کاهش تلفات ناشی از اصابت صاعقه به توربین‌های بادی دریایی

با استفاده از نرم‌افزار FEKO

نویسندگان: رضا رستمی- rostami.reza.0074@gmail.com
محمدجواد نصیری- mjnasisi87@yahoo.com

چکیده: هر چه انرژی بادی در سراسر جهان اهمیت بیشتری پیدا می‌کند، بیش‌ازپیش خسارات ناشی از صاعقه به مزارع بادی دریایی به علت هزینه‌های زیادی که برای نصب توربین به کار می‌رود باید با دقت بیشتری موردتوجه و مطالعه قرار گیرد. در این مقاله روش جدیدی برای بررسی اضافه جریان ایجادشده ناشی از برخورد صاعقه به بدنه توربین و همچنین به بررسی و مطالعه توزیع میدان مغناطیسی و الکتریکی ایجادشده در اطراف توربین بادی دریایی در دو حالت توربین تک‌پایه و سه‌پایه با استفاده از نرم‌افزار *FEKO* و *MATLAB* ارائه می‌شود. در قسمت عمده شبیه‌سازی که با نرم‌افزار شبیه‌ساز الکترومغناطیس جامع برای تحلیل میدان‌های الکترومغناطیسی ساختارهای سه‌بعدی *FEKO* انجام می‌شود، شرایط محیطی مختلف اعمال‌شده و خروجی‌ها بر روی نمودارهای شامل میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی در شرایط متفاوت مقایسه می‌شوند. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که با کاهش رسانندگی خاک، پیک میدان کاهش می‌یابد که این امر می‌تواند با اضافه کردن شن یا ماسه به خاک محل قرارگیری توربین حاصل شود و درنتیجه این کار باعث کاهش تلفات ناشی از صاعقه می‌شود.

کلیدواژه: توربین بادی دریایی، حفاظت صاعقه، کاهش تلفات، *FEKO*

۱ – مقدمه

اثرات اصابت صاعقه بر روی ژنراتورهای توربین‌های بادی به‌تازگی تبدیل به یکی از دغدغه‌های عمده برای حفاظت توربین‌های بادی دریایی و همچنین پست‌های ساحلی مجاور آن‌ها شده است. زیرا که تعداد و ارتفاع توربین‌های بادی رو به افزایش است.تأثیر صاعقه بر روی توربین‌های بادی باعث ایجاد اختلالات در کنترل‌های الکترونیکی، خسارت به اجزا و مؤلفه‌های واحد توربین از قبیل تیغه‌ها و قطعات الکترونیکی می‌شود و همچنین ایجاد خسارت به تجهیزات پست ساحلی و یا منجر به از دست دادن کامل توربین خواهد شد. مسئله مهم دیگر اثرات مخرب ناشی از صاعقه که منجر به تعویض قطعات توربین می‌شود که همین عامل باعث افزایش هزینه‌های اقتصادی خواهد شد[۱].

ازاین‌رو در این مقاله روش جدیدی برای آنالیز و بهینه‌سازی اثرات میدان‌های مغناطیسی و الکتریکی در نرم‌افزار FEKO با توجه به ارتفاع توربین بادی و مقدار پیک میدان در طیف فرکانسی و همچنین در حوزه زمان موردبررسی قرار می‌گیرد. از طرفی رسانندگی خاک و عمق دریا نیز برای به حداقل رساندن اثرات میدان مغناطیسی و الکتریکی ناشی از صاعقه در اثر برخورد به توربین بادی دریایی با استفاده از مدل‌های سه‌بعدی طراحی‌شده و خروجی‌ها در قالب نمودار از نرم‌افزار FEKO اخذ می‌شود. میدان‌های الکترومغناطیسی در مجاورت مسیر جریان صاعقه در توربین‌های بادی دریایی مورد تجزیه‌وتحلیل قرار می‌گیرند که در آن از روش لحظه‌ای (Method Of Moment) برای توصیف آنالیز میدان الکترومغناطیسی در حالت گذرا و جریان توزیع‌شده ناشی از صاعقه استفاده می‌شود. در این مقاله برای بررسی دقیق و مقایسه حالت‌های مختلف رسانندگی خاک و میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی از نرم‌افزار MATLAB نیز استفاده می‌شود.

