



استفاده از روشهای رگرسیون خطی و رگرسیون غیر خطی در تخمین روند تغییر جریان ناشی مفره های شبکه توزیع در مناطق آلوده سواحل جنوبی کشور

مجید رضایی^۱، محمد تقی حسن زاده^۱، سعید قاسمی^۲

۱- پژوهشگاه نیرو، ۲- برق منطقه‌ای هرمزگان

کلمات کلیدی: مفره فشار قوی- جریان ناشی- عوامل جوی- رگرسیون خطی- رگرسیون غیر خطی-

پایگاه تحقیقاتی

چکیده

و روند تغییر روزانه جریان ناشی از آلودگیهای محیطی روی مفره های فشار قوی پیش بینی شده است.

۱- مقدمه

آلودگی، یکی از علل اصلی وقوع جرقه های سطحی و نهایتاً شکست الکتریکی مفره ها محسوب می گردد. وقتی آلودگی موجود در هوا روی مفره بنشیند و با رطوبت مه، باران یا شبنم ترکیب شود، مفره دچار خطا می شود. به همین دلیل قابلیت اطمینان شبکه قدرت بستگی زیادی به شرایط محیطی و آب و هوایی دارد. بررسی تاثیر شرایط محیطی بر عملکرد مفره های آلوده از اهمیت ویژه ای برخوردار است. چرا که به بهره برداران در انتخاب پروفیل مناسب و روشهای تعمیر و نگهداری متناسب کمک شایانی می نماید. بررسی عملکرد مفره ها و موثر بودن روشهای تعمیر و نگهداری اعمالی به روشهای مختلفی صورت می گیرد که می توان به روش غیر مستقیم اندازه گیری مواد رسوب نموده روی مفره ESDD^۱ و NSDD^۲ و روش مستقیم اندازه

در سالهای اخیر نیاز به انرژی الکتریکی در کشور رشد روز افزونی داشته است و تامین این نیاز مستلزم بهبود کیفیت و قابلیت اطمینان شبکه برق توسط شرکتهای برق منطقه ای و توزیع نیرو است. بهره سیستم در حقیقت وابسته به پیوستگی برق رسانی و جلوگیری از خطاهای منجر به تلفات اقتصادی است.

اثر سوء ناشی از آلودگی مفره ها یکی از مشکلات اصلی در حفظ پیوستگی برق رسانی در مناطق ساحلی جنوب کشور است. وقتی آلودگی موجود در هوا روی مفره بنشیند و با رطوبت ترکیب شود، در اثر ایجاد لایه هادی بر روی مفره و عبور جریانهای ناشی استقامت عایقی فرکانس قدرت مفره کاهش می یابد و در صورت پیوستگی و تداوم شرایط مذکور می تواند به شکست الکتریکی بیانجامد. به همین دلیل در این مناطق قابلیت اطمینان شبکه قدرت بستگی زیادی به شرایط محیطی و آب و هوایی داشته و بررسی تاثیرات شرایط محیطی بر عملکرد مفره های آلوده از اهمیت ویژه ای برخوردار می گردد. در این مقاله اثرات عوامل جوی مختلف بر شدت آلودگی ایزولاسیون از طریق پایش مستقیم و میدانی جریان ناشی در پایگاه تحقیقاتی تجهیزات برقی مناطق گرمسیری برق منطقه ای هرمزگان بررسی شده است و با استفاده از رگرسیون خطی و رگرسیون غیر خطی مقدار

^۱Equivalent Salt Deposit Density

^۲Non Soluble Deposit Density

گیری جریان ناشتی با استفاده از دستگاههای اندازه گیری جریان ناشتی OLCA^۲ اشاره نمود.

