

HİDROKARBON KÖKENLİ MALZEME ÜRETİMİNDE YENİ BİR TEKNOLOJİK SÜREÇ

Kamil GURBANOV¹, Ahmet NAYIR², Özcan KALENDERLİ³

¹Azerbaycan Bilimler Akademisi, Fizik Enstitüsü,
Yüksek Gerilimlerin Fiziği ve Tekniği Laboratuvarı

370143, Hüseyin Cavit Prospekti, 33, Bakı, Azerbaycan

²İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, 34469, Maslak, İstanbul

³İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, 34469, Maslak, İstanbul

²e-posta: ahmetnayir@hotmail.com ³e-posta: ozcan@elk.itu.edu.tr

Anahtar sözcükler: Hidrokarbon malzemeler, elektriksel boşalma ile temizlik

ÖZET

Bu makalede, kaliteli hidrokarbon kökenli malzeme üretimi sırasında karşılaşılan içeriklerindeki yabancı maddeler sorunu ve yabancı maddelerden temizlik için kuvvetli elektrik alanlarının ve elektriksel boşalmaların etkilerinden yararlanıldığı yeni bir teknolojik süreç önerisi sunulmuştur. Önerilen yöntem, kirlı gaz ve sıvı hidrokarbon kökenli maddeler üzerinde uygulanmış, yöntemin başarımı gösterilmiştir. Yöntem, soğurgan maddelerin işini kolaylaştırarak, nem miktarının azalmasına ve sonucunda delinme dayanımının yükselmesine yardımcı olmaktadır.

1. GİRİŞ

Elektrik sistemlerinin temel elemanlarından olan, yüksek ve alçak gerilim kablolarının güvenilirliği, genellikle, kablo üretiminde kullanılan yalıtkan malzemelerin fiziksel ve kimyasal özelliklerine, yapısal saflığına ve genel olarak malzemelerin kalitesine bağlıdır [1 - 3].

Teknolojik gelişmelerde elektriksel yalıtkan malzemelerin özelliklerinden önemli ölçüde yararlanılır. Bu yüzden yalıtkan malzemelerin olabilecek her koşuldaki fiziksel ve kimyasal özelliklerinin araştırılması, araştırma ve geliştirme çalışmalarında geniş yer tutar [4 - 7].

Kimya araştırmaları, yeni kimyasal yapıya sahip malzemelerin sentezi, iki ve daha çok maddeden oluşan malzemelerin elde edilmesi, malzemelerin kimyasal yapısının amaca uygun değiştirilmesi gibi konular üzerinde yoğunlaşmaktadır [8 - 9].

Fizik araştırmaları ise, var olan polimer yalıtkan malzemelere dış etkenlerin etkileri, malzemelerin geliştirilmesi, fiziksel yapısının değiştirilmesi, malzemelerde baş gösteren fiziksel olayların özelliklerinin açıklanması ve bu olaylardan yararlanarak, malzemelerin özelliklerinden yararlanması, malzemelere etki etme yöntemlerinin geliştirilmesi gibi konularla ilgilidir [10 - 13].

Elektrik kabloları, örneğin su ortamı, yüksek ve alçak basınçlar, yüksek ve alçak sıcaklıklar gibi özel durumlar için üretilirken, hem iletken malzemeleri hem de yalıtkan malzemeleri bu koşullara uygun olmalıdır. Bundan dolayı, özel kabloların üretimi, kablo endüstrisinde, yeni bilimsel çalışmalar ve teknolojik süreçlerle kaliteli yalıtım malzemelerinin üretilmesini gerektirmektedir. Günümüzde bu alanda sentetik polimerlerin elektrik yalıtım malzemesi olarak yaygın kullanıldığı bilinmektedir.

Polimerler sürekli olarak teknolojik gelişmelere ayak uydurmuştur. Eski zamanlarda yaygın olarak kullanılan doğal ipek ve ketenin zincirimsi kuruluşuna bakarak, 19. yüzyılın sonlarında polimerlerin fiziksel ve kimyasal kuruluşları bulunmuştur. 20. yüzyılın ortalarından itibaren sentetik polimer malzemeler üzerine yapılan araştırmaların derinleşmesi sonucunda bu malzemelerin atom ve moleköl seviyesinde kuruluş bilgileri elde edilmiştir. Daha sonraki yıllarda polimer kuruluşu sahip malzemeler üzerindeki araştırmalar artarak sürmüş, elde edilen bilgilerle bu malzemelerin kuruluşuna ait bilgiler güncellenmiş ve gelişmiştir.

