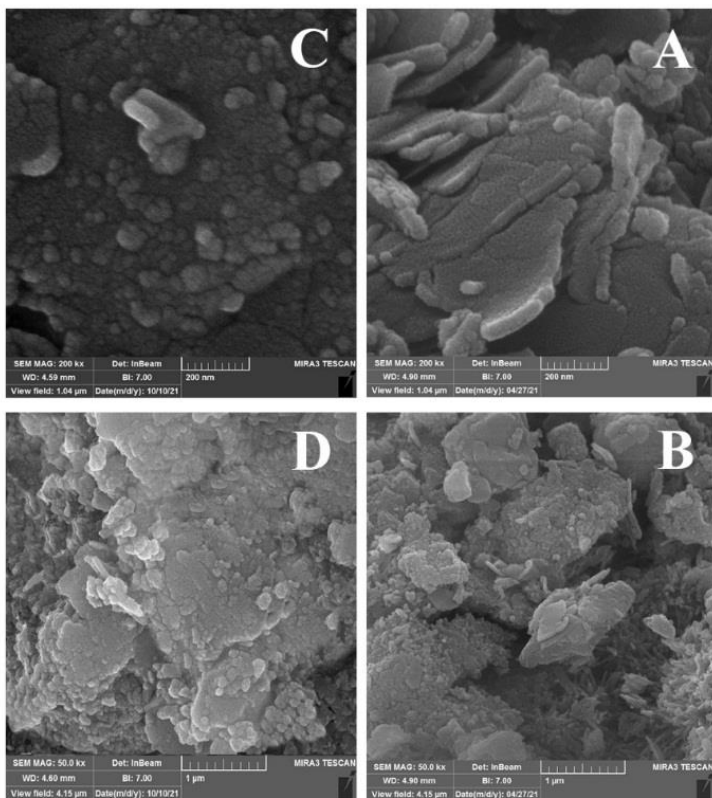
شکل ۱۱: نمودار مقاومت حداکثر نمونه‌های منتخب بر حسب دوره عمل‌آوری

باتوجه به نتایج آزمایش UCS و به منظور بررسی مورفولوژی نمونه‌های خاک پایه با پودر اسلیت-فیلیت، آنالیزهای میکروسکوپ پلاریزان و FE-SEM بر روی نمونه‌ها در سن ۹۰ روز انجام شدند که در ادامه نتایج هرکدام بررسی خواهد شد.

۴-۶- نتایج آنالیز FE-SEM

شکل (۱۲) نمونه خاک رس پایه با ۱۰٪ اسلیت-فیلیت پس از ۹۰ روز عمل‌آوری را نشان می‌دهد. در تصاویر میکروسکوپی خاک رس پایه به وضوح ساختار مجتمع یا فولکوله نشان داده شده است. بعد از اضافه کردن افزودنی، ساختار نامنظم خاک تا حدودی در حال تبدیل شدن به یک ساختار منسجم‌تر است. ذرات ورقه‌ای شکل اسلیت-فیلیت منافذ خاک را پر کرده‌اند و سبب انسجام بخشیدن بافت خاک شده‌اند. این ذرات لایه‌ای اسلیت-فیلیت به علت وجود کانی‌های فیلسیلیکاتی با فرمول کلی $(Si_2O_5)^{2-}$ دارای جاذبه‌ی منفی هستند که توسط قطرات آب به لبه‌های ورقه‌ای خاک رس با بار یونی مثبت اتصال پیدا کرده‌اند و در نتیجه ضخامت لبه‌های ورقه‌ای خاک رس پایه افزایش یافته است. در نتیجه صفحات ورقه‌ای به صفحات کروی و یا ورقه‌ای با لبه‌های خمیده تبدیل شده‌اند.





شکل ۱۲: مقایسه تصاویر میکروسکوپ الکترونی، نمونه خاک رس پایه (A) ۲۰۰ نانومتر و (B) ۱ میکرومتر و نمونه خاک پایه با ۱۰٪ اسلیت-فیلیت پس از ۹۰ روز عمل‌آوری (C) ۲۰۰ نانومتر و (D) ۱ میکرومتر

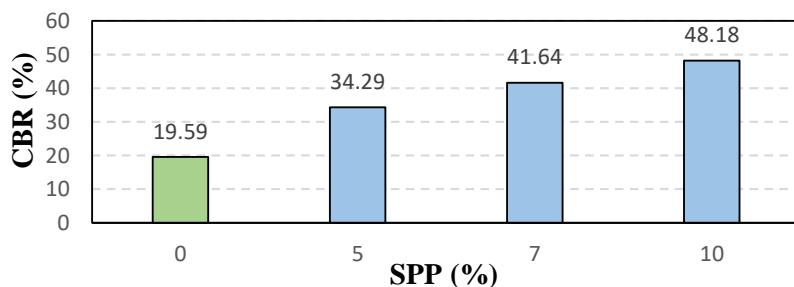
۵-۶- آزمایش نسبت باربری کالیفرنیا

هدف از انجام این آزمایش، تعیین ظرفیت باربری خاک فشرده شده است. این آزمایش متداول‌ترین روش تعیین مقاومت نسبی خاک‌ها برای راه‌سازی است. با استفاده از نتایج این آزمایش می‌توان ظرفیت باربری خاک بستر و کلیه‌ی لایه‌های روسازی از قبیل زیراساس و اساس را یافت و براساس آن ضخامت این لایه‌ها را به دست آورد (Bowles, 1992). از عدد CBR می‌توان به صورت مقدماتی برای انتخاب خاک لایه‌های مختلف روسازی راه و فرودگاه استفاده کرد که جدول (۷) نمایانگر این مطلب است.



عدد CBR	رتبه بندی کلی	کاربرد	سیستم طبقه بندی (Unified)
۳-۰	خیلی ضعیف	خاک بستر	OH, CH, MH, OL
۷-۳	ضعیف - متوسط	خاک بستر	OH, MH, OL, CH
۲۰-۷	متوسط	زیراساس	OL, CL, ML, SC, SM, SP
۵۰-۲۰	خوب	زیراساس، اساس	GM, GC, SW, SM, SP, GP
>۵۰	عالی	اساس	GW, GM

این آزمایش بر روی ترکیب خاک پایه و درصد‌های مختلف پودر سنگ اسلیت-فیلیت (۵٪، ۷٪ و ۱۰٪) و به صورت CBR خشک انجام شد. با توجه به شکل (۱۳) که نتایج آزمایش CBR را نشان می‌دهد، عدد CBR خاک با اسلیت-فیلیت در تمامی درصد‌ها افزایش قابل ملاحظه‌ای پیدا کرده است؛ به طوری که CBR در ۵، ۷ و ۱۰ درصد وزنی به ترتیب ۷۵٪، ۱۱۲٪ و ۱۴۵٪ افزایش یافته و باعث شده است که ظرفیت باربری خاک پایه از تقسیم‌بندی ضعیف به تقسیم‌بندی خوب برسد که تاثیر قابل ملاحظه این افزودنی در بهبود ظرفیت باربری خاک را نشان می‌دهد.



شکل ۱۳: نتایج آزمایش CBR بر روی نمونه‌های خاک پایه و پودر اسلیت-فیلیت



۷- نتیجه‌گیری

در این پژوهش تاثیر استفاده از سنگ‌های اسلیت-فیلیت به عنوان مصالح طبیعی بر روی ویژگی‌های ژئوتکنیکی خاک رس آهکی مورد بررسی قرار گرفت. به همین منظور پودر سنگ‌های اسلیت-فیلیت با درصد وزنی ۵، ۷ و ۱۰ به خاک پایه اضافه شد و آزمایش‌های حدود خمیری، تراکم، UCS و CBR بر روی نمونه‌های خاک و افزودنی انجام شد. همچنین برای شناسایی مورفولوژی محصولات به دست آمده آنالیزهای میکروسکوپ پلاریزان و FE-SEM بر روی نمونه‌های منتخب انجام شد. بر همین اساس نتایج زیر قابل استخراج است:

- باتوجه به وجود درصد زیادی از CaO در این خاک که از آزمایش XRF بدست آمده است می‌توان گفت که این خاک از نوع رس ماری است و شرایط بهینه شدن آن از نظر واکنش‌های شیمیایی مهیا است.
- سنگ‌های دگرگونی اسلیت-فیلیت دارای کانی‌های فیلسیلیکاتی منطقه مورد مطالعه دارای مقدار مناسبی (بیش از ۷۰ درصد وزنی) سیلیسیم اکسید (SiO_2)، آلومینیوم اکسید (Al_2O_3) و اکسید آهن (Fe_2O_3) است که می‌تواند نقش موثری در واکنش‌های پوزولانی داشته باشد.
- در اثر افزودن پودر سنگ‌های اسلیت-فیلیت به خاک پایه، حد خمیری و حد روانی کاهش می‌یابد که در نتیجه شاخص خمیری کاهش یافته است. کاهش شاخص خمیری باعث کاهش پلاستیسیته خاک شده و در نتیجه خاک مقاوم‌تر می‌شود.
- نتایج حاصل از آزمایش تراکم نشان داد، با افزایش درصد افزودنی، درصد رطوبت بهینه خاک نیز افزایش یافته است. آب جذب شده توسط افزودنی‌ها جایگزین هوای موجود در بافت خاک شده و سبب کاهش در ماکزیمم وزن مخصوص خشک خاک گردیده است. تغییرات در درصد رطوبت نمونه‌های با افزودنی نشان می‌دهد که درگیری لازم بین ذرات خاک و افزودنی‌ها ایجاد شده است و این درگیری‌ها سبب ایجاد تبادلات کاتیونی شده است.

- در تمامی نمونه‌ها با افزایش دوران عمل‌آوری به ۹۰ روز، مقاومت فشاری نمونه‌ها افزایش یافته است که تاثیر مناسب عمل‌آوری ۹۰ روزه، روی مقاومت فشاری نمونه‌ها را نشان می‌دهد.
- نتایج آزمایش CBR نشان می‌دهد که در تمامی نمونه‌ها، ظرفیت باربری خاک از تقسیم بندی متوسط به خوب مطابق جدول (۷) رشد کرده است.
- باتوجه به نتایج آزمایش‌های UCS و CBR، ۱۰% پودر سنگ اسیلیت و فیلیت به عنوان طرح مخلوط بهینه به دست آمده است.
- دراین تحقیق صرفاً از فرآوری با روش آسیاب کردن مصالح با دستگاه لس‌آنجلس استفاده شده است و این احتمال می‌رود که با تغییر روش فرآوری مصالح، نتایج حاصل از آزمایش‌ها نیز تغییر کند.



- ASTM, C. 618-19., 2019. Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM_D4318., 2017. Standard test methods for liquid limit, plastic limit, and plasticity index of soils. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM_D854., 2014. Standard test methods for specific gravity of soil solids by water pycnometer. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM_D2487., 2017. Standard practice for classification of soils for engineering purposes (unified soil classification system). ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM_D698., 2014. Standard test methods for laboratory compaction characteristics of soil using standard effort. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM_D2166., 2016. Standard test method for unconfined compressive strength of cohesive soil. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM_D1883., 2016. Standard test method for California bearing ratio (CBR) of laboratory-compacted soils. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM_D422-63., 2007. Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils. *ASTM Stand. Guid.*, vol. i, no. Reapproved 2007, pp. 1-8.
- Amin, M., & Abdelsalam, B. A. (2019). Efficiency of rice husk ash and fly ash as reactivity materials in sustainable concrete. *Sustainable Environment Research*, 29(1), 1-10.
- Behnia, K., Ouhadi, V., & Ghalandarzadeh, A. (1993). The use of sea-water in stabilization of marly soils with cement and lime. *Iranian J Road Eng*, 26, 54-62.
- Bowles, J. E. (1992). *Engineering properties of soils and their measurement*: McGraw-Hill, Inc.
- Elert, K., Nieto, F., & Azañón, J. M. (2017). Effects of lime treatments on marls. *Applied Clay Science*, 135, 611-619.

- Garzón, E., Cano, M., O'Kelly, B. C., & Sánchez-Soto, P. J. (2015). Phyllite clay–cement composites having improved engineering properties and material applications. *Applied Clay Science*, 114, 229-233.
- Lazaro, R., & Moh, Z. (1970). *Stabilization of Deltaic Clays with Lime-Rice Hull Ash Admixtures*: Asian Institute of Technology.
- McDowell, C. (1959). Stabilization of soils with lime, lime-flyash, and other lime reactive materials. *Highway Research Board Bulletin*, 231- 66-60, (1) .
- Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. (2014). *Concrete: microstructure, properties, and materials*: McGraw-Hill Education.
- Ouhadi, V., & Yong, R. (2003). The role of clay fractions of marly soils on their post stabilization failure. *Engineering geology*, 70(3-4), 365-375.
- Pekmezci, B., & Akyüz, S. (2004). Optimum usage of a natural pozzolan for the maximum compressive strength of concrete. *Cement and Concrete Research*, 34(12), 2175-2179.
- Sakr, M. A., Shahin, M. A., & Metwally, Y. M. (2009). Utilization of lime for stabilizing soft clay soil of high organic content. *Geotechnical and Geological Engineering*, 27(1), 105-113.
- S. Gutierrez-Gonzalez, S. Pava, P. Campos, J. Gadea, E. Garzon. (2017) Design and properties of phyllite clay-cement mortars, COINVEDI, IV *International Congress on Construction and Building Research*.



حفاظت از سیستم‌های انرژی باد در برابر اثرات برخورد غیرمستقیم صاعقه

عبدالله حلیمی^۱

چکیده

این مقاله به حفاظت از سیستم‌های انرژی باد در برابر اثرات ضربه غیرمستقیم صاعقه می‌پردازد. همانطور که انرژی باد در سراسر جهان اهمیت فزاینده‌ای پیدا می‌کند، آسیب‌های صاعقه‌ای که سیستم‌های انرژی بادی را شامل می‌شود با توجه بیشتری مورد توجه قرار گرفته‌اند. با این وجود، هنوز مطالعات بسیار کمی در پرتغال در مورد حفاظت از صاعقه سیستم‌های انرژی باد با استفاده از مدل‌های برنامه‌گذرا الکترومغناطیسی (EMTP) وجود دارد. از این رو، یک مطالعه موردی جدید در این مقاله ارائه شده است که بر اساس آن در یک توربین بادی با یک ترانسفورماتور متصل‌کننده، با توجه به اینکه رعدوبرق در فاصله‌ای به زمین نزدیک برج برخورد کند، اتصال گالوانیکی از طریق الکتروود زمین رخ می‌دهد. شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای به دست آمده با استفاده از EMTP-RV ارائه شده‌اند و نتیجه‌گیری‌ها به درستی ترسیم شده‌اند.

واژگان کلیدی: گذراهای الکترومغناطیسی، حفاظت در برابر صاعقه، انرژی باد.

^۱. دانشجوی کارشناسی ارشد سیستم‌های قدرت، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران.

منابع انرژی تجدیدپذیر به ویژه انرژی باد، به طور گسترده‌ای به عنوان وسیله‌ای برای کاهش آلودگی زیست‌محیطی استفاده می‌شوند (Kuo, 2021). از این رو، انتظار می‌رود که انرژی بادی بخش مهمی از سیاست انرژی آینده پرتغال باشد (Rodrigues et al, 2009, 2010) و سهم منابع انرژی تجدیدپذیر در ترکیب تولید کلی را نسبت به انرژی‌های فسیلی متعارف افزایش دهد (González et al, 2010). در پرتغال، هدف انرژی بادی پیش‌بینی شده برای سال ۲۰۱۰ توسط دولت ۳۷۵۰ مگاوات تعیین شد که تا سال ۲۰۱۰ حدود ۲۵ درصد از کل ظرفیت نصب شده را تشکیل می‌دهد. این مقدار اخیراً بر اساس آخرین اهداف دولت برای بخش باد است؛ از این رو، پرتغال یکی از بلندپروازانه‌ترین اهداف را از نظر انرژی بادی دارد و در سال ۲۰۰۶ دومین کشور اروپا با بیشترین رشد انرژی باد بود (Melício et al, Catalão et al, 2011). از آنجایی که تولید برق بادی دستخوش رشد سریعی می‌شود، آسیب‌های صاعقه مربوط به سیستم‌های انرژی باد با توجه بیشتری مورد توجه قرار گرفته است.

رعد و برق در واقع یک پدیده عظیم طبیعی است، که به همان مقدار که زیباست، خطرناک نیز می‌باشد. شکل (۱) شهر لیسبون را زیر یک طوفان در سال ۲۰۰۹ نشان می‌دهد. بروز رعد و برق یک مشکل بسیار جدی است (Glushakow et al, 2007)، زیرا می‌تواند اضافه‌ولتاژهای خطرناکی ایجاد کند (Hameed et al, 2010). حفاظت در برابر صاعقه در سیستم‌های تولید برق بادی مشکلاتی را ایجاد می‌کند که به طور معمول در سازه‌های دیگر دیده نمی‌شود. این مشکلات ناشی از موارد زیر است (IEC, 2002):

- توربین‌های بادی سازه‌های بلندی با ارتفاع بیش از ۱۵۰ متر هستند.
- توربین‌های بادی اغلب در مکان‌هایی قرار می‌گیرند که در معرض رعد و برق قرار دارند.
- در معرض‌ترین اجزای توربین بادی مانند پرها و پوشش ناسل اغلب از مواد کامپوزیتی ساخته شده‌اند که قادر به تحمل صاعقه مستقیم یا هدایت جریان صاعقه نیستند.
- تیغه‌ها و ناسل به طور مرتب در حال چرخش هستند.



- جریان رعدوبرق باید از طریق ساختار توربین بادی به زمین هدایت شود، به طوری که بخش قابل توجهی از جریان صاعقه تقریباً از تمام اجزای توربین بادی عبور می‌کند یا به آنها نزدیک می‌شود.
- توربین‌های بادی در مزارع بادی به صورت الکتریکی به هم متصل هستند و اغلب در مکان‌هایی با شرایط زمین ضعیف قرار می‌گیرند.



شکل ۱: برخورد صاعقه در شهر لیسبون پرتغال

شکل (۲) یک توربین بادی در پرتغال است که در اثر صاعقه آسیب دیده است (Rodrigues et al, 2010). توربین‌های بادی مدرن نه تنها با ارتفاع بیشتر، بلکه با حضور روزافزون دانش الکترونیک قدرت، کنترل و پردازش می‌شوند. در نتیجه، طراحی حفاظت در برابر صاعقه توربین‌های بادی مدرن یک مشکل چالش برانگیز خواهد بود (Rachidi et al, 2008). توسعه آینده تولید برق بادی و ساخت مزارع بادی بیشتر، بحث تشدید حفاظت در برابر صاعقه و طراحی عایق چنین تاسیساتی را ایجاب می‌کند (Yasuda et al, 2011). با این وجود، هنوز مطالعات بسیار کمی در پرتغال در مورد حفاظت از صاعقه در سیستم‌های انرژی بادی با استفاده از مدل‌های برنامه گذرا الکترومغناطیسی (EMTP) وجود دارد. همچنین، با توجه به اینکه سیستم مکان‌یابی صاعقه در پرتغال (LLS) از سال ۲۰۰۳ شروع به کار کرده است، انتشار موج در هنگام برخورد رعدوبرق در مزارع بادی واقعی در پرتغال هنوز کاملاً قابل درک نیست، بنابراین کارهای زیادی در این زمینه باید انجام شود. برخورد صاعقه به صورت مستقیم و غیرمستقیم می‌تواند باعث آسیب به سیستم‌های الکتریکی، الکترونیکی و همچنین قطعات مکانیکی مانند تیغه‌ها و یاتاقان‌ها شوند (Cotton et al, 2001). بروز اتفاقات



در مدارهای ولتاژ پایین تنها با برخورد مستقیم صاعقه ایجاد نمی شوند، بلکه رعدوبرق و موج های جریان معکوس نیز در ست پس از اصابت صاعقه به سایر مولدهای برق بادی در اطراف مزارع بادی منتشر می شوند (Yasuda et al, 2004). بنابراین، یک سیستم حفاظتی موثر در برابر صاعقه نه تنها باید در برابر اثرات مستقیم صاعقه، بلکه باید در برابر اثرات غیرمستقیم آن نیز محافظت کند. خسارات احتمالی ناشی از گذرهای اضافه ولتاژ اصابت صاعقه غیرمستقیم در این مقاله به طور کامل مورد مطالعه قرار گرفته است که کمک جدیدی به مطالعات قبلی است. مدل های مقیاسی سیستم های الکتریکی، ابزاری محبوب به ویژه در گذشته برای پیش بینی گذرهای سیستم قدرت پس از انواع مختلف آشفستگی ها بوده اند (Piantini et al, 2007). به عنوان مثال، یک مدل در مقیاس ۳/۱۰۰ از یک سیستم واقعی انرژی بادی که دارای پره هایی با طول ۲۵ متر و توربینی با ارتفاع ۵۰ متر است که در (Yamamoto et al, 2009, 2007) برای مطالعات تجربی و تحلیلی اضافه ولتاژهای صاعقه در نظر گرفته شد. با این حال در سال های اخیر، مدل های مقیاسی به تدریج با کدهای عددی پیچیده جایگزین شده اند که می توانند رفتار گذرای سیستم های قدرت را به روشی دقیق توصیف کنند؛ مانند EMTP-RV که آخرین نسخه EMTP است (Mahseredjian et al, 2008).

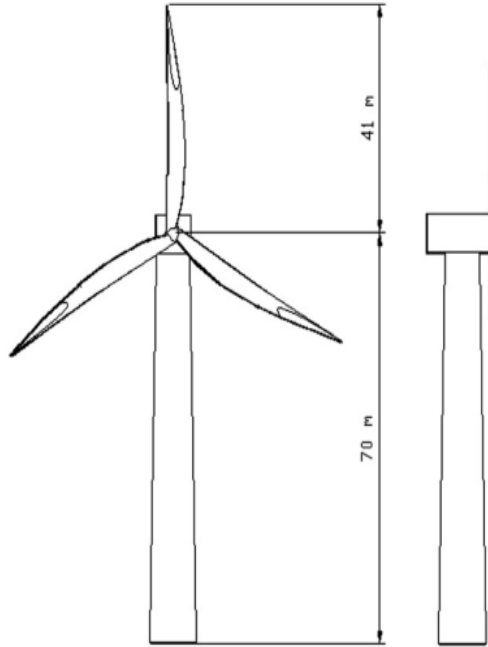
در این مقاله یک مطالعه موردی جدید ارائه شده است که بر اساس آن اگر در یک توربین بادی با یک ترانسفورماتور متصل کننده، رعدوبرق به زمینی با فاصله نزدیک به برج برخورد کند، اتصال گالوانیکی از طریق الکتروود زمین رخ می دهد. شبیه سازی های رایانه ای به دست آمده با استفاده از EMTP-RV ارائه و نتیجه گیری ها به درستی ترسیم شده اند. این مقاله به این شرح تنظیم شده است: بخش ۲ شرح توربین بادی را ارائه می کند. بخش ۳ مدل های EMTP را توضیح می دهد. بخش ۴ مطالعه موردی و نتایج شبیه سازی را ارائه می کند. در نهایت، نکات پایانی در بخش ۵ آورده شده است.



شکل ۲: توربین بادی آسیب دیده بر اثر برخورد صاعقه

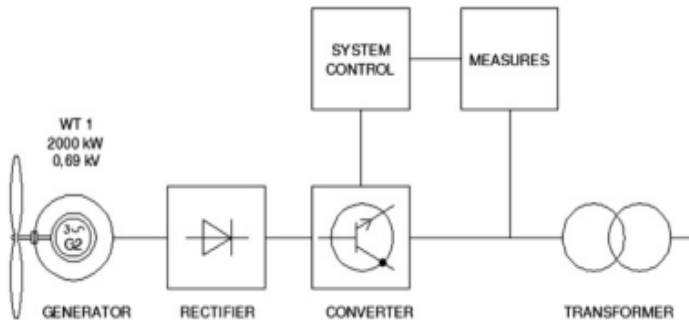
۲- توضیحات توربین بادی

یک توربین بادی با توان نامی ۲ مگاوات در نظر گرفته شده است که قطر روتور حدود ۸۲ متر می‌باشد. هاب روتور و ژنراتور حلقوی به صورت یک واحد ثابت بدون چرخ‌دنده مستقیماً به یکدیگر متصل می‌شوند و واحد روتور بر روی یک محور ثابت نصب شده است. سیستم محرک به دلیل سرعت پایین درایو مستقیم، تنها دارای دو رولبرینگ کند حرکت است. ژنراتور حلقوی یک ژنراتور سنکرون با سرعت پایین و بدون کوپلینگ مستقیم شبکه است. از این رو با تغییر سرعت چرخش پره‌ها، ولتاژ و فرکانس خروجی نیز تغییر می‌کنند که نشان‌دهنده نیاز به یک مبدل از طریق پیوند DC به منظور اتصال به شبکه برق است. ارتفاع هاب بین ۷۰ تا ۱۳۸ متر متغیر است و توربین فولادی لوله‌ای در چندین بخش توربین مجزا ساخته می‌شود که با استفاده از فلنج‌های L که به عنوان کاهش‌دهنده تنش هستند، به هم متصل شده‌اند.

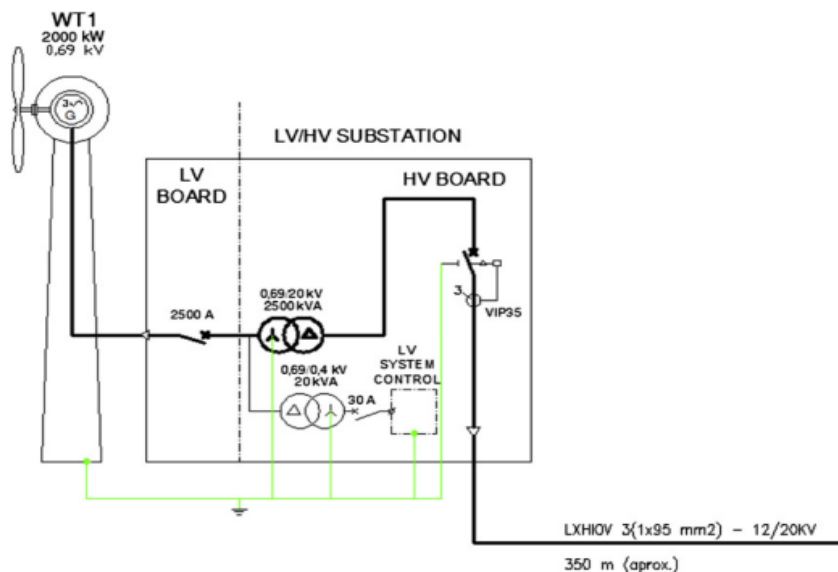


شکل ۳: ابعاد توربین بادی

ترانسفورماتور LV/HV در پایین توربین قرار می‌گیرد که دارای توان نامی ۲۵۰۰ کیلوولت‌آمپر و طراحی ویژه متناسب با ابعاد کاهش یافته و شرایط کاری توربین می‌باشد. توربین بادی نشان داده شده در شکل (۳) به صورت سه‌بعدی با اتوکد مدل سازی شده است. اطمینان از تغذیه مناسب نیرو از توربین بادی به شبکه، مستلزم نظارت بر اتصال شبکه است که در شکل (۴) نشان داده شده است. شکل (۵) نیز طرح الکتریکی یک پست LV/HV را که برای انتقال انرژی تولید شده به شبکه‌ی برق در نزدیکی توربین بادی احداث می‌شود را نشان می‌دهد.



شکل ۴: نظارت بر اتصال شبکه بر روی توربین بادی



شکل ۵: پست LV/HV در نزدیکی توربین بادی

مفروضات زیر برای مدل توربین بادی استفاده شده در این مقاله در نظر گرفته می شود:

- مولد برق بادی، یکسوسکننده و اینورتر به عنوان یک واحد یعنی یک ژنراتور سنکرون ۶۹۰ ولت که به اندازه کافی در ۵۰ هرتز پایدار است، در نظر گرفته می شود.
- یک ترانسفورماتور تقویت کننده ۶۹۰ ولت به ۲۰ کیلوولت در داخل توربین بادی قرار گرفته و یا نسبتاً نزدیک به توربین بادی نصب می شود. علاوه بر این، اتصال به زمین مشترک برای طرف اولیه و ثانویه ی این ترانسفورماتور فرض می شود.
- در مدل ترانسفورماتور، تنها انتقال الکترومغناطیسی در نظر گرفته شده و انتقال استاتیک نادیده گرفته می شود.
- به عنوان اولین رویکرد، هیچ صاعقه گیری برای محافظت از مدارهای کنترلی به سمت اولیه (سمت ولتاژ پایین) یا سمت ثانویه (سمت ولتاژ بالا، سمت شبکه برق) ترانسفورماتور تقویت کننده متصل نمی شود. این رویکرد اجازه می دهد تا نیاز واقعی ارزیابی شود.
- اتصال به شبکه برق از طریق ترانسفورماتور ۲۰/۶۰ کیلوولت انجام می شود.
- مقاومت زمین در نظر گرفته شده برای الکتروود، در غیاب جریان صاعقه ۱ اهم است.

علاوه بر این، یک جریان رعدوبرق با شکل موج استاندارد شامل جبهه موج به مدت زمان ۱۰ میلی ثانیه، دم موج به مدت زمان ۳۵۰ میلی ثانیه، و مقدار پیک ۱۰ کیلوآمپر به دلیل این که در پرتغال، ۸۰ درصد صاعقه‌ها دارای پیک جریان بالاتر از ۱۰ کیلوآمپر هستند، در نظر گرفته می‌شود (Rodrigues et al, 2010). همچنین فرض می‌شود که صاعقه به زمین نزدیک برج برخورد می‌کند به طوری که اتصال گالوانیکی از طریق الکتروود زمین صورت می‌گیرد.

۳- مدل‌های EMTP_RV

EMTP_RV برای مطالعه گذرا در سیستم‌های قدرت مقیاس بزرگ یا در شبکه‌های الکتریکی دلخواه استفاده شده است. در این مقاله جدیدترین نسخه‌ی این نرم‌افزار یعنی EMTP-RV به کار برده شده است. نرم‌افزار کامل نیز EMTP/EMTPWorks نامیده می‌شود که در آن EMTP موتور محاسباتی را تعیین می‌کند. در ادامه به طور خلاصه مهم‌ترین مدل‌های مورد استفاده در این مقاله توضیح داده شده است.

۱-۳- منبع جریان رعدوبرق

دستگاه ICI GRE یک مدل EMTP-RV است که برای شبیه‌سازی منبع رعدوبرق فعلی انتخاب شده است. این دستگاه برای محاسبات دقیق عملکرد تجهیزات در شرایط صاعقه استفاده می‌شود. شرح کامل این مدل و استدلال تحلیلی ارائه شده از شکل فعلی را می‌توان در (Mahseredjian et al, 2008) یافت که از آنجا معادلات حاکم استخراج می‌شوند.

۲-۳- ساختار توربین بادی

برای مدل‌سازی تیغه و برج توربین بادی، از خط پارامتر ثابت (CP) استفاده می‌شود که یک مدل خط انتقال مستقل از فرکانس است. برای دستیابی به هدف این مقاله، می‌توان از مدل خط CP با موفقیت استفاده کرد. وابستگی فرکانس پارامترها نیز در (Wang et al, 2009) در نظر گرفته نشد، زیرا نویسندگان به این نتیجه رسیدند که تأثیر کمی بر پاسخ‌های گذرای سیستم برج دارد. علاوه بر این، همین نکته در (Wang et al, 2010) ارائه شده است، جایی که وابستگی فرکانس پارامترها دوباره در نظر گرفته نشده است، زیرا برخی از مطالعات نشان داده‌اند که اثر پوستی تأثیر کمی بر پاسخ گذرای رعدوبرق دارد.



خط CP یک مدل پارامتر توزیع شده است. پارامترهای خط CP در یک فرکانس مشخص محاسبه می‌شوند، که بهتر است آن را بالای ۱ مگاهرتز برداریم (Yamamoto et al, 2007, 2009)، به همین دلیل است که به عنوان مستقل از فرکانس نام برده می‌شود. پارامترهای خط CP با در نظر گرفتن اطلاعات فنی از سازنده، مانند مشخصات مواد و ابعاد اجزاء محاسبه می‌شود.

۳-۳- الکتروود زمین

مدل‌سازی دقیق عملکرد دینامیکی الکتروودهای زمین تحت جریان صاعقه باید شامل یونیزاسیون غیرخطی خاک، وابسته به زمان و پدیده‌های وابسته به فرکانس باشد. این پدیده‌ها ممکن است اثرات متضادی داشته باشند زیرا یونیزاسیون خاک به طور موثر عملکرد زمین را بهبود می‌بخشد، در حالی که رفتار القایی وابسته به فرکانس آن را مختل می‌کند. در مورد رعدوبرق، جریانی که در الکتروودهای زمین تزریق می‌شود، یک پالس جریان با تغییرات سریع با مقادیر پیک بالا است. پاسخ دینامیکی الکتروودهای زمینی که در معرض چنین پالس‌های جریانی قرار می‌گیرند عمدتاً تحت تأثیر موارد زیر است:

- یونیزاسیون خاک، در نزدیکی الکتروود زمینی که مربوط به شدت پالس جریان است.

- انتشار پالس رعدوبرق در امتداد الکتروود زمین، که مربوط به زمان پیشانی موج فعلی است.

مدل الکتروود زمین مورد استفاده در این مقاله اغلب برای اهداف شبیه‌سازی رعدوبرق برای خطوط انتقال HV و برج‌ها استفاده می‌شود. این مدل یک مقاومت غیرخطی را با استفاده از مقاومت کنترل شده در نظر می‌گیرد. وجود منبع جریان، گزینه‌ای را برای ایجاد یک تابع مقاومت تکه‌ای خطی فراهم می‌کند. هر قطعه k از چنین تابعی را می‌توان با معادل مدار نورتون نشان داد. هنگام استفاده از الکتروود زمین یکسان برای اهداف ایمنی و خدمات، در مقررات کشور پرتغال حداکثر مقدار مقاومت زمین را ۱ اهم در نظر می‌گیرند. این مقدار در غیاب جریان صاعقه که از آن عبور می‌کند در نظر گرفته می‌شود.

۴-۳- برقگیر

معادله اصلی مدل برقگیر (Mahseredjian et al, 2008) در رابطه‌ی (۱) ارائه شده است، که در آن i_a جریان برقگیر و v_a ولتاژ برقگیر است. (۱) $i_a = k v_a^\alpha$

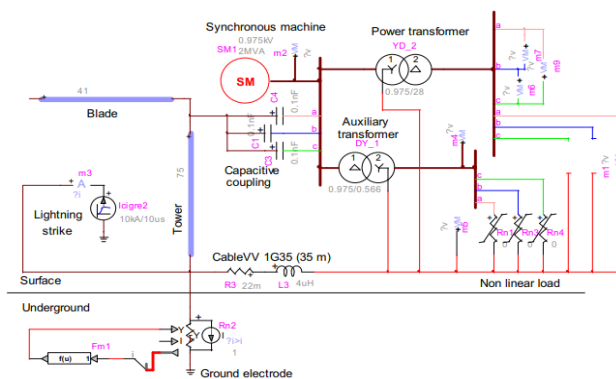
برای برقگیرهای SiC (سیلیکون کاربید) مقدار α بین ۲ تا ۶ و برای برقگیرهای MO (اکسید فلز) مقدار α بین ۱۰ تا ۶۰ است. پارامتر k نیز ثابتی است که در برازش مشخصه برقگیر استفاده می‌شود.