۲- آنالیزهای عددی

روش‌های عددی اندکی برای تجزیه‌وتحلیل اثر الکترومغناطیسی اصابت صاعقه بر روی یک قطعه خاص در یک ساختار مکانیکی پیچیده وجود دارد. هر روشی از مزایای خاص خود برخورداراست. روش‌های حوزه زمانی، فرصتی را برای ترکیب اثرات هیسترزیس و محاسبه رزونانس تحریک (ایمپالس) به‌طور مستقیم در حوزه زمان ارائه می‌دهد[۱]. روش‌های حوزه فرکانسی می‌تواند به‌راحتی پارامترهای مواد وابسته به فرکانس را ادغام یکپارچه کند .لذا در

این مقاله روش لحظه‌ای MOM (Method Of Moment) برای انجام تحلیل اصابت صاعقه به نقاط مختلف ساختار مکانیکی پیچیده استفاده می‌شود که در این روش یک تکنیک عددی وابسته به جریان که ابتدا توزیع جریان را بر روی یک مدل مش بندی شده استنتاج می‌کند و از این طریق کلیه مؤلفه‌ها و مقادیر دیگر را محاسبه می‌کند.

۲-۱- معرفی نرم‌افزار FEKO

از نرم‌افزار FEKO برای توصیف و استفاده از روش MOM در جزئیات به کار می‌رود. این نرم‌افزار روش‌های جدید را برای حل معادلات ماکسول ارائه می‌دهد که کاربر را قادر می‌سازد تا محدوده وسیعی از مسائل و مشکلات الکترومغناطیسی که در صنایع مختلف وجود دارد را حل کند. از طرفی قادر به تحلیل لایه‌های دی‌الکتریک چندگانه در ساختارهای بزرگ نیز می‌باشد. از قابلیت‌های منحصربه‌فرد این نرم‌افزار شبیه‌سازی مدل پایه توربین بادی در محیط دریا با اعمال مدل صاعقه در حوزه‌های فرکانس و زمان با استفاده از اعمال پالس صاعقه در حوزه زمان در محیط Post FEKO نرم‌افزار است که همین عامل منجر به اخذ خروجی‌هایی شامل جریان، میدان الکتریکی و مغناطیسی در اطراف پایه توربین بادی دریایی می‌شود [۲].

۳- معادلات مربوط به پالس صاعقه

گذردهی نسبی یک ماده تحت شرایطی خاص، میزان توانایی آن ماده برای متمرکز کردن خطوط شار میدان الکتروستاتیکی را نشان می‌دهد. به بیان دقیق‌تر می‌توان این کمیت را برابر با نسبت ظرفیت خازنی با دی‌الکتریک مربوطه به ظرفیت خازنی که دی‌الکتریک آن خلأ (به‌طور تقریبی هوا) است تعریف نمود. گذردهی نسبی را معمولاً با ε نشان می‌دهند و به‌صورت رابطه (۱) تعریف می‌شود:

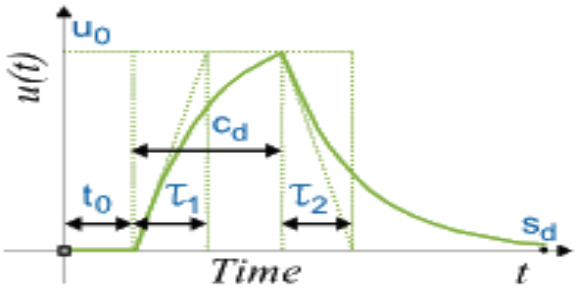
$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \qquad (۱)$$

در رابطه (۱) ε گذردهی مطلق وابسته به فرکانس را نشان می‌دهد و یک عدد مختلط است و ε_0 نیز ثابت گذردهی خلأ است که در نرم‌افزار به‌صورت پیش‌فرض برابر $8{,}854187817 \times 10^{-12}$ در نظر گرفته‌شده است. گذردهی نسبی یک کمیت بدون بُعد و معمولاً عددی مختلط است. قسمت موهومی آن مربوط به تغییر فاز بردار قطب آن می‌باشد و بردار میدان الکتریکی است که عامل تضعیف موج الکترومغناطیسی منتشر شونده در ماده است. گذردهی نسبی آب دریا و خاک ته دریا را در این مقاله به ترتیب برابر ۱۰ و ۳۰ قرار می‌دهیم.