مرطوب شدن مقره به هر دلیلی موجب جاری شدن جریانهای ناشتی سطحی با مشخصه مقاومتی می شود که عموماً از لحاظ اندازه بیشتر از جریان خازنی مقره در حالت خشک اند. جریان ناشتی عبوری لایه هادی و مرطوب را گرم می کند و رطوبت در مناطق با چگالی جریان زیاد تبخیر می شود. این امر موجب ایجاد باند خشک در نواحی نظیر اطراف میله مقره یا محل کنگره ها می گردد. با شکل گیری باندهای خشک، توزیع ولتاژ در امتداد سطح تغییر می کند و بخاطر مقاومت بالای باندهای خشک، ولتاژ سیستم در عرض آنها قرار می گیرد. اگر باند خشک نتواند ولتاژ را تحمل نماید، قوس محلی تشکیل شده و جرقه گسترش می یابد. هرچند، در ابتدای امر قوس فقط در دوره زمانی کوتاهی باقی می ماند، ولیکن با از بین رفتن قوس، دوباره با تغییر شکل جریان، مرطوب شدن مجدد باند خشک، جریان افزایش می یابد. این امر موجب خشک شدن و ایجاد قوس محلی مجدد می گردد و این روال همچنان در صورت دوام شرایط مرطوب شوندگی آلودگی تداوم می یابد. بسته به سطح آلودگی طول قوس افزایش می یابد که در نهایت موجب قوس الکتریکی می گردد [۱].

۲- اهمیت پایش جریان ناشتی

شدت آلودگی در روشهای متعارف معمولاً با اندازه گیری هدایت مخلوط آلودگی برداشته شده از سطح مقره و مقدار مشخصی از آب مقطر صورت می گیرد. شدت آلودگی بخاطر مواد هادی معمولاً با ESDD بر حسب میلی گرم بر سانتی متر مربع بیان می شود که معادل مقدار نمکی^۴ است که باید در همان مقدار آب مقطر حل شود تا هدایت ناشی از آلودگی را ایجاد نماید. ESDD فقط بیانگر آلودگی محلول در آب است. اندازه گیری ESDD روشی غیر مستقیم و استاتیک برای تعیین "وضعیت" مقره است و تنها اطلاعات آن لحظه را می دهد.

هر چند تا کنون اندازه گیری های آزمایشگاهی جریان ناشتی بسیار انجام گرفته است و مطالعات شبیه سازی های آزمایشگاهی نتایج مطلوبی را نیز ارائه داده اند، ولی با این وجود از آنجا که این شبیه سازی ها کاملاً بیانگر شرایط محیطی نمی باشند، بکارگیری

روش اندازه گیری جریان ناشتی در شرایط واقعی محیط و تحت ولتاژ شبکه ضروری و گریز ناپذیر می باشد. آنچه که روش مانیتورینگ جریان ناشتی مقره ها را از سایر روشهای متداول مانیتورینگ آلودگی متمایز می سازد بررسی لحظه به لحظه و ثبت پارامترهای مختلف الکتریکی مقره نظیر دامنه جریان، بار الکتریکی روی مقره و هدایت سطحی می باشد که تناظری یک به یک مابین شرایط آب وهوایی و محیطی با شرایط الکتریکی سیستم برقرار می سازد. تجربیات بهره برداری و مطالعات میدانی نشان داده اند که پروفیل و جنس مقره در میزان جریان ناشتی عبوری و نیز میزان آلودگی نشسته بر سطح آن تاثیر بسزایی دارد [۲].

عموماً، لایه آلودگی روی مقره ها در طول ماهها یا سالها تشکیل می شود و پایش جریان ناشتی مستقیم ترین و دقیق ترین راه تعیین رفتار مقره در طول زمان است. پایش لحظه ای جریان ناشتی می تواند هشدار زود هنگام از وضعیت بحرانی احتمالی ارائه نماید تا بتوان در صورت لزوم اقدامات لازمه را، مثلاً انتقال بار به خط دیگر، صورت داد.

۲-۱- دستگاه مانیتورینگ جریان ناشتی

سیستم OLCA با دارا بودن ۹ حسگر جریان ناشتی بطور همزمان می تواند میزان جریان ناشتی ۹ مقره یا پوشینگ را ثبت و تجزیه و تحلیل نماید. شکل (۲-۱) نحوه اتصال یک نمونه حسگر جریان ناشتی به مقره آزمون را نشان می دهد. حسگرهای جریان ناشتی، مبدل های جریان اثر هال با دقت بسیار بالا می باشند که بر اساس جبران سازی مغناطیسی عمل می کنند. حسگرها در پتانسیل زمین نصب می شوند. در مقره های آویزی یک مقره بشقابی بصورت سری با مقره تحت آزمون قرار داده می شود. سپس یک انتهای حسگر به بخش میان ۲ مقره و انتهای دیگر به بدنه متصل

می گردد. هرگونه جریان ناشتی که در مقره جاری شود از طریق حسگر به سمت بدنه منحرف می گردد. امپدانس ورودی حسگر بسیار پایین است، لذا هر دو سمت مقره بشقابی دارای پتانسیل زمین می گردند. عدم وجود ولتاژ در مقره بشقابی، تضمین می کند که همه جریان ناشتی در داخل حسگر جاری گردد.