۴- نتایج شبیه‌سازی

در اولین رویکرد، مدار EMTP-RV بدون SPD (برقگیر) همانطور که در شکل (۶) نشان داده شده است، در نظر گرفته می‌شود. در داخل توربین بادی یک ژنراتور سنکرون (sm) ۶۹۰ VRMS(sm)، انرژی الکتریکی تولید می‌کند که به ترانسفورماتور قدرت اصلی (YD_2) و به ترانسفورماتور کمکی (DY_1) متصل شده است که ترانسفورماتور DY_1 تجهیزات کنترل الکترونیکی (Rn1, Rn3, Rn4) را تغذیه می‌کند. صاعقه به زمین نزدیک برج برخورد می‌کند و شکل (۷) اضافه‌ولتاژ را در سمت اولیه ترانسفورماتور نشان می‌دهد، به طوری که "m" به معنای اندازه‌گیری و "a", "b", "c" مخفف فازهای L2, L1, L3 است. در این حالت پیک ولتاژ بیش از ۱۰ کیلوولت است.

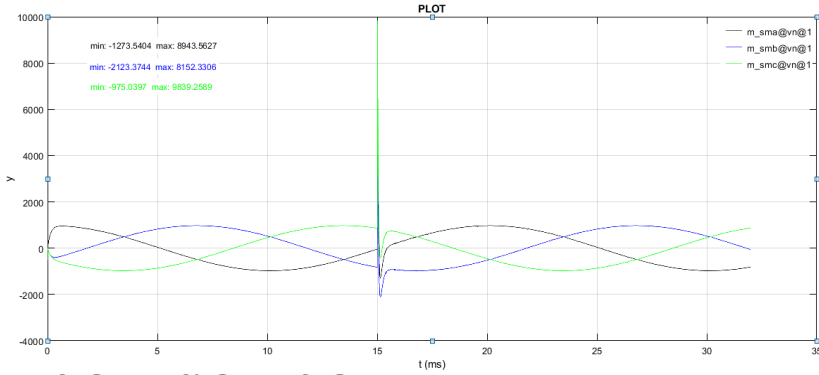
۴-۱- مدار اول

در شکل (۶) مدار بدون برقگیر شبیه‌سازی شده و نتایج حاصل از شبیه‌سازی با فرضیات مقاله در ادامه در شکل‌های بعد مشاهده می‌شود.

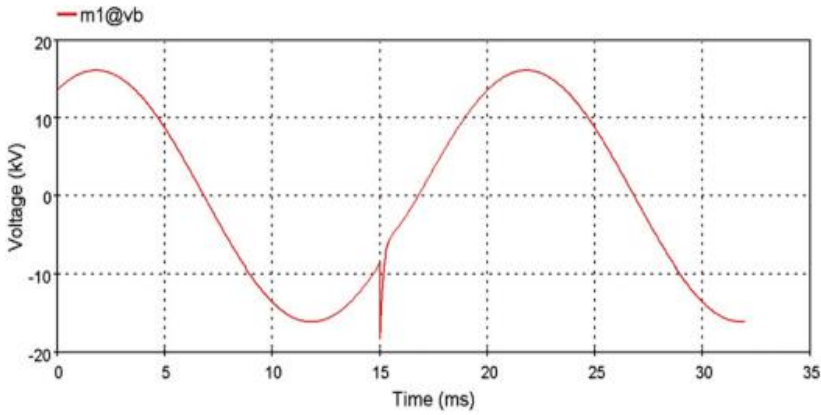


شکل ۶: مدار EMTP-RV بدون SPD

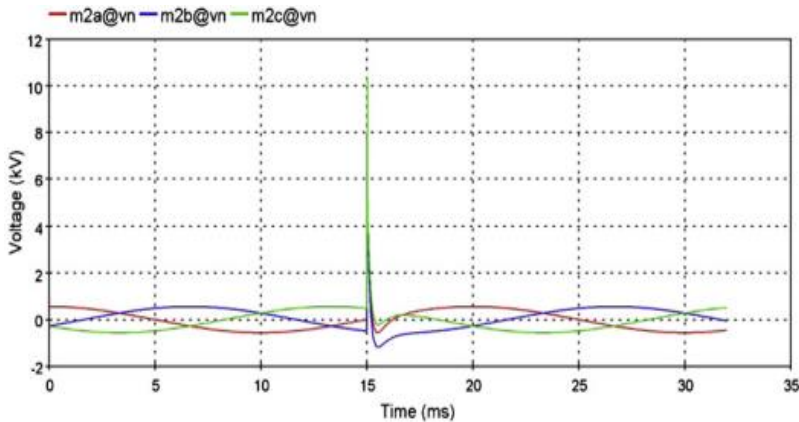




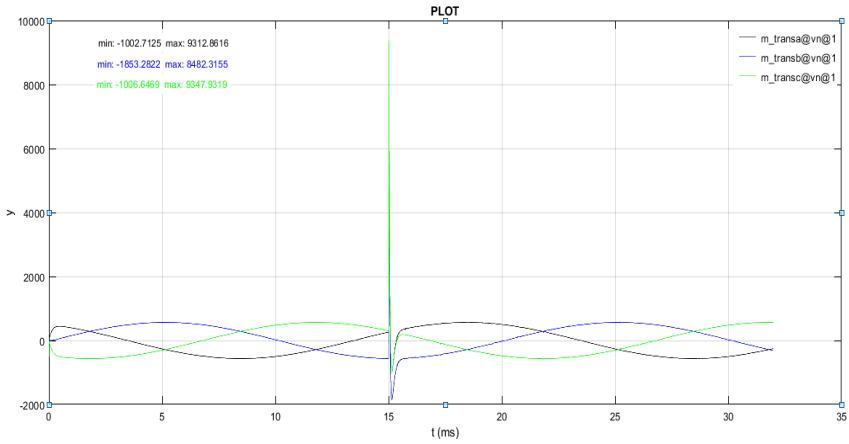
شکل ۷: اضافه ولتاژ در سمت اولیه ترانسفورماتور. حالت‌های $m2a@vn$ ، $m2b@vn$ و $m2c@vn$ برای ولتاژهای خروجی (حوزه) از گره به زمین (از نتایج مقاله)



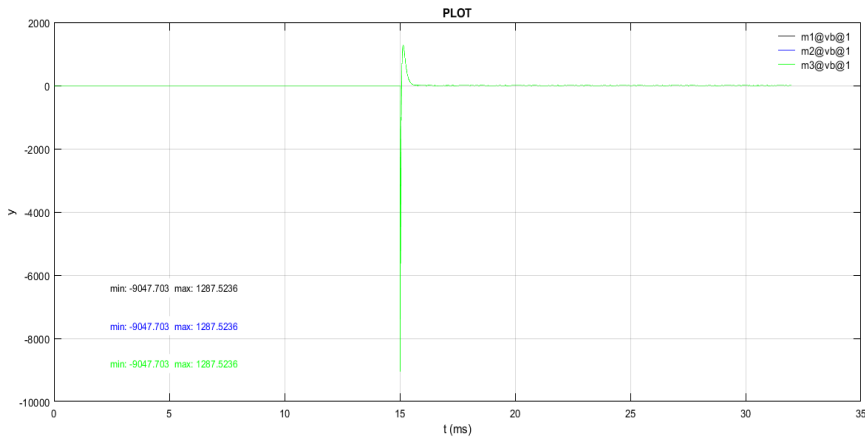
شکل ۸: اضافه ولتاژ در سمت ثانویه ترانسفورماتور قدرت اصلی. حالت‌ها $m1@vb$ برای خروجی ولتاژ (فاز a) از گره به زمین (از نتایج مقاله)



شکل ۹: اضافه ولتاژ در سمت اولیه ترانسفورماتور از نتایج شبیه‌سازی



شکل ۱۰: اضافه‌ولتاژ در سمت ثانویه ترانسفورماتور قدرت اصلی از نتایج شبیه‌سازی

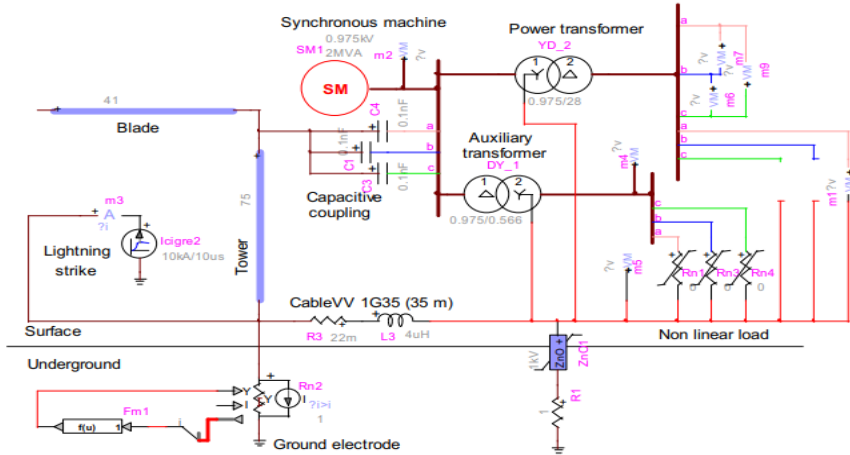


شکل ۱۱: اضافه‌ولتاژ در سمت ثانویه ترانسفورماتور کمکی از نتایج شبیه‌سازی

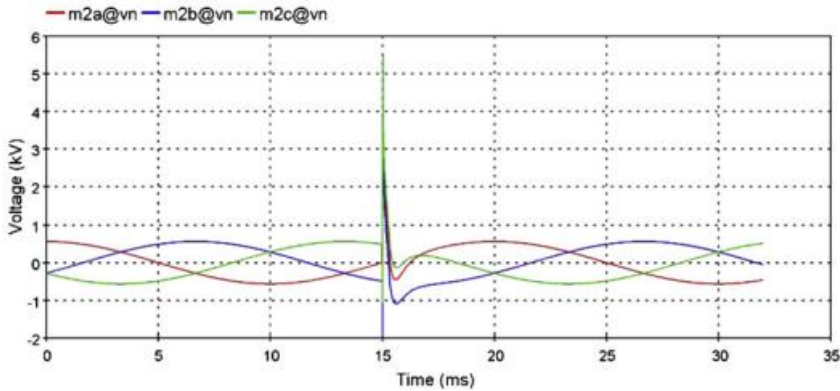
۲-۴- مدار دوم

در شکل (۱۲) مدار با برقگیر شبیه‌سازی شده و نتایج حاصل از شبیه‌سازی با فرضیات مقاله در ادامه در شکل‌های بعد مشاهده می‌شود.

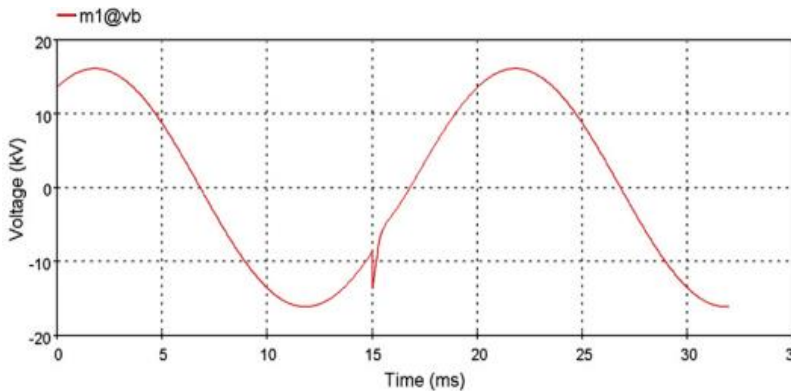




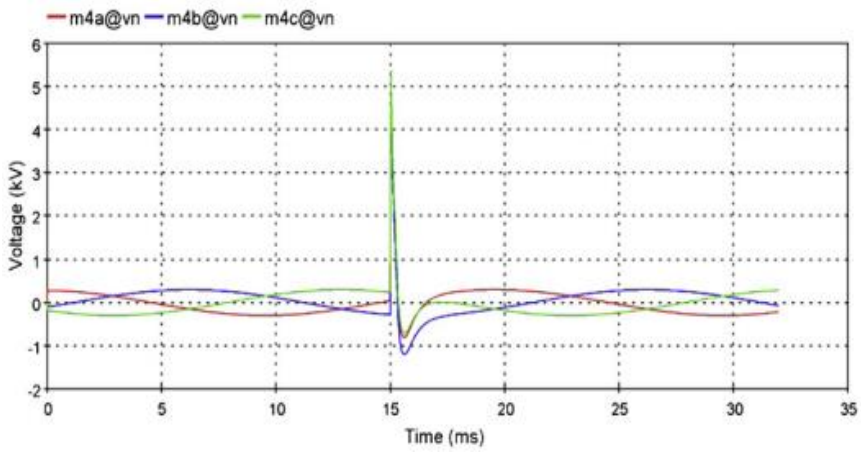
شکل ۱۲: مدار EMTP-RV با SPD



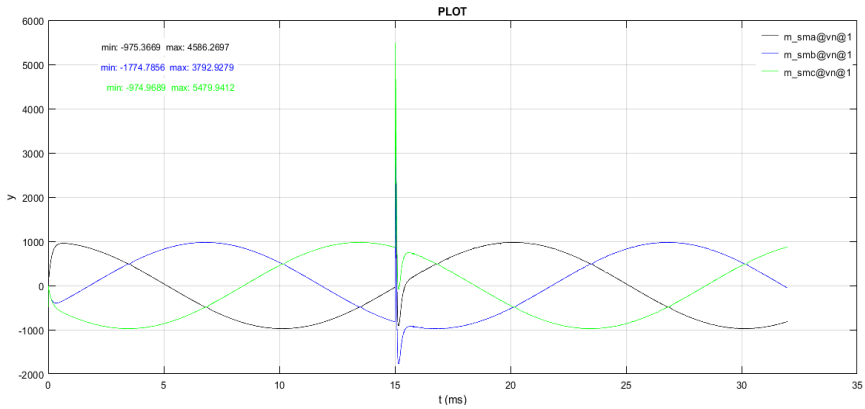
شکل ۱۳: اضافه ولتاژ در سمت اولیه ترانسفورماتور. حالت‌ها $m2a@vn$ و $m2b@vn$ و $m2c@vn$ برای ولتاژهای خروجی (حوزه) از گره به زمین



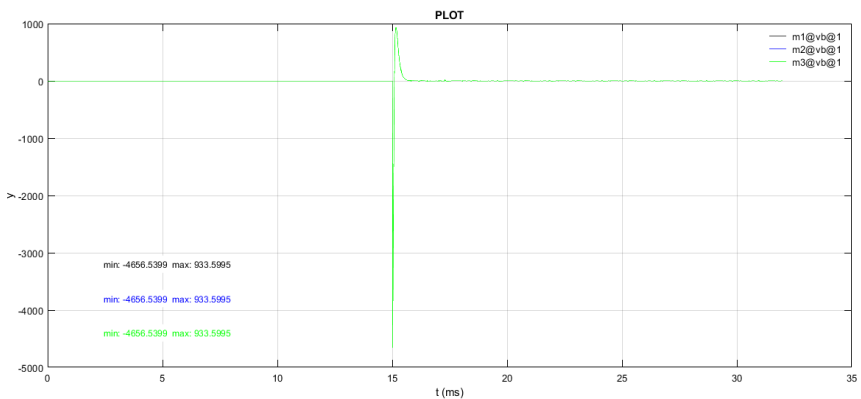
شکل ۱۴: اضافه ولتاژ در سمت ثانویه ترانسفورماتور قدرت اصلی. حالت‌ها $m1@vb$ برای خروجی ولتاژ (فاز ۲) از گره به زمین



شکل ۱۵: اضافه‌ولتاژ در سمت ثانویه ترانسفورماتور کمکی. حالت‌ها $m4a@vn$ ، $m4b@vn$ و $m4c@vn$ برای ولتاژهای خروجی (حوزه) از گره تا زمین (از نتایج مقاله)

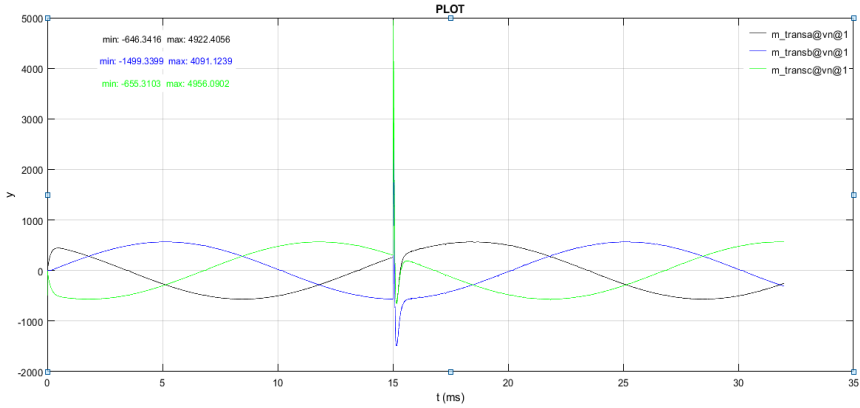


شکل ۱۶: اضافه‌ولتاژ در سمت اولیه ترانسفورماتور از نتایج شبیه‌سازی



شکل ۱۷: اضافه‌ولتاژ در سمت ثانویه ترانسفورماتور قدرت اصلی از نتایج شبیه‌سازی

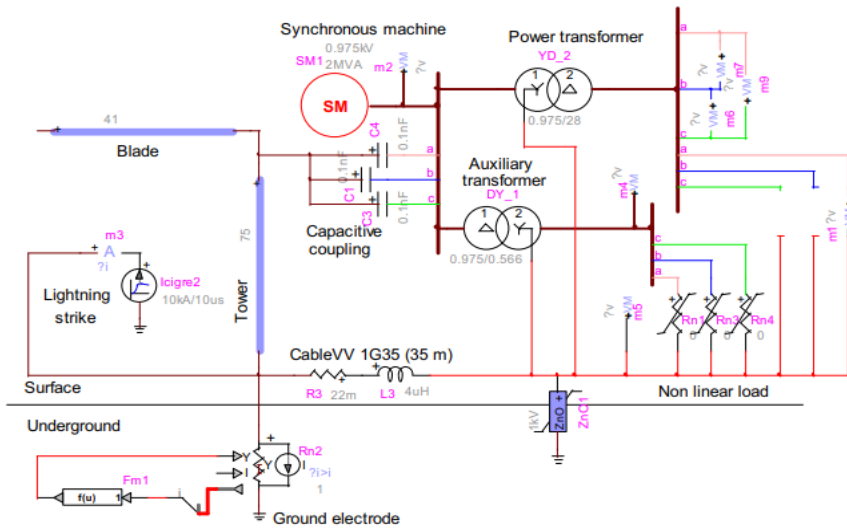




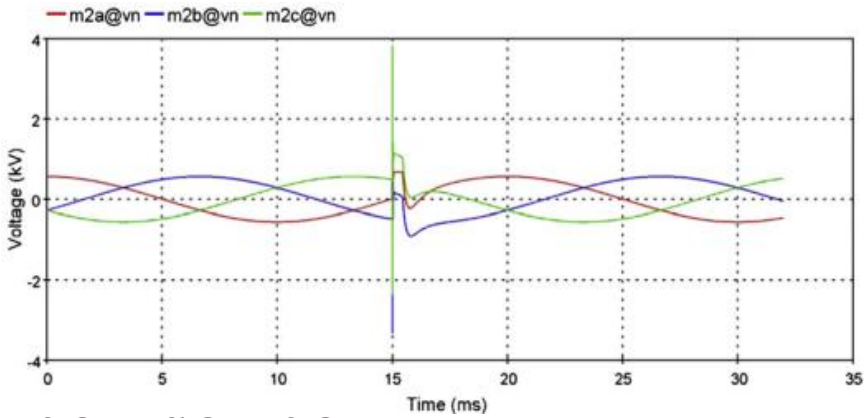
شکل ۱۸: اضافه‌ولتاژ در سمت ثانویه ترانسفورماتور کمکی از نتایج شبیه‌سازی

۳-۴- مدار سوم

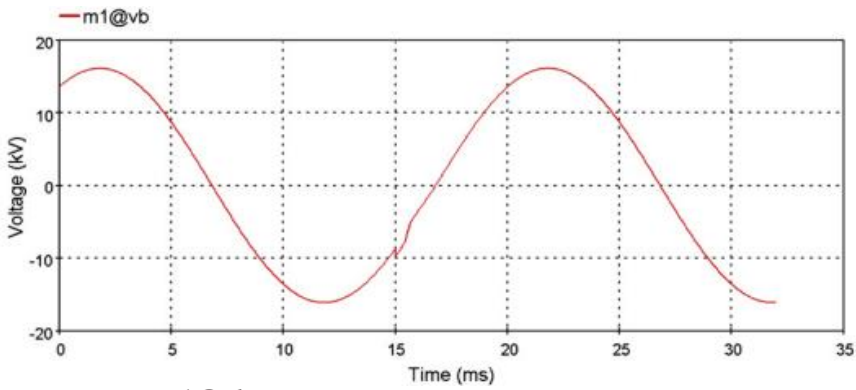
شکل (۱۹) مدار با اتصال ایده‌آل برقی‌گیر شبیه‌سازی شده و نتایج حاصل از شبیه‌سازی با فرضیات مقاله در ادامه در شکل‌های بعد مشاهده می‌شود.



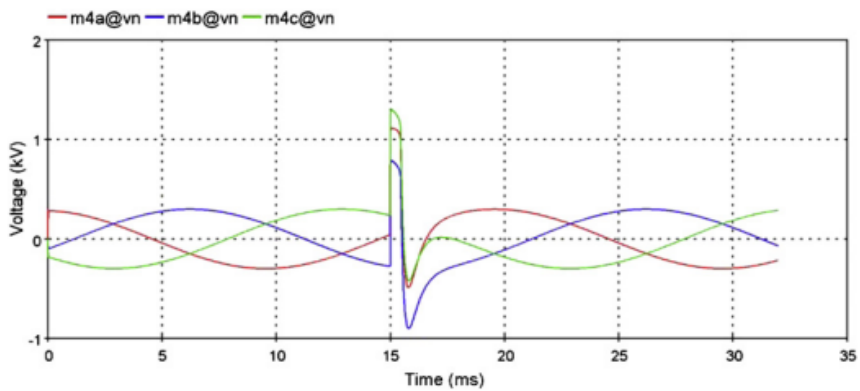
شکل ۱۹: مدار EMTP-RV با اتصال ایده‌آل SPD



شکل ۲۰: اضافه‌ولتاژ در سمت اولیه ترانسفورماتور حالت‌های $m2a@vn$ ، $m2b@vn$ و $m2c@vn$ برای ولتاژهای خروجی (حوزه) از گره به زمین (از نتایج مقاله)

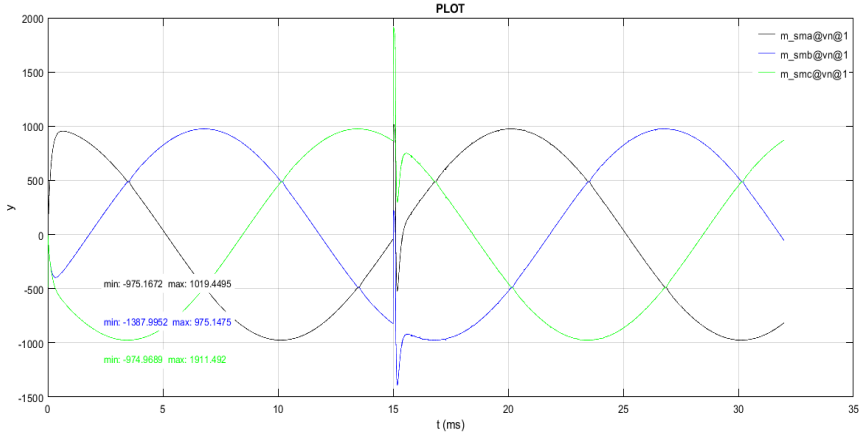


شکل ۲۱: اضافه‌ولتاژ در سمت ثانویه ترانسفورماتور قدرت اصلی حالت‌های $m1@vb$ برای خروجی ولتاژ (فاز a) از گره به زمین

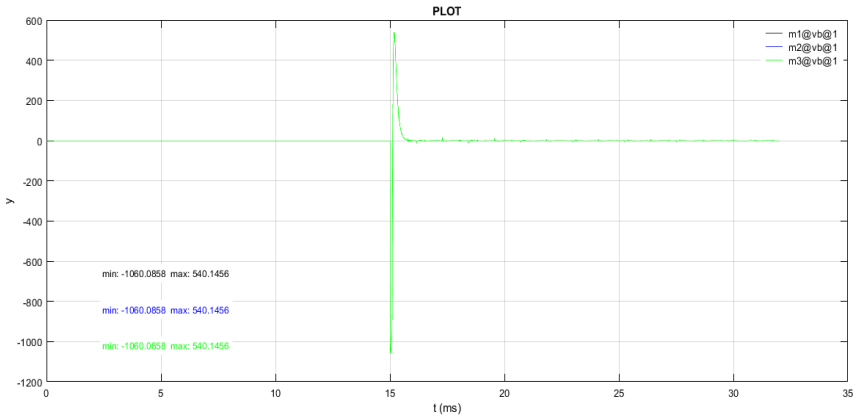


شکل ۲۲: اضافه‌ولتاژ در سمت ثانویه ترانسفورماتور کمکی حالت‌های $m4a@vn$ ، $m4b@vn$ و $m4c@vn$ برای ولتاژهای خروجی (حوزه) از گره تا زمین (از نتایج مقاله)

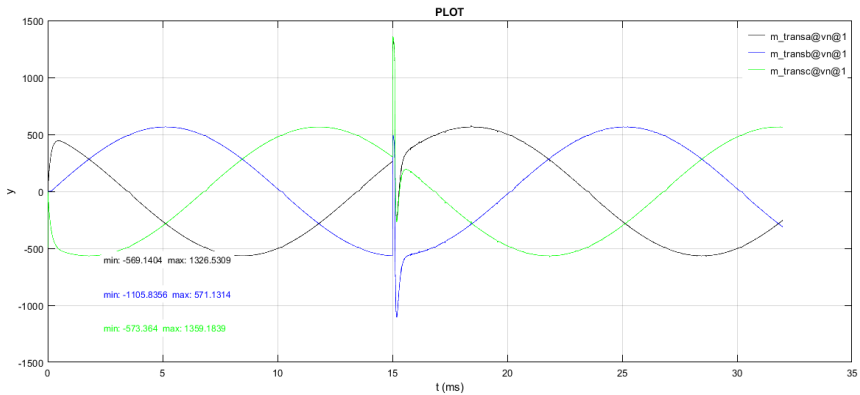




شکل ۲۳: اضافه‌ولتاژ در سمت اولیه ترانسفورماتور از نتایج شبیه‌سازی



شکل ۲۴: اضافه‌ولتاژ در سمت ثانویه ترانسفورماتور قدرت اصلی از نتایج شبیه‌سازی



شکل ۲۵: اضافه‌ولتاژ در سمت ثانویه ترانسفورماتور کمکی از نتایج شبیه‌سازی

۵- نتیجه‌گیری

این مقاله یک مطالعه موردی، بر اساس یک توربین بادی با یک ترانسفورماتور متصل‌کننده، برای تجزیه و تحلیل موج‌های رعدوبرق ارائه می‌کند. در این کار از جدیدترین استانداردهای بین‌المللی استفاده شده است. همچنین شبیه‌سازی‌های کامپیوتری با استفاده از جدیدترین نسخه EMTP یعنی EMTP-RV به دست آمده است. یک جریان صاعقه با حداکثر پیک ۱۰ کیلوآمپر در نظر گرفته شده است که به زمین نزدیک برج برخورد می‌کند. حداکثر مقدار اضافه‌ولتاژ در تجهیزات کنترل الکترونیکی، حتی با نصب SPD، تقریباً به ۶ کیلوولت می‌رسد. این به این دلیل است که اتصال SPD به زمین ایده‌آل نیست. برای کاهش اضافه‌ولتاژ به مقدار قابل قبول می‌توان SPD را در حالت دیفرانسیل نصب کرد. با این وجود، SPD در نظر گرفته شده برای کاهش اضافه‌ولتاژ در شاخه ولتاژ بالای ترانسفورماتور قدرت اصلی کافی است. ثابت شده است که شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای برای یافتن مناسب‌ترین اقدامات حفاظتی و مکانی که باید در آن قرار گیرند، بسیار مفید هستند.



- Catalão JPS, Pousinho HMI, Mendes VMF. Short-term wind power forecasting in Portugal by neural networks and wavelet transform. *Renew Energy* 2011; 36:1245e51.
- Cotton I, Jenkins N, Pandiaraj K. Lightning protection for wind turbine blades and bearings. *Wind Energy* 2001;4:23e37.
- Glushakow B. Effective lightning protection for wind turbine generators. *IEEE Trans Energy Convers* 2007;22:214e22.
- González JS, Rodriguez AGG, Mora JC, Santos JR, Payan MB. Optimization of wind farm turbines layout using an evolutive algorithm. *Renew Energy* 2010; 35:1671e81.
- Hameed Z, Ahn SH, Cho YM. Practical aspects of a condition monitoring system for a wind turbine with emphasis on its design, system architecture, testing and installation. *Renew Energy* 2010;35:879e94.
- IEC. Wind turbine generator systems e Part 24: Lightning protection. TR 61400e61424; 2002.
- Kuo C-C. Wind energy dispatch considering environmental and economic factors. *Renew Energy* 2010;35:2217e27.
- Liu W, Tang B, Jiang Y. Status and problems of wind turbine structural health monitoring techniques in China. *Renew Energy* 2010;35:1414e8.
- Mahseredjian J, Dewhurst C. Using EMTP tutorials and reference; 2008.
- Melício R, Mendes VMF, Catalão JPS. Power converter topologies for wind energy conversion systems: integrated modeling, control strategy and performance simulation. *Renew Energy* 2010;35:2165e74.
- Piantini A, Janiszewski JM, Borghetti A, Nucci CA, Paolone M. A scale model for the study of the LEMP response of complex power distribution networks. *IEEE Trans Power Deliv* 2007;22:710e20.
- Rachidi F, Rubinstein M, Montanyà J, Bermúdez J-L, Sola RR, Solà G, et al. A review of current issues in lightning protection of new-generation windturbine blades. *IEEE Trans Ind Electron* 2008;55:2489e96.

R.B. Rodrigues et al. / Renewable Energy 36 (2011) 2888e2896 2895
Downloaded from <https://iranpaper.ir>
<https://www.tarjomano.com>

Rodrigues RB, Mendes VMF, Catalão JPS. Electromagnetic transients analysis of lightning overvoltages on wind power plants. *Int Rev Electr Eng-IREE* 2010; 5:1424e9.

Rodrigues RB, Mendes VMF, Catalão JPS. Estimation of lightning vulnerability points on wind power plants using the rolling sphere method. *J Electrostat* 2009;67:774e80.

Rodrigues RB, Mendes VMF, Catalão JPS. Lightning data observed with lightning location system in Portugal. *IEEE Trans Power Deliv* 2010;25:870e5.

Ukar O, Zamora I. Wind farm grounding system design for transient currents. *Renew Energy* 2011;36:2004e10.

Wang XH, Zhang XQ, Yang DS. An efficient algorithm of transient responses on wind turbine towers struck by lightning. *Compel-Int J Comp Math Electr Electron Eng* 2009;28:372e84.

Wang XH, Zhang XQ, Yang DS. Calculation of electromagnetic induction inside a wind turbine tower struck by lightning. *Wind Energy* 2010;13:615e25

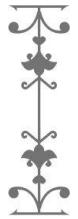
Yamamoto K, Noda T, Yokoyama S, Ametani A. An experimental study of lightning overvoltages in wind turbine generation systems using a reduced size model. *Electr Eng Jpn* 2007;158:65e72.

Yamamoto K, Noda T, Yokoyama S, Ametani A. Experimental and analytical studies of lightning overvoltages in wind turbine generator systems. *Electr Power Syst Res* 2009;79:436e42.

Yasuda Y, Funabashi T. Transient analysis on wind farm suffered from lightning. *Proc. 39th Int. Univ. Power Eng. Conf*; 2004. 202e206.

Yasuda Y, Hara T, Funabashi T. Analysis of lightning surge propagation in wind farm. *Electr Eng Jpn* 2008;162:30e8.

Yasuda Y, Uno N, Kobayashi H, Funabashi T. Surge analysis on wind farm when winter lightning strikes. *IEEE Trans Energy Convers* 2008;23:257e62.



بهبود مقاومت خاک واگرا با استفاده از پودر ضایعات شیشه

مرتضی مبلغ^{۱*}

چکیده

خاک‌های واگرا زمانی که مرطوب و خشک می‌شوند تغییرات قابل ملاحظه‌ای در حجم خاک رخ می‌دهد که باعث می‌شود مقاومت خود را از دست دهند. در سراسر دنیا دیده شده است که سازه‌هایی که بر روی خاک‌های واگرا ساخته می‌شوند (مانند اتوبان‌ها، راه‌آهن‌ها، ساختمان‌ها) دچار مشکلات عدیده می‌شوند. بنابراین بهبود خاک‌های واگرا به منظور بهره‌برداری کارهای عمرانی حیاتی است. در این تحقیق بهسازی این خاک با استفاده از پودر شیشه ضایعاتی (WGP^2) بدست آمده است. در ابتدا شیشه ضایعاتی خورد شده و سپس با درصدهای ۲/۵، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۵٪ وزنی به خاک پایه اضافه شد. آزمایش‌های ژئوتکنیکی گوناگونی روی خاک بهسازی شده با WGP و خاک واگرای پایه انجام شد که از جمله می‌توان به آزمایش‌های حدود آتربرگ، تراکم استاندارد، تورم، مقاومت فشاری محصور نشده (UCS)، برش مستقیم و نسبت باربری کالیفرنیا (CBR) نام برد. مطابق نتایج آزمایش‌ها، با اضافه کردن WGP به خاک واگرای پایه تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر روی مقاومت برشی و دوام نمونه‌ها بدست آمد. همچنین نتایج آزمایش CBR نشان داد که با اضافه کردن ۱۵٪ پودر شیشه ضایعاتی به نمونه‌ها، ظرفیت باربری خاک بهسازی شده تا ۱۷۱٪ افزایش یافته است. طرح مخلوط بهینه WGB برای برای این خاک ۱۵٪ وزنی بدست آمد.

واژگان کلیدی: بهسازی خاک، خاک واگرا، پودر شیشه ضایعاتی، UCS، CBR.

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی ژئوتکنیک و مسئول مکاتبات، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران.