رسانندگی ویژه الکتریکی یا هدایت الکتریکی ویژه برابر با وارون مقاومت الکتریکی ویژه است و برای اندازه‌گیری میزان قابلیت توانایی مواد برای عبور دادن جریان الکتریکی مورداستفاده قرار می‌گیرد. رسانندگی ویژه را با σ نشان می‌دهند و یکای آن زیمنس بر متر s/m است. رسانندگی ویژه الکتریکی با استفاده از رابطه (۲) تعریف می‌شود که R مقاومت الکتریکی ، l طول ماده و A مساحت ماده را مشخص می‌کند :

$$\sigma = \frac{1}{R}\frac{l}{A} \qquad (۲)$$

در این مقاله مقدار رسانندگی ویژه آب دریا برابر 4 s/m انتخاب‌شده است. برای مقدار رسانندگی ویژه خاک ته دریا، محلی که پایه توربین در آن دفن می‌شود، دو مقدار مختلف ۱و۰,۰۰۱ را در دو آزمایش مختلف قرار داده می‌شود که تأثیر تغییر رسانندگی خاک ته دریا را بر روی میدان‌های مغناطیسی و الکتریکی ایجادشده اطراف بدنه توربین را موردبررسی قرار دهیم. در تحلیل حوزه زمان برای اعمال صاعقه از double exponential piecewise pulse استفاده می‌شود. شکل (۱) پالس اعمال صاعقه در حوزه زمان را نشان می‌دهد:



شکل ۱: پالس اعمال صاعقه در حوزه زمان [۱]

در شکل (۱) sd برابر با طول کل سیگنال و اندازه u_0 مقدار سیگنال زمان را نشان می‌دهد که در این مقاله برای شبیه‌سازی پالس صاعقه این مقدار را برابر ۱۰۳ اعمال می‌شود. تأخیر پالس t_0، مدت‌زمان تناوب پیش از شروع پالس را مشخص می‌کند که این مقدار برابر با ۵ نانوثانیه اعمال می‌شود. همچنین cd مدت‌زمان شارژ را که فاصله زمانی بین پایان تأخیر پالس تا زمانی

www.kahrobaonline.ir

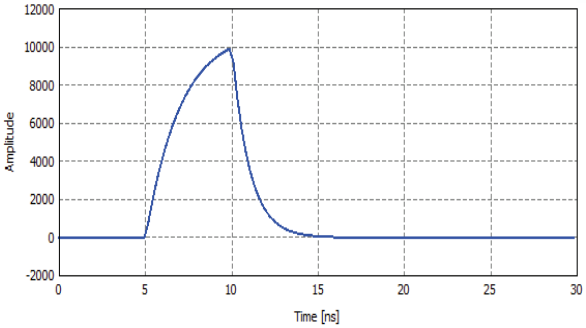
که سیگنال مجدداً دشارژ شود را متذکر می‌شود که این مقدار نیز برابر با 5 نانوثانیه اعمال می‌شود. τ1 و τ۲ به ترتیب ثابت زمانی شارژ و دشارژ را نشان می‌دهد که در این مقاله به ترتیب برابر 2 و1 نانوثانیه لحاظ می‌شود. معادلات (۳)، (۴) و (۵) فرمول‌های مربوط به پالس صاعقه شکل (۱) را نشان می‌دهد [۳]و[۴].

$$u(t)=\begin{cases}0 & \text{for} \quad t\le t_0\\ u_1\left(1-e^{-\frac{t-t_0}{\tau_1}}\right) & \text{for} \quad t_0\le t\le c_d+t_0\\ u_2\, e^{-\frac{t-t_0}{\tau_2}} & \text{for} \quad t\ge c_d+t_0\end{cases} \qquad (۳)$$

$$u_1=\frac{u_0}{1-e^{-\frac{c_d}{\tau_1}}} \qquad (۴)$$

$$u_2=\frac{u_0}{e^{-\frac{c_d}{\tau_2}}} \qquad (۵)$$

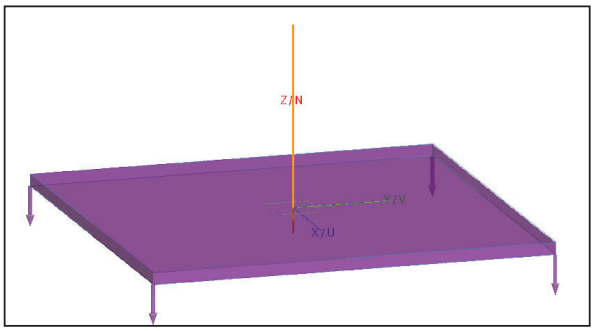
درنهایت سیگنال زمانی اعمالی صاعقه در شکل (۲) قابل‌مشاهده می‌باشد:



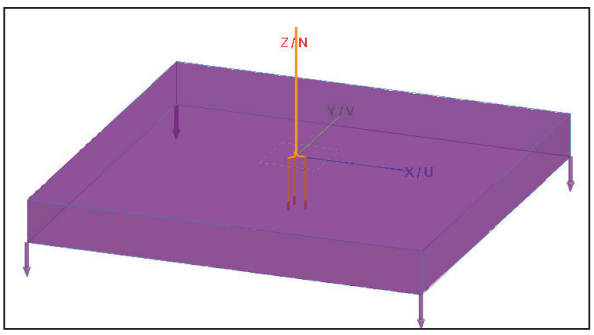
شکل ۲: سیگنال زمانی اعمالی صاعقه به توربین بادی دریایی

۴- مدل‌سازی برخورد صاعقه

در این مقاله برای شبیه‌سازی برخورد صاعقه با توجه به پالس طراحی‌شده اعمالی یک محیط سه لایه ایجاد می‌شود که لایه اول را باضخامت بی‌نهایت برابر با هوا در نظر گرفته می‌شود و لایه دوم را باضخامت ۱m برابر با آب لحاظ می‌شود و لایه سوم را باضخامت بی‌نهایت برابر با زمین اعمال می‌شود. برای شبیه‌سازی پایه توربین، طول توربین را ۱۵m به‌گونه‌ای انتخاب می‌شود که ۱m از سطح آب‌گذشته و ۱m در زیر سطح زمین دفن شود و ۱۳m آن روی سطح آب و در هوا قرار گیرد. مدل‌سازی سه‌بعدی توربین بادی دریایی سه‌پایه و تک‌پایه به ترتیب در شکل (۳) و شکل (۴) قابل‌مشاهده می‌باشد:



شکل ۳: شماتیک سه‌بعدی توربین بادی دریایی تک‌پایه



شکل ۴: شماتیک سه‌بعدی توربین بادی دریایی سه پایه

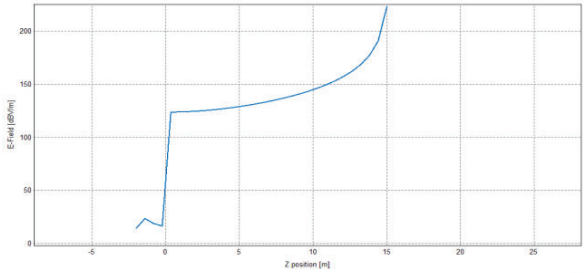
برای تحلیل در حوزه فرکانس، حداقل مقدار فرکانس را ۱۰ KH و حداکثر مقدار آن را ۱۰ MH مشخص‌شده و گام فرکانس را برابر با ۱۰ اعمال می‌شود. برای اعمال صاعقه و شبیه‌سازی اضافه جریان حاصل از آن در مختصاتی مشخص جریان با اندازه داده‌شده را اعمال می‌کند که در این مقاله مختصات جریان را از نقطه شروع ۱m بالاتر از انتهای توربین تا نقطه انتهایی بالای توربین اعمال می‌شود. اندازه جریان برابر با ۱۰KA لحاظ می‌شود که پس از اعمال این مدل‌ها در خروجی، میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی اطراف پایه توربین آنالیز و مشاهده می‌شود.

۵-مقایسه خروجی‌ها

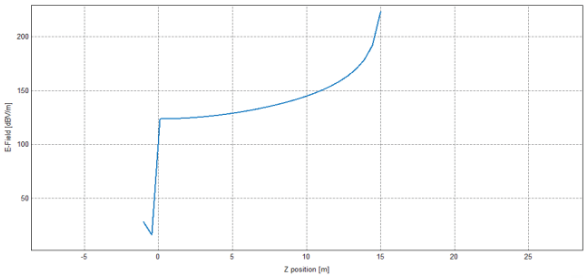
با عبور جریان صاعقه از پایه توربین، اطراف آن میدان الکتریکی ایجاد می‌شود که شدت آن از ابتدا تا انتهای توربین متفاوت است. با بررسی تغییرات این میدان می‌توان متوجه شد که در چه نقاطی تأثیر صاعقه روی توربین بیشتر است و در چه محدوده‌ای این تأثیر کاهش پیدا می‌کند [۵] و [۶].

www.kahrobaonline.ir

در این مقاله برای کاهش اثرات و صدمات ناشی از اضافه جریان صاعقه، رسانندگی خاک انتهای توربین موردبررسی و مطالعه قرار می‌گیرد که می‌توان با تغییر رسانندگی ویژه خاک در دو مقدار۰,۰۰۱ و ۱ تجزیه‌وتحلیل کرد. خروجی این تغییرات در شکل (۵) و شکل (۶)، نمودار میدان الکتریکی با تغییرات پایه توربین و رسانندگی ویژه خاک در دو حالت ۰,۰۰۱و ۱ قابل‌مشاهده می‌باشد:



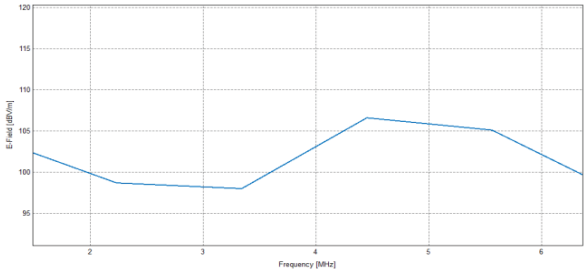
شکل ۵: نمودار میدان الکتریکی (برحسب dBV/m) با تغییرات ارتفاع پایه توربین (برحسب m) با رسانندگی ویژه خاک برابر ۱ را نشان می‌دهد.



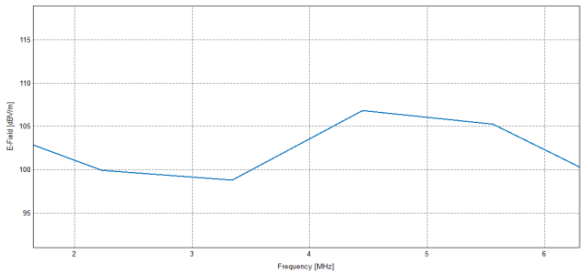
شکل ۶: نمودار میدان الکتریکی (برحسب dBV/m) با تغییرات ارتفاع پایه توربین (برحسب m) با رسانندگی ویژه خاک برابر ۰,۰۰۱ را نشان می‌دهد.

در شکل (۵ و ۶) مشاهده می‌شود که میدان الکتریکی در نزدیکی سطح آب (Z=0m) روند تقریباً یکسانی دارد اما در شکل (۵) میدان الکتریکی سریع‌تر از رسیدن به سطح آب کاهش پیدا می‌کند.

لازم به ذکر است برای واضح دیده شدن تغییرات شکل(۵) و شکل (۶)، این دو نمودار در شکل‌های (۷و۸) بزرگنمایی می‌شوند:



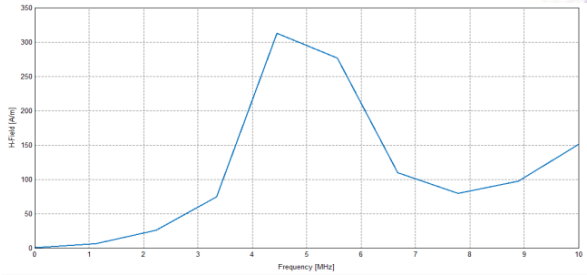
شکل ۷: نمودار میدان الکتریکی (برحسب dBV/m) با تغییرات فرکانس (برحسب MH) با رسانندگی ویژه خاک برابر 1 در نقطه (Z=10m) را نشان می‌دهد.



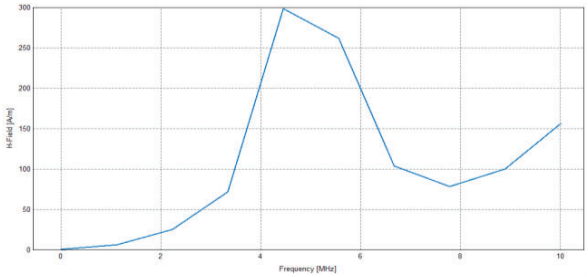
شکل ۸: نمودار میدان الکتریکی (برحسب dBV/m) با تغییرات فرکانس (برحسب MH) با رسانندگی ویژه خاک برابر 0.001 در نقطه (Z=10m) را نشان می‌دهد.

در شکل (۷) مشاهده می‌شود که در یک بازه فرکانسی بین۲ MH تا ۶ MH با رسانندگی خاک بیشتر در برخی از فرکانس‌های خاص اندازه میدان الکتریکی کمتری نسبت به شکل(۸) با رسانندگی ویژه ۰,۰۰۱ را دارا می‌باشد. نکته جالب‌توجه این‌که از یافته‌های مهم این مقاله است، روند کلی تغییرات میدان الکتریکی با تغییرات فرکانس است که در آن میدان الکتریکی با افزایش فرکانس روند نزولی دارد و درنتیجه با افزایش رسانندگی ویژه خاک، مقدار میدان الکتریکی در هر فرکانس کاهش می‌یابد. همچنین در هر دو حالت رسانندگی خاک مشاهده می‌شود که هر چه ارتفاع پایه توربین کاهش یابد مقدار پیک میدان در طیف فرکانسی کاهش پیدا می‌کند.