20. yüzyılın ortalarından itibaren sentetik polimerlerin kuruluşu, optik ve elektron mikroskobu, röntgen kuruluş analiz ve diğer doğrudan yöntemlerin uygulanması ile düzenli olarak, araştırılmaya başlanmış ve günümüzde bu malzemelere ilişkin problemlerin temelleri şekillenmiştir. Bu alanda yapılan çalışmalara bakarak; polimer malzemelerde pratik olarak incelenen fiziksel özelliklerden çoğunun, teorik olarak hesaplanan özelliklerinden bir kat aşağıda olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum araştırmacıların dikkatini çekmiştir.

Polimer malzemelerin fiziksel özelliklerinin araştırılmasına ilişkin çalışmalar genel olarak üç gruba ayrılır: Birinci grup çalışmalar, polimer malzemelerin fiziksel, kimyasal, mekanik, optik vb. gibi özelliklerinin ayrıntılı araştırılması ile ilgilidir. İkinci grup çalışmalar, her seviyede polimer malzemenin fiziksel yapısının araştırılmasına yöneliktir. Üçüncü

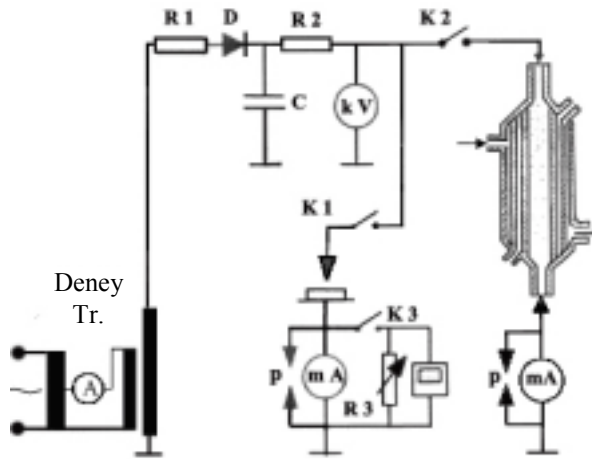
grup çalışmalar ise, malzemelerin fiziksel ve kimyasal kuruluşları ile önemli özellikleri arasındaki ilişkilerin araştırılmasına yöneliktir. Teorik ve pratik bakımdan önem taşıyan ve malzeme biliminin ana konusu olan üçüncü gruba dahil olan araştırmaların konusu, birinci ve ikinci gruba dahil olan çalışmalar arasındaki bağlantıyı kurmaktır. Yapılan bu çalışmaların sonuçları, ilke olarak, yalıtkan malzemelerin özelliklerinin kontrol edilmesine olanak vermektedir.

Günümüz teknolojisinde, temiz ve basit malzemelerin elde edilmesi amacıyla problemlerin pratik ve teorik olarak çözümüne yönelik çalışmalara geniş yer verilmektedir. Elektriksel yalıtkan malzemelerin üretim endüstrisinde, hammaddelerin içeriğinde çeşitli yabancı atom ve moleküllerin mevcut olması bu malzemelerin üretim teknolojisini karmaşık yapmaktadır. Teknolojisi pahalı olan bu yalıtkan malzemelerin önemli fiziksel, kimyasal, mekanik vb. özelliklerini olumsuz etkilemektedir. Bu teknolojik süreçler, ekolojik olarak çevreyi kirletmektedir.

2. ARAŞTIRMA SONUÇLARI

Sentetik polimer malzemelerden yapılan elektriksel yalıtkan malzemelerin üretiminde hammadde olarak; hidrokarbon içerikli doğal gazların ve sıvıların (monomerlerin) kullanıldığı bilinmektedir. Ham maddenin içeriğinde mevcut olan nem, kükürt, oksijen bileşimleri vb. yabancı maddelerin üretim teknolojilerinin tamamında olumsuz etki göstererek, kalitesiz ürünlerin ortaya çıkmasına yol açtıkları bilinmektedir. Bu çalışmada, hidrokarbon kökenli gazların ve sıvıların yabancı maddelerden temizlenmesi üzerine çalışılmıştır.

Hammaddenin temizlenmesi araştırmaları, kuvvetli elektrik alanlarının ve elektriksel boşalmaların etkisi altında soğurma süreçlerini araştıran yeni bir teknoloji ile yapılmıştır. Kuvvetli elektrik alanlarının ve elektriksel boşalmaların etkisi, Şekil 1'deki kesikli gaz boşalması oluşturan, ozonator devresi ile elde edilmiştir.

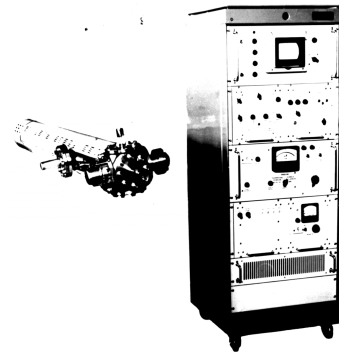


Şekil 1. Araştırmada kullanılan ozonator devresi.