ایمیل: mortezamobaleghm2@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۲۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۱۱

بهسازی خاک، مجموعه روش‌های مورد استفاده به منظور بهبود خواص مکانیکی خاک و آماده‌سازی آن برای اجرای سازه‌های مهندسی است. روش‌های بهسازی خاک، از تنوع و کاربری‌های زیادی بهره می‌برند. آشنایی با این روش‌ها و کاربردهای آن‌ها، امکان برنامه‌ریزی و طراحی مناسب سازه، به منظور اجرای ایمن و اقتصادی پروژه را فراهم می‌کند. به طور کلی روش‌های بهسازی خاک شامل دو دسته کلی روش‌های مکانیکی و روش‌های شیمیایی می‌شود. روش مکانیکی، روشی است که با تغییر فیزیکی مصالح خاکی، آن‌ها را برای کاربری مورد نظر آماده می‌کند. این روش اغلب به منظور افزایش کنترل شده چگالی توسط مصالح پرکننده یا تراکم خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد. تراکم خاک می‌تواند بسیاری از خواص و رفتار زمین را بهبود ببخشد. به کارگیری روش پر کردن با مواد غیرسازه‌ای نیز می‌تواند افزایش استحکام خاک را در پی داشته باشد. بهسازی شیمیایی، روشی است که به منظور پایدارسازی توسط اعمال تغییرات بر روی خواص فیزیکی و شیمیایی خاک یا مصالح خاکی مورد استفاده قرار می‌گیرد. ترکیب مصالح با خاک، تزریق موادی نظیر دوغاب به درون خاک یا اعمال تغییرات حرارتی، از روش‌های متداول برای تغییر ساختار فیزیکی یا ترکیب شیمیایی خاک هستند. تغییرات ناشی از به کارگیری این روش‌ها معمولاً طولانی مدت هستند. به این ترتیب، ماده‌ای به وجود می‌آید که می‌تواند عملکرد مناسبی را در شرایط بارگذاری مورد انتظار داشته باشد. در سال‌های اخیر با توجه به نیاز به کاهش استفاده از مصالح تخریب کننده محیط‌زیست مثل آهک، سیمان و قیر محققین تلاش‌هایی برای جایگزین کردن این مصالح با مصالح غیرتخریب کننده محیط‌زیست مثل استفاده از مصالح بلااستفاده کرده‌اند. به طور کلی مصالح بلااستفاده به دو قسمت عمده تقسیم می‌شوند: الف) مصالح حاصل از ضایعات صنعتی، ب) مصالح حاصل از مواد طبیعی. سالیانه صدها تن از ضایعات صنعتی حاصل از کارخانجات شیشه و معادن یا به صورت دفن زباله و یا انباشت آن کنار گذاشته می‌شوند. این ضایعات علاوه بر اینکه محیط‌زیست را نابود می‌کند باعث می‌شود تا بخش اعظمی از محصولات به صورت ضایعات از بین برود اما با فرآوری دوباره این ضایعات می‌توان از این مشکلات رهایی یافت. همچنین ظرفیت‌های بالقوه‌ای در طبیعت نهفته است که با کشف و استفاده صحیح از آن می‌توان استفاده از مصالح مشکل‌زایی مثل آهک و سیمان را کاهش داد. پودر ظایعات شیشه یکی از این ظرفیت‌ها است که اخیراً پژوهش‌هایی در جهت استفاده از این مواد برای بهسازی خاک شده است. امروزه زائدات شیشه فراوانی در اثر فعالیت‌های کارخانجات در بخش‌های مختلفی چون صنعتی، خدماتی



و خانگی در سرتاسر دنیا در حال تولید شدن می‌باشد. اخیراً استفاده از این مواد زائد در کارهای عمرانی نظیر اصلاح بتن و بهسازی خاک مورد توجه محققین قرار گرفته است. شیشه در انواع مختلفی مثل شیشه‌های ساختمانی، لامپ‌های خانگی و صفحات وسایل برقی مثل تلویزیون و... تولید می‌شود اما همه این مواد دارای عمر مفید مشخصی هستند و نیاز به استفاده دوباره از این شیشه‌ها به منظور جلوگیری از مشکلات زیست‌محیطی ناشی از ذوب دوباره و یا دفن آنها احساس می‌شود. همه ساله حدود ۱۰ میلیون تن شیشه ضایعاتی در سرتاسر دنیا تولید می‌گردد که تقریباً ۳ تا ۵ درصد وزنی زباله‌های خانگی است (Wu, 2004). فراوانی ضایعات شیشه باعث می‌شود تا فرآورده‌های حاصل از این ضایعات نیاز به منابع مالی زیادی نداشته باشند. خاک‌های واگرا یکی از خاک‌های مسئله‌داری است که در سراسر دنیا وجود دارند. زمانی که این خاک‌ها در معرض رطوبت قرار می‌گیرند به طور قابل توجهی منبسط می‌شوند و زمانی که رطوبت شان کاهش می‌یابد دچار انقباض شدگی می‌شوند. در نتیجه این اتفاقات مقاومت خاک کاهش می‌یابد و برای سازه‌های در معرض این خاک مشکلات فراوانی ایجاد می‌کند. استفاده از مصالح زائد جامد صنعتی یکی از روش‌های استفاده شده برای بهبود ویژگی‌های ژئوتکنیکی این خاک‌ها است. در یک پژوهش از شیشه خورده شده و پلی اتیلن^۱ با غلظت بالا به عنوان مواد افزودنی برای بهسازی خاک‌های رسی استفاده شد. در این تحقیق از درصد‌های ۴، ۸ و ۱۲ برای طرح مخلوط شیشه و پلی اتیلن مورد استفاده قرار گرفت. براساس نتایج، با اضافه کردن این مواد به خاک رس ویژگی‌های مکانیک خاکی و ضریب باربری کالیفرنیا نمونه‌ها به طور قابل ملاحظه‌ای بهبود یافت (Fauzi, 2013). همچنین در یک گزارش دیگر تاثیر درصد‌های مختلف (۱، ۲، ۵، ۱۰ و ۱۵٪) پودر شیشه با مقدار پایه ۱۵ درصد سیمان در وزن نمونه‌ها بررسی شده است. نتایج نشان دادند که با افزایش پودر شیشه حداکثر وزن مخصوص خشک تا ۵٪ افزایش یافته و سپس کاهش می‌یابد در حالی که رطوبت بهینه کاهش می‌یابد. همچنین حداکثر ضریب باربری کالیفرنیا در نمونه‌های خشک و مرطوب با اضافه کردن ۵٪ پودر شیشه به دست آمده است. حداکثر چسبندگی و اصطکاک داخلی با اضافه کردن ۱۰٪ پودر شیشه به دست آمده است. در این تحقیق مقادیر بهینه پودر شیشه با ۱۵٪ سیمان بین ۵ تا ۱۰ درصد به دست آمده است (Olufowobi, 2014).

^۱ - Polyethylene





خاک‌های سیاه پنبه‌زاری^۱ یکی دیگر از خاک‌های منبسط شونده است که می‌تواند برای سازه‌های در بستر آن مشکل آفرین باشد. در یک تحقیق تاثیر افزودن درصدهای مختلف پودر شیشه (۰، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰) و سیمان (۰، ۲، ۴، ۶ و ۸) بر روی خاک سیاه پنبه‌زاری مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان دادند که با افزودن پودر شیشه و سیمان به این خاک حدود آتربرگ کاهش می‌یابد. همچنین مقدار بهینه پودر شیشه و سیمان برای رسیدن به حداکثر ضریب باربری کالیفرنیا و مقاومت فشاری محدود نشده به ترتیب ۲۰ و ۸ درصد به دست آمد (Ikara, 2015). در یک مطالعه آزمایشگاهی دیگر درصدهای مختلف پودر شیشه (۵، ۱۵ و ۳۰) به همراه درصدهای مختلف سیمان (۳، ۶ و ۹) برای تثبیت خاک سیلیتی با پلاستیسیته بالا اضافه شد. نتایج به دست آمده به این ترتیب است که با افزایش وزن مخصوص خشک، دوره عمل‌آوری، درصدهای پودر شیشه و سیمان مقاومت فشاری محدود نشده و پایداری نمونه‌ها بهبود یافتند (Arrieta Baldovino, 2020). ترکیب پودر شیشه و پودر پلاستیک ضایعاتی یکی دیگر از طرح مخلوط‌هایی است که برای بهسازی خاک رسی مسئله‌دار استفاده می‌شود. با استفاده از این طرح مخلوط در تحقیقی که از درصدهای مختلف (۲، ۴، ۶ و ۸) پودر شیشه و پودر پلاستیک ضایعاتی استفاده شد نتایج قابل قبولی به دست آمد. در نتایج بیان شده که درصد بهینه برای این طرح مخلوط ۶ درصد به دست آمده است. با افزایش درصد افزودنی به خاک حداکثر وزن مخصوص خشک افزایش یافته و رطوبت بهینه کاهش یافته است. در نهایت تاثیر این مواد برای بهسازی خاک رس مثبت ارزیابی شده است (Gowtham, 2018).

مطابق پیشینه تحقیق مطرح شده، WGP می‌تواند ویژگی‌های ژئوتکنیکی انواع خاک‌های مسئله‌دار را بهبود ببخشد. با این حال، در خاک‌های واگرا مطالعات بیشتری مورد نیاز است تا درصد بهینه WGP به منظور استفاده از عملیات‌های عمرانی مشخص شود. این تحقیق تلاش می‌کند تا با استفاده از پودر شیشه صنعتی به عنوان مواد افزودنی و مصالح بلااستفاده در جهت حفظ محیط‌زیست با کاهش استفاده از آهک و سیمان بخشی از مشکلات صنعت بهسازی خاک را کاهش دهد. به همین منظور آزمایش‌های گوناگونی بر روی خاک واگرای پایه به همراه درصدهای مختلف WGP (۲/۵، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۵ درصد) انجام شد.

¹ - Black Cotton Soil

۲- مصالح و روش‌ها

۱-۲- روش‌ها

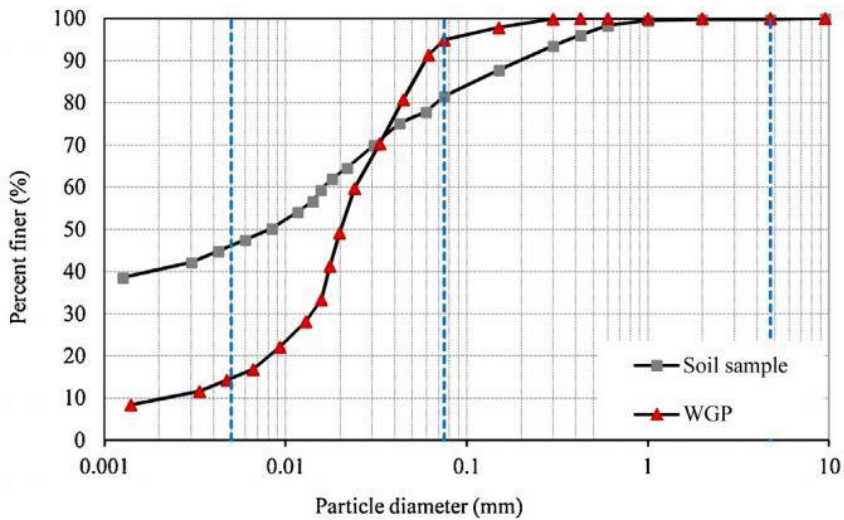
در ابتدا خاک واگرا با WGP مخلوط شده و سپس آب بهینه به نمونه‌ها اضافه شد. نمونه‌ها در پلاستیک‌های منفذدار نگهداری شدند و به منظور حفظ رطوبت بهینه، نمونه‌ها داخل یک محفظه مخصوص تا زمان عمل‌آوری قرار گرفتند. در ابتدا آزمایش‌های شناسایی خصوصیات پایه بروی خاک پایه و WGP انجام گرفت. به همین منظور آزمایش‌های طبقه‌بندی خاک واگرا، چگالی ذرات جامد (Gs)، حدود آتربرگ و شاخص تورم مطابق استانداردهای ASTM_D2487، ASTM_D854، ASTM_D4318، ASTM_D4546 به ترتیب انجام شدند. حد انقباض هم بر اساس استاندارد BS_1377_2 انجام شد. وزن مخصوص خشک حداکثر (MDD) و درصد رطوبت بهینه (OMC) با استفاده از استاندارد ASTM_D698 به دست آمدند. مطابق استاندارد ASTM_D2166 نمونه‌ها تحت آزمایش UCS قرار گرفتند. همچنین آزمایش برش مسقیم و CBR به ترتیب مطابق استانداردهای ASTM_D6528 و ASTM_D1883 انجام شدند. در نهایت ترکیب‌های شیمیایی خاک واگرا با WGP با استفاده از آنالیز XRF تعیین شدند.

۲-۲- مصالح مورد استفاده

خاک واگرای رسی مورد استفاده در این تحقیق از شهر سمنان ایران و شیشه‌های ضایعاتی نیز از کارخانه شیشه‌سازی واقع در تهران جمع‌آوری شدند (شکل ۱). شکل (۲) آنالیز دانه‌بندی خاک و WGP را نشان می‌دهد. مطابق این شکل حدود ۴۷ درصد خاک پایه را رس و ۸۲ درصد WGP را سیلت تشکیل می‌دهد. علاوه بر این، خاک مورد مطالعه در دسته‌بندی خاک‌های رسی با پلاستیسیته کم (CL) قرار می‌گیرد. جدول (۱) خلاصه خصوصیات ژئوتکنیکی خاک واگرای پایه را نشان می‌دهد. مطابق آنالیز XRF، ترکیب شیمیایی WGP در جدول (۲) نشان داده شده است. براساس این آنالیز ترکیب شیمیایی اصلی WGP متشکل از اکسید سیلیسیم (SiO_2) و کلسیم اکسید (CaO) است.



شکل ۱: ضایعات شیشه و پودر شیشه حاصل شده



شکل ۲: منحنی توزیع دانه بندی خاک واگرا (Soil sample) و پودر شیشه (WGP)

جدول ۱: ویژگی‌های پایه خاک پایه مورد مطالعه

مشخصات	مقدار	استاندارد
حد روانی LL	۴۴/۲۰	ASTM D4318
حد خمیری PL	۲۴/۸۱	ASTM D4318
شاخص خمیری PI	۱۹/۳۹	ASTM D4318
حدانقباض	۹/۱۷	BS_1377_2
چگالی ذرات جامد G_s	۲/۶۷	ASTM D854
(USCS) طبقه بندی خاک	CL	ASTM D2487



شن	۰	ASTM_D6913
ماسه	۱۹	ASTM_D6913
سیلت	۳۴	ASTM_D6913
رس	۴۷	ASTM_D6913
شاخص تورم	۵/۲۸	ASTM_D4546
وزن مخصوص (gr/cm^3)		ASTM D698
خشک حداکثر	۱/۷۴	
درصد رطوبت بهینه	۱۸/۵	ASTM D698
UCS (kN/m^2)	۲۰۵	ASTM_D2166
(\emptyset) زاویه اصطحاک داخلی	۱۹/۸۰	ASTM_D6528
چسبندگی (kN/m^2)	۳۹/۱۳	ASTM_D6528
CBR (%)	۴/۵	ASTM D1883

جدول ۲: آنالیز شیمیایی XRF پودر ضایعات شیشه

ترکیب شیمیایی	درصد وزنی (wt%)
SiO ₂	۷۱/۲۱
Al ₂ O ₃	۱/۹۱
Fe ₂ O ₃	۰/۴۵
CaO	۱۳/۳
Na ₂ O	۱۰/۱
K ₂ O	۰/۶۶۳
MgO	۲/۴

۳- نتایج و بررسی

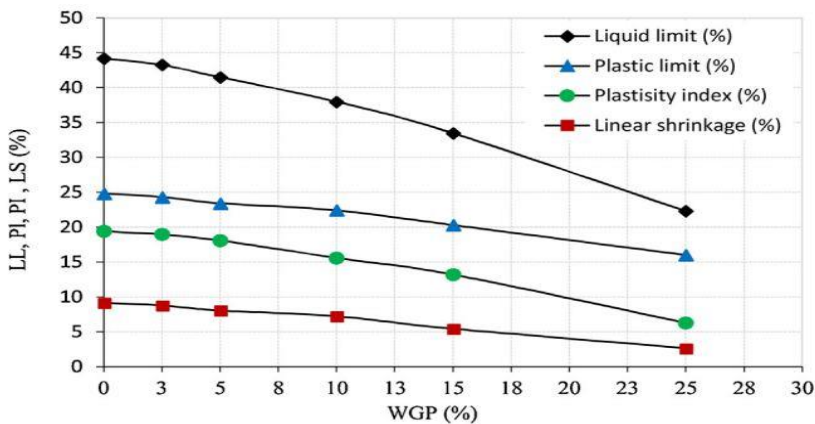
برای تمامی آزمایش‌های صورت گرفته، خاک واگرای پایه با درصدهای مختلف WGP (۲/۵، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۵%) مخلوط شده است و جدول (۳) خلاصه‌ای از نتایج این آزمایش‌ها را برای خاک بهسازی شده و خاک پایه نشان می‌دهد.

جدول ۳: خلاصه نتایج آزمایش‌ها

نمونه‌ها	UCS (kPa)	OMC (%)	MDD (g/cm ³)	FS (%)	CBR (%)
خاک پایه	۲۰۵/۰۱	۱۸/۵۰	۱/۷۴	۵/۲۸	۴/۵۰
+ خاک پایه ۲/۵%WGP	۲۱۶/۶۲	۱۸/۱۵	۱/۷۷	۵/۰۶	۵/۶۰
خاک پایه + WGP ۵%	۲۴۲/۸۰	۱۷/۷۰	۱/۸۱	۴/۶۳	۷/۲۰
خاک پایه + WGP ۱۰%	۳۰۵/۴۰	۱۶/۸۵	۱/۸۷	۳/۶۵	۹/۹۰
خاک پایه + WGP ۱۵%	۳۶۰/۱۰	۱۵/۹۳	۱/۹۴	۲/۶۹	۱۲/۲۰
خاک پایه + WGP ۲۵%	۳۳۲/۵۴	۱۳	۱/۹۰	۰/۸۸	۱۰/۸۰

۳-۱- آزمایش حدود آتبرگ

مطابق شکل (۳) که نتایج آزمایش حدود آتبرگ را نشان می‌دهد، با افزایش درصد WGP مقادیر LL، PL، PI و LS کاهش می‌یابد. این موضوع به این علت است که ذرات WGP قابلیت جذب آب کمتری نسبت به ذرات رس دارند. علاوه بر این همانطوری که از جدول (۲) قابل مشاهده است حدود ۷۲٪ پودر شیشه را اکسیدسیلیسیم (SiO₂) تشکیل می‌دهد و در نتیجه ذرات رس با مواد غیرپلاستیک جایگزین می‌شود.

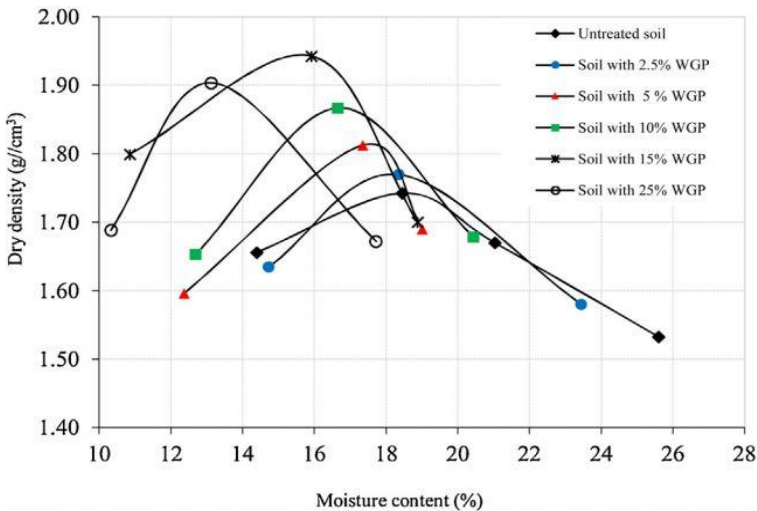


شکل ۳: تغییرات حدود آتبرگ با درصدهای مختلف WGP

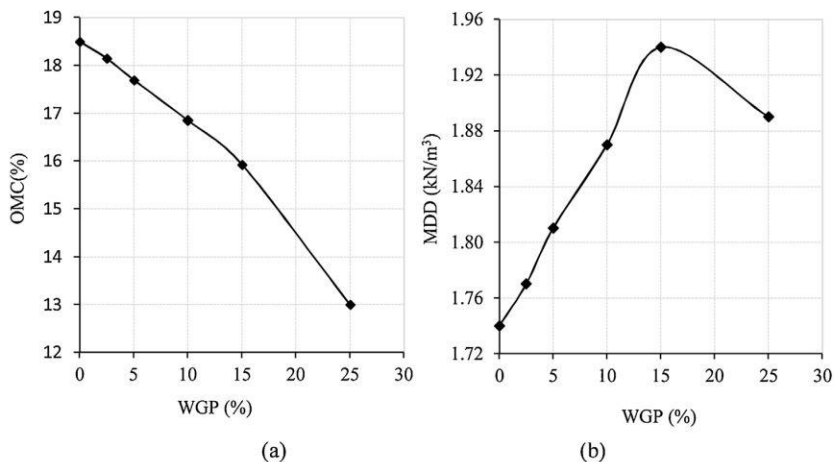


۲-۳- آزمایش تراکم استاندارد

باتوجه به شکل (۴) زمانی که رطوبت افزایش می‌یابد وزن مخصوص خشک تا زمانی که به رطوبت بهینه برسد کاهش می‌یابد. سپس قله هر نمودار نشانگر OMC و MDD برای خاک بهسازی شده و نشده است. شکل (۵a) رابطه بین OMC و مقادیر مختلف WGP را برای خاک واگرای پایه نشان می‌دهد. مقدار OMC برای خاک واگرا ۱۸/۵ درصد است. زمانی که مقدار WGP افزایش می‌یابد در طرف مقابل OMC به تدریج تا ۱۳ درصد کاهش می‌یابد. کاهش مشاهده شده می‌تواند به این علت باشد که ذرات پودر ضایعات شیشه خاصیت جذب آب کمی دارند و زمانی که با ذرات خاک مخلوط می‌شوند باعث کاهش کلی در OMC می‌شوند. شکل (۵b) تاثیر WGP روی MDD نمونه‌های خاک بهسازی شده و نشده را نشان می‌دهد. مطابق این نتایج، زمانی که WGP تا ۱۵ درصد افزایش می‌یابد مقدار MDD از $1/74 \text{ g/cm}^3$ تا $1/94 \text{ g/cm}^3$ افزایش می‌یابد. بعد از این نقطه، با اضافه کردن مقادیر بیشتر WGP تا ۲۵ درصد، مقدار MDD کاهش می‌یابد.

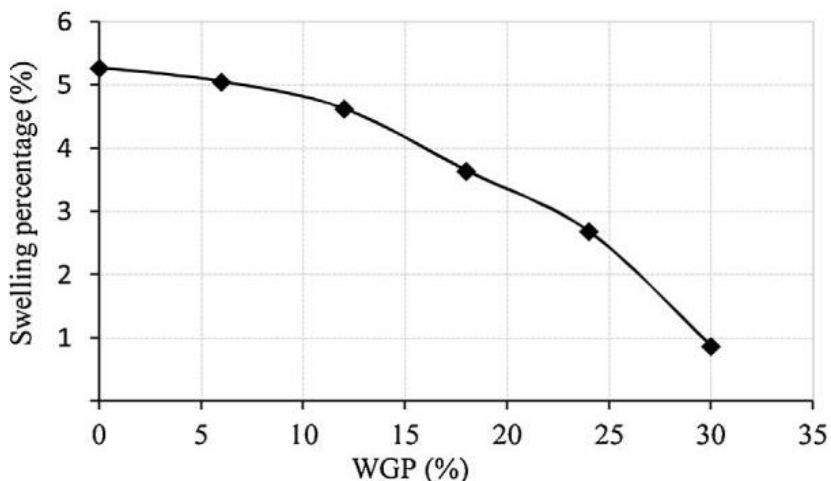


شکل ۴: تغییرات بین وزن مخصوص خشک و رطوبت برای خاک پایه (Untreated soil) و بهسازی شده



شکل ۵: (a) تغییرات OMC و WGP (b) تغییرات MDD و WGP

مطابق شکل (۶)، با افزایش درصد WGP مقدار تورم آزاد نیز کاهش می‌یابد (از ۵/۲۸ درصد به ۰/۸۸ درصد). این موضوع بیانگر این است که ذرات شیشه خاصیت غیرپلاستیکی دارند و زمانی که به خاک اضافه می‌شوند به عنوان مصالح پرکننده عمل می‌کنند و در نتیجه باعث مقاومت در برابر تورم می‌شود.

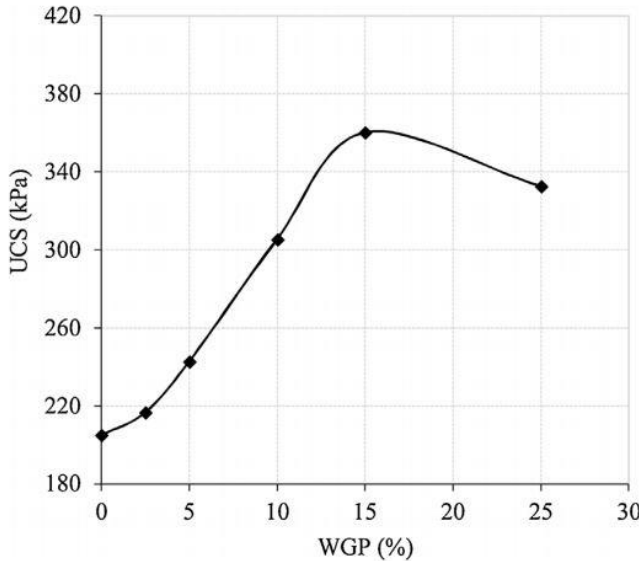


شکل ۶: رابطه بین تورم آزاد (Free swelling) و WGP



۳-۳- آزمایش UCS

مطابق نتایج این آزمایش که در شکل (۷) نشان داده شده است، با افزایش مقدار WGP تا ۱۵ درصد مقدار حداکثر مقاومت فشاری محصور نشده از ۲۰۵ kPa به ۳۶۰ kPa افزایش یافته است اما بعد از ۱۵ درصد WGP، مقدار مقاومت فشاری محصور نشده تا ۳۳۲ kPa روند کاهشی به خود گرفت است.

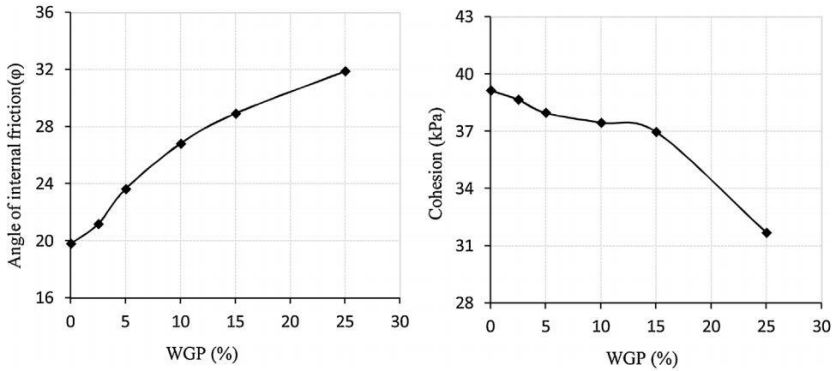


شکل ۷: تغییرات UCS خاک پایه با اضافه کردن درصد‌های مختلف پودر شیشه (WGP)

۳-۴- آزمایش برش مستقیم

شکل (۸a) رابطه بین زاویه اصطکاک داخلی و درصد‌های مختلف WGP با خاک پایه را نشان می‌دهد. با توجه به این نتایج با افزایش درصد WGP تا ۲۵ درصد زاویه اصطکاک داخلی تا حدود ۶۱ درصد افزایش یافته است (از $19/80^{\circ}$ تا $31/87^{\circ}$). این موضوع به این علت است که افزایش MDD باعث کاهش نسبت تخلخل در بین ذرات می‌شود. شکل (۸b) رابطه بین چسبندگی و درصد‌های مختلف WGP با خاک پایه را نشان می‌دهد. با اضافه کردن WGP تا ۲۵ درصد چسبندگی نمونه‌ها تا ۱۹ درصد کاهش نشان دادند (از $39/13$ kPa تا $31/68$ kPa). وجود مقادیر بالای اکسیدسیلیسیم ($\text{SiO}_2 = 71/21$) باعث کاهش چسبندگی پودر ضایعات شیشه شده و همین امر باعث کاهش چسبندگی نمونه‌ها شده است.

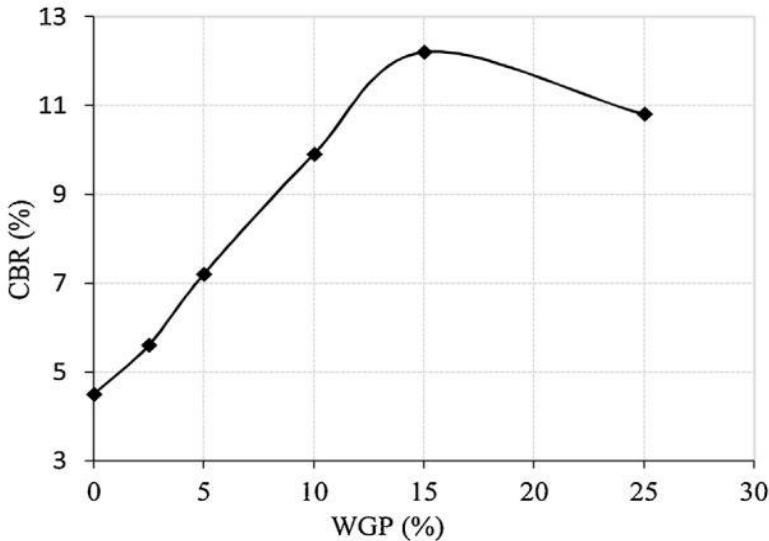




شکل ۸: (a) تغییرات بین زاویه اصطکاک داخلی و WGP (b) تغییرات بین چسبندگی و WGP

۳-۵- آزمایش CBR

نتایج آزمایش CBR نشان دادند که اضافه کردن ۱۵ درصد WGP به نمونه‌های خاک پایه باعث رشد عدد CBR تا ۱۷۱ درصد شده است (شکل ۹). پر شدن منافذ خاک با پودر شیشه و ایجاد واکنش‌های شیمیایی باعث افزایش مقاومت نمونه‌ها شده و می‌تواند یکی از دلایلی باشد که باعث رشد قابل توجه CBR شده است.



شکل ۹: تغییرات CBR خاک پایه با اضافه کردن درصدهای مختلف پودر شیشه (WGP).

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق به منظور بهبود ویژگی‌های ژئوتکنیکی خاک مسئله‌دار واگرای رسی از پودر ضایعات شیشه (WGP) استفاده شد. از خصوصیات دیگر این افزودنی می‌توان به بلااستفاده بودن آن و کاهش تاثیر محیط‌زیستی آن در طبیعت نام برد. مخلوط خاک واگرای رسی با درصدهای مختلف WGP (۲، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۵ درصد) تحت آزمایش‌های مختلفی مانند حدود آتربرگ، تراکم استاندارد، تورم آزاد، UCS، برش مستقیم و CBR قرار گرفت. نتایج زیر از آزمایش‌های صورت گرفته حاصل شده است:

- با اضافه کردن پودر ضایعات شیشه تا ۲۵ درصد، حدود آتربرگ مانند LL، PL، PI و LS به ترتیب ۴۹/۶، ۳۳/۷، ۶۹/۹ و ۷۱/۳ درصد کاهش یافته است.
- با روندی مشابه حدود آتربرگ، در تورم آزاد هم تا ۸۳/۳ درصد کاهش رخ داده است.
- نتایج آزمایش تراکم استاندارد نشان داد که پودر ضایعات شیشه باعث کاهش OMC و افزایش MDD تا ۱۱/۵ درصد می‌شود.
- ۱۵ درصد پودر ضایعات شیشه باعث افزایش ۷۵/۶ درصد مقادیر UCS می‌شود.
- با اضافه کردن پودر ضایعات شیشه به خاک واگرای پایه مقادیر زاویه اصطکاک داخلی تا ۶۱ درصد افزایش و در طرف مقابل چسبندگی نمونه‌ها تا ۱۹ درصد کاهش یافته است.
- در آزمایش CBR مشاهده شد که پودر ضایعات شیشه باعث افزایش قابل توجه ظرفیت باربری خاک پایه تا ۱۷۱ درصد می‌شود.
- باتوجه به نتایج آزمایش‌های صورت گرفته طرح مخلوط بهینه پودر ضایعات شیشه در خاک واگرای پایه حدود ۱۵ درصد به دست آمده است.

از نتایج ذکر شده می‌توان استنباط کرد که استفاده از پودر ضایعات شیشه به عنوان افزودنی در خاک واگرای رسی مسئله‌دار، باعث بهبود کیفیتی ویژگی‌های ژئوتکنیکی خاک شده است و با توجه به بلااستفاده بودن این مصالح باعث بهبود اقتصادی پروژه‌ها نیز می‌شود.



- ASTM_D2487, Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017.
- ASTM_D854, Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014.
- ASTM_D4318, Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017.
- ASTM_D4546, Standard Test Methods for One-Dimensional Swell or Collapse of Soils, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014.
- ASTM_D698, Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014.
- ASTM_D2166, Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016.
- ASTM_D6528, Standard Test Method for Consolidated Undrained Direct Simple Shear Testing of Fine Grain Soils, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017.
- ASTM_D1883, Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016.
- Arrieta Baldovino, J. D. J., dos Santos Izzo, R. L., da Silva, É. R., & Lundgren Rose, J. (2020). Sustainable use of recycled-glass powder in soil stabilization. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 32(5), 04020080.
- BS_1377-2, Methods of Test for Soils for Civil Engineering Purposes, - Part 2: Classification Test, British Standards Institution, London, 1990, pp. 21.

- Fauzi, A., Rahman, W. M. N. W. A., & Jauhari, Z. (2013). Utilization waste material as stabilizer on kuantan clayey soil stabilization. *Procedia engineering*, 53, 42-47.
- Gowtham, S., Naveenkumar, A., Ranjithkumar, R., Vijayakumar, P., & Sivaraja, M. (2018). Stabilization of clay soil by using glass and plastic waste powder. *International Journal of Engineering and Techniques*, 4(2), 146-150.
- Ikara, I. A., Kundiri, A. M., & Mohammed, A. (2015). Effects of waste glass (WG) on the strength characteristics of cement stabilized expansive soil. *American Journal of Engineering Research (AJER)*, 4(11), 33-41.
- Olufowobi, J., Ogundoju, A., Michael, B., & Aderinlewo, O. (2014). Clay soil stabilisation using powdered glass. *Journal of Engineering Science and Technology*, 9(5), 541-558.
- Wu, S., Yang, W., & Xue, Y. (2004). Preparation and properties of glass-asphalt concrete. *Wuham, China: Key Laboratory for Silicate Materials Science and Engineering of Ministry of Education, Wuham University of Technology*.