در شکل (۹) و شکل (۱۰) مشاهده می‌شود که میدان مغناطیسی در تمام طول توربین در فرکانس‌های ۴ MH تا ۶ MH بیشترین مقدار خود را دارا می‌باشد و همانند میدان الکتریکی با کاهش طول توربین، مقدار پیک میدان مغناطیسی کاهش می‌یابد.



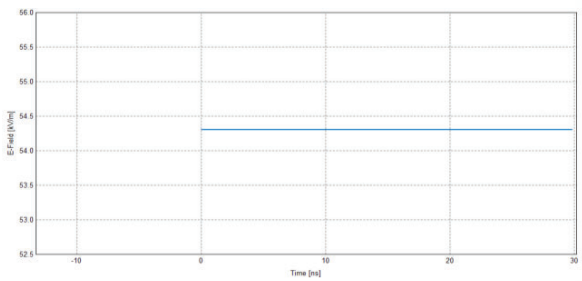
شکل ۹: نمودار تغییرات میدان مغناطیسی(برحسب A/m) با افزایش فرکانس در نقطه (Z=10m) و رسانندگی خاک برابر با 0.001 را نشان می‌دهد.



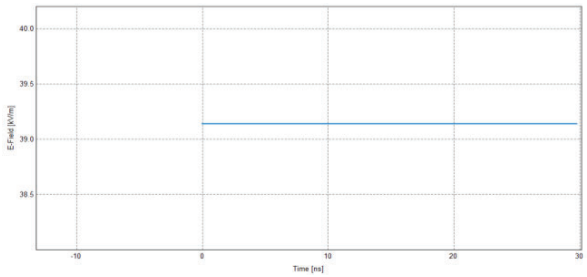
شکل ۱۰: نمودار تغییرات میدان مغناطیسی(برحسب A/m) با افزایش فرکانس در نقطه (Z=10m) و رسانندگی خاک برابر با 1 را نشان می‌دهد.

با مقایسه شکل (۹) و شکل(۱۰) مشاهده می‌شود که در فرکانس‌های برابر، اندازه میدان مغناطیسی در حالتی که رسانندگی ویژه خاک برابر ۱ می‌باشد، مقدار میدان مغناطیسی کمتر از حالتی است که رسانندگی ویژه خاک برابر ۰,۰۰۱ است.

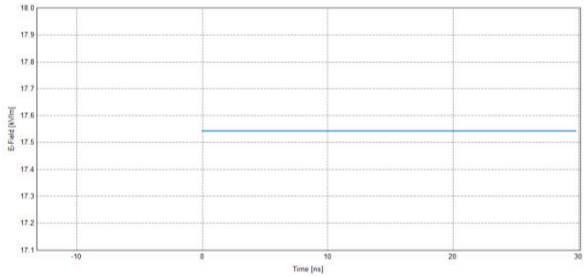
در نمودارهای خروجی میدان الکتریکی برحسب زمان، با مقایسه شکل (۱۱)، (۱۲) و (۱۳) مشاهده می‌شود که در همان بازه چند نانوثانیه میدان الکتریکی روند نزولی داشته و همچنین در اندازه‌های مختلف طول توربین ملاحظه می‌شود که با کاهش طول پایه توربین، مقدار میدان الکتریکی کاهش پیدا می‌کند. نمودارهای شکل (۱۱)، (۱۲) و (۱۳) نمایانگر این موضوع می‌باشند:



شکل ۱۱: نمودار میدان الکتریکی(kv/m) برحسب زمان(ns) در ارتفاع (Z=15m) و رسانندگی ویژه خاک (sig=1) نشان می‌دهد.



شکل ۱۲: نمودار میدان الکتریکی(kv/m) برحسب زمان(ns) در ارتفاع (Z=10m) و رسانندگی ویژه خاک (sig=1) نشان می‌دهد.