Deneyler, yüksek doğru gerilimle yapılmıştır. Bunun için 220 V'luk bir değişken alçak gerilim transformatörü (bir varyak) ile sürülen, 100 kV, 5 kVA'lık, bir fazlı, 50 Hz'lik deney transformatöründen yararlanılmıştır. Bu transformatörün çıkışına, $R1 = 500 \text{ kohm}$ 'luk bir koruma direnci üzerinden D diyodu ve 10000 pikofarat'lık C kondansatöründen oluşan, tek yönlü bir doğrultucu devresi bağlanarak 140 kV'a kadar doğru gerilimlerin elde edilebileceği bir devre oluşturulmuştur. Çıkış geriliminin (veya uygulanan) doğru gerilimin değeri, ikinci bir $R2 = 500 \text{ kohm}$ 'luk koruma ve akım sınırlama direnci sonrasına bağlı 150 kV'luk bir elektrostatik yüksek gerilim voltmetresi ile ölçülmüştür. Üretilen doğru gerilim, K1 anahtarı üzerinden bir sivri uç-düzlem elektrot sistemine ve K2 anahtarı üzerinden, yaratılan yüksek elektrik alanı altında, içinden kirli gazın geçirildiği ozonatore uygulanmıştır. Gerilimin uygulandığı elektrot sisteminin ve ozonatorün altına, bu devrelerde oluşan boşalmaların şiddetini ve varlığını izlemek amacıyla birer miliampermetre bağlanmıştır. Ampermetreler, devrede oluşabilecek aşırı gerilimlere karşı, koruma önlemi olarak, uçlarına paralel bağlı birer P parafudru korunmuşlardır. Boşalma akımının zamanla değişimi, K3 anahtarının kapatılması ile boşalma akımının değişken R3 direnci üzerinden geçtiğinde, bu direnç üzerinde oluşan gerilimin dalga şeklini görmeye olanak veren bir osiloskop yardımıyla izlenmiştir.

Ozonator devresi çalıştırılarak, giriş ve çıkış gerilimleri ayarlanarak, sivri uç elektrotlara uygulanan yüksek doğru gerilimle sivri uç çevresinde korona boşalması oluşturulur. Oluşan korona boşalması sırasında, elektrot sistemi ortamındaki havada mevcut O_2 molekülleri, bir yandan oksijen atomlarına ayrışarak, bir yandan da ayrılan oksijen atomları ile birleşerek ozon (O_3) oluşturur. Oluşturulan ozon, yüksek elektrik alanı altında, kirli gaz ile birlikte ozonatorden geçirilir.

Araştırmada, içeriğinde %5 H_2S olan doğal gaz ve oksijen birleşmeleri olan hidrokarbonların $C_7 - C_{10}$ eğilimli monomerleri kullanılmıştır. Gaz boşalmasının etkisiyle hacimdeki gaz ortamının içeriğindeki değişiklikler, fotoğrafı Şekil 2'de görülen, MSX-4 tipi bir kütle-spektrometresi yardımı ile kaydedilmiştir.



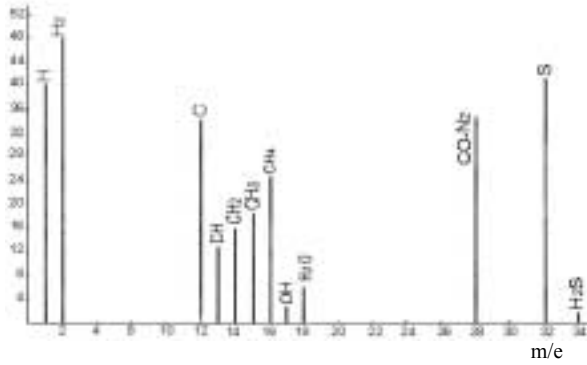
Şekil 2. Kütle-spektrometresi.

Tablo 1. Gazların temizlenme araştırmalarının sonuçları.

Elektriksel boşalma türü	Elektrik alan şiddeti E (kV/cm)	Ozonatör girişindeki gazın içeriği (%)		Ozonatörden geöen gazın debisi (m ³ /saat)	Ozonatör çıkışındaki gazın içeriği (%)		H ₂ S molekülsüz gaz oranı (%)
		CH ₄	H ₂ S		CH ₄	H ₂ S	
Kesikli elektrik gaz boşalması	40	95	5	0,12	95	0,6	99,4
	50	95	5	0,12	95	0,2	99,8
	60	95	5	0,12	95	0	100

2.1 Doğal gazın H₂S molekülünden temizlenmesinin araştırılması

Araştırmanın ilk aşamasında içeriğinde %5 H₂S olan CH₄ - doğal gazı 0,12 m³/saat hızla ozonatörden geöirilerek, kesikli elektriksel boşalmanın etkisine maruz bırakılmış ve gaz ortamın içerik değişiklikleri, kütle spektrometresi ile kaydedilmiştir. Gaz boşalmasının elektrik alan şiddeti, boşalma enerjisinin artması yönünde değiştirilerek deneyler tekrarlanmış ve ozonatör hacmindeki H₂S ve CH₄ miktarının değişimleri izlenmiştir. Tablo 1'de, sözü edilen deneylerden elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Şekil 3'te araştırılan gazdaki içerik değişikliklerini gösteren kütle- spektrogramı verilmiştir.