از آنجا که بررسی تاثیرات شرایط محیطی بر عملکرد مقره های آلوده و میزان عبور جریان ناشتی آنها از اهمیت ویژه ای برخوردار

^۲ Online Leakage Current Analyzer

^۴ NaCl

است. دستگاه به حسگرهای مختلف شرایط محیطی شامل حسگرهای دما و رطوبت، سرعت و جهت باد، میزان بارش و میزان تابش اشعه ماوراء بنفش مجهز می‌باشد



شکل (۱-۲) حسگرهای جریان و مقره‌های آزمون

۲-۲- دوره زمانی پایش جریان نشتی

در این بررسی مقره های آزمون در پایگاه تحقیقاتی نصب گردیدند و ۱۲ ماه در معرض شرایط محیطی منطقه قرار گرفتند. ولتاژ تغذیه مقره ها ۲۰ کیلو ولت و متصل به بار شبکه قدرت از نوع روستایی می باشد. جریان نشتی به همراه دما، رطوبت نسبی، سرعت باد و تابش اشعه ماورای خورشیدی به مدت ۵ ماه متوالی در سال ۸۵ اندازه گیری شدند.

۳- نقش عوامل جوی

بررسی ها حاکی از آن است که معضل آلودگی مقره ها قویا بستگی به محیط و عوامل جوی دارد و هیچ معیاری کلی تر از آن برای آلودگی نمی توان پیشنهاد نمود. تعیین سطح ایزولاسیون و طراحی آن در محلی جدید، بدون داشتن اطلاعاتی از شدت آلودگی غالب آن منطقه مشکل است. بنابراین، بررسی دقیق و صحیح شدت آلودگی منطقه ضروری به نظر می رسد. تا کنون روابط قابل ملاحظه ای میان شدت آلودگی بر حسب ESDD و قوس الکتریکی با توجه به پارامترهای جوی یافت شده است.

تا کنون محققان اثر پارامترهای جوی را بر ESDD یا قوس الکتریکی به صورت جزئی بررسی نموده اند. بر اساس تحقیقات به عمل آمده، برخی عوامل مثل دما و pH نقش بارزی را در حل شدن نمک ایفا می نمایند [۳]. مرجع [۴ و ۵] بیان می کند که لایه آلوده و جریان نشتی حاصل از آن بستگی به سرعت باد و فاصله

بین ساحل دریا و ایزولاسیون دارند و رابطه ریاضی میان عوامل دخیل بیان شد. گاهی اوقات آلودگی غیر یکنواخت بخاطر بادهای تک جهتی روی مقره های فشار قوی ایجاد می شود [۶]. دمای زیاد در رطوبت نسبی کم موجب ولتاژ قوس می شود و رابطه آن در [۷ و ۸] آمده است. نقش فشار هوا هم در [۹ و ۱۰] بررسی شده است و نشان داده شده است که با کاهش فشار هوا ولتاژ قوس کاهش می یابد.

۳- معرفی روش رگرسیون برای پایش بینی جریان نشتی

۳-۱- رگرسیون خطی

تحلیل جریان نشتی و داده های هواشناسی بیانگر رابطه قوی میان جریان نشتی و برخی پارامترهای جوی است. سوال اینجاست که آیا می توان جریان نشتی مقره ها را از داده های جوی و محیطی تعیین نمود؟

در تحلیل رگرسیون، جریان نشتی به عنوان مقیاس سنجش آلودگی و تعیین وضعیت مقره، متغیر وابسته و پارامترهای هواشناسی متغیرهای مستقل در نظر گرفته می شوند. بدین ترتیب، با در نظر گرفتن پارامترهای هواشناسی (مثل دما، سرعت باد، رطوبت، اشعه خورشید، فشار و...)، معادله رگرسیون به صورت زیر در می آید:

$$Y=B_0+B_1X_1+B_2X_2+B_3X_3+B_4X_4+\dots \quad (۳-۲)$$

که X ها پارامترهای هواشناسی هستند و B ها طوری محاسبه می شوند که معیار حداقل مربعات^۵ را ارضاء نماید. مقدار حاصله برای B₀ بیانگر مقادیر پایش بینی شده Y با ثابت ماندن مقادیر X است. برای مثال، B₂ بیانگر مقادیر پایش بینی شده با تغییر X₂ در صورت ثابت ماندن X های دیگر است.