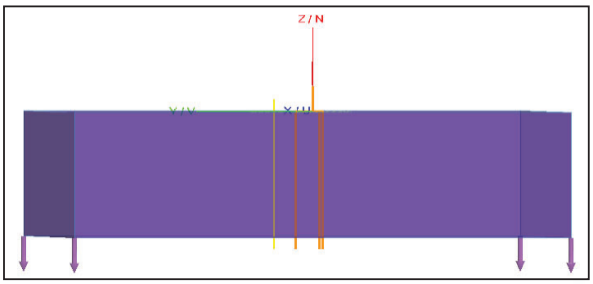
شکل ۱۳: نمودار میدان الکتریکی(kv/m) برحسب زمان(ns) در ارتفاع (Z=5m) و رسانندگی ویژه خاک (sig=1) نشان می‌دهد.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود میدان الکتریکی و مغناطیسی در تمام حالات، با کاهش طول توربین کاهش می‌یابد که این بدان معناست که هر چه از بالای توربین به سطح آب نزدیک می‌شویم، توزیع میدان و اضافه جریان کاهش پیدا می‌کند. همچنین مشاهده می‌شود که با افزایش رسانندگی خاک، پیک میدان کاهش می‌یابد. بنابراین می‌توان با افزایش رسانندگی خاک انتهای توربین، صدمات ناشی از صاعقه را به حداقل رساند.

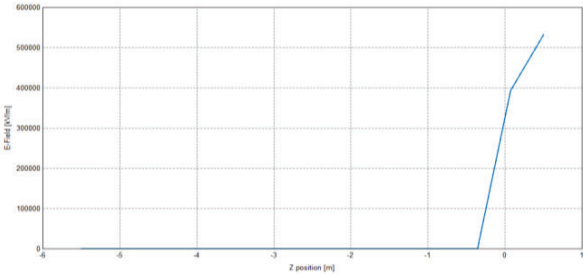
۶- شبیه‌سازی توربین دریایی سه‌پایه

ازآنجاکه در نمونه‌های واقعی در انتهای توربین در هنگام دفن در زمین از سه‌پایه برای نصب توربین استفاده می‌شود، لذا در این مقاله توربین دریایی سه‌پایه نیز شبیه‌سازی می‌شود. میدان در این حالت از ابتدای توربین تا انتهای یکی از پایه‌های توربین موردبررسی و مطالعه قرار می‌گیرد. در این شبیه‌سازی طول توربین تا سطح آب را برابر با 15m و طول سه‌پایه برابر با ۶ متر لحاظ می‌شود که ۱ متر از آن در داخل زمین دفن می‌شود. برای مشخص کردن خروجی، میدان الکتریکی در محدوده یکی از پایه‌های توربین محاسبه می‌شود و در شکل (۱۵) قابل‌مشاهده است. به این صورت که میدان در محور مجاور و موازی یکی از پایه‌ها از یک متر بالاتر از سطح آب تا یک متر زیرزمین نشان داده می‌شود. در شکل (۱۴)

خط زرد رنگ نشان‌دهنده میدان خروجی می‌باشد:



شکل ۱۴: توربین دریایی سه‌پایه و محدوده میدان الکتریکی



شکل ۱۵: نمودار تغییرات میدان الکتریکی (برحسب kv/m) با تغییرات z (برحسب m) را نشان می‌دهد.

از شکل (۱۵) مشاهده می‌شود که اندازه میدان الکتریکی اندکی بعد از ورود به سطح آب به‌طور کامل صفر می‌شود.

۵- مدل‌سازی کاربر

جستجو در سراسر پایگاه داده، سیستم یک مدل برای کاربران ایجاد می‌کند و بر اساس آن تصاویر K برای ارائه به کاربر در هر تکرار انتخاب می‌شود. ما فرض کنیم که کاربر به دنبال یک تصویر یا مجموعه‌ای از تصاویر مربوط به خود است. بازخورد کاربر توسط یک نمره مربوط $Y \epsilon [۰، ۱]$ ، که در آن ۱ نشان‌دهنده مربوط بودن بالای تصویر است. پروتکل تکرار به شرح زیر است:

- سیستم، k تصاویر انتخاب و به کاربر ارائه می‌کند.
- کاربر نمرات مربوطه را در بازه ۰ و ۱ نشان می‌دهد. تصاویر که توسط کاربر امتیاز داده نمی‌شوند ۰ فرض می‌شود.
- تصاویری که ۱ انتخاب شدند به الگوریتم ژنتیک برای محدود شدن فضای جستجو داده می‌شوند.

۶- نتیجه‌گیری

برای حمایت از کاربران در جهت اکتشاف فضای جستجوی تصویر، ما یک سیستم تعاملی CBIR که شامل اکتشاف و بهره‌برداری با بازخورد کاربر طراحی کردیم. کاربران می‌توانند فضای تصویر را با بازخورد خود و کمک الگوریتم ژنتیک کم کنند. در این سیستم مجموعه داده با برچسب تصاویر نیاز نیست، کاربران نیاز به دانستن تصاویر ندارند. ابتدا به‌صورت تصادفی مجموعه‌ای از تصاویر انتخاب‌شده به کاربر نشان داده می‌شود و به‌وسیله بازخورد کاربر و الگوریتم ژنتیک این فضای جستجو محدود می‌شود تا نهایت کاربر به هدف خود می‌رسد.