ارزیابی فنی نیروگاه خورشیدی فتوولتائیک (PV) روی سقف شیروانی؛ مطالعه‌ی موردی دانشگاه خاتم النبیین (ص) در شهر کابل

سید محمد سجادی^۱*

چکیده

تفاوت زیادی بین تقاضا و عرضه‌ی انرژی الکتریکی در افغانستان وجود دارد و تاکنون بیش از ۸۰ درصد از نیاز الکتریکی این کشور از طریق خرید انرژی از کشورهای همسایه صورت می‌گیرد. تمام کشورهای در حال توسعه و توسعه‌یافته به دنبال تامین انرژی الکتریکی از طریق منابع بی‌پایان و تجدیدپذیر هستند. کشور افغانستان نیز دارای ظرفیت خوبی در استفاده از منابع تجدیدپذیر است؛ به طوری که اگر تنها ۲ درصد از کل پتانسیل امکان‌پذیر را بتواند استفاده کند، نیاز انرژی کشور به طور کلی برآورده خواهد شد. افغانستان با داشتن حدود ۳۰۰ روز آفتابی در سال و میانگین چگالی انرژی خورشیدی ۶/۵ کیلووات ساعت بر مترمربع در روز به صورت نظری، دارای پتانسیل انرژی خورشیدی قابل توجهی است که می‌توان با استفاده از فناوری‌های حرارتی خورشیدی و سیستم‌های فتوولتائیک (PV) از آن بهره برد. در ارزیابی حاضر با اتخاذ سیاست کاهش هزینه‌ها، یک نیروگاه خورشیدی فتوولتائیک برای دانشگاه خاتم النبیین (ص) در شهر کابل طراحی گردید. این نیروگاه با دربر گرفتن مساحتی حدود ۲۹۶ مترمربع از یک موقعیت بلااستفاده‌ی دانشگاه، توانایی تولید انرژی الکتریکی به میزان ۱۰۸ مگاوات ساعت در یک سال را دارد. در انتها ارتفاع خورشید و دمای محیط به عنوان دو عامل بسیار مهم در تولید و عملکرد نیروگاه

^۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی انرژی‌های تجدیدپذیر، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

ایمیل: sajadi.muhamad@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۰۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۱۵

شناسایی شدند. همچنین برای تامین نیاز الکتریکی دانشگاه بدون خرید انرژی از شبکه‌ی برق سراسری، بیان شد که می‌بایست یک سیستم ذخیره ساز نیز در کنار نیروگاه PV برای تامین نیاز الکتریکی این مرکز در ساعات کاهش یا عدم تولید پنل‌های PV طراحی شود.

واژگان کلیدی: انرژی خورشیدی، ارزیابی فنی، سیستم‌های فتوولتائیک (PV)، دانشگاه خاتم‌النبین (ص)، پنل‌های خورشیدی.

۱- مقدمه

انرژی الکتریکی یک فاکتور مهم برای پیشرفت‌های اقتصادی-اجتماعی هر کشور است. همچنین نقش مهم و قابل توجهی در پیشرفت‌های علمی و فناوری دارد، که برای بالابردن سطح زندگی افراد یک جامعه بسیار مهم می‌باشد. (Mohammadi et al, 2022)

با وجود افزایش اخیر در استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر (عمدتاً بادی و خورشیدی)، سوخت‌های فسیلی هنوز بیش از ۸۰ درصد مصرف انرژی جهان را تشکیل می‌دهند. از سال ۱۹۷۱، مصرف انرژی در جهان ۲/۶ برابر شده است. سوخت‌های فسیلی ۸۸ درصد مصرف انرژی جهان در سال ۱۹۷۱، ۸۶ درصد در سال ۲۰۱۵ هنگامی که توافقنامه‌ی پاریس به امضا رسید و ۸۳ درصد در سال ۲۰۲۰ را به خود اختصاص دادند. (جدول ۱) در سال ۲۰۲۰، نفت ۳۱ درصد، زغال سنگ ۲۷ درصد و گاز طبیعی ۲۵ درصد از انرژی مصرفی جهان را به خود اختصاص دادند. (جدول ۱) ۱۷ درصد باقیمانده شامل ۷ درصد انرژی آبی، ۶ درصد انواع دیگر انرژی‌های تجدیدپذیر و ۴ درصد انرژی هسته‌ای است. به‌طور دقیق‌تر، انرژی‌های تجدیدپذیر (عمدتاً بادی و خورشیدی) ۵/۷ درصد از کل مصرف انرژی جهان در سال ۲۰۲۰ را در مقایسه با ۳/۳ درصد در سال ۲۰۱۵ به خود اختصاص دادند. (جدول ۱) باد و خورشید به ترتیب ۲/۹۰ و ۱/۵۴ درصد از مصرف انرژی جهان را در سال ۲۰۲۰ به خود اختصاص دادند که در مجموع ۴/۴۴ درصد بود. (Holechek et al, 2022) (جدول ۱)

جدول ۱: مصرف انرژی اولیه بر اساس نوع سوخت برای سال‌های ۲۰۱۵، ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ در جهان

Fuel Type	Primary Energy Consumption					
	2015		2019		2020	
	Exajoules	%	Exajoules	%	Exajoules	%
Fossil fuels						
Oil	183.63	33.7	191.89	33.0	173.73	31.2
Natural Gas	125.22	23.0	140.54	24.2	137.62	24.7
Coal	158.64	29.1	157.64	27.1	151.42	27.2
Sub-total	467.49	85.9	490.07	84.3	462.77	83.1
Non-Fossil fuels						
Nuclear	23.46	4.3	24.93	4.3	23.98	4.3
Hydro	35.38	6.5	37.69	6.5	38.16	6.9
Renewables	18.1	3.3	28.82	5.0	31.71	5.7
Sub-total	76.94	14.1	91.44	15.7	93.85	16.9
Total all fuel types	544.43		581.51		556.62	

به واسطه‌ی رشد روزافزون جمعیت و توسعه‌ی صنعتی، کشور افغانستان برای حفظ یک چرخه‌ی زندگی پایدار به انرژی الکتریکی بیشتری نیاز دارد. تفاوت زیادی بین تقاضا و عرضه‌ی انرژی الکتریکی در افغانستان وجود دارد که به طور مشخص در فصل‌های تابستان و زمستان رخ می‌دهد. تاکنون بیش از ۸۰ درصد از انرژی الکتریکی مورد استفاده در این کشور توسط همسایگان خارجی تولید و وارد شده است و کشور ما توانایی برآورده کردن تنها حدود ۲۰ درصد از تقاضای انرژی الکتریکی را داراست. مجموع انرژی الکتریکی ورودی به کشور که توسط ازبکستان، تاجیکستان، ترکمنستان و ایران به شبکه‌ی برق سراسری تزریق می‌شود حدود ۱ گیگاوات برآورد شده است. (Tamim, 2021)

بر اساس آخرین و فراگیرترین پیش‌بینی تقاضای برق افغانستان که به عنوان بخشی از آماده‌سازی ماستر پلان سکتور برق افغانستان تهیه شده است، پیش‌بینی می‌شود تقاضای خالص برق از تقریباً ۲۸۰۰ گیگاوات ساعت در سال ۲۰۱۲ به ۱۵۹۰۹ گیگاوات ساعت در سال ۲۰۳۲ افزایش یابد که نشان‌دهنده‌ی افزایش سالانه‌ی تقاضا با میانگین نرخ ۹/۸ درصد است. پیش‌بینی شده بود اوج تقاضا از حدود ۶۰۰ مگاوات در آغاز سال ۲۰۱۲ به ۳۵۰۲ مگاوات در سال ۲۰۳۲ برسد. دولت وقت افغانستان علاقه داشت تا این تقاضا حداقل تا حدی از طریق استفاده از منابع تجدیدپذیر پاسخ داده شود. (Mohammadi et al, 2022)

کشور ما دارای تعداد زیادی منابع انرژی تجدیدپذیر با ظرفیت تولید عالی و نسبتاً خوب است. این کشور با داشتن منابع انرژی تجدیدپذیر پر ظرفیت مانند آبی (۲۳۰۰۰ مگاوات)، بادی (۶۷۰۰۰ مگاوات)، خورشیدی (۲۲۲۰۰۰ مگاوات)،

زمین‌گرمایی (۳۰۰۰ تا ۳۵۰۰ مگاوات) و زیست‌توده (۴۰۰۰ مگاوات) می‌تواند حدود ۳۱۸ گیگاوات انرژی تولید کند. علاوه بر این برخلاف سایر منابع انرژی متعارف، این منابع در مناطق جغرافیایی بزرگی در سراسر کشور توزیع شده‌اند. (Mohammadi et al, 2022)

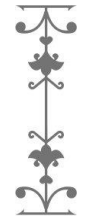
همه‌ی کشورهای دنیا در حال حاضر به دنبال منابع جایگزین برای تامین انرژی هستند که در میان آن‌ها انرژی خورشیدی به عنوان منبعی نام برده می‌شود که استفاده از آن در سراسر جهان در حال رشد است. کل انرژی قابل دریافت از خورشید در روی زمین 1.8×10^{11} مگاوات است که بسیار بیشتر از آنچه است که بشر روی زمین برای مصرف نیاز دارد. علاوه بر این، نور خورشید منبع انرژی پاک و قابل اعتمادی است که توانایی رفع نیازهای آینده را دارد. انرژی خورشیدی را می‌توان به طور مستقیم در انرژی حرارتی و فتولتائیک (PV)^۱ و به طور غیرمستقیم در انرژی آب، زیست‌توده، باد، انرژی امواج، اقیانوس، جریان‌های حرارتی و دریایی استفاده کرد. (Kumar et al, 2020)

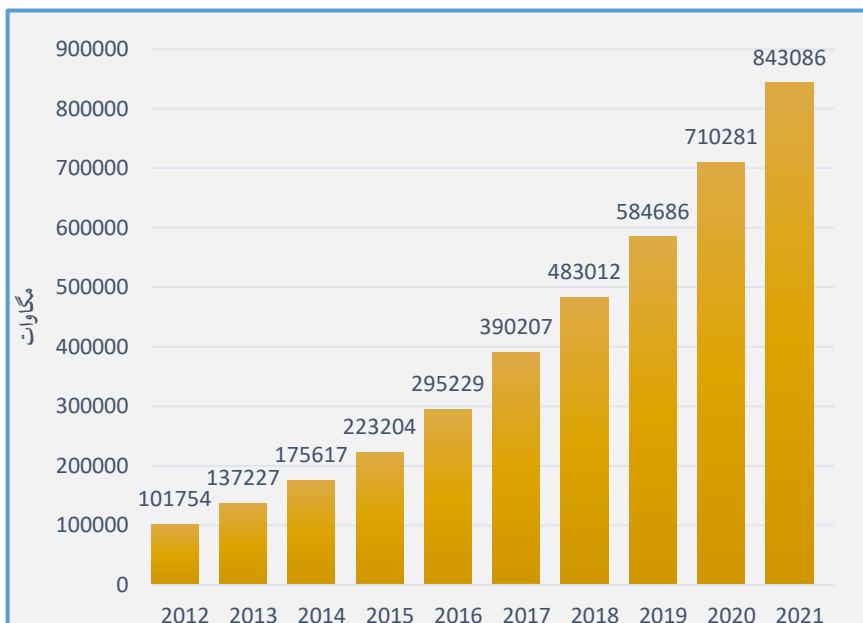
در میان انواع نیروگاه‌های خورشیدی، نیروگاه‌های فتولتائیک که از ماژول‌های خورشیدی برای تولید انرژی استفاده می‌کنند مقرون‌به‌صرفه‌تر هستند، زیرا در این نیروگاه‌ها فقط هزینه خرید تجهیزات و نصب آن‌ها وجود دارد و به دلیل طول عمر بالای این تجهیزات عملاً هزینه‌ی تعمیر و نگهداری قابل توجهی برای نیروگاه وجود ندارد. سیستم‌های فتولتائیک (PV) به دلیل اینکه هیچ‌گونه گاز خطرناکی منتشر نمی‌کنند با محیط‌زیست نیز بسیار سازگار هستند. البته افزایش قیمت سوخت نیز یکی دیگر از دلایل محبوبیت سیستم‌های PV در کشورهای مختلف می‌باشد. (Shirvastava et al, 2021)

۲- وضعیت جهانی فتولتائیک

با نگاهی به آمارهای جهانی، رشد چشمگیر و بی‌وقفه‌ی سیستم‌های فتولتائیک قابل مشاهده است. طبق گزارش‌های ارائه شده توسط سازمان جهانی انرژی‌های تجدیدپذیر (IRENA) که در سال ۲۰۲۲ ارائه شده است؛ در سال گذشته به طور کلی ۸۴۳/۰۸۶ گیگاوات، سیستم‌های PV در دنیا نصب و استفاده شده است. (نمودار ۱) (IRENA (2022), Renewable Energy Statistics 2022)

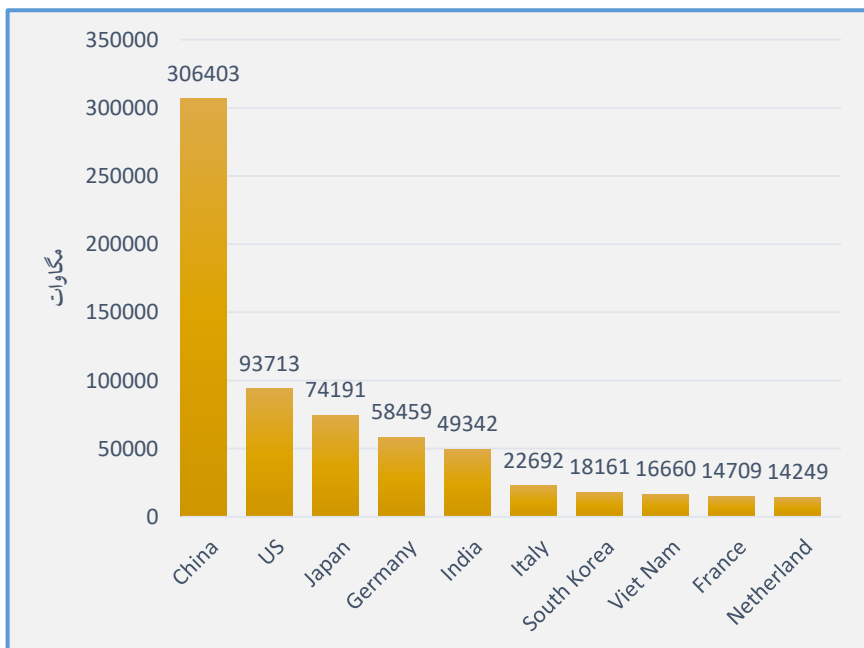
^۱. Photovoltaic



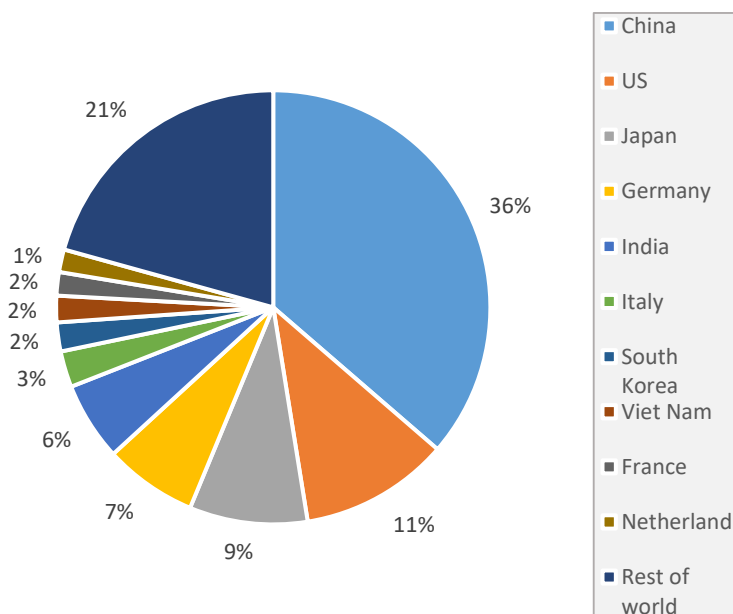


نمودار ۱: رشد تدریجی نصب سیستم‌های فتوولتائیک در دنیا

جدیدترین آمارها نشان می‌دهند که چین به عنوان قدیمی‌ترین پیشرو در صنعت انرژی خورشیدی ظرفیتی معادل ۳۰۶/۴۰۳ گیگاوات را تا به حال نصب کرده است؛ که ۳۶ درصد از کل ظرفیت نصب شده در دنیا را دربر می‌گیرد. آمریکا به عنوان دومین کشور پیشرو در این زمینه در کل ۹۳/۷۱۳ گیگاوات (۱۱ درصد از کل ظرفیت نصب شده جهانی)، ژاپن ۷۴/۱۹۱ گیگاوات (۹ درصد از کل ظرفیت نصب شده جهانی)، آلمان ۵۸/۴۵۹ گیگاوات (۷ درصد از کل ظرفیت نصب شده جهانی)، هندوستان ۴۹/۳۴۲ گیگاوات (۶ درصد از کل ظرفیت نصب شده جهانی)، ایتالیا ۲۲/۶۹۲ گیگاوات (۳ درصد از کل ظرفیت نصب شده جهانی)، کره جنوبی ۱۸/۱۶۱ گیگاوات (۲ درصد از کل ظرفیت نصب شده جهانی)، ویتنام ۱۶/۶۶ گیگاوات (۲ درصد از کل ظرفیت نصب شده جهانی)، فرانسه ۱۴/۷۰۹ گیگاوات (۲ درصد از کل ظرفیت نصب شده جهانی) و هلند ۱۴/۲۴۹ گیگاوات (۱ درصد از کل ظرفیت نصب شده جهانی) را تا به حال نصب کرده‌اند. مابقی کشورهای دنیا ۲۱ درصد از ظرفیت جهانی نیروگاه‌های فتوولتائیک را در اختیار دارند. (نمودار ۲ و ۳) (IRENA (2022), Renewable Energy Statistics 2022)



نمودار ۲: ظرفیت نصب شده‌ی سیستم‌های فتوولتائیک در کشورهای پیشرو



نمودار ۳: سهم درصدی کشورهای پیشرو در نصب سیستم‌های فتوولتائیک



۳- وضعیت افغانستان

کشور ما افغانستان کشوری کوهستانی و محصور در خشکی است که در جنوب آسیای مرکزی، شمال و غرب پاکستان و شرق ایران واقع شده است. عرض جغرافیایی افغانستان از ۲۹ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۴۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی این کشور از ۶۰ درجه و ۳۱ دقیقه تا ۷۵ درجه و ۰۰ دقیقه شرقی می‌باشد. مساحت کل این سرزمین ۶۵۲۸۶۴ کیلومتر مربع بوده و اغلب دارای آب‌وهوای خشک و نیمه‌خشک، زمستان‌های سرد و تابستان‌های گرم است. (Ludin et al, 2017)

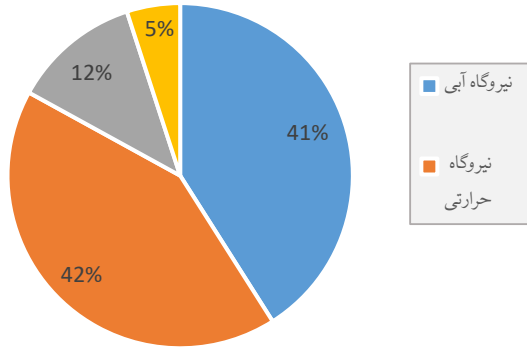
در فصول تابستان و زمستان به دلیل افزایش و کاهش شدید دمای هوا در افغانستان، استفاده از وسایل سرمایشی و گرمایشی افزایش یافته و پیک مصرف برق به طور چشمگیری افزایش می‌یابد؛ به طوری که برق وارداتی و تولید داخلی کشور نمی‌تواند آن را تامین کند. این افزایش مصرف در نهایت باعث قطع برق می‌شود که دانشگاه‌ها نیز از این قطعی برق مستثنی نیستند. بنابراین دانشگاه‌ها، کارخانجات، خانوارها و تمامی ادارات دولتی برای تامین انرژی از دیزل ژنراتورها استفاده می‌کنند که تولید انرژی توسط آنها بسیار پرهزینه و برای محیط‌زیست بسیار مضر است. (Nasimi et al, 2021)

در سال ۲۰۱۴، عملاً ۸۰ درصد از نیاز الکتریکی کشور از طریق برق وارداتی تامین می‌شد و تقاضا در شهرهای بزرگ ۲۵ درصد افزایش یافت. علی‌رغم این واقعیت که قابلیت اطمینان شبکه از سال ۲۰۰۲ به طور قابل توجهی بهبود یافته است اما کاهش بار هنوز عادی است و ژنراتورهای خصوصی این شکاف را پر می‌کنند. برای پاسخ به این رشد تقاضا، افغانستان در نظر داشت ترکیبی از سوخت فسیلی داخلی، پروژه‌های تولید انرژی از منابع تجدیدپذیر و نیروگاه‌های آبی را از طریق مشارکت بخش‌های دولتی و خصوصی که با راه‌حل‌های متنوع واردات تکمیل می‌شود، ایجاد کند. (Mohmand et al, 2020)

در سال ۲۰۱۹، افغانستان به ۳۰۰۰ مگاوات برق برای تضمین پایداری انرژی برای خانوارها و سایر بخش‌ها نیاز داشت، اما این کشور توانست تنها ۷۳۵ مگاوات یا ۲۲ درصد از کل مصرف برق خود را تولید کند و ۱۰۰۰ مگاوات دیگر از تاجیکستان، ازبکستان، ترکمنستان و ایران وارد کرد. بنابراین هنوز یک شکاف قابل توجه تقریباً ۱۲۷۰ مگاواتی بین عرضه انرژی و تقاضا وجود دارد. تا پایان سال ۲۰۱۹، مجموع ظرفیت نصب شده‌ی داخلی کشور ۷۳۷ مگاوات بود که سهم نیروگاه‌های حرارتی ۴۲



درصد، نیروگاه‌های آبی بزرگ ۴۱ درصد، تجدیدپذیرها ۱۲ درصد و نیروگاه‌های گازی ۵ درصد بوده است. ظرفیت نصب شده‌ی خط انتقال برای برق وارداتی نیز به ۱/۰۱۲ مگاوات رسید. (نمودار ۴) (Tamim, 2021)



نمودار ۴: سهم درصدی تولید انواع نیروگاه‌های کشور

در افغانستان، تنها ۳۰/۲ درصد از جمعیت مردم به شبکه برق سراسری دسترسی دارند که نرخ دسترسی تقریباً ۸۸ درصد برای خانوارهای شهری و ۱۱ درصد برای خانوارهای روستایی می‌باشد. تامین برق در کشور ما پایدار نیست و سطح دسترسی در مناطق مختلف متفاوت است. به عنوان مثال در پایتخت، ۹۵ درصد مردم معمولاً به برق دسترسی دارند، در حالی که در ولایت زابل نرخ دسترسی تنها ۳۷ درصد است. تقریباً ۸۹ درصد برق در افغانستان توسط خانوارها مصرف می‌شود و پس از آن صنعت ۹ درصد و سایر بخش‌ها ۲ درصد از مصرف را به خود اختصاص می‌دهند. (Tamim, 2021)

با توجه به اینکه حدود ۷۵ درصد خانوارها از بیماری‌های تنفسی ناشی از دود سوخت‌های فسیلی مصرفی رنج می‌برند و همچنین با توجه به اینکه تنها حدود ۱۱ درصد از جمعیت روستا نشینان به برق دسترسی دارند، نیاز آشکار و فوری به توسعه منابع انرژی جایگزین در کشور افغانستان وجود دارد. با این حال، برنامه‌های توسعه‌ی بلندمدت با در نظر گرفتن رشد سالانه ۹/۸ درصدی مصرف برق، افزایش تعداد افراد متصل به شبکه را به ۸۳ درصد تا سال ۲۰۳۲ می‌طلبد. به غیر از نیروگاه‌های آبی ساخته شده در



مسیر رودخانه‌ها، تا به حال بزرگترین پروژه‌ی نیروگاهی تجدیدپذیر متعلق به نیروگاه فتولتائیک در بامیان با ظرفیت ۱ مگاوات می‌باشد. (Jahangiri et al, 2019)

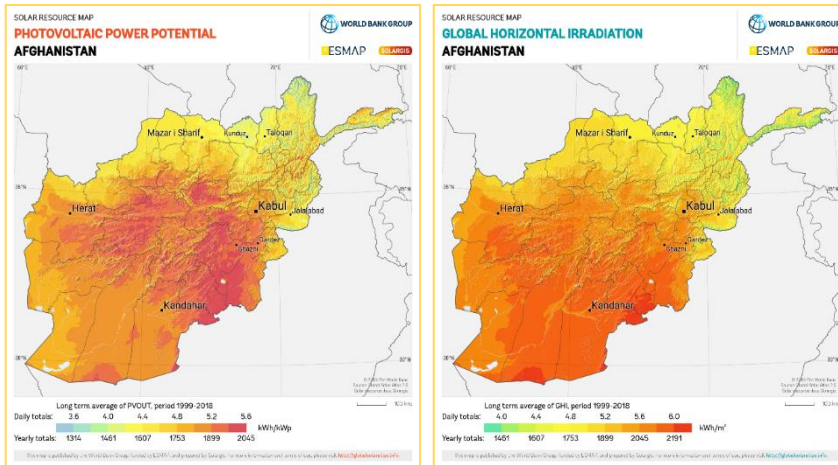
پتانسیل کل انرژی‌های تجدیدپذیر در افغانستان به صورت نظری بدون احتساب انرژی زمین‌گرمایی حدود ۶۶۰۰۰ گیگاوات است که پتانسیل امکان‌پذیر آن ۲۹۷ گیگاوات بیان شده. بخش عمده‌ی پتانسیل امکان‌پذیر انرژی‌های تجدیدپذیر در افغانستان را انرژی خورشیدی تشکیل می‌دهد. به عنوان یک مقایسه، کل پتانسیل امکان‌پذیر انرژی‌های تجدیدپذیر در این کشور تقریباً ۶۶ برابر کل تقاضای سال ۲۰۳۲ است؛ که اگر تنها ۲ درصد از کل پتانسیل امکان‌پذیر را بتوان استفاده کرد، کل نیاز انرژی الکتریکی کشور برآورده خواهد شد. همچنین با توجه به هزینه‌ی بالای گسترش شبکه‌های انتقال و توزیع و اینکه اکثر جمعیت کشور در مناطق روستایی با ۳۶ درصد زیر خط فقر مطلق زندگی می‌کنند، بهره‌برداری و توسعه‌ی منابع تجدیدپذیر که در سراسر کشور پراکنده هستند موجب رشد اقتصادی و اجتماعی و کاهش فقر و بیکاری با ایجاد مشاغل مختلف خواهد شد. علاوه بر این، به دلیل موقعیت استراتژیک افغانستان، فرصتی برای صادرات انرژی مازاد بر مصرف و گسترش تجارت با سایر کشورها ایجاد می‌شود. درنهایت، نفوذ بیشتر انرژی‌های تجدیدپذیر به معنای افزایش امنیت انرژی و کاهش وابستگی به برق وارداتی نامطمئن و ناپایدار از کشورهای همسایه است. (Ludin et al, 2017)

انرژی خورشیدی بخش عمده‌ای از انرژی‌های تجدیدپذیر در کشور را تشکیل می‌دهد. افغانستان با داشتن حدود ۳۰۰ روز آفتابی در سال و میانگین چگالی انرژی خورشیدی ۶/۵ کیلووات ساعت بر مترمربع در روز به صورت نظری، دارای پتانسیل انرژی خورشیدی قابل توجهی است که می‌توان با استفاده از فناوری‌های حرارتی خورشیدی و سیستم‌های فتولتائیک (PV) از آن بهره برد. (Ludin et al, 2017)

با توجه به نقشه‌ی موجود از کل انرژی تابشی خورشید در واحد سطح، کشور ما ظرفیت بسیاری در استفاده از سیستم‌های خورشیدی به خصوص سیستم‌های فتولتائیک را دارا می‌باشد. (شکل ۱) علاوه بر این به دلیل تاثیر زیاد شرایط اقلیمی و جغرافیایی محل احداث نیروگاه بر عملکرد و بازدهی نیروگاه فتولتائیک (Nasimi et al, 2021)، نمی‌توان از مناطقی که دمای میانگین بالایی دارند برای این موضوع استفاده برد. پنل‌های خورشیدی در تغییرات دمایی بسیار کم دچار تغییر دمای داخلی زیاد



می شوند که در نتیجه کاهش بازدهی کل نیروگاه را به دنبال دارد. به همین دلیل نقشه‌ی دیگری ظرفیت نصب سیستم‌های فتوولتائیک را در مناطق مختلف افغانستان نشان می‌دهد. (شکل ۲) (globalsolaratlas.info)



شکل ۲: ظرفیت نصب سیستم فتوولتائیک

شکل ۱: انرژی خورشیدی بر واحد سطح

میانگین سالانه‌ی دما در بلندمدت در افغانستان ۱۲ تا ۱۴ درجه‌ی سانتی‌گراد است. این ارقام در نواحی جنوبی و غربی به ۱۸، در شرق ۱۶ تا ۱۸ درجه، در شمال ۱۰ تا ۱۲ درجه و در استان‌های مرکزی به ۶ تا ۸ درجه‌ی سانتی‌گراد می‌رسد. (Tamim, 2021) به همین دلیل همانطور که در شکل (۲) مشاهده می‌شود، مناطق مرکزی کشور افغانستان از ظرفیت خوبی برای نصب سیستم‌های فتوولتائیک برخوردار هستند. در میان مناطق مرکزی استان کابل نیز دارای ظرفیت خوبی برای نصب سیستم‌های فتوولتائیک می‌باشد.

۴- مواد و روش

در این مطالعه، استفاده از بام یکی از ساختمان‌های یک دانشگاه در شهر کابل برای احداث نیروگاه فتوولتائیک بررسی و تحلیل شده است. به دلیل اینکه این مطالعه محدود به ارزیابی فنی این نیروگاه است، تنها از نرم‌افزار PVSyst برای طراحی و پیش‌بینی تولید نیروگاه استفاده شده است. اطلاعات مربوط به تابش، وزش باد و دیگر داده‌های موردنیاز از طریق بانک اطلاعاتی نرم‌افزار مذکور استخراج شده‌اند.



۱-۴- نگاه‌های به نرم‌افزار PVsyst

PVsyst پیشرفته‌ترین ابزاری است که برای مدل‌سازی، تجزیه و تحلیل سیستم‌های PV برای کاربردهای مختلف (متصل به شبکه، مستقل، پمپ آب) استفاده می‌شود. این ابزار به کاربر اجازه می‌دهد تا اکثر پارامترهای موردنیاز برای نیروگاه فتوولتائیک را بهینه کند؛ به علاوه کاربر را قادر می‌سازد تا از تاثیر سایه‌های اطراف سایت نیروگاه نیز استفاده کند. در این نرم‌افزار یک پایگاه داده‌ی عظیم با ابزار مربوط به اجزای سیستم PV که در حال حاضر در بازارها موجود است، تعبیه شده است. همچنین مهندسان برای شبیه‌سازی مصرف انرژی قادر به ورود اطلاعات پروفایل بار نیز هستند. (Kumar, 2017)

مهندسان در سراسر جهان از این نرم‌افزار استفاده می‌کنند زیرا نتایج سریعی را ارائه می‌دهد. این نرم‌افزار یک مطالعه دقیق و صریح بر روی پارامترهای متعدد انجام می‌دهد که بر کارایی یک سیستم فتوولتائیک بسیار تاثیر می‌گذارند. علاوه بر این، PVsyst قابلیت انجام تخمین‌های دوره‌ای و تولید گزارش را داراست و پیش‌بینی‌ها و برآوردهای نرم‌افزار PVsyst در مورد تولید سیستم فتوولتائیک به مقادیر واقعی بسیار نزدیک است. این نرم‌افزار همچنین دارای ویژگی‌های برجسته‌ی دیگری مانند کدگذاری رنگ‌ها برای نمایش پیام‌های خطا، هشدارها و غیره است. (Shrivastava et al, 2021)

شبیه‌سازی در PVsyst طبق مراحل زیر انجام می‌شود:

• تعریف پروژه:

سایت‌ها و فایل‌های متئو (METEO) در حال حاضر در پایگاه‌های داده‌ی PVsyst وجود دارند، اما می‌توان پروژه‌های خود را بسته به موقعیت سایت و فایل‌های متئو که قرار است استفاده شود، ایجاد کرد.

• ایجاد سیستم:

نسخه‌ی محاسباتی پروژه‌ی ایجاد شده در مرحله‌ی اول، توسط کاربر ایجاد می‌شود. جهت پنل خورشیدی، پیکربندی سیستم و پارامترهای تلفات باید توسط کاربر تعریف شود.

• اجرای شبیه‌سازی:

در این مرحله نمودارها و گزارش‌های مختلفی برای سیستم PV تولید می‌شود. کاربر می‌تواند نتایج را در برنامه تجزیه و تحلیل کرده آن‌ها را به برنامه‌ی دیگری صادر یا برای ارزیابی بیشتر ذخیره کند. (Kumar et al, 2020)

۲-۴- موقعیت مورد مطالعه

بررسی حاضر مربوط به یکی از ساختمان‌های دانشگاه خاتم‌النبیین (ص) واقع در شهر کابل می‌باشد. دانشگاه مذکور دارای ساختمان‌های متعدد در کاربردهای اداری و کلاس درس می‌باشد. مطالعه‌ی حاضر به ارزیابی فنی استفاده از بام یکی از ساختمان‌های دانشگاه به منظور نصب پنل‌های خورشیدی و تولید انرژی الکتریکی می‌پردازد. این ساختمان به لحاظ مختصات جغرافیایی در طول ۶۹/۱۵ درجه‌ی شرقی و عرض ۳۴/۵ درجه‌ی شمالی قرار دارد. نصب پنل‌های خورشیدی مساحت قابل ملاحظه‌ای را دربر می‌گیرد، بنابراین باید مساحت مورد نیاز را برای این کار در نظر داشت که به دلیل اینکه بام یکی از ساختمان‌های این دانشگاه به صورت شیروانی بوده و نمی‌توان از آن استفاده‌ی مفید دیگری داشت؛ از بام این ساختمان به عنوان محل قرارگیری پنل‌های خورشیدی استفاده شده و طراحی و برآورد نیروگاه PV براساس مساحت مفید بام ساختمان مذکور انجام گرفته است.