از طرفی با مقایسه اندازه ضرایب B با همدیگر اولویت و میزان تاثیر هر یک از عوامل مشخص می شود. برای مثال، اگر B₃ بزرگترین اندازه را داشته باشد، پس تاثیر عامل X₃ بر متغیر وابسته از همه بیشتر است. همچنین، علامت ضرایب هم بر تعییرات متغیر وابسته تاثیر گذارند. برای مثال، اگر علامت B₂

^۵-Least Square Criterion

منفی باشد، نشان دهنده این است که با افزایش X_2 مقدار متغیر وابسته کاهش می یابد.

۲-۳- رگرسیون غیر خطی

رگرسیون غیر خطی مدل‌های مختلفی دارد که می توان به مدل‌های درجه ۲، درجه ۳، درجه ۴ و...، چند جمله‌های نامی، و توانی اشاره نمود. در جدول (۱-۳) چند مدل از رگرسیون غیر خطی و معادلات آنها آمده است:

در این مقاله از مدل توانی رگرسیون غیر خطی توانی با معادله (۵-۳) استفاده شده است.

$$(5-3)$$

$$\log(y_1) = c_1 \log(x_1) + c_2 \log(x_2) + c_3 \log(x_3) + \dots$$

جدول ۱-۳- چند مدل رگرسیون غیر خطی و معادلات مربوطه

معادله	مدل
$Y = ax^2 + bx + c$	درجه ۲
$Y = ax^3 + bx^2 + cx + d$	درجه ۳
$Y = ab^x$	نمایی
$Y = ae^{ax}, e=2.718$	
$Y = ax^b$	توانی

* (d.c, b.a) اعداد ثابت هستند

که در آن C ضرایب ثابت (همانند B ها در رگرسیون خطی) و X ها هم پارامترهای هواشناسی هستند. با حصول ضرایب، متغیرهای مستقل در معادله بالا به صورت زیر نوشته می شوند:

$$(6-3)$$

$$y_1 = x_1^{c_1} x_2^{c_2} x_3^{c_3} \dots$$

از مقایسه اندازه ضرایب رگرسیون غیر خطی، ثوابت C ، می توان به اولویت تاثیر متغیرهای مرتبط پی برد. برای مثال، اگر اندازه C_3 از C های دیگر بیشتر باشد، تاثیر عامل X_3 بر متغیر وابسته از دیگر متغیرهای مستقل بیشتر است. تاثیر علامت ثوابت C ، همانند آنچه در مورد رگرسیون خطی و ثوابت B ذکر شد، برای رگرسیون غیر خطی صادق است.

۳-۳- معیار سنجش رگرسیون

برای مقایسه دقت پیش بینی رگرسیون، از معیار مجذور مربع خطا استفاده شده است که به صورت ۳-۳ تعریف می شود:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum (Y_{real} - Y_{est})^2 \quad (3-3)$$

که در رابطه بالا n تعداد داده های تخمین زده شده با روش رگرسیون، Y_{real} مقدار جریان نشتی واقعی و Y_{est} مقدار تخمین زده شده است. MSE^6 مقداری بین ۰ و ۱ می گیرد. طبیعی است هر چه مقدار MSE کوچکتر باشد، دقت تخمین بالاتر می باشد

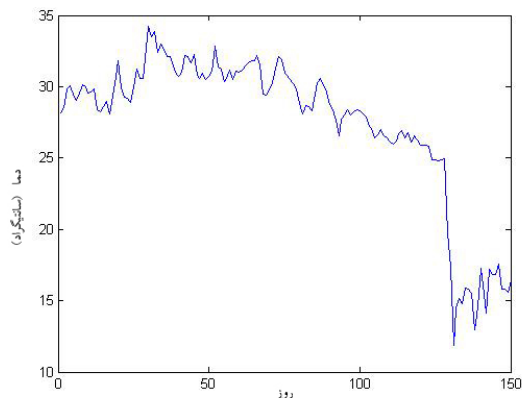
۴- پیاده سازی رگرسیون خطی برای تخمین

جریان نشتی

همانطوریکه در بخش سوم بیان گردید، در روش رگرسیون خطی داده های هواشناسی به عنوان متغیرهای مستقل و جریان نشتی به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته می شوند. داده های هواشناسی عبارتند از میزان دمای متوسط روزانه، درصد رطوبت نسبی روزانه، میزان تابش متوسط روزانه ماورای بنفش و سرعت متوسط باد که به ترتیب در اشکال ۱-۴ تا ۴-۴ آمده اند. مقدار موثر روزانه جریان نشتی خوانده شده توسط دستگاه OLCA هم در شکل ۴-۵ آمده است. از آنجاییکه معادله رگرسیون خطی به صورت ۱-۴ است:

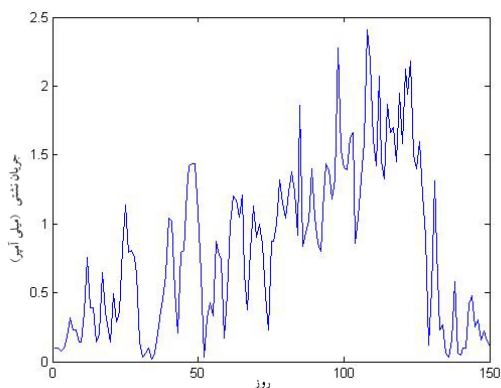
$$Y = B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + B_3 X_3 + B_4 X_4 + \dots \quad (1-4)$$

متغیرها مطابق با جدول (۱-۴) اختصاص داده شده اند. معادله رگرسیون خطی با استفاده از داده های مذکور برای تخمین جریان نشتی به صورت معادله (۲-۴) است.

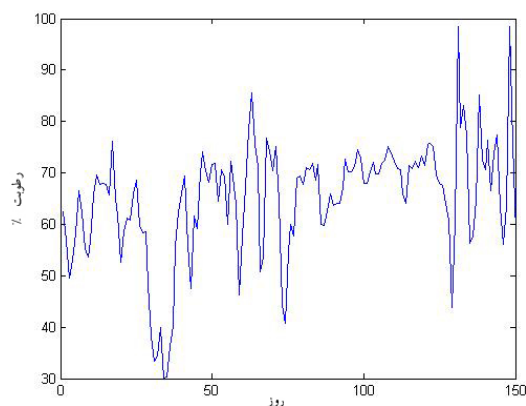


شکل ۴-۱- دمای متوسط هوا در ۱۵۰ روز متوالی

⁶- Mean Square Error



شکل ۴-۵- جریان ناشی اندازه گیری شده در ۶۰ روز متوالی



شکل ۴-۲- رطوبت نسبی هوا در ۱۵۰ روز متوالی

جدول ۴-۱- اختصاص متغیرها و ثوابت در رگرسیون خطی

متغیرها	ثوابت	پارامتر جوی مورد نظر
X1	B1	دمای متوسط روزانه- متغیر مستقل
X2	B2	رطوبت نسبی- متغیر مستقل
X3	B3	تابش ماورای بنفش خورشید- متغیر مستقل
X4	B4	سرعت باد- متغیر مستقل
Y		جریان ناشی- متغیر وابسته

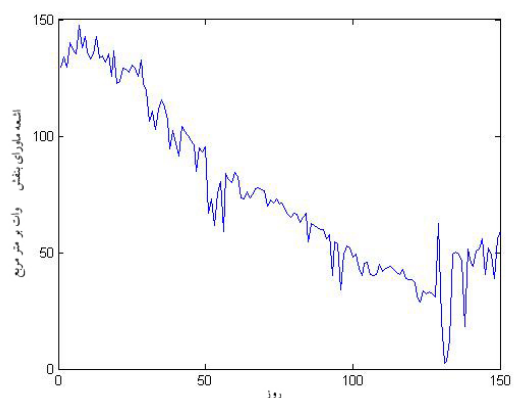
۴-۱- بررسی ضرایب رگرسیون خطی

با توجه به معادله ۴-۲ می توان تغییر جریان ناشی نسبت به تغییرات متغیرهای مستقل را پیش بینی نمود. برای مثال به ازای یک درجه تغییر دما و ثابت ماندن متغیرهای دیگر، جریان ناشی به مقدار پیش بینی شده 0.016 کاهش می یابد، چرا که B_1 برابر با ضریب دما است. به همین ترتیب با توجه به علامت و مقدار ضرایب هر متغیر می توان در مورد نقش و تاثیر عوامل مختلف جوی در معادله بحث نمود. بنابراین، اولویت نقش عوامل جوی از لحاظ تاثیر در تغییرات جریان ناشی با توجه به ۴-۲ و اندازه ضرایب معادله ۴-۲ به ترتیب عبارتند از رطوبت، باد، دما و اشعه ماورای بنفش خورشید.

