



بررسی آماری خصوصیات دی‌الکتریک نمونه روغن‌های آلوده شده با چهار ناخالصی آب، سوخت، پودر آهن و سیلیس

محمد رضا پوررمضان^{۱*}، عباس روحانی^۲، نعمت کرامت سیاوش^۳، محمدزارعین^۴

۱. گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. (mr.pourramezan@mail.um.ac.ir)

۲. گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. (arohani@um.ac.ir)

۳. گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. (n.keramat@modares.ac.ir)

۴. گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. (m.zarein@modares.ac.ir)

چکیده

افزایش بهره‌وری به عنوان یک هدف مورد توجه مدیران، سیاستگذاران و حتی کاربران در صنایع گوناگون قرار دارد. از این جهت، تحقیق و توسعه در زمینه برنامه‌های کاربردی پایش وضعیت به منظور حفظ کارایی دستگاه‌ها مورد توجه می‌باشد. پیشرفت تجهیزات و انتظار مصرف کنندگان باعث شده است که شیوه‌های مبتنی بر کمیت جایگاه خودشان را از دست بدهند. پژوهشگران بهره‌مندی از خصوصیات الکتریکی روانکارها را شیوه‌ای نوین برای صنعت نگهداری دانسته‌اند. در این پژوهش، با توجه به محدودیت‌های موجود، تعداد ۲۷ نمونه روغن با سه غلظت از چهار ماده شامل آب، سوخت، پودر آهن و سیلیس آلوده شد. این ۲۷ نمونه روغن بر اساس طرح مرکب مرکزی و با در نظر داشتن سه نقطه مرکزی مشخص شد. اندازه‌گیری خصوصیات دی‌الکتریک نمونه روغن‌ها توسط آزمایشگاه گروه برق دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی در ایران انجام گردید. در نهایت تجزیه و تحلیل واریانس به منظور ارزیابی داده‌های تجربی انجام شد. نتایج این پژوهش حاکی از امکان بهره‌مندی از خصوصیات دی‌الکتریک در پایش وضعیت روانکار و سلامت دستگاه‌ها می‌باشد. البته برای این منظور نیاز به مطالعات تکمیلی بر روی نمونه روغن‌های سوخته استخراج شده از ماشین‌آلات می‌باشد.

کلمات کلیدی:

آنالیز طیفی، روانکار، دی‌الکتریک، بررسی آماری

*محمد رضا پوررمضان، mr.pourramezan@mail.um.ac.ir



بررسی آماری خصوصیات دی‌الکتریک نمونه روغن‌های آلوده شده با چهار ناخالصی آب، سوخت، پودر آهن و سلیس

مقدمه

پایش وضعیت به معنی استفاده از فناوری‌های پیشرفته به منظور تعیین وضعیت فعلی و پیش‌بینی امکان خرابی تجهیزات می‌باشد [8]. روانکار موتور، به عنوان ترکیبی پیچیده از روانکار پایه و مواد افزودنی شیمیایی، نقش مهمی در عملکرد موتور دارد؛ مواردی مانند روان‌سازی بین قطعات متحرک و کاهش اصطکاک و سایش، انتقال گرما و انرژی، جلوگیری از خوردگی و تمیز کردن محفظه‌های داخلی موتور از جمله کارکردهای آن است. هرگونه تخریب در خصوصیات روانکار به دلیل ورود آلاینده‌ها، کاهش مواد افزودنی و خرابی زنجیره‌های هیدروکربن ناشی از عملکرد موتور، مستقیماً بر عملکرد موتور، کارایی و نگهداری تأثیر می‌گذارد. معمولاً نگهداری ماشین‌آلات شامل نظارت بر سطح روانکار و تعویض مکرر روانکار و مبتنی بر مسافت پیموده شده است. این رویکرد "مبتنی بر کمیت" دیگر کافی نیست [4]. طی سال‌ها، دانشمندان و متخصصان حسگرها و سیستم‌های قابل توجهی را برای نظارت بر یک یا برخی از پارامترهای عملکرد ایجاد کردند تا بتوانند به طور مطلوب پایش وضعیت را میسر نمایند. این سنسورها و سیستم‌ها را می‌توان در چهار دسته شامل تکنیک‌های الکتریکی (مغناطیسی)، فیزیکی، شیمیایی و نوری خلاصه کرد [15]. نظارت بر تغییرات شیمیایی در روغن‌های هیدرولیک و روانکارها به دلیل دشواری تطبیق تکنیک‌های آزمایشگاهی برای کاربردهای صنعتی برخط، یک چالش خاص را به همراه دارد [7]. از طرفی تحقیقات نشان داده است؛ آلودگی‌هایی مانند گرد و غبار، باقی مانده‌های سایش و تغییرات فیزیکی روغن استفاده شده به طور معمول عملکرد روانکار را تغییر می‌دهد. این تغییرات همیشه تغییر ثابت دی‌الکتریک روانکار را به همراه دارد [12]. در این روش جدید میزان تخریب روانکار با تعیین ثابت دی‌الکتریک نمونه‌ی روغن توسط شیوه‌های گوناگون به دست می‌آید. تحقیقات منتشر شده توسط ترنر و آستین، رابطه‌ی مشخصی را بین افزایش کارکرد روانکار و تخریب نمونه روغن روانکار و افزایش ثابت دی‌الکتریک نمونه‌های روغن سوخته نشان داده است. بررسی آن‌ها نشان داد که هرچه روغن بیشتر استفاده شود و در نتیجه تخریب بیشتر باشد، ثابت دی‌الکتریک اندازه‌گیری شده بیشتر است [6]. در این پژوهش به بررسی آماری خصوصیات دی‌الکتریک نمونه روغن‌های آلوده شده با چهار ناخالصی آب، سوخت، پودر آهن و سلیس خواهیم پرداخت.