مراجع

[1] Auer, P., Cesa-Bianchi, N., Fischer, P.: Finite-time analysis of the multiarmed bandit problem. Mach. Learn. 47, 235–256 (2002)

[2] Auer, P., Hussain, Z., Kaski, S., Klami, A., Kujala, J., Laaksonen, J., Leung, A.P., Pasupa, K., Shawe-Taylor, J.: Pinview: implicit feedback in content-based image retrieval. JMLR Workshop Conf. Proc. 11, 51–57 (2010)

[3] Cox, I., Miller, M., Minka, T., Papathomas, T., Yianilos, P.: The Bayesian image retrieval system, PicHunter: theory, implementation, and psychophysical experiments. Image Process. 9(1), 20–37 (2000)

[4] Datta, R., Li, J., Wang, J.: Content-based image retrieval: approaches and trends of the new age. In: Multimedia Information Retrieval, pp. 253–262. ACM (2005)

[5] G_lowacka, D., Hore, S.: Balancing exploration-exploitation in image retrieval. In: Proceedings of UMAP 2014 Posters, Demonstrations and Late-Breaking Results (2014)

[6] G_lowacka, D., Shawe-Taylor, J.: Content-based image retrieval with multinomial relevance feedback. In: Proceedings of ACML, pp. 111–125 (2010)

[7] Guiver, J., Snelson, E.: Learning to rank with softrank and Gaussian processes. In: Proceedings of SIGIR, pp. 259–266 (2008)

[8] Kato, T., Kurita, T., Otsu, N., Hirata, K.: A sketch retrieval method for full color image database-query by visual example. In: Pattern Recognition. Computer Vision and Applications, pp. 530–533 (1992)

[9] Kelly, D., Fu, X.: Elicitation of term relevance feedback: an investigation of term source and context. In: Proceedings of SIGIR (2006)

[10] Kosch, H., Maier, P.: Content-based image retrieval systems-reviewing and benchmarking. JDIM 8(1), 54–64 (2010)

[11] Laaksonen, J., Koskela, M., Laakso, S., Oja, E.: Picsom-content-based image retrieval with self-organizing maps. Pattern Recogn. Lett. 21(13), 1199–1207 (2000)

[12] Pham, T.-T., Maillot, N.E., Lim, J.-H., Chevallet, J.-P.: Latent semantic fusion model for image retrieval and annotation. In: Proceedings of CIKM (2007)

[13] Piras, L., Giacinto, G., Paredes, R.: Enhancing image retrieval by an exploration exploitation approach. In: Perner, P. (ed.) MLDM 2012. LNCS (LNAI), vol. 7376, pp. 355–365. Springer, Heidelberg (2012)

[14] Rasmussen, C.E., Williams, C.K.I.: Gaussian Processes for Machine Learning. MIT Press, Cambridge (2006)

[15] Smeulders, A., Worring, M., Santini, S., Gupta, A., Jain, R.: Content-based image retrieval at the end of the early years. Pattern Anal. Mach. Intell. 22(12), 1349– 1380 (2000)

[16] Suditu, N., Fleuret, F.: Iterative relevance feedback with adaptive exploration/exploitation trade-off. In: Proceedings of CIKM (2012)

[17] Veltkamp, R.C., Tanase, M.: Content-based image retrieval systems: a survey. Department of Computing Science, Utrecht University (2002)

[18] Villegas, M., Leiva, L.A., Paredes, R.: Interactive image retrieval based on relevance feedback. In: Sappa, A.D., Vitri`a, J., Multimodal Interaction in Image and Video Application, vol. 48, pp. 83–109. Springer, Heidelberg (2013)

[19] Yee, K.-P., Swearingen, K., Li, K., Hearst, M.: Faceted metadata for image search and browsing. In: Proceedings of CHI, pp. 401–408 (2003)

[20] Zhou, X., Huang, T.: Relevance feedback in image retrieval: a comprehensive review. Multimed. Syst. 8(6), 536–544 (2003)

[21] Miguel, A., Francesc, J., Salvador, M. : Improving distance based image retrieval using non dominated sorting genetic algorithm. Elsevier, 201