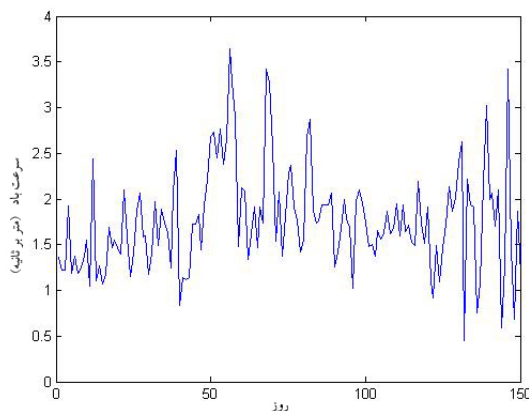
۴-۲- پیاده سازی رگرسیون غیر خطی برای

تخمین جریان ناشی

همانطوریکه در بخش ۳-۲ اشاره شد، در روش رگرسیون غیر خطی توانی، از معادله (۳-۵) و (۳-۶) استفاده می شود و اختصاص مقادیر مطابق جدول (۴-۱) است.



شکل ۴-۳- تابش متوسط ماورای بنفش در ۱۵۰ روز متوالی



شکل ۴-۴- سرعت باد در ۶۰ روز متوالی

معادله و ضرایب رگرسیون خطی بدست آمده با توجه به معادله ۳-۲ به قرار زیر است:

$$Y=1.93+0.08X_1+0.02X_2-0.01X_3-0.14X_4 \quad (۴-۲)$$

که ضریب تعیین R^2 با توجه به ۳-۳ برابر 0.85 است.

جدول ۱-۴- اختصاص متغیرها و ثوابت در رگرسیون غیر خطی

متغیرها	ثوابت	پارامتر جوی مورد نظر
X1	C1	دمای متوسط روزانه- متغیر مستقل
X2	C2	رطوبت نسبی- متغیر مستقل
X3	C3	تابش ماورای بنفش خورشید- متغیر مستقل
X4	C4	سرعت باد- متغیر مستقل
Y		جریان ناشی- متغیر وابسته

با محاسبات انجام شده معادله جریان ناشی با توجه به رگرسیون غیر خطی و معادله (۳-۶) به صورت (۴-۱) می باشد:

$$Y = X_1^{1.80} X_2^{-0.25} X_3^{-1.32} X_4^{0.16} \quad (۲-۴)$$

در شکل ۴-۶ مقایسه جریان ناشی اندازه گیری شده با مقدار پیش بینی شده توسط روش رگرسیون خطی و غیر خطی و مقایسه آن با مقادیر واقعی نشان داده شده است. همانطوریکه مشاهده می شود، در هر دو روش رگرسیون خطی و غیر خطی پس از بدست آوردن ضرایب، مقدار جریان ناشی برای بیست و پنج روز بعدی، تخمین زده شده است

شایان ذکر است که MSE با توجه به معادله ۳-۳ در رگرسیون غیر خطی این بررسی برابر ۰.۹۳ می باشد که از ضریب تعیین رگرسیون خطی برابر ۰.۸۵ بهتر است و نشان از دقت بیشتر رگرسیون غیر خطی و برتری آن نسبت به خطی دارد. اولویت عوامل جوی از نظر رگرسیون غیر خطی با توجه به معادله ۴-۵ و مطالب بیان شده در ۴-۲ به ترتیب عبارتند از رطوبت، دما و تابش ماورای بنفش خورشید و باد.