مواد و روش‌ها

در این پژوهش، با توجه به شاخص‌هایی که آزمایشگاه‌های آنالیز روغن موتور برای پایش وضعیت از جهت فرسایش، روغن و آلودگی در نظر می‌گیرند، محدودیت‌های مالی طرح پژوهشی و نیز نظر واحد نگهداری و تعمیرات شرکت تیراژ، اثرات چهار ناخالصی آب، سوخت، پودر آهن و سلیس بر میزان خواص دی‌الکتریک روغن در غلظت‌هایی به شرح جدول (۱) بررسی گردید.

جدول ۱: محدوده‌ی غلظت ناخالصی‌ها در نمونه‌های ساخته شده

ناخالصی	شرح درصد وزنی ناخالصی‌های مورد مطالعه	مرجع
آب (w)	0	[3]
	0.1	
	0.2	
سوخت (F)	0	[2]
	6	
	12	
پودر آهن (I)	0	[10]
	0.04	
	0.08	
سلیس (S)	0	[10]
	0.005	
	0.01	

در مطالعه حاضر، با استفاده از طرح مرکب مرکزی^۱ (CCD)، طرح آزمایشی شامل ۲۷ آزمایش با سه نقطه مرکزی بررسی گردید. برای این منظور از نرم افزار Design-Expert v.11.0.3 استفاده شد. با توجه به ابعاد ظروف نمونه جرم هر نمونه معادل با ۷۲ گرم در نظر گرفته شد و میزان هر ناخالصی با توجه به مقادیر مندرج در جدول (۱) و مدل RSM^2 افزوده گردید. آماده سازی نمونه‌ها در آزمایشگاه گروه شیمی دانشکده علوم پایه دانشگاه فردوسی مشهد انجام گرفت. در این پژوهش از روغن موتور 20W50 جهت آماده‌سازی نمونه‌ها استفاده شد. جرم ناخالصی‌ها در هر نمونه روغن با توجه به درصد هر ناخالصی و جرم هر نمونه، مقدار اندکی شد؛ برای این منظور از ترازوهای با دقت 0.001 و 0.0001 گرم استفاده شد. نمونه‌های روغن جهت اندازه‌گیری خصوصیات الکتریک به گروه مهندسی برق دانشگاه خواجه نصیرالدین ارسال شد و اندازه‌گیری در ۴۰ فرکانس مندرج در جدول (۲) انجام گردید. ϵ' بیان‌کننده‌ی ثابت دی‌الکتریک ذخیره بوده و بیانگر بخش حقیقی ثابت دی‌الکتریک است. ϵ'' نمایانگر ثابت دی‌الکتریک اتلافی است که برابر با بخش موهومی ثابت دی‌الکتریک می‌باشد [5].