۳-۴- نحوه‌ی قرارگیری پنل‌های خورشیدی

زاویه‌ی شیب بهینه‌ای که بر اساس آن یک نیروگاه PV در شهر کابل می‌تواند حداکثر توان را در فصل‌های بهار و پاییز تولید کند، ۳۴/۵۴ درجه است. این زاویه برای فصل تابستان ۱۹/۵۴ درجه و برای فصل زمستان ۴۹/۵۴ درجه می‌باشد. توان تولید شده توسط یک پنل PV عمدتاً به زاویه‌ی شیب، شرایط آب‌وهوایی و جهت پنل PV بستگی دارد. جهت‌گیری نامناسب یک پنل PV در نهایت منجر به از دست دادن توان و بازگشت ضعیف سرمایه می‌شود. برای تولید حداکثر انرژی، پنل‌های خورشیدی باید در زاویه‌ی شیب بهینه قرار گیرند و تنظیم فصلی پنل‌ها منجر به افزایش قابل توجهی در توان حاصل از انرژی خورشیدی می‌شود. (Wahedy, 2021)

همانطور که بیان شد به دلیل سیاست استفاده از سطوح بلااستفاده برای تولید انرژی به جهت کاهش هزینه‌ها که در این مطالعه در نظر گرفته شده است، برای برآورد تولید



نیروگاه خورشیدی از ساختمانی که دارای سقف شیروانی است استفاده شده که شیب سقف حدود ۱۲ درجه می باشد. در این حالت می توان دوروش را برای شیب پنل های خورشیدی در نظر داشت:

۱. اولین و ساده ترین روش، استفاده از شیب خود شیروانی می باشد؛ که در این حالت پنل ها روی سقف خوابانده شده و به طور مستقیم به سقف متصل می شوند. در این روش هزینه های نصب کمتر از حالت معمول خواهد بود.
۲. روش دوم نیازمند هزینه، دقت و مهارت بیشتری در نصب می باشد. در این روش استراکچرهای معمولی که برای سطوح صاف استفاده می شوند به سطح بام جوش داده می شوند؛ سپس اپراتورهای نصب، شیب بهینه را ایجاد کرده و پنل ها را روی استراکچر قرار می دهند.

در این مطالعه برای کاهش هزینه های ناشی از احداث نیروگاه از روش اول جایگذاری پنل ها استفاده شده است. بنابراین در طراحی نیروگاه، شیب پنل ها نسبت به افق برابر با شیب ۱۲ درجه ای شیروانی در نظر گرفته شد.

ساختمان مذکور دارای زاویه ی حدود ۳۵ درجه ای نسبت به راستای جنوب می باشد. در این حالت به ناچار پنل های نصب شده نیز با زاویه ی ۳۵ درجه ای نسبت به جنوب ($Azimuth=35$) قرار خواهند گرفت. این انحراف از راستای جنوب تاثیر منفی قابل ملاحظه ای روی تولید نیروگاه نسبت به حالتی که پنل ها کاملاً به سمت جنوب باشند، خواهد داشت. (شکل ۳)



شکل ۳: راستای جنوب و راستای پنل ها

۴-۴- تجهیزات استفاده شده

یکی از مهم‌ترین پارامترهای طراحی نیروگاه خورشیدی مربوط به تجهیزات نیروگاه است که باید نسبت به وجود تجهیزات استفاده شده در طراحی‌ها در بازار کشور اطمینان حاصل کرد. تجهیزات استفاده شده در طراحی این نیروگاه از مدل‌های معمول می‌باشند که در اکثر کشورهای دنیا قابل خرید هستند. در این ارزیابی از اینورتر مدل Growatt 20000TL3-HE که تولید شرکت Growatt New Energy است استفاده شده که اطلاعات این اینورتر در جدول (۲) قابل مشاهده است. به علاوه مدل پنل استفاده شده در این نیروگاه LR4-72 HPH 455 M G2 از شرکت Longi Solar می‌باشد که اطلاعات مهم پنل موردنظر نیز در جدول (۳) نشان داده شده است.

جدول ۳: مشخصات الکتریکی پنل خورشیدی

مشخصه پنل	نماد مشخصه	واحد مشخصه	مقدار مشخصه
حداکثر توان خروجی	P_{max}	W	۴۵۵
ولتاژ در حداکثر توان	V_{mpp}	V	۴۱/۷
جریان در حداکثر توان	I_{mpp}	I	۱۰/۹۲
ولتاژ مدار باز	V_{oc}	V	۴۹/۵
جریان اتصال کوتاه	I_{sc}	I	۱۱/۶۶
بازدهی پنل	η	%	۲۰/۹۹

۴-۵- تقسیم‌بندی و جایگذاری پنل‌ها و اینورترها

به دلیل محدودیت‌های ولتاژ، جریان و دمای کاری پنل‌های خورشیدی، باید به لحاظ مداری و الکتریکی تعداد مشخصی از پنل‌ها را برای تامین ولتاژ موردنیاز اینورتر با یکدیگر سری و پنل‌های سری شده را برای تامین جریان موردنیاز اینورتر با یکدیگر موازی قرار داد. در این مطالعه تعداد ۱۳۶ پنل خورشیدی استفاده شده است؛ که دارای ۸ استرینگ بوده و هر استرینگ دارای ۱۷ پنل می‌باشد که به طور مجموع، توانایی تولید



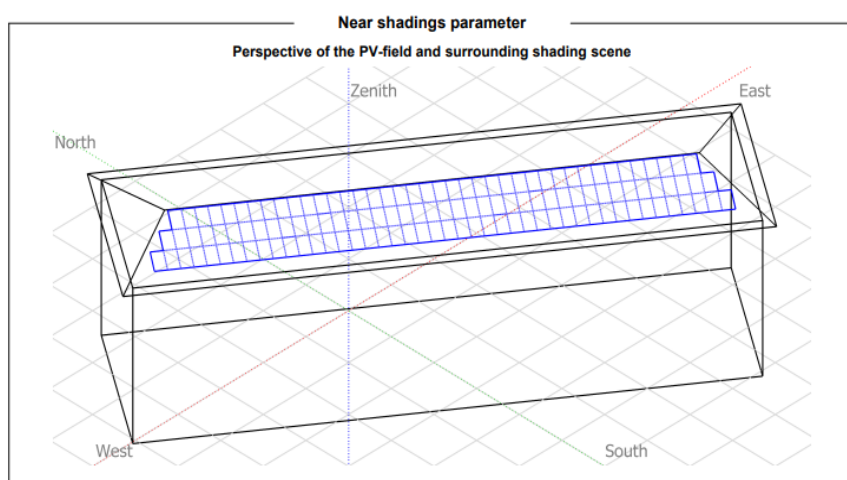
توانی معادل $61/9$ کیلووات را دارا می باشند. همچنین سه اینورتر با ظرفیت 20 کیلووات (به طور مجموع 60 کیلووات) برای تبدیل جریان برق DC تولید شده توسط پنل ها به جریان AC در نظر گرفته شده است. با توجه به این که مساحت هر پنل برابر با $2/174$ متر مربع است، بنابراین برای نصب پنل ها نیازمند مساحتی حدود 296 متر مربع می باشیم. با توجه به این که یکی از طرفین سقف شیروانی که به سمت جنوب می باشد دارای مساحتی حدود 330 متر مربع است بنابراین مساحت مورد نیاز نیروگاه در اختیار می باشد.

۵- شبیه سازی و نتایج

۵-۱- طراحی سه بعدی و سایه اندازی

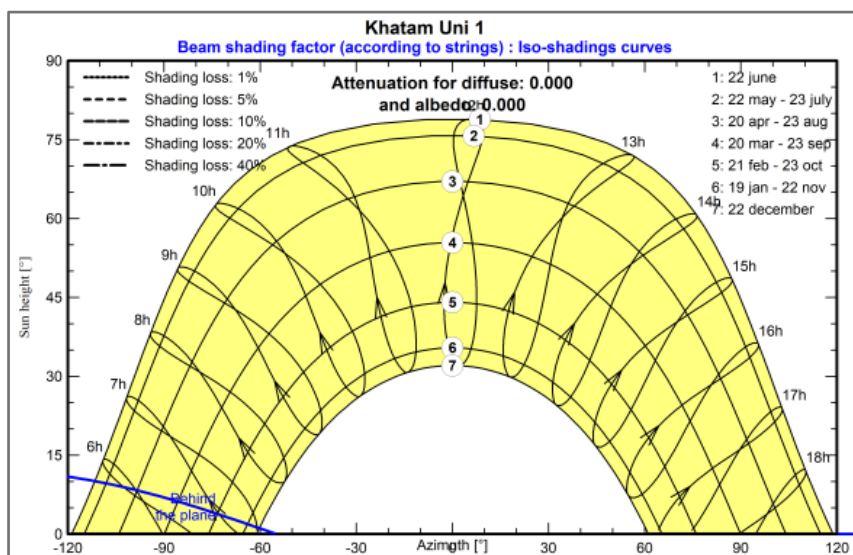
شکل (۴) نشان دهنده ی طرح سه بعدی از ساختمان مذکور و نحوه ی قرارگیری پنل ها روی سقف شیروانی می باشد. همچنین میزان انحراف پنل ها از راستای جنوب نیز در این شکل به خوبی نشان داده شده است.

جهت و نوع قرارگیری پنل ها بر روی ساختمان نیز به صورت سه بعدی طراحی شده و مقدار سایه اندازی روی پنل ها محاسبه شد که به دلیل عدم وجود مانع بلند نزدیک در سمت جنوبی ساختمان مذکور، شاهد هیچ گونه سایه اندازی دائمی روی پنل ها نمی باشیم. (شکل ۴)



شکل ۴: طراحی سه بعدی قرارگیری پنل ها و ساختمان مذکور

میانگین تابش خورشیدی شهر کابل در فصل زمستان که توسط آزمایشگاه ملی انرژی‌های تجدیدپذیر (NREL) برآورد شده است برای تجزیه و تحلیل توان خروجی روزانه نیروگاه PV استفاده می‌شود. بر اساس داده‌های تابش خورشیدی به دست آمده از سایت NREL، فصل زمستان بدترین تابش خورشیدی را به دلیل تغییر شرایط جو مانند پوشش ابرها و تفاوت در موقعیت خورشید دارد. (Ahmadi et al, 2018)



شکل ۵: مسیر حرکت خورشید در طول یک سال

شکل (۵)، مسیر حرکت خورشید در طول یک سال را برای شهر کابل نشان می‌دهد. همانطور که در شکل قابل مشاهده است، در فصل تابستان خورشید در ارتفاع بالاتری حرکت کرده و ساعات بیشتری را در آسمان قرار دارد اما در فصل زمستان مسیر حرکت خورشید بسیار کوتاه شده و ارتفاع آن نیز به صورت قابل توجهی کمتر می‌باشد. بنابراین با توجه به زاویه ۱۲ درجه‌ای پنل‌های خورشیدی نسبت به افق، باید انتظار داشت این نیروگاه در فصل تابستان که خورشید در ارتفاع بالاتری قرار دارد و نور آن به صورت مستقیم‌تر به سطح پنل‌ها می‌تابد، تولید توانی به مراتب بیشتر نسبت به فصل زمستان داشته باشد؛ زیرا که در فصل زمستان زاویه‌ی برخورد نور خورشید به سطح پنل‌ها کم بوده و سبب کاهش تولید توان می‌شود.



۲-۵- تولید نیروگاه

بر اساس جدول ارائه شده توسط نرم افزار، این نیروگاه توانایی تولید بیش از ۱۰۸ مگاوات ساعت انرژی الکتریکی را در یک سال دارا می باشد. مهم ترین اطلاعات موجود در این جدول میانگین دمای محیط (T_{Amb})، تولید خالص پنل ها (E_{Array})، تولید نهایی نیروگاه (E_{Grid}) و نسبت عملکرد نیروگاه (PR) به ترتیب برای ماه های مختلف و در انتها برای کل یک سال نشان داده شده است. (جدول ۴)

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR ratio
January	90.9	31.34	1.61	110.9	107.6	6.46	6.36	0.927
February	101.3	36.73	4.32	116.1	113.0	6.63	6.53	0.909
March	136.3	59.66	9.28	146.0	142.7	8.06	7.94	0.879
April	169.0	66.61	13.43	174.9	171.1	9.29	9.17	0.847
May	212.4	67.83	17.42	212.2	208.2	10.89	10.74	0.818
June	237.2	60.41	20.68	233.9	229.7	11.78	11.62	0.803
July	238.2	60.03	22.80	238.8	234.5	11.92	11.76	0.796
August	208.2	63.81	22.11	213.6	209.6	10.92	10.77	0.814
September	186.3	44.49	17.98	199.6	195.5	10.20	10.06	0.815
October	156.4	33.84	12.65	179.7	175.6	9.64	9.51	0.855
November	107.7	25.37	6.33	130.5	126.8	7.28	7.18	0.889
December	91.7	26.87	2.88	113.8	110.0	6.56	6.47	0.918
Year	1935.8	576.98	12.67	2070.0	2024.4	109.63	108.10	0.844

جدول ۴: تولید نیروگاه

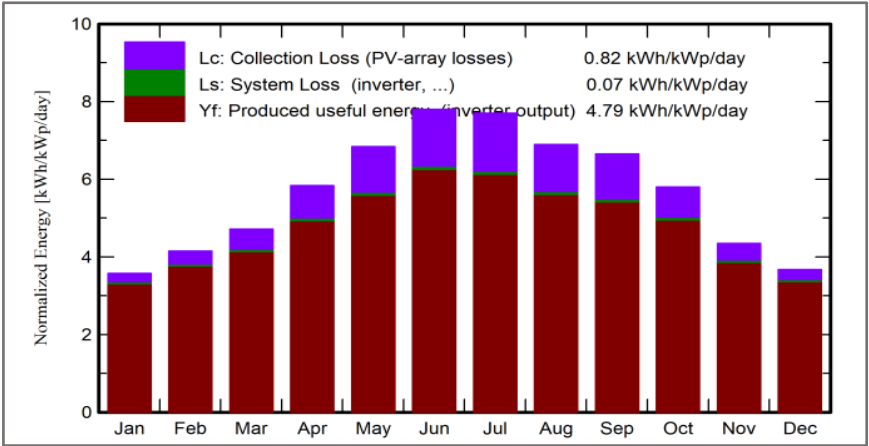
یکی از مهم ترین مباحث روز دنیا در زمینه سیستم های PV افزایش بازدهی نیروگاه از طریق کاهش تلفات با کاهش مقاومت های داخلی می باشد. طبق ستون های تولید خالص پنل ها و تولید نهایی نیروگاه می توان به وضوح میزان تلفات داخلی نیروگاه و اینورترها را مشاهده کرد.

همانطور که مشاهده می شود کمترین میزان تولید نیروگاه مربوط به ماه January با مقدار ۶/۳۶ مگاوات ساعت و بیشترین میزان تولید مربوط به ماه July با مقدار ۱۱/۷۶ مگاوات ساعت است. برخلاف میزان تولید نیروگاه، نسبت عملکرد نیروگاه در ماه January با مقدار ۰/۹۲۷ بیشترین و نسبت عملکرد در ماه July با مقدار ۰/۷۹۶ کمترین مقادیر هستند. با نگاهی به دمای میانگین ماه های مختلف، دلیل رابطه ی معکوس بین نسبت عملکرد و تولید نیروگاه نمایان می شود؛ دمای میانگین در ماه January به اندازه ی ۱/۶۱ درجه ی سانتیگراد اندازه گیری شده در حالی که بیشترین حد خود این مقدار برای ماه July یعنی ۲۲/۸ درجه ی سانتیگراد می باشد. با توجه به اطلاعات این بخش می توان با اطمینان بیان داشت که تولید و عملکرد نیروگاه های PV در یک شیب ثابت به دو عامل مهم ارتفاع خورشید و دمای محیط وابسته می باشد؛ به



طوری که این سیستم‌ها در دمای پایین‌تر عملکرد بهتر دارند و هر چه ارتفاع خورشید بیشتر باشد تولید بیشتری خواهند داشت. همچنین با توجه به تولید نیروگاه بیشتر نیروگاه در فصل تابستان نسبت به فصل زمستان می‌توان اظهار داشت که ارتفاع خورشید در نهایت تاثیر بسیار بیشتری نسبت به دمای محیط بر تولید این سیستم‌ها می‌گذارد. بنابراین در صورت استفاده از سیستم‌های خنک‌کننده برای پنل‌ها، تولید نیروگاه در فصل تابستان به مراتب بیشتر از حالت پیش‌بینی شده در ارزیابی حاضر خواهد بود.

در نمودار دیگری نیز تولید و تلفات نیروگاه در ماه‌های مختلف نشان داده شده است. طبق این نمودار نیز در ماه‌های سرد سال، تولید نیروگاه به مراتب کمتر از ماه‌های گرم می‌باشد؛ که مهم‌ترین دلیل آن همانطور که بیان شد ارتفاع کم خورشید و کم بودن زاویه‌ی برخورد نور خورشید با سطح پنل‌ها است. علاوه بر این در فصل تابستان با وجود تولید بیشتر توان، تلفات نیروگاه چند برابر بیشتر از فصل زمستان بیان شده است؛ دلیل این امر نیز دمای بالای محیط در فصل تابستان می‌باشد. مشاهده می‌شود که با کاهش دما در فصل زمستان تلفات پنل‌های خورشیدی نیز کاهش چشمگیری دارند، در نتیجه عملکرد نیروگاه در فصل سرد سال بهتر از فصل گرم می‌باشد اما در کل، میزان تولید نیروگاه در تابستان بیش از زمستان است. (نمودار ۵)



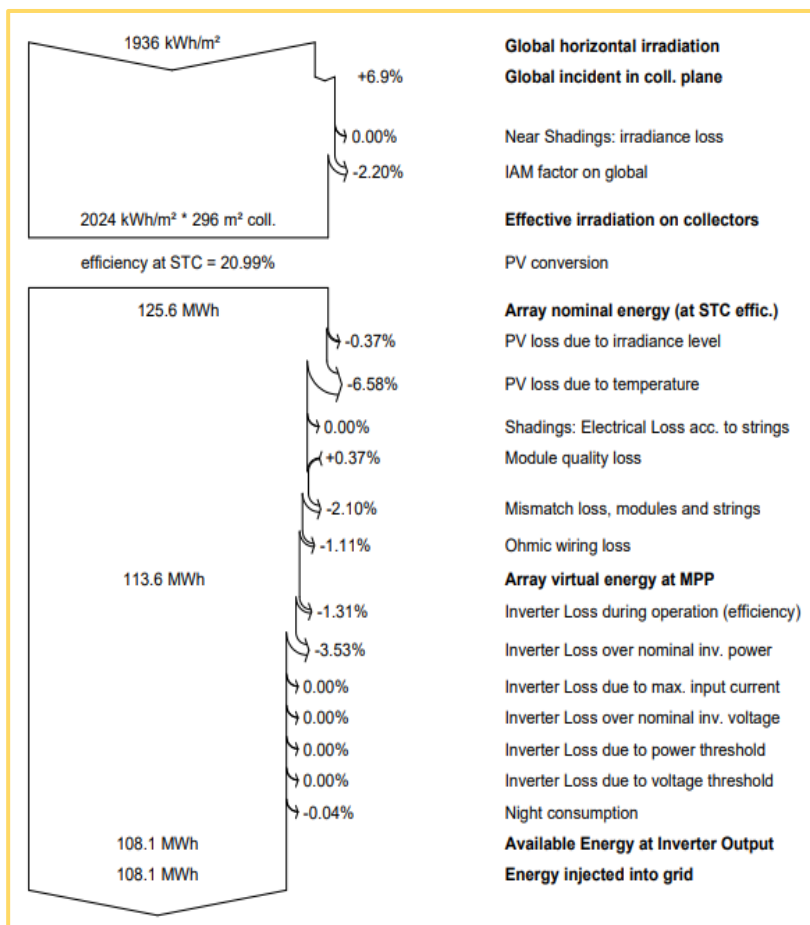
نمودار ۵: تولید نیروگاه در ماه‌های مختلف

۳-۵- تلفات نیروگاه

همه‌ی ادوات الکتریکی به نوعی مقاومت داخلی یا تلفات انتقال توان را در خود دارا می‌باشند، پنل‌های خورشیدی و نیروگاه PV نیز از این قاعده مستثنی نیستند. بنابراین وجود تلفات داخلی و جانبی در این نیروگاه امری عادی می‌باشد. نرم‌افزار PVsyst،

نمودار دیگری از نیروگاه در اختیار قرار می‌دهد که به عنوان نمودار تلفات شناخته می‌شود. در ابتدای این نمودار، تولید ابتدایی پنل‌های نصب شده وجود دارد که به تدریج با بیان انواع تلفات موجود در سیستم به تولید نهایی و خروجی نیروگاه منتهی می‌شود. (نمودار ۶) تولید اولیه‌ی نیروگاه با وجود شرایط استاندارد و تابش‌های مستقیم و غیرمستقیم به میزان ۱۲۵/۶ مگاوات‌ساعت برای یک سال بوده است که با اتلاف انرژی در بخش‌های مختلف در نهایت به ۱۰۸/۱ مگاوات‌ساعت در سال رسیده است. مهم‌ترین عامل اتلاف انرژی که بخش بزرگی را شامل می‌شود، ناشی از دمای پنل‌ها می‌باشد که باعث اتلاف ۶/۵۸ درصد از تولید نیروگاه شده است. بنابراین با استفاده از سیستم‌های خنک‌کننده می‌توان از اتلاف انرژی را به صورت قابل توجهی کاهش داد.

نمودار ۶: تلفات نیروگاه



۶- استفاده از سیستم PV برای تامین نیاز الکتریکی دانشگاه

با توجه به مصارف انرژی الکتریکی در دانشگاه خاتم النبیین (ص) می توان توانایی این نیروگاه را در تامین نیاز الکتریکی این دانشگاه بدون خرید برق از شبکه‌ی برق سراسری سنجش و بررسی کرد. نکته‌ی بسیار مهم در مورد تامین نیاز الکتریکی، الگوی مصرف انرژی الکتریکی مربوط به دانشگاه و توجه به الگوی تولید نیروگاه می باشد. اگر این نیروگاه در مجموع به تنهایی قادر به تامین نیاز سالانه‌ی دانشگاه باشد، چالش دیگری نیز مطرح است. یکی از مشکلات استفاده از انواع نیروگاه‌های خورشیدی وابستگی زیاد تولید توان به نور خورشید می باشد. این نیروگاه‌ها در ساعات طلوع و غروب خورشید تولید بسیار کمی داشته و در اوقات شب هیچ تولیدی ندارند؛ بنابراین اگر یک دانشگاه بخواهد برای روشنایی و کاربردهای دیگر در ساعات شب، طلوع و غروب خورشید از انرژی الکتریکی استفاده کند، بدون استفاده از سیستم‌های ذخیره‌کننده یا سیستم‌های تولید پشتیبان با خاموشی روبرو خواهد شد.

جدول تولید نیروگاه برای ساعات مختلف در ماه‌های متفاوت نیز نشان می‌دهد که این نیروگاه تنها در ساعات حضور خورشید در حال تولید توان است و در ساعات ابتدایی و انتهایی روز این مقدار بسیار کاهش می‌یابد که احتمال عدم توانایی تامین انرژی موردنیاز در این ساعات بالا است. (جدول ۵) بیشترین میزان تولید نیروگاه در ساعات ظهر می باشد که اغلب انرژی تولید شده بیش از حد نیاز دانشگاه در آن ساعات است. با استفاده از سیستم‌های ذخیره ساز می‌توان در ساعاتی از روز مانند ظهر که انرژی تولید شده بیش از نیاز است، مقدار تولید مازاد بر مصرف را برای ساعاتی که تولید نیروگاه کاهش می‌یابد یا برای تامین نیاز در شب در نگهداری و استفاده کرد.

	4H	5H	6H	7H	8H	9H	10H	11H	12H	13H	14H	15H	16H	17H	18H	19H
January	0	0	0	28	343	625	860	995	941	1005	833	574	161	0	0	0
February	0	0	0	88	356	627	818	950	949	945	819	632	349	0	0	0
March	0	0	23	255	593	892	1045	1015	1064	1004	910	674	410	60	0	0
April	0	2	112	425	753	979	1072	1108	1089	1079	999	825	524	201	0	0
May	0	38	238	586	923	1123	1242	1200	1223	1214	1109	938	615	288	5	0
June	0	46	246	617	962	1187	1298	1300	1325	1235	1167	1043	747	385	66	0
July	0	36	211	548	892	1142	1253	1306	1314	1330	1255	1129	829	439	78	0
August	0	6	134	478	840	1111	1260	1263	1264	1255	1173	990	679	313	4	0
September	0	0	76	431	805	1096	1219	1272	1268	1225	1112	901	558	110	0	0
October	0	0	33	361	756	1085	1236	1290	1302	1246	1111	778	336	0	0	0
November	0	0	1	192	516	830	992	1064	1076	1042	884	566	17	0	0	0
December	0	0	0	72	394	712	936	1010	1022	1014	800	504	4	0	0	0
Year	-3	125	1074	4080	8133	11381	13230	13776	13837	13595	12171	9554	5226	1796	151	-3

جدول ۵: تولید نیروگاه PV در ساعات مختلف روز برای ماه‌های مختلف



۷- نتیجه‌گیری

یکی از راه‌های تامین انرژی الکتریکی موسسات، دانشگاه‌ها و مکان‌هایی که دارای ساختمان‌های بزرگ هستند، استفاده از سیستم‌های PV می‌باشد. این سیستم‌ها را می‌توان بر روی بام ساختمان‌ها که اغلب بلااستفاده می‌باشند نصب و از انرژی الکتریکی تولید شده‌ی آن‌ها استفاده کرد. در این مطالعه به ارزیابی فنی استفاده از سقف شیروانی یکی از ساختمان‌های دانشگاه خاتم النبیین (ص) در شهر کابل، پایتخت افغانستان برای نصب یک نیروگاه PV پرداختیم. با توجه به سیاست کاهش هزینه‌ها، اتصال پنل‌های PV را به طور مستقیم به سقف شیروانی یکی از ساختمان‌های دانشگاه در نظر گرفتیم؛ بنابراین شیب پنل‌ها نسبت به افق همان شیب ۱۲ درجه‌ای شیروانی لحاظ شد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نیروگاه PV برای این دانشگاه از این قرار هستند:

- بیشترین حد تولید نیروگاه در فصل تابستان بوده که به مقدار ۱۱/۷۶ مگاوات ساعت رسید اما در فصل زمستان این عدد به طور قابل توجهی کاهش داشته و به مقدار ۶/۳۶ مگاوات ساعت رسید. دلیل این امر تفاوت ارتفاع خورشید در فصول مختلف سال می‌باشد؛ به طوری که در فصل تابستان به دلیل ارتفاع زیاد خورشید از سطح زمین، نور خورشید با زاویه‌ی نزدیک‌تری به عمود بر سطح پنل‌ها می‌تابد و سبب تولید توان بیشتر می‌شود.

- نسبت عملکرد کلی نیروگاه در فصل زمستان بیشترین حد خود یعنی ۰/۹۲۷ را داشت در حالی که در فصل تابستان به کمترین حد یعنی ۰/۷۹۶ رسید. این تفاوت نسبت عملکرد در فصول مختلف سال نشان‌دهنده‌ی تاثیر دمای محیط بر عملکرد نیروگاه می‌باشد.

- دو عامل مهم در تولید نیروگاه‌های PV، ارتفاع خورشید و دمای محیط می‌باشند اما ارتفاع خورشید به مراتب تاثیر بیشتری در تولید انرژی الکتریکی در این نیروگاه‌ها دارد.

- تولید خالص پنل‌های خورشیدی از انرژی نور خورشید ۱۲۵/۶ مگاوات ساعت در سال برآورد شد که با در نظر گرفتن اتلاف‌های داخل سیستم در نهایت، این نیروگاه می‌تواند حدود ۱۰۸ مگاوات ساعت در سال

تولید انرژی داشته باشد. مهم‌ترین اتلاف در داخل این سیستم‌ها نیز اتلاف دمایی عنوان شده است.

- می‌توان بدون خرید برق از شبکه‌ی برق سراسری از این نیروگاه برای تامین همه یا بخشی از نیاز الکتریکی دانشگاه استفاده کرد؛ اما باید یک سیستم برای ذخیره‌ی انرژی در ساعاتی که تولید توان بیش از حد نیاز است در کنار این نیروگاه طراحی شود تا هنگامی که نیروگاه دچار کاهش یا عدم تولید انرژی می‌شود بتوان از انرژی ذخیره شده برای تامین نیاز الکتریکی استفاده نمود.



Ahmadi, M., Lotfy, M. E., Shigenobu, R., Yona, A., & Senjyu, T. (2018). Optimal sizing and placement of rooftop solar photovoltaic at Kabul city real distribution network. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 12(2), 303-309.

Globalsolaratlas.info/download/afghanistan

Holechek, J. L., Geli, H. M., Sawalhah, M. N., & Valdez, R. (2022). A global assessment: can renewable energy replace fossil fuels by 2050? *Sustainability*, 14(8), 4792.

IRENA (2022), Renewable Energy Statistics 2022, The International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi

Jahangiri, M., Haghani, A., Mostafaeipour, A., Khosravi, A., & Raeisi, H. A. (2019). Assessment of solar-wind power plants in Afghanistan: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 99, 169-190.

Kumar, N. M. (2017, August). Simulation tools for technical sizing and analysis of solar PV systems. In *Proceedings of the 6th World Conference on Applied Sciences, Engineering and Technology (WCSET-2017)* (Vol. 201, pp. 218-222).

Kumar, R., Rajoria, C. S., Sharma, A., & Suhag, S. (2021). Design and simulation of standalone solar PV system using PVsyst Software: A case study. *Materials Today: Proceedings*, 46, 5322-5328.

Ludin, G. A., Amin, M. A., Aminzay, A., & Senjyu, T. (2016). Theoretical potential and utilization of renewable energy in Afghanistan. *Aims Energy*, 5(1), 1-19.

Mohammadi, S. A. D., & Gezezin, C. (2022). Design and Simulation of Grid-Connected Solar PV System Using PVSYST, PVGIS and HOMER Software. *International Journal of Pioneering Technology and Engineering*, 1(01), 36-41

Momand, R., & Mohan, A. (2020). Potential of Solar Energy in Afghanistan. *J. Crit. Rev*, 7, 2644-2652.

Nasimi, M., & Chander, N. (2021). Design and Economic Analysis a 3MW Grid-tied PV System Power Plant for Al-beroni University.



- Shrivastava, A., Sharma, R., Saxena, M. K., Shanmugasundaram, V., & Rinawa, M. L. (2021). Solar energy capacity assessment and performance evaluation of a standalone PV system using PVSYST. *Materials Today: Proceedings*.
- Tamim, A. (2021). Assessment of solar energy potential and development in Afghanistan. In *Proc. E3S Web Conf.* (Vol. 239, p. 00012).
- Wahedy, M., & Karim, A. Q. OPTIMIZING THE TILT ANGLE FOR SOLAR PHOTOVOLTAIC PANEL IN KABUL, AFGHANISTAN.



طراحی و پیاده‌سازی دستگاه ثبت سیگنال الکترواکولوگرافی (EOG) برای بهبود رفتار چشمی کودکان اوتیسم

محمد ابوالفضل افزالی*

چکیده

باتوجه به مشکلات بیماران مبتلا به اوتیسم و کودکان دارای تداخل بینایی، برای تشخیص به موقع و کمک به درمان و بهبود بینایی این افراد استفاده از ابزارهای مختلفی برای کمک به پزشکان و همچنین بیماران مبتلا به این بیماری توسط محققان پیشنهاد شده و در حال توسعه است. در این مقاله سعی بر این شده تا یک رویکرد مقرون به صرفه و قابل اعتماد نسبت به سایر روش‌های موجود، پیشنهاد شده و نتایج آن مورد بحث قرار داده شود.

الکترواکولوگرام یک سیگنال فیزیولوژیکی است که می‌تواند از گودی چشم در طول کره چشم ثبت شود. حرکات الکترواکولوگرام، یک سیگنال زیست پزشکی داوطلبانه است که می‌تواند در کاربردهای رابط انسان-ماشین (HMI) به صورت مستقیم، کنترل ماشین را انجام دهد. در این پروژه، ما یک واحد جمع‌آوری و بهینه طراحی کرده‌ایم که سیگنال فیلتر بهبود یافته را در خروجی نشان می‌دهد؛ که برای نشان دادن الکترواکولوگرام و بهره‌گیری از آن استفاده می‌شود. به نظر می‌رسد که سیستم طراحی شده عملکرد قابل اطمینان از نظر به دست آوردن سیگنال الکترواکولوگرام، بهینه‌سازی آن و کاربردهای مورد نظر را دارا باشد.

۱. کارشناسی ارشد مهندسی برق- مدارهای مجتمع الکترونیک، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران.
ایمیل: ma.afzali2014@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۲۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۰۸

واژگان کلیدی: الکتروکولوگرافی (Electrooculography)، اوتیسم (Autism)، حرکات چشم، تهویه سیگنال، رابط انسان-ماشین (HMI).

۱- مقدمه

افراد اوتیسم در پردازش و پاسخ به اطلاعات، ارتباط و تعامل اجتماعی مشکل دارند. مشکلات بینایی در کودکان مبتلا به اوتیسم شایع است، اما متأسفانه این موارد اغلب تشخیص داده نمی‌شوند. در پژوهشی که در سال ۲۰۱۸ انجام شد، مشخص شد که از هر ۵۹ کودک، ۱ کودک مبتلا به اختلال طیف اوتیسم^۱ است. به منظور کمک به این افراد برای بهبود روابط، سیستم‌های مختلفی در حال توسعه یا انجام است. چنین سیستم‌هایی باید دارای رابط قابل اعتماد بین فرد مبتلا و دستگاه کمکی باشند. امروزه یک رویکرد آسان‌تر و قابل اعتماد ارائه می‌شود که از این واقعیت استفاده می‌کند که حتی کودکان مبتلا به اوتیسم هم می‌توانند از آن استفاده کنند. کودکان مبتلا به اوتیسم برای آزمایش سلامت چشم‌ها و همچنین قدرت بینایی‌شان نیاز به معاینه منظم چشم دارند. تنها غربالگری استاندارد بینایی ۲۰/۲۰ برای آن‌ها کافی نیست. چشم‌پزشکان باید چشم‌ها را از جنبه‌های مهم دیگر سیستم بینایی مانند حرکات چشم، ردیابی چشم، پردازش بینایی، قضاوت فضایی و بینایی مرکزی-محیطی مورد بررسی قرار دهند. رفتارهای متداول اوتیستیک^۲ ممکن است با مشکلات بینایی ارتباطی نداشته باشند، اما بسیاری از آن‌ها در واقع به خاطر کاهش بینایی یا مهارت‌های بینایی ظاهر می‌شوند.