۵- بحث

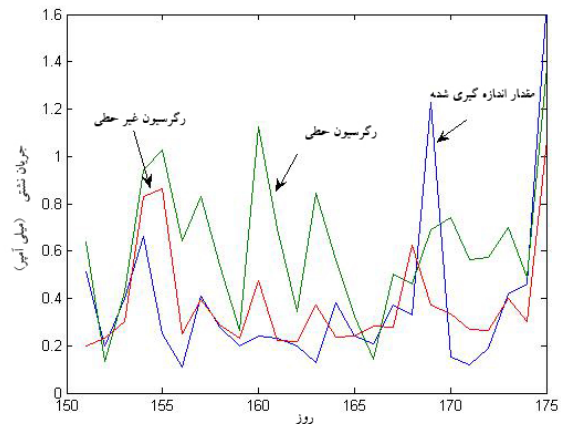
با مقایسه ضرایب تعیین طبق معادله ، رگرسیون غیرخطی بسیار دقیق تر از رگرسیون خطی در پیش بینی جریان ناشی عمل نموده است. همچنین با توجه به معادلات (۴-۱)، (۴-۲) و ضرایب مربوطه، رطوبت به عنوان موثرترین عامل در تغییرات جریان ناشی معرفی می گردد که با تجربیات و مکتوبات همخوانی دارد. ضرایب دما و سرعت باد در هر دو معادله منفی است؛ یعنی با افزایش هر یک از این عوامل مقدار جریان ناشی کم می کند و بالعکس.

۶- نتیجه گیری

در این مقاله، روش رگرسیون به صورت موفقیت آمیزی برای بررسی شدت آلودگی محیطی از طریق تخمین تابع جریان ناشی مقررهای شبکه توزیع مورد استفاده قرار گرفت. قابلیت روش رگرسیون، خصوصا رگرسیون غیر خطی به علت دقت بالاتر آن نسبت به رگرسیون خطی، در مدلسازی قابل قبول جریان ناشی بر حسب سرعت باد، دما، رطوبت نسبی و تابش ماوری بنفش قابل توجه است. توانایی پیش بینی روند تغییرات جریان ناشی مقررهای شبکه توزیع ارائه شده در این مقاله، می تواند به بهره برداران در انتخاب استراتژی و زمان بندی برنامه های تعمیر و نگهداری موثر برای جلوگیری از تخلیه سطحی مقررهای فشار قوی کمک بسزایی نماید.

۷- مراجع و منابع

- [1] Md Afendi, "Computer-based Monitoring System for Analyzing Surface Leakage Current in an IEC 587 Test Set-Up ", Journal Technology, 38(D) Jun. 2003: 67-78
- [۲] مجید رضایی، محمد رضا شریعتی، محمد اسکویی، فاطمه نصری، سعید وفاکیش، سعید قاسمی، "مانیتورینگ جریان ناشی مقرر ها در پایگاه تحقیقاتی تجهیزات برق مناطق گرمسیری هرمزگان"، ۲۱، امین کنفرانس برق ایران ۱۳۸۵
- [3] Eugenio Concha G, " Insulator Leakage Current Monitor", Psp technologies Inc.
- [4] G.N.Ramos et al, "A Study On the Characteristics of Various Conductive



شکل ۴-۶- مقایسه جریان ناشی اندازه گیری شده با پیش بینی شده توسط رگرسیونهای خطی غیر خطی

- [9] Zeng. J.C et al, "Influence of Humidity on Flashover in Air in Presence of Dielectric Surfaces", Proceeding of IEEE Conference Region 10 on Computer, Communication, Control and Power Engineering, TENCON 1993.
- [10] Z.Renyu, "Progress in Outdoor Insulation Research in China", IEEE Transaction on Electrical Insulation, Vol 25 , 1990
- [11] Ahmad S.Ahmaad et al, Prediction of Salt contamination on High Voltage Insulators in Rainy Season using Regression Technique, Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, Neural Network Report Conference, Volume: 1, 2000.
- [12] WL.Vosloo and JP Holtzhausen, "The Prediction of Insulator Leakage Currents from Environmental Data", African Conference in Africa, Volume: 2, Oct 2002.
- Contaminant Accumulated in HV Insulators", IEEE Trans. PD, Vol 8,1988
- [5] O.E.Gouda, "Influence of Pollution on HV Insulators", Conference Record of the 1990 IEEE International Symposium on Electrical Insulation, Toronto, Canada 1990
- [6]- M. A. Salam et al, "A Novel Approach to Predict Leakage Current in Insulators from Wind Velocity", ECTI Transactions on Electrical Eng., Electronics, and Communications Vol.4, no.1 February 2006.
- [7] T.Fujimura et al, "DC Flashover Voltage Characteristics of Contaminated Insulators", IEEE Transaction on Electrical Insulation, Vol EI-16, 1981.
- [8] K.Takasu, "Natural Contamination Test of Insulators with DC Voltage Energization at Inland Areas", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol 1988.