جدول ۲: فرکانس‌های مورد مطالعه در محدوده فرکانسی ۹ تا ۳۰۰ MHz

فرکانس	فرکانس GHz	نماد فرکانس	فرکانس GHz	نماد فرکانس	فرکانس GHz	نماد فرکانس	فرکانس GHz	نماد فرکانس
f1	0.3	f11	2.45	f21	4.6895	f31	6.9495	

¹ Central Composite Design² Response surface methodology



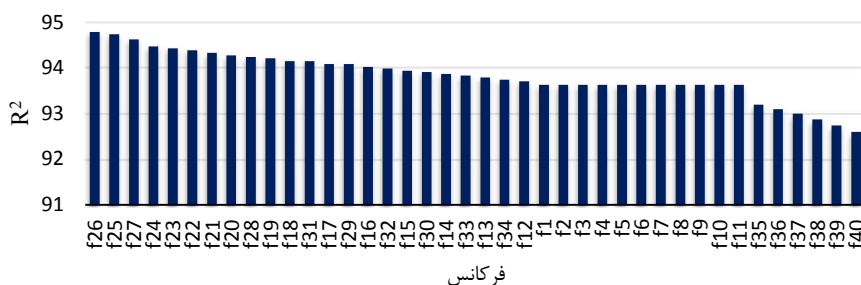
7.1755	f32	4.9155	f22	2.6	f12	0.434	f2
7.4015	f33	5.1415	f23	2.84	f13	0.675	f3
7.6275	f34	5.3675	f24	3.085	f14	0.915	f4
7.8535	f35	5.5935	f25	3.325	f15	1.16	f5
8.0795	f36	5.8195	f26	3.565	f16	1.4	f6
8.3055	f37	6.0455	f27	3.8	f17	1.64	f7
8.5315	f38	6.2715	f28	4	f18	1.88	f8
8.7575	f39	6.4975	f29	4.2375	f19	2.12	f9
9	f40	6.7235	f30	4.4635	f20	2.36	f10

در ادامه، تجزیه و تحلیل واریانس^۳ (ANOVA) به منظور ارزیابی داده‌های تجربی انجام گردید. این بررسی‌ها در سطح اطمینان ۹۵٪ انجام گرفته و تمام آزمایشات با سه تکرار انجام شد. در نهایت مدل مطلوب ارائه شد. مدلی که تمام آزمایش‌های آماری مورد نیاز را با موفقیت پشت سر بگذارد و توانایی پیش‌بینی پاسخ‌ها یا بهینه‌سازی فرآیند را داشته باشد؛ یک مدل مناسب شناخته می‌شود [13].

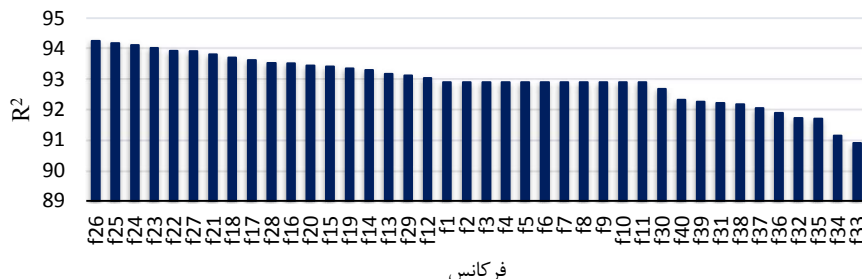
بحث و بررسی

از آنجایی که ثابت دی‌الکتریک مواد تحت شرایط مختلف همچون فرکانس، دما، ترکیب و فشار ماده قابل تغییر می‌باشد [9,11,14]. به منظور تعیین فرکانس مناسب برای این مطالعه، میزان ضریب تبیین (R^2) در هر فرکانس برای شاخص‌های دی‌الکتریک ϵ' ، ϵ'' محاسبه گردید (شکل ۴-۱). این بررسی نشان داد که شاخص ϵ' در فرکانس 5.8195 با ضریب تبیین 94.78 بهترین پاسخ را داشته است. برای شاخص ϵ'' نیز فرکانس 5.8195 با ضریب تبیین 94.25 بهترین پاسخ را به همراه داشته است. بنابراین، برای هر دو شاخص دی‌الکتریک، فرکانس 5.8195 GHz بهترین پاسخ را دارد.