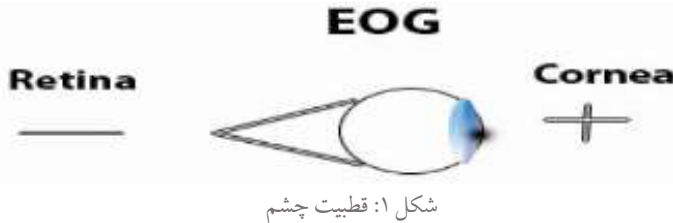
افراد مبتلا به اوتیسم ممکن است در هماهنگی بینایی و محیطی خود دچار مشکل شوند. به عنوان مثال، وقتی از آن‌ها خواسته می‌شود یک جسم را با چشم دنبال کنند، معمولاً مستقیماً به آن جسم نگاه نمی‌کنند و در عوض کنار آن جسم را اسکن کرده و یا به آن‌جا نگاه می‌کنند. اختلالات حرکتی چشم، چشم‌زبری و حساسیت به نور در این افراد شایع است. بنابراین، در مقاله حاضر در مورد رابط انسان-ماشین مبتنی بر الکتروکولوگرافی که برای افراد دارای اختلالات بینایی طراحی شده است، بحث کرده‌ایم.

¹ Autism spectrum disorder

² autistic

۲- الکترواکولوگرام (EOG)

روش‌های مختلفی برای ردیابی چشم مانند ویدیوی چشمی با انعکاس مردمک و قرنيه، ویدیوی چشمی فقط با مردمک و چشم‌پزشکی الکتروپتانسیل استفاده می‌شود (Young, 1975, Hansen, 2002, Gips, 1996). چشم انسان دارای پتانسیل الکتریکی است و به‌عنوان یک دوقطبی عمل می‌کند که در آن قطب قدامی (قرنيه) مثبت و قطب خلفی (شبکیه چشم) منفی است. بزرگی این پتانسیل قرنيه-شبکیه (CRP) در محدوده ۰/۴ تا ۱/۰ میلی‌ولت است. این تفاوت در پتانسیل را می‌توان با فعالیت‌های متابولیک^۲ در چشم توضیح داد. سیگنال الکترواکولوگرام از پتانسیل قطبی شدن، که به‌عنوان پتانسیل قرنيه-شبکیه نیز شناخته می‌شود، مشتق شده است که در کره چشم توسط اپیتلیوم^۳ شبکیه متابولیک فعال ایجاد می‌شود. پتانسیل قرنيه-شبکیه با استفاده از بیش قطبی شدن و قطبی شدن سلول‌های عصبی در شبکیه تولید می‌شود (Venkataramanan, 2005). الکترواکولوگرافی، تکنیکی برای اندازه‌گیری این پتانسیل است که سیگنال به دست آمده "الکترواکولوگرام" نامیده می‌شود (Malmivuo, 1995).



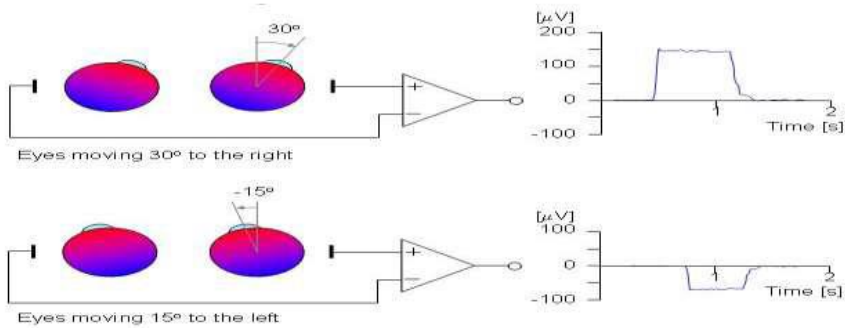
با توجه به مقادیر اندازه‌گیری شده، دامنه سیگنال الکترواکولوگرام در محدوده میکروولت (۱۵-۲۰۰ میکروولت) شناخته شده است و بیشتر اطلاعات از فرکانس DC تا محدوده فرکانس ۳۸ هرتز با جزء غالب در محدوده ۰ تا ۲۰ هرتز می‌باشد (Lv, 2009, Bukhari, 2010, Bukhari, 2010). الکتروادهای مخصوص الکترواکولوگرام در گوشه (طناب جانبی) هر دو چشم قرار می‌گیرند. وقتی چشم‌ها به سمت چپ نگاه می‌کنند، انتهای مثبت دوقطبی (چشم) الکتروود در کانتوس چپ و انتهای منفی آن در سمت راست کانتوس به چشم نزدیک می‌شود. برای چشم‌هایی که به سمت راست نگاه

¹ Corneal retinal potential

² Metabolic

³ Epithelium

می‌کنند برعکس مشاهده می‌شود. در حالت ایده‌آل، تفاوت پتانسیل باید متناسب با سینوس زاویه‌ای باشد که چشم نسبت به محور مرکزی ایجاد می‌کند.



شکل ۲: سیگنال الکترواکولوگرام بر اساس حرکت کره چشم

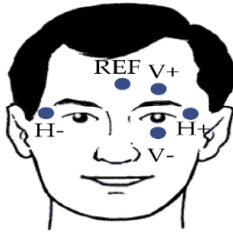
۳- الکترودهای نقره/کلرید نقره (Ag/AgCl)

این‌ها الکترودهای بالقوه زیستی تخصصی هستند که عمدتاً برای دستیابی به سیگنال زیستی استفاده می‌شوند. سیگنالی که از چشم دریافت می‌شود کم است و از طریق الکترودهای امپدانس کم به دست می‌آید که تضعیف سیگنال را به حداقل می‌رساند. الکترودهای نقره/کلرید نقره الکتروکاردیوگراف^۱ (ECG) سطحی غیرتهاجمی برای دریافت سیگنال‌های الکترواکولوگرام هستند که در این پروژه استفاده شده است. این الکترودها به پوست بیماران وصل شده و به راحتی جدا می‌شود. سیگنال از طناب جانبی چشم توسط الکترودها به ولتاژ تبدیل می‌شود. در این پروژه فقط یک جفت الکتروود سطح الکتروکاردیوگراف روی طناب جانبی چشم‌ها استفاده شده است. سیستم توسعه یافته، یک خروجی تک‌کاناله را برای حرکات جانبی چشم تشخیص می‌دهد. در این صورت با قرار دادن یک جفت الکتروود در بالا و پایین چشم کاربر، حرکت عمودی و پلک زدن چشم را می‌توان تشخیص داد.

محل قرارگیری الکتروود مرجع در این پروژه، وسط پیشانی کاربر است. انتخاب این محل به منظور افزایش دامنه سیگنال ثبت شده و در نتیجه افزایش نسبت سیگنال به نویز صورت گرفته است. از سوی دیگر با انتخاب این محل به عنوان مرجع، امکان تأثیر بیش از پیش تداخل چروکیدن پیشانی و یا سایر حرکات صورت مانند حرف زدن، تکان دادن فک و ... در سیگنال وجود خواهد داشت.

^۱ Electrocardiograph





شکل ۴: قرار دادن الکترودها



شکل ۳: الکترودهای Ag/AgCl

۴- نمونه‌هایی از پژوهش‌های انجام شده الکترواکولوگرافی

ساتیش کومار^۱ و همکاران، (Kumar, 2015) یک سیستم الکترواکولوگرافی ارزان قیمت پیشنهاد کرده‌اند که می‌تواند به‌طور موثر در سیستم‌های رابط ما شین-انسان به کار برود. سیستم پیشنهادی شامل یک مدار تقویت‌کننده الکتروانسفالوگرافی^۲ الکترواکولوگرافی مبتنی بر آپ‌امپ و میکروکنترلر ATmega32 برای تبدیل آنالوگ به دیجیتال و انتقال داده‌های به دست آمده به کامپیوتر است. در این سیستم پنج الکتروود وجود دارد که برای تشخیص پلک زدن و حرکات افقی و عمودی چشم استفاده می‌شود. در این سیستم، ابتدا سیگنال‌ها با استفاده از سطح الکتروانسفالوگرافی ضبط می‌شوند. الکتروودها تقویت، فیلتر و سپس به شکل دیجیتال قبل از ذخیره شدن در رایانه تبدیل می‌شوند. سیگنال الکترواکولوگرام به دست آمده متفاوت است. بسته به فعالیت‌های مرتبط با چشم، سیستم‌های مختلفی می‌توانند برای انجام وظایف مختلف به صورت واقعی توسعه داده شوند که درجه‌ای از استقلال را برای کاربر فراهم می‌کند.

کوسیک سراتی سریدهاران^۳، (Sridharan, 2012) در پایان‌نامه خود یک سیستم قابل حمل برای دستیابی، تجزیه و تحلیل سیگنال‌های الکتروچشمی ایجاد کرده است. در حال حاضر این سیستم شامل دو زیرسیستم است. یک سیستم سخت‌افزاری متشکل از فیلترها، تقویت‌کننده‌ها، داده‌های کارت اکتساب و انزوا و زیرسیستم نرم‌افزاری که شامل برنامه‌هایی برای به دست آوردن، تجزیه و تحلیل سیگنال و ارائه نتایج به ناظر است. در این سیستم یک پارادایم فقط پلک زدن معمولی را ثبت می‌کند در حالی که دیگری چشمک می‌زند که نتایج تفاوت در میزان تشخیص و خطا را نشان می‌دهد.

¹ Satish Kumar

² Electroencephalography

³ S. Sivaram Kaushik

مشاهدات حاصل از آزمایشات عملکرد در سطوح مختلف، رضایت بخش بود و نتایج، مفید بودن سیستم را برای تشخیص وضعیت خواب و خواب آلودگی اثبات کرد.

ویجسوما^۱، (Wijesoma, 2005) در مقاله خود یک سیستم کامل ارائه داد که می تواند توسط افرادی با محدودیت های بسیار کم استفاده شود. این سیستم قابلیت تحرک محیطی یا توانایی هماهنگی حرکتی چشم را دارا می باشد. در این سیستم، سیگنال های الکترواکولوگرام که از چشم ایجاد می شود، جابجایی در مدار چشم برای تفسیر اطلاعات و در نتیجه ایجاد کنترل مناسب پردازش می شود و به دستگاه کمکی سیگنال می دهد. اثربخشی روش پیشنهادی و الگوریتم ها با استفاده از موبایل نشان داده شده است.

علی مرجانی نژاد^۲، سبلان دانشور^۳، (Marjaninejad, 2014) در مطالعه خود با استفاده از تکنیک های پردازش سیگنال، تقویت کننده های زیستی و سرو موتورهای میکروکنترلر، یک سیستم حمل و نقل با صندلی چرخ دار ارزان قیمت بر اساس الکترواکولوگرافی برای افراد دارای معلولیت شدید ارائه می کنند. تمام پردازش سیگنال دیجیتال و اجرای دستورات با استفاده از میکروکنترلر انجام شده است که هزینه کل این پروژه به شدت کاهش می یابد. سرو موتور با جهت افقی سیگنال الکترواکولوگرام چشم که توسط پردازش کننده ها محاسبه می شود، کنترل شده است. سرعت ویلچر نیز با همان سیگنال الکترواکولوگرام تنظیم شده است. آزمایشات انجام شده نشان داد که ۹۸/۵ درصد از افراد می توانند در اولین تجربه ای که مویید این امر بودند، موانع ساده ای را به مقصد برسانند.

۵- نرم افزارهای مرتبط

در این پروژه برای طراحی و شبیه سازی های اولیه از نرم افزار پروتئوس^۴ استفاده شده است. پروتئوس، نرم افزاری برای شبیه سازی ریزپردازنده ها، ایجاد شماتیک و طراحی برد مدار چاپی است. این نرم افزار از دو بخش اصلی شماتیک و برد مدار چاپی تشکیل شده است. طراحی شماتیک و شبیه سازی مدارهای آنالوگ، منطقی و ریزکنترل کننده ها را عهده دار بوده و قابلیت برنامه دهی و برنامه نویسی را نیز دارا است.

¹ Wijesoma

² Ali Marjaninejad

³ Sebelan Danishvar

⁴ Proteus



کتابخانه شماتیک، طیف وسیعی از ریزکنترل‌کننده‌ها را شامل بوده و محبوبیت اصلی پروتوس به علت قابلیت اطمینان و دقت شماتیک است، که امکان طراحی برد مدار چاپی از طریق ورود یا بدون ورود شماتیک از محیط را به کاربر می‌دهد. این برنامه نسبت به نرم‌افزار آلتیوم دیزاینر^۱ کتابخانه و قابلیت‌های کمتری دارد که ضعف اصلی این نرم‌افزار نسبت به رقبا است. این نرم‌افزار از نظر قدرت، آسانی و انعطاف‌پذیری نسبت به نرم‌افزارهای دیگر، بسیار مورد توجه قرار گرفته است.

کدویژن^۲ نرم‌افزار دیگری است که مورد استفاده واقع شده است. نرم‌افزار کدویژن یک کامپایلر زبان برنامه‌نویسی C است که برای پروگرام کردن میکروکنترلرهای AVR مورد استفاده قرار می‌گیرد. این برنامه، محیط برنامه‌نویسی و کامپایل کردن برنامه نوشته شده برای برنامه‌ریزی میکروکنترلر را فراهم می‌کند. لینک شدن این دو نرم‌افزار به راحتی صورت می‌گیرد و دلیل استفاده از این دو برنامه می‌باشد.

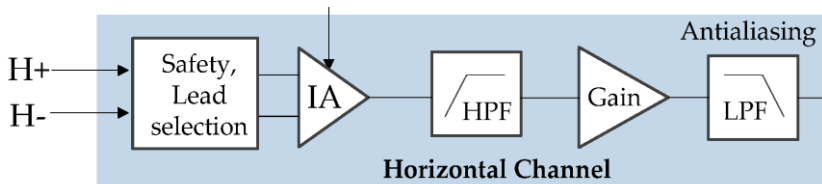
۶- طراحی سخت‌افزار

سیگنال الکترواکولوگرام که توسط الکترودهای سطحی انتخاب می‌شود در محدوده میکروولت قرار دارد و همچنین توسط سیگنال‌های مختلف مانند جریان زیاد، سرو صدا، اتصال سرو صدای بالقوه بین پوست و الکترودها آلوده است. به منظور استخراج ویژگی‌های ضروری از سیگنال الکترواکولوگرام، تنظیم مناسب سیگنال مورد نیاز است. الکترواکولوگرافی و سیستم تهویه سیگنال دو هدف اصلی دارد:

(۱) تقویت سیگنال به سطح لازم

(۲) فیلتر سیگنال برای حذف نویز

شکل (۵)، اجزای طراحی شده برای دستیابی به این هدف را نشان می‌دهد.



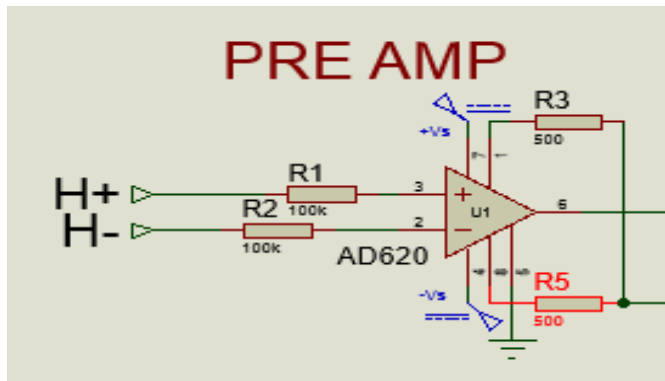
شکل ۵: نمودار بلوک سیستم جذب و تهویه مدار EOG

¹ Altium designer

² Code Vision

۱-۶- پیش تقویت کننده

یک مرحله مهم از همه تقویت کننده‌های زیستی بالقوه، پیش تقویت کننده ورودی است که به طور موثر به کیفیت کلی دستگاه کمک می‌کند. وظایف اصلی پیش تقویت کننده محاسبه ولتاژ بین دو الکترود است. برای عملکرد درست این تجهیز مهم است که امپدانس ورودی تا حد ممکن بالا باشد. چنین تقویت کننده دیفرانسیلی را نمی‌توان با استفاده از یک استاندارد تحقق بخشید، زیرا طراحی تقویت کننده عملیاتی، امپدانس ورودی بالای لازم را ارائه نمی‌دهد. بنابراین، تقویت کننده‌های ابزار دقیق برای برآوردن الزامات مورد نظر استفاده می‌شود. به منظور نمونه برداری و ثبت سیگنال‌های الکترواکولوگرام از تقویت کننده AD620 استفاده شده است. نویز کم، بهره قابل تنظیم، مصرف توان بسیار کم با توجه به حساسیت سیگنال‌های حیاتی از ویژگی‌های این تقویت کننده می‌باشد.



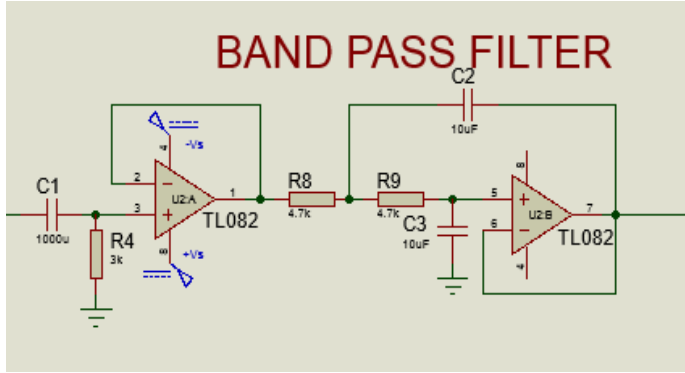
شکل ۶: مدار پیش تقویت کننده

۶-۲- فیلتر میان‌گذر

خروجی به دست آمده از پیش تقویت کننده باید از طریق یک فیلتر عبور باند، عبور کند تا فرکانس بالا و پایین ناخواسته از سیگنال الکترواکولوگرام مورد نظر را حذف کند. فیلتر باند عبور مورد استفاده، ترکیبی از یک فیلتر پایین‌گذر (فرکانس قطع ۴/۵ هرتز) و یک فیلتر بالاگذر (فرکانس قطع ۰/۵ هرتز) است. فیلتر باند عبور که در اینجا استفاده می‌شود یک فیلتر باند فعال است و فیلتر بالاگذر هرگونه آفست DC را حذف می‌کند.

$$f_c = \frac{1}{2\pi \times R \times C}$$



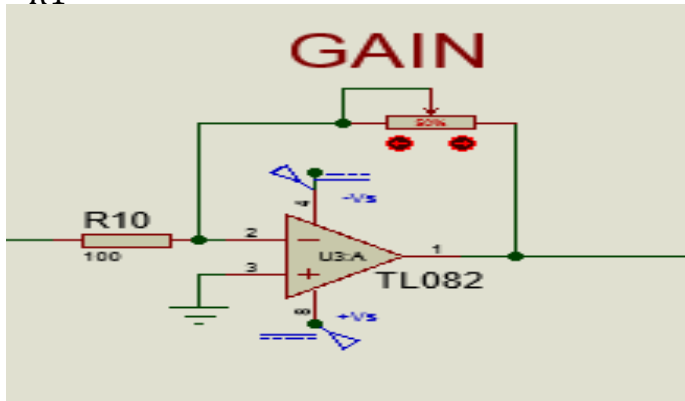


شکل ۷: فیلتر باند

۳-۶- تقویت کننده متغیر

پس از فیلتر عبور باند، سیگنال حاصل را با بهره لازم تقویت می کنیم. تقویت کننده معکوس برای دستیابی به این تقویت ضریب ثابت، از پیکربندی در یک آمپ آمپ استفاده شده است.

$$Gain = \frac{R2}{R1}$$

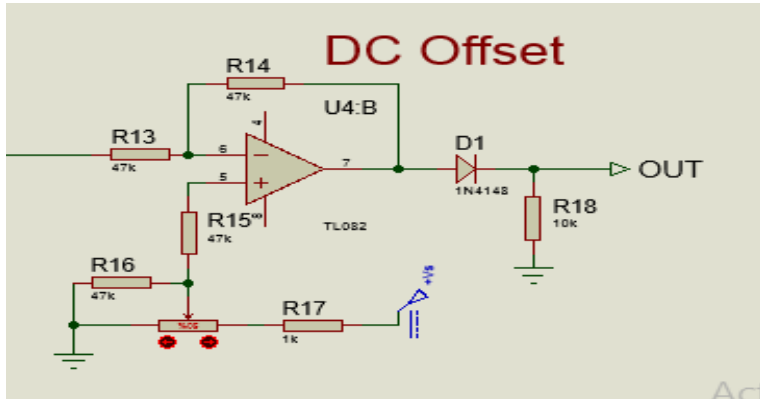


شکل ۸: تقویت کننده افزایش متغیر

۶-۴- تغییر سطح DC

سیگنال الکترواکولوگرام که پس از مراحل تنظیم سیگنال فوق به دست می آید، ماهیت دوقطبی دارد. به این معنی که سیگنال دارای قله های مثبت و منفی (مربوط به حرکات کره چشم) است. با این حال، برای استفاده بیشتر از سیگنال در میکروکنترلر، ما

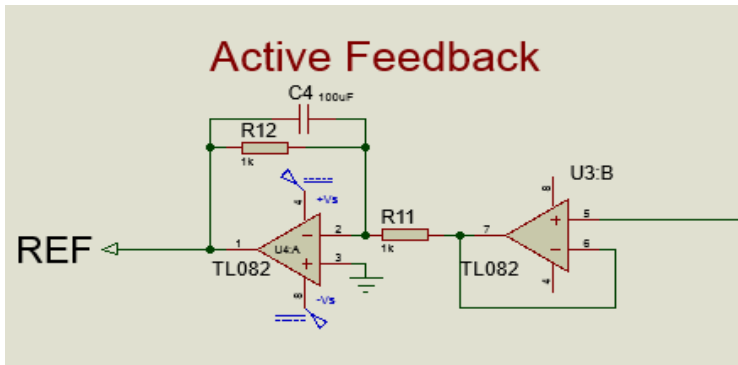
باید تغییر سطح را انجام دهیم. سیگنال به گونه‌ای است که هیچ قله منفی در آن وجود ندارد. به همین دلیل از یک تعویض‌کننده سطح DC استفاده شده و به دنبال آن دستگاه برش ولتاژ منفی (با استفاده از دیود) به کار گرفته شده است، که اطمینان می‌دهد سیگنال EOG دارای هر دو قله بالاتر از ۰ ولت مرجع است.



شکل ۹- تغییر سطح DC

۵-۶- مدار فیدبک و مرجع

برای دریافت و تشخیص بهتر سیگنال الکترواکولوگرام از یک الکتروود مرجع استفاده می‌شود. مکان مناسب برای قرارگیری این الکتروود وسط پیشانی و یا پشت گوش می‌باشد که از پتانسیل چشم دور هستند و همانند زمین برای مدار عمل می‌کند.



شکل ۱۰: مدار مرجع

مدار کلی تهویه الکترواکولوگرام برای دریافت پاسخ فرکانسی مطلوب همانطور که در شکل (۱۰) نشان داده شده است، طراحی و شبیه‌سازی شده است.

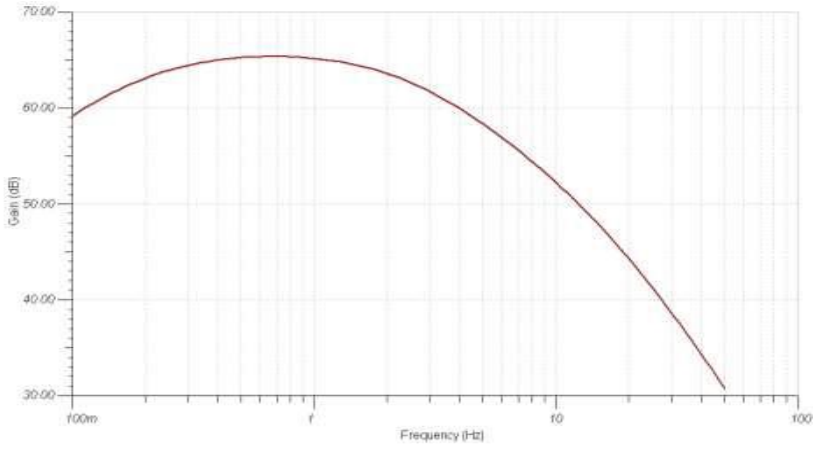


۷- نمایش الکترواکولوگرام و تشخیص حرکت چشم

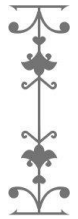
در این پروژه، برای نمایش سیگنال از LCD گرافیکی 128×64 استفاده کرده‌ایم. برای راه‌اندازی این LCD از میکروکنترلر ATmega32 و برای نمایش بهتر سیگنال از تک سویچ‌هایی برای تغییرات زمان، حرکت سیگنال در جهت عمودی محور و ثابت نگه‌داشتن استفاده کردیم. همچنین از یک زنگ متصل به میکرو استفاده شده است که برای راحتی کار با دستگاه و تشخیص جهت حرکت چشم وجود دارد. روش تشخیص کنترلر جهت حرکت چشم به این صورت است که ورودی متصل به پورت ADC0 را به اندازه $2/5$ ولت شیفت DC می‌دهیم. هرگاه چشم در حالت وسط قرار داشته باشد یعنی ورودی پورت ADC صفر است پس مقدار $ADC=512$ است.

۸- نتیجه‌گیری

پاسخ فرکانسی مدار تهویه الکترواکولوگرام طراحی شده به وضوح نشان می‌دهد که یک افزایش قابل توجه برای سیگنال در محدوده فرکانس مورد نظر ($0/5$ تا 4 هرتز) در حالی که سایر اجزای فرکانس بالا و پایین را تضعیف می‌کند، وجود دارد. سیگنال الکترواکولوگرام با استفاده از مدار تهویه طراحی شده از چشم بیشتر برای ایجاد کنترل به دست آمده است که به اندازه کافی خوب است. همچنین برای نشان دادن سیگنال حرکت کره چشم از یک LCD گرافیکی استفاده شد. هدف از این پروژه، استفاده از یک سیگنال زیست‌پزشکی برای تشخیص اختلالات بینایی در کودکان مبتلا به اوتیسم و بهبود عملکرد بینایی آن‌ها می‌باشد.



شکل ۱۱: پاسخ فرکانسی مدار تهویه EOG



- Bukhari, W. M., Daud, W., Sudirman, R., & Al Haddad, A. (2010, September). Wavelet frequency energy distribution of electrooculogram potential towards vertical and horizontal movement. In *2010 Second International Conference on Computational Intelligence, Modelling and Simulation* (pp. 326-329). IEEE.
- Bukhari, W. M., Daud, W., & Sudirman, R. (2010, October). A wavelet approach on energy distribution of eye movement potential towards direction. In *2010 IEEE Symposium on Industrial Electronics and Applications (ISIEA)* (pp. 181-185). IEEE.
- Gips, J., DiMattia, P., Curran, F. X., & Olivieri, P. (1996, December). Using eagleeyes—an electrodes based device for controlling the computer with your eyes—to help people with special needs. In *Proceedings of the 5th International conference on Computers helping people with special needs. Part I* (pp. 77-83).
- Hansen, D. W., Hansen, J. P., Nielsen, M., Johansen, A. S., & Stegmann, M. B. (2002, December). Eye typing using Markov and active appearance models. In *Sixth IEEE Workshop on Applications of Computer Vision, 2002.(WACV 2002). Proceedings.* (pp. 132-136). IEEE.
- Kumar, S., Dash, A., & Mukul, M. K. (2015, February). Design and development of low-cost eog acquisition circuit for hmi application. In *2015 2nd International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN)* (pp. 192-197). IEEE.
- Lv, Z., Wu, X. P., Li, M., & Zhang, D. X. (2009). Development of a human computer Interface system using EOG. *Health, 1*(1), 39-46.
- Malmivuo, J., & Plonsey, R. (1995). *Bioelectromagnetism: principles and applications of bioelectric and biomagnetic fields*. Oxford University Press, USA.

- Marjaninejad, A., & Daneshvar, S. (2014, May). A low-cost real-time wheelchair navigation system using electrooculography. In *2014 22nd Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE)* (pp. 1961-1965). IEEE.
- Sridharan, K. S. (2012). Real-time acquisition and analysis of Electro-oculography signals.
- Venkataramanan, S., Prabhat, P., Choudhury, S. R., Nemade, H. B., & Sahambi, J. S. (2005, January). Biomedical instrumentation based on electrooculogram (EOG) signal processing and application to a hospital alarm system. In *Proceedings of 2005 International Conference on Intelligent Sensing and Information Processing, 2005.* (pp. 535-540). IEEE.
- Wijesoma, W. S., Wee, K. S., Wee, O. C., Balasuriya, A. P., San, K. T., & Soon, K. K. (2005, July). EOG based control of mobile assistive platforms for the severely disabled. In *2005 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics-ROBIO* (pp. 490-494). IEEE.
- Young, L. R., & Sheena, D. (1975). Survey of eye movement recording methods. *Behavior research methods & instrumentation*, 7(5), 397-429.



مروری بر روش‌های بازیابی تصویر مبتنی بر محتوا بر اساس ویژگی شکل

ذبیح الله نیک زاد^۱

چکیده

هدف هر نظام بازیابی اطلاعات، ارائه به موقع اطلاعات مرتبط در زمان مناسب به کاربر مناسب است. تصاویر به‌عنوان شکلی از مدارک که می‌توانند حجم قابل توجهی از اطلاعات را منتقل کنند، از اهمیت خاصی برخوردارند. در سال‌های اخیر با توجه به اهمیت زیاد اطلاعات چندرسانه‌ای و وجود پایگاه‌های بسیار بزرگ از تصاویر داده‌ها، تلاش برای یافتن ابزارهایی مناسب جهت بازیابی تصاویر به طرز شگرفی افزایش یافته است. در واقع می‌توان گفت مشکل در یافتن تصاویر دیجیتال از یک پایگاه داده بزرگ، بازیابی تصویر (CBIR) نامیده می‌شود؛ که یکی از مهم‌ترین زمینه‌های تحقیقاتی در علم پردازش تصویر است. بازیابی تصاویر بر اساس محتوا شامل مجموعه‌ای از روش‌ها برای پردازش ویژگی بصری یک تصویر و پرس‌وجو به منظور پیدا کردن تصاویر مشابه آن در یک پایگاه داده تصویر است. در این سیستم‌ها، ویژگی‌های اولیه تصویر چون رنگ، بافت، شکل و موقعیت مکانی به صورت اتوماتیک استخراج شده و به عنوان بردار ویژگی جهت مقایسه تصاویر، در پایگاه داده‌ای نگهداری می‌شوند. یکی از مهم‌ترین نیازمندی‌های این حوزه، شناسایی و استفاده از ویژگی‌های مناسب و کارا جهت توصیف محتوای یک تصویر می‌باشد. در این مقاله روش‌های بازیابی تصویر مبتنی بر محتوا بر اساس ویژگی شکل مورد بررسی قرار می‌گیرد. ویژگی شکل بعد از لبه‌یابی و جداسازی پس‌زمینه از پیش‌زمینه به دست می‌آید که یک تصویر باینری از

^۱. ماستر هوش مصنوعی، استاد پوهنتون خاتم‌النبيين، کابل، افغانستان

ایمیل: Znikzad@khuif.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۱۰

خصوصیات هندسی اشیای موجود در تصویر ارائه می‌دهد و مشخصه‌های پیکربندی سطح شیء است که به وسیله‌ی مرز آن نمایش داده می‌شود.

واژگان کلیدی: بازیابی بر اساس محتوا، شکل، لبه‌یابی، پردازش تصویر، ویژگی بصری.

۱- مقدمه

تصویر از اولین راه‌های ارتباطی بین انسان‌ها بوده است که از آن برای بیان مفاهیم و آموزش و ادراک خود از محیط پیرامون استفاده می‌کرده است. از طرفی می‌توان در قالب تصاویر، مفاهیمی را منتقل نمود که گاهی برای آن‌ها واژه‌ای وجود ندارد و یا اگر وجود دارد چندان رسا نیستند. ضرب‌المثل "یک تصویر، با ارزش‌تر از هزار کلمه است" اشاره به این مفهوم دارد که می‌توان ایده‌های پیچیده را تنها با یک تصویر واحد انتقال داد، یعنی می‌توان مقدار زیادی از اطلاعات داده‌ها را به سرعت و در یک لحظه دریافت کرد. به همین دلیل امروزه تصاویر و اطلاعات مالتی‌مدیا ارزش زیادی در بین داده‌های تولید شده دارند. این اطلاعات یا به صورت دستی و توسط فرد یا به صورت خودکار و توسط ماشین‌ها و وسایل تصویربرداری مثل دوربین‌های نظارتی تولید و ایجاد می‌شوند.

با توجه به رشد سریع و روزافزون ابزار و وسایل ضبط و ایجاد تصاویر جدید در هر لحظه به نظر می‌رسد که جستجو، ردیابی و بازیابی مفاهیم، اشیا و موارد یکسان در بین انبوهی از اطلاعات تصویری لازم و ضروری بوده و از طرفی چالشی جدید در پیش روی پژوهشگران قرار داده است.

پایگاه‌های داده تصویری در پژوهش‌های مختلف به دو گروه مبتنی بر متن و مبتنی بر محتوا تقسیم می‌شوند. تلاش‌های اولیه در زمینه مدیریت پایگاه‌های داده تصویری سعی در به‌کار بردن توصیف‌گرهای متنی داشتند. بدین ترتیب که نمایه‌سازی تصاویر، توسط انسان و با استفاده از کلمات کلیدی که بیانگر ویژگی‌های تصاویر باشد انجام می‌شد. این شیوه مبتنی بر مفهوم یا توصیفی هم‌نامیده می‌شود. در این روش محتویات با استفاده از تشریح‌کننده‌های متنی بیان می‌شود و پرس‌وجو در این سیستم‌ها براساس متن صورت می‌گیرد. به‌عبارت دیگر، در بازیابی مبتنی بر متن، فرآیند بازیابی با بهره‌گیری از افزودن ابر داده مانند عنوان، کلمات کلیدی و توصیف و انتساب به تصاویر



انجام می‌شود و مطابق با آن، قالب پرس و جوی دریافتی از کاربر به صورت کلمات می‌باشد (A. Vailaya et al, 2001, H. Müller et al, 2001). ولی در سیستم‌های مبتنی بر محتوا سعی بر آن است که با توجه به ویژگی‌های بصری تصویر اطلاعات مفید و ضروری که بتواند توصیف‌کننده مشخصات و محتوای تصویر باشد از آن استخراج شود و بر اساس این ویژگی‌ها تصاویر مشابه از پایگاه داده تصویری بازیابی شود. این ویژگی‌ها به طور کلی به دو دسته تقسیم می‌شوند، ویژگی‌های سطح پایین که شامل ویژگی‌های بصری تصویر از قبیل رنگ، بافت، شکل و موقعیت مکانی اشیاء نسبت به هم هستند و ویژگی‌های معنایی که بیشتر از راه تعامل با کاربر از روش‌هایی مثل بازخورد ارتباطی، قطعه‌بندی تصویر و مشخص کردن قسمت‌های خاصی از تصویر و روش یادگیری چند نمونه‌ای استفاده می‌شود (B. Ko and H. Byun, 2005, C. Carson et al, 2002, H. Müller et al, 2004, J. Feng et al, 2004, S. C. H. Hoi et al, 2006). در واقع آنچه که اتفاق می‌افتد این است که در بعضی از مواقع بین آنچه که یک سیستم بازیابی تصویر برمی‌گرداند و آنچه که کاربر از تصویر مورد جستجو داشته است تفاوت وجود دارد؛ که به این اختلاف، در اصطلاح شکاف معنایی گفته می‌شود.