الف) نمودار میزان ضریب تبیین در هر فرکانس برای ϵ'



³ Analysis of variance

ب) نمودار میزان ضریب تبیین در هر فرکانس برای ε'' شکل ۱: نمودارهای میزان ضریب تبیین در هر فرکانس برای ε' ، ε''

تیمارها با توجه به مطالب بخش مواد و روش‌ها به کمک روش CCD ایجاد شدند. مقادیر ضرایب تبیین (R^2) برای چهار مدل رگرسیونی خطی، اثرات متقابل، درجه دوم کاهش یافته و درجه دوم بررسی شد. در خصوص ε' ، مدل درجه دوم به روش حذف پسرو با $R^2 = 94.78\%$ و مقادیر R^2 پیش‌بینی شده (R^2_{pre}) برابر با 92.81% و R^2_{adj} برابر با 94.03% از اعتبار کافی برخوردار می‌باشد. اختلاف بین مقادیر R^2 پیش‌بینی شده (R^2_{pre}) و R^2_{adj} در مدل درجه دوم به روش حذف پسرو کم بوده، در نتیجه از توافق منطقی مناسبی برخوردار می‌باشند. در رابطه با شاخص ε'' ، استفاده از تغییر متغیر y^2 باعث شد اختلاف بین مقادیر R^2 پیش‌بینی شده (R^2_{pre}) و R^2_{adj} کم شده و به 100 نزدیک‌تر شوند (جدول ۳).

جدول ۳: نتایج بررسی مدل‌های مختلف برای شاخص‌های دی‌الکتریک ε' ، ε''

شاخص دی‌الکتریک	مدل	R^2	R^2_{adj}	R^2_{pre}
ε'	خطی	77.49	76.31	73.69
	اثرات متقابل	89.56	88.07	85.85
	درجه دوم کاهش یافته	82.83	80.92	78.84
	درجه دوم	94.90	93.81	91.95
	درجه دوم به روش حذف پسرو	94.78	94.03	92.81
ε''	خطی	76.16	74.90	72.27
	اثرات متقابل	87.15	85.32	82.55
	درجه دوم کاهش یافته	83.52	81.69	79.73
	درجه دوم	94.52	93.35	91.27
	درجه دوم به روش حذف پسرو	94.25	93.52	92.21



95.35

96.04

96.44

تغییر متغیر به روش y^2

در جدول (۴) نتیجه‌ی تجزیه واریانس مدل درجه دوم با روش حذف پسر و برای پیش‌بینی شاخص ε' آمده است. این جدول پس از حذف عامل‌هایی که معنادار نشدند، بدست آمده است. این جدول نشان می‌دهد که اثرات اصلی، اثرات درجه دوم I, W و S و اثرات متقابل $F \times I, F \times S, F \times I$ و $I \times S$ معنی‌دار شده‌اند. مدل رگرسیونی درجه دوم با روش حذف پسر و، اثرات اصلی W و F ، اثرات درجه دوم I و W و اثرات متقابل $F \times I, F \times S, I \times S$ در سطح معناداری 1% معنی‌دار شده‌اند. اثر اصلی I در سطح معناداری 5% معنی‌دار شده است. اثر اصلی S و اثر درجه دوم S در سطح معناداری 10% معنی‌دار شده است. در این بررسی عدم برازش معنی‌دار شده است درحالی که مطلوب آن است که معنی‌دار نشود. در ادامه توضیحاتی درباره علل معناداری عدم برازش و نیز بررسی عوامل موثر در اعتبار مدل آمده است.

جدول ۴: نتایج تجزیه واریانس مدل درجه دوم با روش حذف پسر و برای پیش‌بینی شاخص ε'

منبع	DF	SS	MS	F-value	p-value
رگرسیون	10	2.423	0.242	127.08	0.00
آب (W)	1	0.004	0.049	25.62	0.00
سوخت (F)	1	1.848	0.553	290.20	0.00
آهن (I)	1	0.129	0.007	3.88	0.05
سلیس (S)	1	0.000	0.006	2.89	0.09
$W \times W$	1	0.120	0.045	23.84	0.00
$I \times I$	1	0.008	0.012	6.55	0.01
$S \times S$	1	0.006	0.006	3.08	0.08
$F \times I$	1	0.097	0.097	50.97	0.00
$F \times S$	1	0.108	0.108	56.79	0.00
$I \times S$	1	0.103	0.103	53.84	0.00
خطا	70	0.133	0.133		
عدم برازش	14	0.128	0.128	91.35	0.00
خطای خالص	56	0.006	0.006		
کل	80	2.557			

جدول ۵: نتایج تجزیه واریانس مدل y^2 برای پیش‌بینی شاخص ε''

منبع	DF	SS	MS	F-value	p-value
رگرسیون	8	0.1	0.0125	243.83	0.00



0.00	77.32	0.00397	0.000463	1	آب (W)
0.00	579.47	0.0298	0.0737	1	سوخت (F)
0.00	300.38	0.0154	0.00967	1	آهن (I)
0.00	21.43	0.00110	0.00108	1	سلیس (S)
0.00	68.65	0.00353	0.00353	1	W×W
0.00	159.74	0.00821	0.00821	1	F×I
0.00	55.11	0.00283	0.00283	1	F×S
0.00	15.09	0.000776	0.000776	1	I×S
		0.0000510	0.00370	72	خطا
0.00	6.15	0.000147	0.00236	16	عدم برازش
		0.0000240	0.00134	56	خطای خالص
			0.104	80	کل

جدول (۵) نتیجه‌ی تجزیه واریانس مدل درجه دوم به روش تغییر متغیر y^2 برای پیش‌بینی شاخص ε'' آمده

است. این جدول پس از حذف عامل‌هایی که معنادار نشدند، بدست آمده‌است. این جدول نشان می‌دهد که مدل رگرسیونی درجه دوم به روش تغییر متغیر y^2 ، اثرات اصلی، اثر درجه دوم W و اثرات متقابل $F \times S$ ، $F \times I$ و $I \times S$ در سطح معنی‌داری 1% معنی‌دار شده‌اند. در این بررسی نیز عدم برازش معنی‌دار شده است درحالی که مطلوب آن است که معنی‌دار نشود. با این وجود سه عامل دیگر که در اعتبارسنجی مدل‌های رگرسیون خطی موثر است شامل عدم خودهمبستگی خطاها، توزیع نرمال خطاها و ثابت بودن واریانس خطاها صادق بوده‌است. علاوه بر این باتوجه به تجربیات گذشته به نظر می‌رسد عواملی همچون، اختلاف اندک بین اندازه‌گیری‌های انجام شده در سه تکرار و نیز کاهش تیمارها از ۸۱ تیمار به ۲۷ تیمار به کمک روش CCD می‌تواند موجب معنی‌دار شدن عدم برازش شده‌باشد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

همانطور که نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد، برای پیش‌بینی شاخص‌های دی‌الکتریک ε' ، ε'' ، اثرات اصلی معنی‌دار شده‌اند. البته عدم برازش نیز معنی‌دار شده‌است در صورتی که مطلوب آن است که معنی‌دار نگردد. نتایج این بررسی می‌تواند توجیه برای پژوهش بر روی نمونه روغن‌های سوخته استخراج شده از ماشین‌آلات باشد. نتایج حاصل از این پژوهش و پژوهش‌های تکمیلی می‌تواند موجب طراحی و ساخت تجهیزات قابل حمل پایش وضعیت و یا تولید حسگر برخط پایش وضعیت شود. گروهی از پژوهشگران به مطالعه‌ی پایش وضعیت کیفی روغن در یک موتور بنزینی با استفاده از حسگرهای خازنی پرداخته‌اند. تحلیل نتایج نشان داد که ضریب دی‌الکتریک روغن با افزایش ساعت کار کرد، افزایش می‌یابد. همچنین افزایش ضریب دی‌الکتریک روغن در صورت خرابی روغن اتفاق می‌افتد. قابل توجه است که این حسگر قادر به تشخیص خرابی روغن است اما عامل دقیق را مشخص نمی‌نماید. در نهایت نتایج بدست آمده حاکی از انطباق



بسیار خوب حسگر شانه‌ای ساخته شده با حسگر تجاری Tan Delta داشته‌است [1]. در پژوهشی اقدام به استفاده از فناوری تراهرتز (تابش تراهرتز به ناحیه‌ای از طیف امواج الکترومغناطیسی اشاره دارد که از انتهای طیف امواج ماکروویو شروع شده و تا قسمت‌های انتهایی طیف مادون قرمز ادامه می‌یابد) برای تعیین خصوصیات روغن موتور با اندازه‌گیری ضریب شکست و ضریب نفوذ نموده‌اند. نمونه‌های روغن موتور دیزل SAE 15W-40 با سه سطح 0، 0.1 و 0.2 آب مقطر آلوده شدند. نتایج بررسی نشان داد که کمترین ضریب شکست و نفوذ مربوط به نمونه روغن با 0 درصد جرمی آب و بیشترین ضریب شکست و نفوذ مربوط به نمونه روغن با 0.2 درصد جرمی آب می‌باشد [3].

قدردانی

به رسم ادب، از جناب آقای دکتر عباس روحانی به جهت پذیرش استاد راهنمایی و دانشگاه فردوسی مشهد از بابت حمایت‌های مالی و معنوی طرح پژوهشی سپاس گزارم.