با این حال هنوز هم برای حل مشکل بازیابی تصاویر به ویژگی‌های سطح پایین تکیه می‌کنیم. سیستم‌های بازیابی تصویر در زمینه‌های مختلفی کاربرد دارند ولی به طور کلی به سه روش از این سیستم‌ها استفاده می‌شود که شامل (I. González-Díaz et al, 2017):

- جستجوی یک شیء خاص در بین پایگاه‌های تصویری مختلف که در واقع هدف، تصاویری با حداکثر تشابه از نظر مفهوم با تصویر مورد جستجوی کاربر می‌باشد؛ مثلاً تصاویر مربوط به شادی افراد.
- در روش دیگر دقیقاً به دنبال تشابه حداکثری تصویر مورد جستجو با تصاویر پایگاه داده تصویری مشخصی هستیم. منظور از تشابه تصاویر این است که بخشی از تصاویر بازیابی شده با تصویر مورد درخواست کاربر یکسان باشد یا بخشی از یک شیء، در هر تصویر بازیابی شده و تصویر مورد جستجوی کاربر وجود داشته باشد. برای مثال در زمانی که به دنبال جستجوی تصویر فردی در پایگاه داده‌ی تصاویر پرسنلی افراد شاغل در یک شرکت هستیم با



نمونه خاصی از یک نوع، در بین انواع مختلفی از اشیای مدنظر کاربر روبرو می‌باشیم.

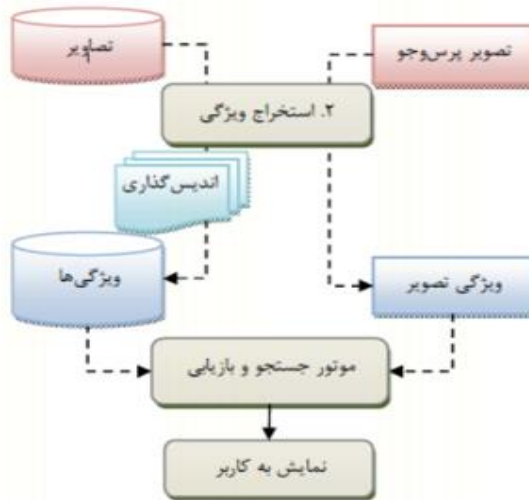
- در روش سوم بیشتر به دنبال تشابه کلی یک تصویر و تصاویر هم‌معنی با آن هستیم که باعث می‌شود این تصاویر در یک گروه و کلاس قرار بگیرند؛ مثلاً اینکه دنبال تصاویری از مناظر کوهستانی یا انواع مختلف پوشش گیاهی هستیم، مورد نظر است.

سیستم‌های بازیابی تصویر مبتنی بر محتوا یا به اختصار CBIR، وظیفه استخراج تصاویر به صورت خودکار را با استفاده از مفاهیم دیداری نظیر رنگ، بافت و طرح‌بندی تصویر (شکل) برعهده دارد. سیستم‌های اولیه از این رده برای بازیابی تصویر، از کاربر درخواست می‌کرد که یک یا چند ویژگی دیداری را انتخاب و محدوده‌ای را برای مقدار آنها تعیین کند، سپس عمل بازیابی براساس این اطلاعات صورت می‌گرفت. در سیستم‌های پیشرفته‌تر، کاربر قادر بود تا درجه اهمیت و ویژگی‌های انتخاب شده را تعیین کند. بازیابی تصویر مبتنی بر محتوا که تصاویر را بر اساس محتوای ظاهری آنها بازیابی می‌کند، در سال‌های اخیر به سرعت گسترش یافته است و به یک موضوع تحقیقاتی مهم تبدیل شده است و به‌طور گسترده‌ای در زمینه‌های مختلف از جمله آمار، شناسایی الگو، پردازش سیگنال و بینایی کامپیوتر استفاده می‌شود. واسط کاربر تصویر مورد جستجوی کاربر را دریافت کرده، آن را به قسمت پردازش تصویر جستجو می‌دهد، ویژگی‌های مناسب را از تصویر استخراج می‌کند. در آخر، قسمت موتور جستجو میزان شباهت بردار ویژگی تصویر جستجو و تصاویر پایگاه داده را محاسبه می‌کند و شبیه‌ترین تصاویر در پایگاه داده با تصویر مورد جستجو را با توجه به شباهت بردار ویژگی هر تصویر با تصویر مورد جستجو باز می‌گرداند.

سیستم‌های بازیابی تصویر در دو مرحله عمل می‌کنند: در مرحله اول، ویژگی‌های دیداری تصاویر پایگاه به صورت خودکار استخراج شده و تصاویر با آن‌ها نمایه سازی می‌شوند. در مرحله دوم، پس از دریافت تصویر پرس و جوی کاربر، ویژگی‌های سطح پایین آن استخراج می‌شود و پایگاه ویژگی‌های دیداری، برای یافتن نزدیک‌ترین تصاویر به تصویر مورد نظر، جستجو می‌شوند. چنانچه تصاویر پایگاه به صورت متنی نیز نمایه سازی شده باشند، جستجوی پایگاه ویژگی‌های متنی می‌تواند به کاهش فضای



جستجوی ویژگی‌های دیداری کمک کند (S. Zhang et al, 2015). در شکل (۱) شمای کلی از یک سیستم بازیابی تصویر مبتنی بر محتوا را مشاهده می‌کنید.



شکل ۱: ساختار کلی سیستم‌های بازیابی محتوا محور تصاویر

از آنجایی که در اجرای مرحله دوم به یک زیرسیستم برای پردازش تصویر پرس‌وجو و استخراج ویژگی‌های سطح پایین آن نیاز است و با توجه به ساختاری که توصیف شد مشخص می‌شود که کارایی این سیستم به شدت به قسمت استخراج ویژگی و ویژگی‌های استخراج شده از تصاویر وابسته است. بنابراین به نظر می‌رسد با ارتقای بهبود در بخش استخراج ویژگی، بهبود قابل توجهی در کارایی سیستم بازیابی تصویر به دست می‌آید.

در اینجا به توضیح روش‌های استخراج ویژگی و بازیابی تصویر مبتنی بر محتوا براساس ویژگی شکل می‌پردازیم. ویژگی شکل بعد از لبه‌یابی و جداسازی پس‌زمینه از پیش‌زمینه به دست می‌آید که یک تصویر باینری از خصوصیات هندسی اشیای موجود در تصویر ارائه می‌دهد و مشخصه‌های پیکربندی سطح شیء است که به وسیله مرز آن نمایش داده می‌شود. بازیابی براساس شکل، شهودی‌ترین نوع بازیابی می‌باشد. مهم‌ترین خصیصه‌ای که ویژگی شکل را برای کاربردهای پردازش تصویر مناسب ساخته، این است که یک شکل در برابر انتقال، دوران و تغییر مقیاس، هویت خود را حفظ نماید (Y. Rui et al, 1999).



از اوایل دهه ۱۹۷۰ بار شد روزافزون اطلاعات بصری و تصویری، نیاز به داشتن یک سیستم بازیابی تصویر که بتواند نیازهای جستجو و کلاس بندی، مرتب سازی و دسترسی به اطلاعات تصویری را در اسرع وقت مرتفع کند، روزه روز بیشتر شد. این نیاز منجر به ایجاد سیستم های پایگاه داده تصویری مبتنی بر متن گردید که بازیابی تصاویر را مبتنی بر متن انجام می داد. در این سیستم ها در یک چارچوب عمومی برای بازیابی تصویر، ابتدا با یادداشت گذاری تصاویر با کلمات کلیدی و سپس استفاده از سیستم های مدیریت پایگاه داده جهت بازیابی تصاویر استفاده می شد (A. , H. Müller et al, 2001). Vailaya et al, 2001). ولی دو مشکل عمده در این روش بازیابی خصوصاً زمانی که حجم پایگاه داده زیاد باشد، وجود دارد. اول اینکه زمان زیادی صرف برچسب زنی به تصاویر می شود، از آن گذشته مشکلاتی به دلیل محتوای زیاد تصاویر ایجاد می شود و درک مختلف افراد از تصاویر را سبب می شود. از طرفی ر شد سریع ابزار و درد سترس پذیری بیشتر ابزار تولید اطلاعات و تصویری منجر به تولید داده های تصویری زیادی شد که عملاً روش های بازیابی مبتنی بر متن را ناکارآمد می کرد. برای حل این مشکل سعی بر آن شد که از محتوای تصاویر برای بازیابی استفاده شود. این تلاش ها منجر به ایجاد سیستم های بازیابی مبتنی بر محتوا گردید (F.-C. S. David Dagan et al, 2003).

اصطلاح سیستم بازیابی تصویر مبتنی بر محتوا (CBIR)، اولین بار در سال ۱۹۹۲ توسط تی کادو برای بازیابی خودکار تصاویر از یک پایگاه داده بر اساس ویژگی رنگ و شکل مطرح گردید.

در این سیستم ها از محتوای بصری تصویر برای توصیف تصویر استفاده می شود ولی از آنجایی که فقط به خصوصیات ظاهری تصویر دقت می شود، این امر منجر به ایجاد چالشی دیگر تحت عنوان شکاف معنایی میگردد و سبب بازیابی تصاویری شده که از لحاظ معنا و مفهوم با آنچه که کاربر در نظر دارد.

۱-۳- بازیابی تصویر با استفاده از ویژگی شکل

شکل یکی از مهم ترین و اساسی ترین ویژگی بصری یک تصویر به شمار می رود و در بازیابی تصویر مبتنی بر محتوا برای نشان دادن ظاهر هندسی یک شیء در سه بعد و یا اتصالات هندسی نواحی مجاور در دو بعد استفاده می شود. ویژگی شکل از اشیای



تشخیص داده شده در تصویر استخراج و نمایش داده می‌شود که نقش مهمی را در پردازش‌های بازیابی تصویر مبتنی بر محتوا بازی می‌کند.

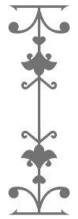
در تکنیک‌های به کار رفته در بازیابی تصاویر محتوا محور، از ویژگی‌هایی همچون رنگ، بافت، شکل و همچنین موقعیت مکانی اشیا استفاده می‌شود. در این مقاله تمرکز خود را روی سیستم‌هایی می‌گذاریم که از روش‌های بازیابی محتوا محور با استفاده از ویژگی شکل استفاده می‌کنند. به‌طور کلی در این زمینه سه نوع رویکرد توسط محققین در پیش گرفته شد که در دو رویکرد اول صرفاً از ویژگی شکل استفاده شده و هیچ‌گونه تغییری در فضای ویژگی و یا خروجی الگوریتم‌های محاسبه و تولید ویژگی شکل صورت نگرفته که به‌طور مستقیم تمام نیازهای داده‌ای را از خود این ویژگی به‌دست می‌آورد. در رویکرد سوم سعی بر آن است که با بازنمایی ویژگی شکل در سایر فضاها و ویژگی، به عناصر و اطلاعاتی دست‌یافت که منجر به کاهش پیچیدگی، افزایش سرعت و دقت و عمومی‌تر شدن کاربرد الگوریتم بازیابی در رابطه با کلاس‌های مختلفی از تصاویر شود.

۳- بازیابی تصویر با تکیه بر ویژگی شکل

اولین تلاش‌ها در این راستا از دهه ۱۹۹۰ شروع شد و سعی بر آن شد تا با ایجاد و ترکیب ویژگی‌های سراسری و ویژگی‌های محلی شکل اشیا، یک پایگاه داده از این مقادیر بسازند و بر اساس این دو ویژگی نسبت به بازیابی تصاویر اقدام کنند. میزان بهبود عملکرد این روش در بازیابی تصاویر در شرایطی که اعداد نقاط کاندید برای ایجاد کانتور اطراف مرز اشیا به اندازه باشد، درخور توجه است ولی باید بین افزایش سرعت الگوریتم و دقت آن، یکی انتخاب شود. در رابطه با تصاویری که نامتقارن هستند تعداد نقاط تکراری کانتور زیاد می‌شود که در نهایت شکل شی را نمی‌تواند به درستی توصیف کند و منجر به بالا رفتن تشخیص در ست موارد غلط می‌شود (W. Jia et al, 1998).

در سال ۲۰۱۵ در تلاش دیگری سعی بر آن شد که علاوه بر داشتن یک شکل از شی‌ای که توسط کاربر به سیستم داده شده، هر بخش از شکل شی بر اساس شباهت به اجزای شکل سایر اشیا و نحوه ارتباط این اجزا با هم، به‌طور مجزا امتیازدهی شده و یک پرس‌وجو صورت گیرد. در نهایت شی‌ای که نزدیک‌ترین شباهت را چه از نظر شکل کلی و چه از نظر اجزای تشکیل‌دهنده داشته باشد، برگردانده می‌شود. مشکل این روش در شناسایی اجزای تشکیل‌دهنده شکل شی است که فقط اجزایی با خصوصیات





هندسی خاص مثل دایره، خط، بیضی و سایر اشکال هندسی کلی را دربر می‌گیرد و در رابطه با منحنی‌های یک قاعده یا خطوط غیر مستقیم ایده‌ای ندارد. از طرفی الگوریتم بخش‌بندی و شناسایی این اجزا نیز باید بسیار قوی و مطمئن باشد تا بخش‌بندی اجزای شکل شی به درستی صورت گیرد. همچنین این روش نسبت به تغییر موقعیت مکانی اشیا ثابت نیست (S. Denziak and T. Michno, 2015).

یکی از آخرین تلاش‌ها در این رابطه توسط همین محقق در سال ۲۰۱۷ صورت گرفت که در آن سعی بر آن داشت که با ایجاد یک ساختار جدید برای پایگاه داده‌ای، از بازیابی تصویر مبتنی بر محتوا با استفاده از یک پرس‌وجوی شکل تقریبی اشیا بر مشکلات روش قبلی فایز آید. در این روش، پایگاه داده شامل دو ساختار درختی است که یکی با ریشه مشترک، وظیفه مدیریت داده را دارد و دیگری درختی ست با ریشه داده که شبیه‌ترین گراف‌ها به نمونه کاربر را در خود جای داده. در نتیجه چون در پرس‌وجوی اول تقریباً همه گراف‌های غیر مشابه کانتور می‌روند، سرعت بازیابی بالاتر خواهد رفت و الگوریتم در هر دو درخت می‌تواند به‌طور موازی پیش برود (S. Denziak and T. Michno, 2017).

در تمامی روش‌هایی که بیان شد، از خود ویژگی شکل بدون بهره‌گیری از توصیفگرها استفاده شد و سعی بر آن بوده که فقط به کمک ویژگی سطح پایین شکل، بازیابی صورت بگیرد.

۴- توصیفگرهای ویژگی شکل

در قسمت استخراج ویژگی، به نمایشی از ویژگی شکل دست پیدا می‌کنیم که در تطبیق شکل مفیدتر باشد. ساده‌ترین راه استفاده از اطلاعات هندسی اشیا موجود در تصویر، به کار بردن یک توصیفگر ساده در فضای عددی برای نواحی اصلی مثل دایره‌ها، جهت‌گیری‌های محور و محدودکننده مستطیلی و غیره است؛ که این نمایش ویژگی شکل به صورت فشرده نگهداری می‌شود و برای مقاصد چون ذخیره‌سازی و بازیابی تصویر مورد استفاده قرار می‌گیرد. این ویژگی‌ها در واقع برای تمایز بین اشکال به مغز انسان کمک می‌کنند. یک ویژگی شکل موثر باید خصوصی همچون شناسایی‌پذیری، ثابت بودن در مقابل چالش‌های چرخش، انتقال و تغییر مقیاس، ثابت بودن نسبت به تبدیل افین، پایداری در مقابل نویز و هم‌پوشانی، مستقل بودن از لحاظ آماری و قابلیت اطمینان را داشته باشد (V. Tyagi, 2017).

به‌طور کلی یک توصیف‌گر شکل، مجموعه‌ای از اعداد است که یک توصیف از ویژگی شکل داده شده را ایجاد کرده و سعی دارد تا شکل را بر اساس فهم بشری بیان کند (V. Tyagi, 2017). بنابراین برای داشتن یک بازیابی خوب از تصویر، توصیف‌گر ویژگی شکل باید قادر باشد تا به‌طور موثر، موفق به یافتن شباهت‌های ادراکی اشیا در پایگاه داده شود. این توصیف‌گرها معمولاً در قالب یک بردار نمایش داده می‌شوند.

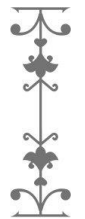
بنابراین هر توصیف‌گری باید شرایطی از قبیل موارد زیر را دارا باشد:

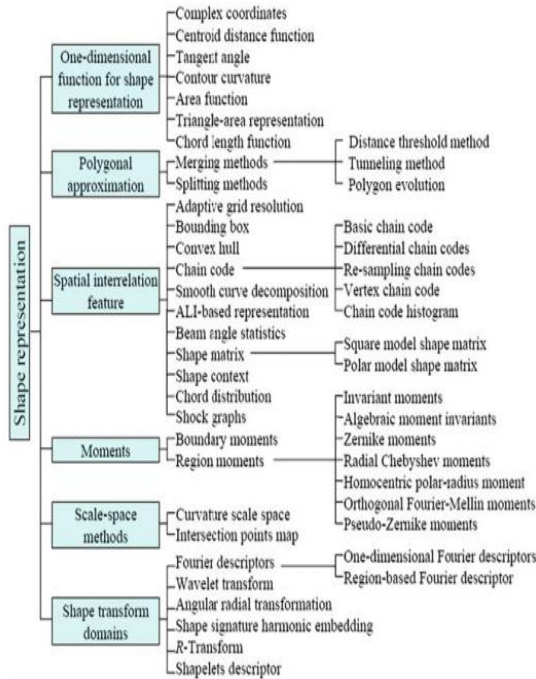
- یکتایی یعنی برای هر شکل یک توصیف منحصر به فرد داشتن.
- دسترس بودن یعنی از لحاظ حافظه و زمان قابل اجرا بودن.
- سادگی یعنی نیاز به محاسبات زیاد و طولانی نداشتن و قابل محاسبه در زمان معقول بودن.
- مختصر بودن که یعنی طولانی نبودن بردار ایجاد شده توسط توصیف‌گر.
- گستردگی یعنی تعداد طبقه‌ای از اشکال وجود داشته باشد که بتوان توصیف کرد.
- کامل بودن که یعنی توصیف کاملی از محتوای اطلاعات را فراهم کردن.
- پایدار بودن که یعنی نسبت به تغییرات کوچک ثابت ماندن و تغییر زیادی نکردن.

بنابراین در روش‌های بازیابی تصویر بر اساس ویژگی شکل توصیف‌گرها نقش بسزایی را ایفا می‌کنند که در رابطه با جستجوی شکل در پایگاه داده‌های بزرگی از انواع اشکال که به صورت پرس‌وجو شکل هستند، از این توصیف‌گرها می‌توان استفاده کرد و در این مورد مفید واقع می‌شوند.

۱-۴- دامنه فضا و دامنه ویژگی

روش‌های دامنه فضا به روش‌هایی گفته می‌شود که شکل حاصل بر اساس نقاط تعریف شود (نقاط ویژگی هستند) و در این نوع کلاس‌بندی که توسط یانگ و همکاران (M. Yang et al, 2012) صورت گرفته، روش‌ها و الگوریتم‌های مختلف توصیف ویژگی شکل بر اساس روش پردازش مدل کردن ریاضی داده‌های ویژگی شکل کلاس‌بندی می‌شوند. در شکل (۲) می‌توانید دسته‌بندی صورت گرفته با این رویکرد را روی الگوریتم‌های استخراج ویژگی از شکل مشاهده کنید.





شکل ۲: دسته‌بندی روش‌های بازیابی محتوا محور تصاویر مبتنی بر شکل

۲-۴- توابع یک بعدی برای بازنمایی شکل (فضاهای یک بعدی برای نمایش شکل)

این توابع، توابعی تک بعدی هستند که از مختصات مرزی شکل به دست می‌آیند و به آن‌ها امضای شکل نیز گفته می‌شود؛ که شامل ویژگی‌های ادراکی شکل می‌باشند. توصیفگرهایی چون مختصات مختلط، تابع فاصله مرکزی، زاویه چرخش، توابع منحنی، ناحیه، ناحیه مثلثی و طول وتر معمولاً از امضای شکل استفاده می‌کنند. در همه این توابع تلاش بر آن است که توصیفگر، امضا را به گونه‌ای محاسبه کنند که حداکثر ثبات را نسبت به چالش‌های اصلی انتقال، چرخش و تغییر مقیاس داشته باشد.

همچنین از امضای شکل به عنوان یک پیش پردازش برای توصیفگرهای فوریه و موجک نیز بهره می‌برند (N. Singh et al, 2012). این توابع می‌توانند از ثبات شدن توصیفگر نسبت به چالش‌های تغییر مقیاس و چرخش اطمینان حاصل کنند ولی حجم محاسبات را افزایش می‌دهند. امضای شکل، خود به تنهایی می‌تواند یک شکل را توصیف کند، هرچند که ممکن است نسبت به چالش‌هایی از قبیل افین و تغییر مقیاس ثابت باقی نماند (M. Yang et al, 2012).



در یکی از پژوهش‌هایی که با استفاده از این دسته توابع صورت گرفته (S. Abbasi et al, 2000) و در آن از توابع فضای مقیاس انحنا¹ بر روی امضای شکل استفاده شده که بر روی پایگاه داده‌ای موجودات دریایی، سه روش مختلف را آزموده است. در نتایج ثابت شد که برای تصاویری با عمق کم، نتایج قابل قبول‌تری به دست می‌دهد. با این حال پردازش محاسبات منحنی در بین نقاط پایانی در سطوح مختلف وقت‌گیر است و از طرفی این روش نسبت به نویز حساس می‌باشد؛ بنابراین محاسبه انحنا باید بعد از فرایند هموارسازی برای کاهش اثر نویز صورت بگیرد. امضای شکل یک نمایش یک‌بعدی از شکل به وسیله منحنی بسته مرز شکل ایجاد می‌کند که معمولاً خاصیت ثابت بودن نسبت به انتقال را دارد. در این نمایش برای ثابت شدن نسبت به تغییر مقیاس کافی است مقادیر امضای شکل نرمالایز شود و برای جبران تغییرات جهت‌گیری و داشتن بهترین تطبیق بین دو شکل نیاز به تطبیق انتقال مناسب است.

در صورت وجود شرایط روی هم افتادگی اشکال یا پوشیدگی قسمتی از یک شکل توسط اشکال دیگر، سائز اشیای تصویر توصیفگرهای زاویه چرخش، انحنا کانتور، مثلث ناحیه‌ای می‌توان نمایشی ثابت از شکل به دست دهند. از طرفی محاسبه امضای شکل بسیار ساده و روان است. ولی امضا شکل نسبت به نویز بسیار حساس است و کوچک‌ترین مقدار انحراف در مرز شکل باعث ایجاد خطای بزرگی در محاسبه امضای شکل و در نتیجه انطباق دو شکل یکسان می‌شود. بنابراین توصیف مستقیم شکل با امضای آن امر مطلوبی نیست پس نیاز به پردازش‌های بیشتری برای افزایش قابلیت اطمینان و کاهش بار تطبیق‌پذیری لازم است؛ به عنوان مثال می‌توان امضای شکل را به کمک کمی سازی امضا در یک هیستوگرام امضا که نسبت به چرخش ثابت است، ساده کرد (M. Yang et al, 2012).

۳-۴- روش‌های تخمین چند ضلعی

می‌توان تقریب چندضلعی را به گونه‌ای تنظیم کرد تا تغییرات جزئی در اروشاد لبه را نادیده بگیرد و به جای آن یک تصویر کلی از شکل بدهد. از آنجایی که این عمل باعث کاهش اثرات پیکسلسیون گسسته منحنی می‌شود موثر و مفید خواهد بود. به طور کلی، روش‌های این دسته از توصیفگرها در دو گروه قرار می‌گیرند گروه اول روش‌های ادغام شده است و گروه دوم روش‌های تقسیم شده می‌باشد (R. Gonzalez and R. Woods, 2002).



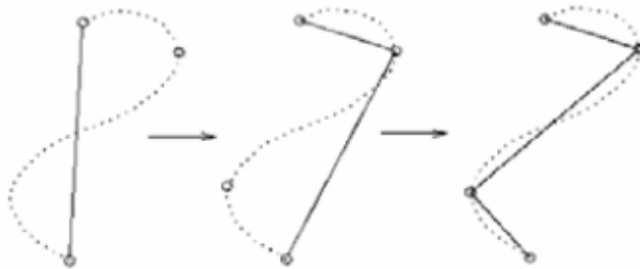
¹ Curvature Scale Space

روش های ادغام

در این روش یک پیکسل به عنوان یک پیکسل توصیف شکل اضافه می شود به شرط آنکه اضافه شدن آن پیکسل منجر به انحراف از خط مستقیم نشود (M. Yang et al, 2012). از جمله روش هایی که در این گروه قرار می گیرند می توان به روش آستانه فاصله^۱، روش نقب زنی^۲ (تونل زنی) و تکامل چند ضلعی^۳ اشاره کرد. در کتاب (A. Kolesnikov, 2003) به روشی بر اساس تخمین چند ضلعی و برداری کردن ویژگی شکل بر اساس روش آستانه فاصله پرداخته شده است که در داشتن الگوریتمی کارآمد برای توصیف شکل منجر شود.

روش های تقسیم

این روش از رسم یک خط از روی یک نقطه بر روی مرز به سمت دیگر مرز شروع می شود، سپس فاصله عمودی نقطه دوم تا خط مرزی محاسبه می شود. اگر این فاصله از مقدار آستانه بیشتر باشد خط واصل بین دو نقطه در نقطه ای که بیشترین مقدار را دارد شکسته می شود و نقطه سوم برابر با نقطه ای بر روی مرز خواهد بود که در فاصله ای عمودی نقطه دوم قرار داشته است. این عملیات تا زمانی که نیازی به شکستن خط واصل بین دو نقطه وجود نداشته باشد ادامه می یابد (P. L. Combettes and J.-C. Pesquet, 2011). در شکل (۳) فرایند اجرای این عملیات را مشاهده می کنید.



شکل ۳: روش تقسیم

آنچه که در رابطه با روش های این گروه باید توجه داشت این است که خروجی این گروه از روش ها صرفاً تقریبی از شکل اصلی اشیای تصویر به دست می دهد و در رابطه

¹ Distance Threshold Method

² Tunnelling Method

³ Polygon Evolution



با اشیای پیچیده به دلیل کاهش زوایا و انحنا در توصیف شکل، در این روش به اشکال ساده‌تری می‌رسیم که در افزایش سرعت الگوریتم‌های محاسبه تطبیق‌پذیری مفید بوده و منجر به کاهش نویز می‌شود. همچنین ویژگی‌های نامربوط در حالی که ویژگی‌های اصلی باقی می‌مانند از بین رفته و رئوس باقی‌مانده در چندضلعی تخمین زده شده، موقعیت خود را حفظ می‌کنند. به علاوه روش تخمین چندضلعی می‌تواند به‌عنوان پیش‌پردازشی برای سایر الگوریتم‌های استخراج ویژگی از شکل به‌کار روند، ولی باید توجه کنیم که دقت اشکال متقابلاً از دست می‌رود و ممکن است برای اشکال یکسان، تقریب مختلفی از چند ضلعی و یا توصیف مختلفی از شکل اشیا صورت گیرد (M. Yang et al, 2008).

۴-۴- ویژگی فضاهای مرتبط^۱

در روش‌های این دسته از توصیفگرها سعی بر آن است که ناحیه یا منحنی شکل، بر اساس ارتباط بین پیکسل‌ها و با منحنی‌های موجود در شکل توصیف شود و به‌طور کلی نمایش شکل با توجه به موقعیت هندسی پیکسل‌ها و منحنی‌های موجود در شکل مثل طول، انحنا، جهت‌گیری نسبی و موقعیت، منطقه، فاصله و غیره صورت می‌گیرد.

بیشترین گروه از توصیفگرها در این دسته قرار می‌گیرند و به‌طور کلی تنوع زیادی در انواع مختلف توصیفگرها در این دسته مشاهده می‌شود.

۴-۵- شبکه تطبیقی سازگار^۲

در این روش یک شبکه مربعی به‌گونه‌ای که سرتاسر شکل را پوشش دهد بر روی آن تشکیل می‌شود. تراکم شبکه توری مانند در قسمت‌های مختلف شکل با توجه به محتوای شکل در آن قسمت متفاوت است به‌طوری‌که در نواحی درشت شکل، شبکه توری بزرگ‌تر و در نواحی‌ای با جزئیات، شبکه توری ریز و پرتراکم است. به‌طور کلی با توجه به ثابت بودن این روش نسبت به چرخش، تغییر مقیاس و انتقال محاسبه ساده‌ای دارد (M. Yang et al, 2008).



¹ Spatial Interrelation Feature

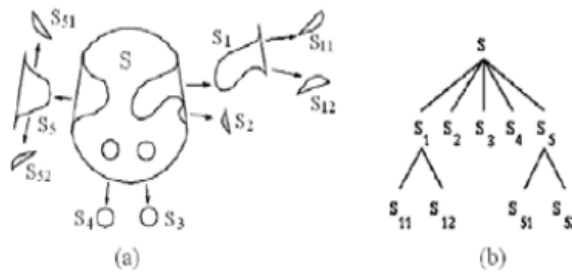
² Adaptive Grid Resolution

۴-۶- جعبه‌های مرزی^۱

این روش یک هم‌ریختی بین یک شبکه دوبعدی و شکل است که به سادگی بسیاری از روش‌ها بر اساس اتصال نیست بلکه بر اساس توپولوژی‌های دلخواه اعمال می‌شود (C. Bauckhage and J. K. Tsotsos, 2005). در این روش، محاسبات هندسی برای هم‌ریختی بین شبکه و شکل ساده بوده، در عین حال نسبت به چرخش، انتقال و تغییر مقیاس ثابت و در مقابل نویز بر روی مرز شکل بسیار مقاوم است (M. Yang et al, 2008).

۴-۷- پوسته محدب^۲

این توصیف بر مبنای این واقعیت قرار دارد که هر شکل در واقع مجموعه‌ای از پوسته‌های محدب است و به این صورت تعریف می‌شود: پوسته محدب یک ناحیه، کوچک‌ترین پوسته‌ی محدبی است که شامل خود آن ناحیه نیز می‌شود. در شکل (۴) این مفهوم را بهتر مشاهده کنید (V. Tyagi, 2017).



شکل ۴: پوسته محدب

آنچه که می‌تواند به این روش آسیب وارد کند، روش‌های مورفولوژی، استخراج و ردیابی مرز است که برای استخراج بدنه محدب به کار می‌روند (R. Gonzalez and R. Woods, 2002).



¹ Bounding Box

² Convex Hull

۴-۸- کد زنجیره‌ای^۱

عمومی‌ترین روش نمایش اشکال مختلف مثل خطوط و منحنی‌ها و کانتورها می‌باشد که به صورت دنباله‌ای متصل از خطوط مستقیم با طول و جهت مشخص در نظر گرفته می‌شود (D. Zhang and G. Lu, 2004). به‌طور کلی این روش در حال کلاسیک خود نسبت به نويز بسیار حساس است و از طرفی نسبت به چرخش ثابت نیست، بنابراین سعی شد تا در توسعه روش اصلی این مشکلات رفع شود که از جمله روش‌های دیفراسیل کد زنجیره‌ای (DCC^۲) و نمونه‌برداری کد زنجیره‌ای (RCC^۳) می‌باشد. همچنین روش‌هایی چون (VCC^۴) برای افزایش کارایی این روش پیشنهاد شده (D. Zhang and G. Lu, 2004). به‌علاوه روش (HCC) که در آن احتمال وقوع هر منحنی در شکل را نشان می‌دهد ارائه شده است (J. Iivarinen and A. Visa, 1996).

۴-۹- تجزیه منحنی‌های هموار^۵

در این روش سعی بر آن است که شکل را به منحنی‌هایی تجزیه کنند و از کنار هم قرارگرفتن این قسمت‌ها به یک توصیف از شکل برسند. نمونه‌ای از این رویکرد را می‌توانید در (S. Deniziak and T. Michno, 2015) مشاهده کنید. از جمله روش‌های دیگری که در این گروه قرار می‌گیرند می‌توان به روش‌های ماتریس شکل، توزیع وتر و گراف ضربه اشاره نمود.

به‌طور کلی روش‌های این دسته از توصیفگرها در سه گروه شبکه تطبیقی سازگار و پوسته محدب، روش‌های آماری (کد زنجیره‌ای) و روش‌های تجزیه و تحلیل محتوا (تجزیه منحنی‌های هموار) اشاره نمود که برای استخراج و یا نمایش شکل استفاده می‌شوند. در مجموع این توصیفگرها برای فشرده‌سازی و خلاصه‌کردن ویژگی شکل طراحی نشده‌اند ولی در عین حال می‌توانند یک فرم فشرده و معنادار برای اجرای عملیات تشخیص اشیا در اختیار کاربر قرار دهند.

¹ Chain Code

² differential chain code

³ resampling chain code

⁴ Vertex Chain Code

⁵ Smooth Curve Decomposition

این مفهوم از مفاهیم گشتاور در فیزیک گرفته شده است که بر اساس نیروی حرکت اجسام حول همدیگر تعریف می شود. می توان از این تعریف برای توصیف یک شکل نیز استفاده کرد. توصیفگرهایی که در این دسته قرار می گیرند به طور کلی بر اساس مرکز و ناحیه عمل می کنند. از طرفی برای ثابت کردن آن ها نسبت به چالش هایی از قبیل چرخش و تغییر مقیاس، انواع دیگری تحت عنوان گشتاورهای ثابت تعریف شده اند. در مجموع می توان گفت که گشتاورهای تعریف شده برای شکل، مختصر و مقاوم در برابر نویز بوده و عملیات محاسبه ساده ای دارند ولی به دلیل ماهیت سراسری آن ها در کل شکل باعث می شوند تا ویژگی های برجسته شکل در گشتاورهای مرتبه بالاتر ترکیب شوند (V. Tyagi, 2017, R. Gonzalez and R. Woods, 2002).

۱۱-۴- روش های مقیاس بندی فضا^۲

این دسته از توصیفگرها از بازنمایی چندمقیاسی مشتق می شوند و اجازه می دهند که ساختار شامل در مقیاس های متفاوتی قابل نمایش باشد که در آن یک منحنی توسط خانواده ای از مقیاس هایی که به تدریج ساده تر می شوند، تعریف می شود. در این روش ایده اصلی این است که یک منحنی تا جایی که امکان دارد باید ساده شود، بنابراین هر عضو از مقیاس ها سعی در ساده تر کردن نمایش منحنی دارند و به واسطه پارامتر ساده کردن هر مقیاس میتوان ویژگی های خاصی را از شکل به دست آورد و آن را تجزیه و تحلیل نمود. دو رویکرد اصلی که در این دسته از توصیفگرها استفاده می شوند، مقیاس انحناء (CSS^۳) و نقشه نقاط تقاطع (IPM^۴) می باشد.