منابع

۱. قاسمی، ا.، حسینی، س. و یزدان پرست، س. ک. (۱۳۹۷). پایش وضعیت کیفیت روغن در موتور اشتعال جرقه ای بنزینی با استفاده از اندازه گیری ضریب دی‌الکتریک روغن. تحقیقات موتور، ۵۳(۵۳)، ۴۵-۵۴.
2. Abdul-Munaim, A. M. (2018). Evaluation of Terahertz Technology to Determine Characteristics and Contaminants in Engine Oil, Southern Illinois University at Carbondale.
3. Abdul-Munaim, A. M., M. Reuter, O. M. Abdulmunem, J. C. Balzer, M. Koch and D. G. Watson (2016). "Using terahertz time-domain spectroscopy to discriminate among water contamination levels in diesel engine oil." Transactions of the ASABE 59(3): 795-801.
4. Aghayan, H. R. (2012). On-Line Monitoring of Engine Health Through the Analysis of Contaminants in Engine Lubricant.
5. Altıntaş, O., Aksoy, M., Ünal, E., Akgöl, O., & Karaaslan, M. (2019). Artificial neural network approach for locomotive maintenance by monitoring dielectric properties of engine lubricant. *Measurement*, 145, 678-686.
6. Craft, J. (2010). *Development of Interdigitated Electrode Sensors for Monitoring the Dielectric Properties of Lubricant Oils*.
7. Duchowski, J. K., & Mannebach, H. (2006). A novel approach to predictive maintenance: A portable, multi-component MEMS sensor for on-line monitoring of fluid condition in hydraulic and lubricating systems. *Tribology transactions*, 49(4), 545-553.
8. Dunn, S. (2009). Condition monitoring in the 21st century. *The Plant Maintenance Resource Center*.
9. Jafari, F. S., & Ahmadi-Shokouh, J. (2018). Frequency-selective surface to determine permittivity of industrial oil and effect of nanoparticle addition in x-band. *Journal of Electronic Materials*, 47(2), 1397-1404.



10. Koskinen, M. (2020). "Study on oil quality sensor performance."
11. Mumby, S. J. (1989). An overview of laminate materials with enhanced dielectric properties. *Journal of Electronic Materials*, 18(2), 241-250.
12. Raadnui, S., & Kleesuan, S. (2005). Low-cost condition monitoring sensor for used oil analysis. *Wear*, 259(7-12), 1502-1506.
13. Tedesco, S., Benyounis, K., & Olabi, A. (2013). Mechanical pretreatment effects on macroalgae-derived biogas production in co-digestion with sludge in Ireland. *Energy*, 61, 27-33.
14. Zeng, Y., Zhang, H., Zhang, H., & Hu, Z. (2010). Effective permittivity calculation of composites with interpenetrating phases. *Journal of Electronic Materials*, 39(8), 1351-1357.
15. Zhu, J., He, D., & Bechhoefer, E. (2013). Survey of lubrication oil condition monitoring, diagnostics, and prognostics techniques and systems. *Journal of chemical science and technology*, 2(3), 100-115.

**Statistical study of dielectric properties of samples of oil contaminated by
four impurities, including water, fuel, iron powder and silicon**

Mohammad-Reza Pourramezan^{1*}, Abbas Rohani¹, Nemat Keramat Siavash², Mohammad Zarein²

1. Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
2. Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Abstract

Increasing productivity as a goal is considered by managers, policymakers and even users in various industries. For this reason, research and development in the field of status monitoring applications in order to maintain the efficiency of devices is important. Advances in equipment and consumer expectations have led to quantitative approaches losing their relevance. Researchers have found that taking advantage of the electrical properties of lubricants is a new way for the maintenance industry. In this study, due to the existing limitations, 27 oil samples were contaminated by three concentrations of four substances, including water, fuel, iron powder and Silicon. These 27 oil samples were identified based on a central composite design with three central points. The dielectric properties of the oil samples were measured by the laboratory of the Electrical Department of Khajeh Nasir Toosi University of Technology on IRAN. Finally, analysis of variance was performed to evaluate the experimental data. The results of this study indicate the possibility of using dielectric properties in monitoring the condition of the lubricant and the health of the devices. However, for this purpose, additional studies are needed for the sample of burnt oils extracted from machinery.

Key words: Spectral analysis, Lubricant, Dielectric, Statistical analysis

*Mohammad-Reza Pourramezan
E-mail: mr.pourramezan@mail.um.ac.ir