مقیاس انحناء

این روش برای اولین بار توسط F. Mokhtarian در سال ۱۹۸۸ ارائه شد که بر مبنای بازنمایی و منحنی چندمقیاسی برای نشان دادن منحنی های مسطح است (V. Tyagi, 2017).

¹ Moment

² Scale Space Approaches

³ Curvature Scale-Space

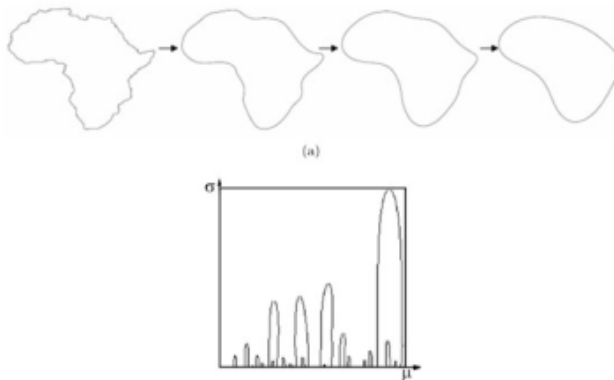
⁴ Intersection Points Map



یک نمایش (CSS) شامل حداکثر منحنی‌های (CSS) در یک تصویر است. همچنین این تکنیک یک بازنمایی شکل مبتنی بر منحنی قوی را ارائه می‌دهد (P. L. Combettes and J.-C. Pesquet, 2011). در مجموع خواص این تکنیک را به صورت زیر می‌توان برشمرد:

- در این روش ویژگی‌های اصلی نگه داشته می‌شوند و بازیابی مبتنی بر شباهت را امکان‌پذیر می‌کند.
- نسبت به نویز و تغییر مقیاس و جهت اشیا بسیار مقاوم بوده و خلاصه، منعطف و سریع است.
- اطلاعات مکانی اشیا را حفظ می‌کند و برای هرگونه تقعر و تحدب در شکل اشیا یک مقدار در توصیف CSS ایجاد می‌کند.

هرچند این روش مزایای زیادی دارد ولی خروجی آن همیشه مطابق با بینایی انسان نیست. از جمله این مسائل در رابطه با تقعر و تحدب کم عمق و یا عمیق است که منجر به ایجاد خطوطی یک‌سان در توصیفگر می‌شود در شکل (۵) خروجی یک توصیفگر CSS را برای یک شکل می‌بینید.

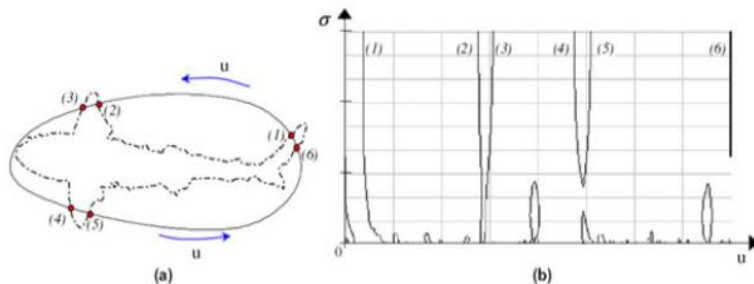


شکل ۵: خروجی توصیفگر CSS

نقشه نقاط تقاطع (IMP)

در این روش که در (K. Kpalma and J. Ronsin, 2006) توضیح داده شده، محققین سعی دارند تا الگوریتم جدیدی را برای نقشه نقاط تقاطع ایجاد کنند که در آن به جای توصیف منحنی با منحنی‌هایی که شامل می‌شود، آن را با مشتق مرتبه دوم با استفاده از نقاط تقاطع بین منحنی اصلی و هموار شده توصیف کنند که در نتیجه

انحراف استاندارد افزایش یافته و از تعداد نقاط تقاطع کاسته می شود. با آنالیز این نقاط می توان ویژگی هایی برای تشخیص الگو بدست آورد. این فرایند را در شکل (۶) مشاهده می کنید (M. Yang et al, 2008).



(a) An original contour; (b) an IPM image in the (u, σ) plane. The IPM points indicated by (1)-(6) refer to the corresponding intersection points in (a).

شکل ۶: نقشه تقاطع IMP

به طور کلی در رابطه با این دسته از توصیفگرها و روش هایی که برای توصیف شکل به کار می برند می توان گفت اطلاعات زیادی را در رابطه با یک کانتور در مقیاس های مختلف به دست می دهند؛ به طوریکه اطلاعات سراسری را می توان در مقیاس های مرتبه بالاتر و الگوهای جزئی را در مقیاس های پایین تر به دست آورد و از آن جایی که از اطلاعات مرزی نیز استفاده می کند در نتیجه کمتر دچار خطا در استخراج منحنی شده، در برابر نویز بسیار مقاوم و به درک انسان نیز بسیار نزدیک است.

۱۲-۴- تبدیل فضای شکل^۱

در این دسته از روش ها سعی بر آن است تا با تغییر فضای شکل و تبدیل اطلاعات پیکسلی به فضای فرکانسی به اطلاعات مفیدتری برای بازیابی شکل دست پیدا کنند و به توصیفی از شکل با رجوع به محتوای فرکانسی آن دست یافت. کلاس دامنه تبدیل شامل دامنه ای است که توسط خود تبدیل تشخیص شی و یا تبدیل کل تصویر می باشد، بنابراین اگر از تبدیل برای توصیف شکل استفاده شود، ویژگی توسط همه و یا بخشی از ضرایب تبدیل نمایش داده می شود.



¹ Shape Transform Domains

توصیفگر فوریه^۱

این توصیفگر از حدود ۴۰ سال پیش تاکنون به عنوان ابزاری در رابطه با شکل برای توصیف و کلاس بندی به کار می رود و در رابطه با شکل می تواند روی ناحیه و یا منحنی مرز شکل استفاده شود. این توصیفگر، ساده و مقاوم در برابر نویز بوده و کم حجم است و در بسیاری از کاربردها استفاده می شود. خود تبدیل فوریه، تابعی تک بعدی و پیوسته است که می توان آن را برای کاربرد در شکل یک شی به حالت دوبعدی و گسسته گسترش داد. از طرفی می توان از این تابع برای توصیف ناحیه ای از شکل نیز استفاده کرد.

توصیفگر موجک^۲

با توسعه تبدیل منحنی سلسله مراتبی پلانر، تبدیل موجک ایجاد شد که در آن یک منحنی به اجزای مختلفی در مقیاس های متفاوت تقسیم می شود؛ به طوری که هر قسمت با اینکه بخشی از منحنی در یک مقیاس کوچکتر بوده و جزئیات محلی را شامل می شود ولی اطلاعاتی سراسری از منحنی را نیز نمایندگی می کند (G. C. Chuang and C. J. Kuo, 1996). این تبدیل امتیازات ویژه ای از قبیل نمایش چندمقیاسی، ثابت بودن، منحصر به فرد بودن، تبدیل و محلی سازی را دارد که آن را در شناسایی الگو و بینایی ماشین به تبدیلی قدرتمند تبدیل کرده است. در پژوهشی که در (M. I. Khalil and M. M. Bayoumi, 2001) گزارش شده، محققین از تبدیل موجک دو تایی استفاده می کنند که نتیجه آن یک تابع غیر وابسته است. در (G. Chen and T. D. Bui, 1999) نیز یک توصیفگر با استفاده از تبدیل فوریه در امتداد محور زاویه قطبی به دست می آید و موجک در امتداد محور شعاع تغییر می کند. این ویژگی نیز برای انتقال، چرخش و تغییر مقیاس ثابت است و همزمان فرایند تطبیق توصیفگر موجک به راحتی انجام می شود.

تبدیل زاویه شعاعی^۳

در این تبدیل در واقع به دنبال تصویر در دستگاه مختصات کروی هستیم که به یک نمایش سه بعدی از تصویر در فضای کروی خواهیم رسید. این نمایش به شرط آن که



¹ Fourier Descriptors

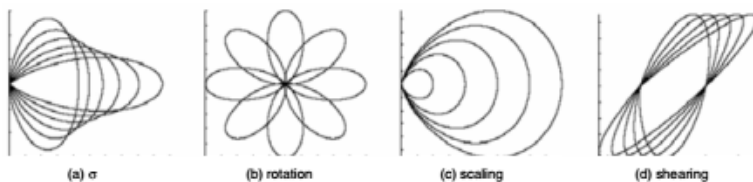
² Wavelet Transform

³ Angular Radial Transformation

نرمالایزسازی صورت بگیرد، نسبت به چرخش، انتقال و تغییر مقیاس ثابت و نسبت به نوین نیز مقاوم است (J. Ricard et al, 2004).

۱۳-۴- توصیفگر شکلک^۱

غیر از توصیفگرهایی که تاکنون از این دسته معرفی شدند، توصیفگرهای دیگری چون توصیفگر شکلک که برای تصاویر انیمیشنی کاربرد دارد و سعی می‌شود که مدلی برای قسمت‌های اصلی تصاویر انیمیشنی استخراج کند. فرض اصلی این توصیفگر این است که تصاویر، دوبعدی و به صورت یک منحنی بسته هستند و توسط تکانه خط از یک شکل پایه ایجاد شده‌اند. این خصوصیات را در شکل (۷) که در آن شکل اصلی دایره است، می‌بینید. در تصویر اول ضریب سیگما در دفعات پی‌درپی به شکل اعمال شده و در تصویر دوم دایره حول یک نقطه چرخانده شده. در تصویر سوم در دفعات مکرر بزرگ‌نمایی انجام شده و نهایتاً در تصویر آخر کشیدگی در جهات مختلف روی دایره انجام شده است. در کلیه تصاویر، تصویر پایه دایره است که عملیات مذکور با مقادیر مختلف برای تابع عامل تغییر دایره به صورت مکرر روی دایره در هر مرحله اعمال شده و نتایج، پشت سر هم گذاشته شده‌اند (M. Yang et al, 2012).



شکل ۷: تصویر شکلک مبتنی بر دایره

به طور کلی این دسته از توصیفگرها توصیفگرها سعی در تحلیل شکل در فضای تبدیل و نمایش آن هستند و برخلاف روش‌های آنالیز ویژگی‌های مرتبط مکانی، این تبدیل چه بر روی مرز صورت بگیرد و چه بر روی ناحیه، به دنبال ویژگی‌های ذاتی شکل در ناحیه یا مرز می‌باشد. برای توصیف یک شکل همیشه رقابت بین صحت و کارایی وجود دارد؛ به عبارت دیگر شکل باید دقیق توصیف شود و در عین حال این توصیف مختصر و کوتاه باشد تا ساده‌سازی، نمایه کردن و بازیابی آسان شود. برای یک الگوریتم تحلیل تبدیل شکل، داشتن سطوح مختلفی از صحت و کارایی به کمک مقادیر مختلف ضرایب تبدیل امکان‌پذیر است.

¹ Shapelet Descriptor



۵- بازیابی تصویر با ترکیب ویژگی شکل و سایر ویژگی های سطح پایین

در روش هایی که تاکنون بررسی شد، بازیابی صرفا با تکیه بر ویژگی شی دچار مشکلاتی همچون عدم تطابق کافی می باشد و از طرفی برای به دست آوردن شکل یک شی، نیاز به بخش بندی خود تصویر است که در مواقعی که اشیا نامتناجس باشند، کار آسانی نخواهد بود و نتایج قابل قبولی در پی نخواهد داشت؛ بنابراین سعی بر آن است تا با ترکیب ویژگی شکل با سایر ویژگی های اشیا چالش های پیش روی بازیابی تصویر را کاهش دهند.

این کار از همان سال های اول ایده بازیابی مبتنی بر محتوا به کار گرفته شد که در یکی از این پژوهش ها ویژگی رنگ نیز در روش استفاده شده به کار گرفته شد. به نظر می رسد که با این کار چالش های اصلی و حتی مشکل نویز نیز تا حد زیادی رفع گردیده اند. با این حال، این روش ایده ای برای اشکال نامتناجس هم رنگ ارائه نداده است و در این زمینه به شدت آسیب پذیر است. از طرفی چون به طور مستقیم از خود ویژگی ها استفاده می کند، ایده ای در مورد نحوه ی به دست آوردن این ویژگی ها نداده است (V. Tyagi, 2017).

در تحقیق دیگری به جای استفاده از خود ویژگی های رنگ و شکل، از فضا های رنگی دیگر استفاده شده است. به عنوان مثال، فضا های رنگ HSV و lab و لبه یاب های گرادسانی استفاده و نتایج قابل قبول تری کسب شد. هر چند هنوز در رابطه با نحوه استخراج ویژگی ها ایده ای ارائه داده نشده و برای اشکال مشابه ولی متمایز کاری از پیش نبوده است. بهترین فضای رنگ انتخاب شده بر اساس گزارش این تحقیق فضای رنگ lab است (M. Yang et al, 2012).

چند سال بعد در پژوهشی دیگر، ویژگی بافت را نیز به دو دسته ی دیگر اضافه کرده و عملیات بازیابی را انجام دادند. این محققین، در روش خود با استخراج ویژگی ها، برداری از ویژگی ها ساخته و با پایگاه داده ای که قبلا از بردارهای ویژگی تصاویر ایجاد کرده اند و کمک یک ماشین بردار پشتیبان، تطابق حداکثری بین بردارهای پایگاه داده و تصویر پرس وجو شده را یافته و نتیجه را در خروجی ارائه دادند. فضای رنگی مورد استفاده در این پژوهش فضای lab است. در این روش، توسط یک تبدیل موجک ویژگی بافت را استخراج کرده و ویژگی شکل نیز توسط یک لبه یاب cany استخراج و ذخیره می شود. اطلاعات مذکور به کلاس بند SVM داده شده و نتیجه گزارش می شود که نتایج بسیار قابل قبولی را به دست می دهد (N. Singh et al, 2012).



۶- نتیجه‌گیری

با توجه به روش‌هایی که تاکنون معرفی شد تعیین خوب یا بد بودن یک توصیفگر عمل دقیقی نیست؛ چرا که هر کدام از آن‌ها در شرایطی خاص نسبت به دسته خاصی از تصاویر عملکرد خوبی دارند و نسبت به شرایط متفاوت، ممکن است عملکرد ضعیفی را از خود نشان دهند. ولی به طور کلی می‌توان در شرایط برابر، به طوری که شرایط ایده‌آل یک رویکرد فراهم باشد قدرت هر توصیفگر را نسبت به نويز و چالش‌های اصلی از جمله چرخش، انتقال، تغییر مقیاس و به خصوص تبدیل افین سنجید. این مقایسه را می‌توانید از جدول (۱) که برگرفته از (M. Yang et al, 2012) مشاهده کنید.

Shape representation	Invariance	Resistance	Computational complexity	Shape representation		Invariance		Resistance		Computational complexity
				Structure	Translation	Rotation	Scale	Affine transform	Noise	
Shape signatures	Complex coordinates	Yes	Bad	Bad	Bad	Average	Good	Bad	Low	
	Central distance	No	Good	Good	Good	Bad	Average	Good	Low	
	Tangent angle	No	Good	Good	Good	Bad	Bad	Good	Average	
	Curvature function	No	Good	Good	Good	Bad	Bad	Good	Average	
	Area function	No	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Low	
	Triangle-area representation	No	Good	Good	Good	Good	Good	Average	Average	
Polygonal approximation	Chord length function	No	Good	Good	Good	Bad	Bad	Bad	Low	
	Distance threshold	No	Good	Good	Good	Bad	Good	Bad	Average	
	Merging	No	Good	Good	Good	Bad	Good	Bad	Average	
	Trimming	No	Good	Good	Good	Bad	Good	Bad	Average	
	Polygon evolution	No	Good	Good	Good	Bad	Good	Bad	Average	
Space Invariant Feature	Splitting	No	Good	Good	Good	Bad	Good	Bad	Average	
	Adaptive grid resolution	Yes	Good	Good	Good	Bad	Good	Good	Low	
	Bounding box	Yes	Good	Good	Good	Average	Good	Good	Average	
	Convex hull	No	Good	Good	Good	Good	Average	Bad	High	
	Basic chain code	Yes	Good	Bad	Bad	Bad	Bad	Good	Low	
	Chain code	Yes	Good	Bad	Bad	Bad	Bad	Good	Low	
	Vertex chain code	Yes	Good	Bad	Bad	Bad	Bad	Good	Low	
	Statistic chain code	No	Good	Bad	Bad	Bad	Bad	Bad	Low	
	Smooth curve decomposition	No	Good	Good	Good	Bad	Good	Good	Average	
	All-based representation	No	Good	Good	Good	Average	Good	Average	Average	
	Beem angle statistics	No	Good	Good	Good	Bad	Good	Bad	Low	
	Shape matrix	Yes	Good	Good	Good	Bad	Bad	Good	Average	
	Square model	Yes	Good	Good	Good	Bad	Bad	Good	Low	
	Polar model	Yes	Good	Good	Good	Bad	Bad	Good	Low	
	Shape context	No	Good	Good	Good	Bad	Bad	Average	Average	
Chord distribution	No	Good	Good	Good	Bad	Good	Bad	Low		
Stack graphs	Yes	Good	Good	Good	Good	Good	Good	High		
Moments	Boundary moments	No	Good	Good	Good	Bad	Average	Bad	Low	
	Invariant moments	No	Good	Good	Good	Bad	Bad	Bad	Average	
	Region moments	No	Good	Good	Good	Good	Average	Bad	Average	
	Algebraic Moments	No	Good	Good	Good	Good	Average	Bad	Average	
	Zernike Moments	No	Good	Good	Good	Bad	Good	Average	High	
Non-square methods	Radial Chelyskey Moments	No	Good	Good	Good	Bad	Good	Average	High	
	Moments	No	Good	Good	Good	Bad	Good	Average	High	
Shape transform domains	Curvature scale space	No	Good	Good	Good	Average	Good	Good	Average	
	Intersection points map	No	Good	Good	Good	Average	Good	Good	Average	
	1-D Fourier descriptors	No	Good	Good	Good	Bad	Bad	Bad	Average	
	Region-based Fourier descriptors	No	Good	Good	Good	Good	Good	Average	High	
	Wavelet transform	No	Good	Good	Good	Good	Average	Average	Average	
	Angular radial transformation	No	Good	Good	Good	Bad	Good	Bad	High	
	Signature harmonic embedding	No	Good	Good	Good	Average	Good	Average	High	
	2D-Transform	No	Good	Good	Good	Bad	Good	Average	High	
Shapelets descriptor	No	Good	Good	Good	Bad	Good	Bad	High		

جدول ۲: مقایسه روش‌های استخراج ویژگی شکل



از طرفی همانطور که تاکنون متوجه شده‌اید ویژگی شکل در شرایطی که بافت و رنگ اشیا مهم نباشند مثلاً برای بازیابی علائم تجاری، به خوبی عمل می‌کند ولی روش‌هایی که صرفاً با تکیه بر این روش اقدام به بازیابی تصاویر می‌کنند عمومی نیستند. از طرفی دیگر ویژگی شکل، یکی از شهودی‌ترین ویژگی‌های هر تصویر است که به کمک آن می‌توان به اطلاعات خوبی از محتوای تصویر دست یافت و کلیت شی مورد نظر کاربر را درک کرد؛ بنابراین برای تعمیم و بهبود عملیات بازیابی، خوب است ترکیبی از ویژگی‌هایی با ویژگی شکل برای بازیابی استفاده شود. همانطور که در نتایج پژوهش‌های مورد مطالعه مشاهده شد، عملکرد سیستم بازیابی بهبود خوبی یافته و توانسته در گستره‌ی وسیع‌تری از تصاویر عمل کند.



- A. Vailaya, M. A. T. Figueiredo, A. K. Jain, and Z. Hong-Jiang, "Image classification for content-based indexing," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 10, no. 1, pp. 117-130, 2001.
- A. Kolesnikov, *Efficient Algorithms for Vectorization and Polygonal Approximation*. University of Joensuu, 2003.
- B. Ko and H. Byun, "FRIP: a region-based image retrieval tool using automatic image segmentation and stepwise Boolean AND matching," *IEEE Transactions on Multimedia*, vol. 7, no. 1, pp. 105-113, 2005.
- C. Carson, S. Belongie, H. Greenspan, and J. Malik, "Blobworld: image segmentation using expectation-maximization and its application to image querying," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 24, no. 8, pp. 1026-1038, 2002.
- C. Bauckhage and J. K. Tsotsos, "Bounding box splitting for robust shape classification", in *IEEE International Conference on Image Processing 2005*, 2005, vol. 2, pp. II-478.
- D. Zhang and G. Lu, "Review of shape representation and description techniques," *Pattern Recognition*, vol. 37, no. 1, pp. 1-19, 2004/01/01/ 2004.
- F.-C. S. David Dagan, Hong-Jiang Zhang, "Fundamentals of Content-Based Image Retrieval," in *Multimedia Information Retrieval and Management. Signals and Communication Technology*, D. D. Feng, Ed. Berlin: Springer, Berlin, Heidelberg, 2003, pp. 1-26.
- G. Chen and T. D. Bui, "Invariant Fourier-wavelet descriptor for pattern recognition," *Pattern Recognition*, vol. 32, no. 7, pp. 1083-1088, 1999/07/01/ 1999.
- G. C. Chuang and C. J. Kuo, "Wavelet descriptor of planar curves: theory and applications," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 5, no. 1, pp. 56-70, 1996.
- H. Müller, T. Pun, and D. Squire, "Learning from User Behavior in Image Retrieval: Application of Market Basket Analysis," *International Journal of Computer Vision*, vol. 56, no. 1, pp. ۰۱/۰۱/۲۰۰۴, ۷۷-۶۵ . ۲۰۰۴



- H. Müller, W. Müller, D. M. Squire, S. Marchand-Maillet, and T. Pun, "Performance evaluation in content-based image retrieval: overview and proposals," *Pattern Recognition Letters*, vol. 22, no. 5, pp. 593-601, 2001/04/01/ 2001.
- I. González-Díaz, M. Birinci, F. Díaz-de-María, and E. J. Delp, "Neighborhood Matching for Image Retrieval," *IEEE Transactions on Multimedia*, vol. 19, no. 3, pp. 544-558, 2017.
- J. Feng, L. Mingjing, Z. Hong-Jiang, and Z. Bo, "An efficient and effective region-based image retrieval framework," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 13, no. 5, pp. 699-709, 2004.
- J. Iivarinen and A. Visa, "Shape recognition of irregular objects," *Intelligent Robots and Computer Vision XV :Algorithms, Techniques, Active Vision, and Materials* vol. 2904, p. 8, 1996.
- J. Ricard, D. Coeurjolly, and A. Baskurt, "Generalization of angular radial transform," in *2004 International Conference on Image Processing, 2004. ICIP '04.*, 2004, vol. 4, pp. 2211-2214 Vol. 4.
- K. Kpalma and J. Ronsin, "Multiscale contour description for pattern recognition," *Pattern Recognition Letters*, vol. 27, no. 13, pp. 1545-1559, 2006/10/01/ 2006.
- M. I. Khalil and M. M. Bayoumi, "A dyadic wavelet affine invariant function for 2D shape recognition," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 23, no. 10, pp. 1152-1164, 2001.
- M. Yang, K. Kpalma, and J. Ronsin, "A Survey of Shape Feature Extraction Techniques," in *Pattern Recognition*, Y. Peng-Yeng, Ed.: IN-TECH, 2008, pp. 43-90.
- M. Yang, K. Kpalma, and J. Ronsin, "Shape-Based Invariant Feature Extraction for Object Recognition," in *Advances in Reasoning-Based Image Processing Intelligent Systems: Conventional and Intelligent Paradigms*, R. Kountchev and K. Nakamatsu, Eds. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2012, pp. 255-314.
- N. Singh, K. Singh, and A. K. Sinha, "A Novel Approach for Content Based Image Retrieval," *Procedia Technology*, vol. 4, pp. 245-250, 2012/01/01/ 2012.



- P. L. Combettes and J.-C. Pesquet, "Proximal Splitting Methods in Signal Processing," in *Fixed-Point Algorithms for Inverse Problems in Science and Engineering*, H. H. Bauschke, R. S. Burachik, P. L. Combettes, V. Elser, D. R. Luke, and H. Wolkowicz, Eds. New York, NY: Springer New York, 2011, pp. 185-212.
- R. Gonzalez and R. Woods, *Digital Image Processing*. North Asia Limited and Publishing House of Electronics Industry: Pearson, 2002.
- S. Abbasi, F. Mokhtarian, and J. Kittler, "Enhancing CSS-based shape retrieval for objects with shallow concavities," *Image and Vision Computing*, vol. 18, no. 3, pp. 199-211, 2000/02/01/ 2000.
- S. C. H. Hoi, M. R. Lyu, and R. Jin, "A unified log-based relevance feedback scheme for image retrieval," *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, vol. 18, no. 4, pp. 509-524, 2006.
- S. Deniziak and T. Michno, "Query-by-Shape interface for Content Based Image Retrieval," in *2015 8th International Conference on Human System Interaction (HSI)*, 2015, pp. 108-114.
- S. Deniziak and T. Michno, "New content based image retrieval database structure using query by approximate shapes," in *2017 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS)*, 2017, pp. 613-621.
- S. Zhang, M. Yang, T. Cour, K. Yu, and D. N. Metaxas, "Query Specific Rank Fusion for Image Retrieval," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 37, no. 4, pp. 803-815, 2015.
- V. Tyagi, *Content-Based Image Retrieval*, second ed. Springer Singapore, 2017, pp. XXXIV, 378.
- W. Jia, Y. Wen-Jann, and R. Acharya, "Efficient access to and retrieval from a shape image database," in *Proceedings. IEEE Workshop on Content-Based Access of Image and Video Libraries (Cat. No.98EX173)*, 1998, pp. 63-67.
- Y. Rui, T. S. Huang, and S.-F. Chang, "Image Retrieval: Current Techniques, Promising Directions, and Open Issues," *Journal of Visual Communication and Image Representation*, vol. 10, no. 1, pp. 39-62, 1999/03/01/ 1999.



مورزی بر روش های تصویر مبتنی بر
محتوا بر اساس ویژگی شکل



Optimal Planning of Rooftop Photovoltaic Resources and PEV Fast-Charging Stations: a Case Study of Kabul City

Fatemeh Keramati^{1*}, Gholam Reza Shiran²

Abstract

In recent years, due to the economic advantage of distributed energy resources and the necessity of paying attention to environmental issues, the use of distributed generation units and electric vehicles has grown significantly. In addition to economic benefits, optimal planning of distributed energy resources improves the power quality of the distribution network. Therefore, it is necessary to place distributed generation units optimally to reduce energy loss and improve the voltage profile. On the other hand, the non-optimal planning of fast charging stations increases voltage deviation, energy loss, and traveling time of drivers in the transportation network. Also, one of the critical requirements for expansion of electric transportation is the placement of available fast-charging stations in the transportation network. Therefore, the optimal placement of fast charging stations requires attention to the constraints of the distribution and transportation network. In this article, the optimal planning of PEV fast-charging stations and rooftop photovoltaic sources in Kabul city has been discussed. In the proposed method, AC load flow and modified staircase cost facility location model are used. The proposed mixed integer nonlinear model has been implemented using GAMS software on the 22-bus Kabul distribution network with the aim of improving power quality and maximum traffic flow coverage, and the results show the effectiveness of the proposed method.

Keywords: Electric vehicles, Fast charging stations, Photovoltaic resource, Optimization, Power, quality.

¹ Faculty of Electrical and Computer Engineering, University of Kashan, Kashan, Iran

Email: f.keramati_93@grad.kashanu.ac.ir

² Faculty of Civil Engineering and Transportation, University of Isfahan, Isfahan, Iran

Email: gh.shiran@trn.ui.ac.ir

Using slate-phyllite stone as a natural material to improve the geotechnical characteristics of marl clay

Morteza Moballeq^{1*}, Abolfazl Soltani²

Abstract

In the past years, due to the emergence of environmental problems and the increase in the cost of industrial materials such as lime and cement to improve problematic soils, researchers have made efforts to reduce the use of these materials in soil improvement projects. For this reason, using natural resources and waste from industrial factories can be a good option. In this research, slate-phyllite powder (SPP) has been used as an additive to improve the geotechnical properties of marl clay (problematic soil). The results obtained from the Atterberg limit and standard density tests showed that by adding 5, 7 and 10 percent by weight of SPP to marly clay, a significant decrease in plasticity, an increase in optimum moisture content and a decrease in the maximum dry weight are obtained. Also, in the results of unconfined compressive strength (UCS) and California bearing ratio (CBR) tests, a significant increase in the obtained values can be seen, which indicates the appropriate effect of this additive on the bearing capacity of the base soil. Finally, in order to know the morphology of the optimal samples, FE-SEM and polarizing microscope analyzes were performed and the results showed the changes in the soil structure after adding SPP.

Keywords: Marl clay, improvement, slate-phyllite rock, metamorphic rocks, UCS, CBR.

¹ Master's degree in geotechnical engineering and Correspondence Officer, Tarbiat dabir Shahid Rajaei University, Tehran, Iran

Email: mortezamobaleghm2@gmail.com

² Associate Professor of Tarbiat dabir Shahid Rajaei University, Tarbiat dabir Shahid Rajaei University, Tehran, Iran

Email: asoltani@sru.ac.ir

Protection of wind energy systems against the indirect effects of lightning

Abdallah Halimi^{1*}

Abstract

This paper is concerned with the protection of wind energy systems against the indirect effects of lightning. As wind energy is gaining increasing importance throughout the world, lightning damages involving wind energy systems have come to be regarded with more attention. Nevertheless, there are still very few studies in Portugal regarding lightning protection of wind energy systems using models of the Electro-Magnetic Transients Program (EMTP). Hence, a new case study is presented in this paper, based on a wind turbine with an interconnecting transformer, considering that lightning strikes the soil near the tower at a distance such that galvanic coupling occurs through the grounding electrode. Computer simulations obtained by using EMTP-RV are presented and conclusions are duly drawn.

Keywords: Electromagnetic transients Lightning protection Wind energy.



¹. Master's student of power systems at K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran
Email:

Improving the resistance of divergent soil by using glass waste powder

Morteza Moballeq^{1*}

Abstract

Divergent soils experience significant changes in soil volume when they are wet and dry, which causes them to lose their resistance. It has been seen all over the world that structures built on divergent soils (such as highways, railways, buildings) suffer from many problems. Therefore, the improvement of divergent soils is vital for the exploitation of civil works. In this research, the improvement of this soil has been obtained using waste glass powder (WGP). At first, waste glass was crushed and then added to the base soil with percentages of 2.5, 5, 10, 15 and 25% by weight. Various geotechnical tests were performed on WGP-amended soil and base heterogeneous soil, including Atterberg limit, standard density, swelling, unconfined compressive strength (UCS), direct shear, and California bearing ratio (CBR) tests. According to the results of the experiments, by adding WGP to the base soil, a significant effect on the shear strength and durability of the samples was obtained. Also, the results of the CBR test showed that by adding 15% waste glass powder to the samples, the bearing capacity of the improved soil increased by 171%. The optimal WGB mixture design for this soil was obtained for 15% by weight.

Keywords: Soil improvement, divergent soil, waste glass powder, UCS, CBR.

Abstract

¹. Master's degree in geotechnical engineering and Correspondence Officer, Tarbiat dabir Shahid Rajaee University, Tehran, Iran
Email: mortezamobaleghm2@gmail.com



Volume 5, Issue 4, Fall



Technical evaluation of a solar photovoltaic (PV) plant on a gable roof; A case study of Khatam Al-Nabieen University in Kabul city

Sayed Mohammad Sajjadi^{1*}

Abstract

There is a difference between energy consumption and energy supply in Afghanistan, and more than 80% of the country's electricity needs are imported from neighboring countries. All developing and developed countries seek to provide energy through endless and renewable resources. Afghanistan has a good ability to use renewable resources that if only 2% of the total possible potential is used, the country's total energy needs will be met. With about 300 sunny days per year and a theoretical average solar energy density of 6.5 kWh/m² per day, Afghanistan has significant solar energy potential that can be exploited using solar thermal technologies and photovoltaic (PV) systems. In this evaluation, by adopting the cost reduction policy, a photovoltaic solar power plant was designed for Khatam al-Nabieen University in Kabul city. Covering about 296 square meters of unused area of the university, this power plant can produce 108 megawatt hours of electrical energy in a year. In the end, the height of the sun and the ambient temperature were identified as two very important factors in the production and operation of the power plant. Also, in order to supply the electricity needed by the university without buying energy from the national power grid, a storage system should be design next to the power plant to supply the electricity demand in the event of a reduction or non-production of the PV power plant.

Keywords: Solar energy, Technical evaluation, Photovoltaic (PV) systems, Khatam Al-Nabieen University, Solar panels.

¹. Renewable energy engineering student, University of Tehran, Tehran, Iran
Email: sajadi.muhamad@yahoo.com



Volume 5, Issue 4, Fall



Design and implementation of an electrooculography (EOG) signal recording device to improve the eye behavior of autistic children

Mohammad Abolfazl Afzali^{1*}

Abstract

Considering the problems of autistic patients and children with visual impairments, in their daily life, as well as timely diagnosis and help to treat and improve the vision of these people; The use of various tools to help doctors as well as patients has been proposed and developed by researchers. In this article, an attempt has been made to propose a cost-effective and reliable approach compared to other existing methods and discuss its results.

Electrooculogram (EOG) is a physiological signal that can be recorded from the eye socket along the eyeball. Electrooculogram movements are a voluntary biomedical signal. which can directly control the machine in human-machine interface (HMI) applications. In this project, we have designed a collection and optimization unit that shows the filtered and improved signal at the output; which is used to show the electrooculogram and use it. It seems that the designed system has a reliable performance in terms of obtaining the electrooculogram signal, its optimization and intended applications.

Keywords: electrooculography, autism, eye movements, signal conditioning, human-machine interface (HMI).

Abstract

An overview of image recovery methods based on shape features

Z.Nikzad^{1*}

Abstract

The goal of any information retrieval system is to provide timely relevant information to the right user at the right time. Images are of special importance as a form of documents that can convey a significant amount of information. In recent years, due to the great importance of multimedia information and the existence of very large databases of data images, the effort to find suitable tools for image recovery has increased tremendously. In fact, the problem of finding digital images from a large database is called image retrieval (CBIR); which is one of the most important research fields in the science of image processing. Content-based image retrieval includes a set of methods to process the visual feature of an image and query it to find similar images in an image database. In these systems, the basic features of the image such as color, texture, shape and location are automatically extracted and stored in a database as a feature vector for image comparison. One of the most important requirements of this field is to identify and use appropriate and effective features to describe the content of an image. In this article, content-based image retrieval methods based on shape features are investigated. The shape feature is obtained after edge detection and separation of the background from the foreground, which provides a binary image of the geometric properties of the objects in the image, and features the surface configuration of the object represented by its boundary.

Keywords: Retrieval based on content, shape, edge detection, image processing, visual feature.

¹. Master of Artificial Intelligence, Professor of Khatam-ul-Nabiin University (PBUH),
Kabul, Afghanistan
Email: znikzad@khuisf.ac.ir