Şekil 3. Araştırılan gaz ortamın kütle- spektrogramı.

Yapılan araştırmalar sonucu; kesikli elektriksel boşalmanın etkisi altında kalan gazdan H₂S molekülleri arındırılarak, soğuran maddeler (adsorbentler) tarafından yutulma hızı yüksek olan iyonlar oluştuğu anlaşılmıştır.

Araştırma sonuçlarına bakarak, hammadde gibi kullanılan hidrokarbon içerikli gazların yabancı maddelerden temizlenmesi teknolojisinde, elektriksel boşalmaların etkilerinden yararlanmanın olumlu sonuç verdiği söylenebilir. Genel temizleme teknolojisinin tam çalışması için, süreçte kullanılan soğuruculara ayrıca elektriksel boşalmaların etkisinin ve teknoloji uygulanırken genel sistemin araştırılması gerekir.

2.2 Monomerlerin oksijen birleşmelerinden temizlenmesinin araştırılması

Polimer malzemelerin sentezinde monomerler kullanılmaktadır. Monomerlerin yapısının (birleşiminin) basit olmasının süreçte önemli olduğu bilinmektedir. Bu çalışmada, gazlarda elektriksel

boşalmaların etkisinden yararlanarak hidrokarbonların C₇ - C₁₀ eğilimli monomerlerinin oksijen birleşmelerinden soğurmak amacıyla KSM markalı silikagel kullanılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlar, Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Monomerlerin temizlenmesi araştırmasının sonuçları.

Elektriksel boşalma türü	Elektrik alan şiddeti E (kV/cm)	Sıvının (hacmi) uygulama hızı (saat ⁻¹)	Yabancı madde miktarı (%)
Kesikli elektriksel boşalma	40	9,5 / 4 / 0,9	30 / 15 / 8
	50	9,5 / 4 / 0,9	24 / 8 / 2
	60	9,5 / 4 / 0,9	16 / 4 / 0

Elektriksel boşalmaların soğurma süreçlerine etkisinin ve etki mekanizmalarının açıklanabileceği araştırma sonucu anlaşılmaktadır. Böylece, elektriksel boşalmaların etkisi altında kalan soğurucuların elektrik yüklerinin toplanması sonucu, soğurma süreçlerinin etkinliği artmaktadır ve bu da sıvıların yabancı maddelerden temizlenmesi sürecine önemli derecede etki etmektedir.

2.3 Transformatör yağlarının temizlenmesinde yeni bir teknoloji

Yüksek gerilim tekniğinde elektrik güçlerinin ve elektrik alan şiddetlerinin yükselmesi elektriksel yalıtım malzemelerinin, özel olarak transformatör ve kondansatör yağlarının, çalışma davranışlarının önemini arttırmıştır. Yalıtma ve soğutma malzemesi olarak kullanılan transformatör yağlarının yeni koşullarda başarımı, yağın kalitesinin artırılmasını gerektirir. Bu problemlerle bağlı olarak aşırı temizliğe sahip olan malzemelerin elde edilmesi yönünde yoğun bilimsel araştırmalar yapılmaktadır. Hammaddenin içeriğinde çeşitli atom ve moleküllerden oluşmuş harici akışkanların mevcut olması teknolojik üretim sürecini zorlaştırarak, sonuçta elde edilen ürünün fiziksel ve kimyasal özelliklerine olumsuz etki ederler. Çeşitli malzemelere, özellikle transformatör yağlarına yönelik talepleri karşılamak için üretim teknolojisinin ve malzemelerin harici akışkanlardan temizlenmesi süreçlerinin etkinliğinin artırılması zorunlu problem olarak kabul edilmektedir [14 - 17].

Transformatör yağlarının bilinen temizlenme yöntemleri, birçok olumsuzluklara sahiptir. Asıl

olumsuzluk, temizlenme sürecinde kullanılan asitlerin yağı temizlemekle birlikte, aynı zamanda hidrokarbon kökenli yağın kaynağına ve yapısına olumsuz etki yapmalarıdır. Bu bakımdan katı haldeki soğuruculardan (adsorbentlerden) yararlanılarak soğurma işlemlerinin yapılması üstün özelliklere sahiptir.

Soğurma yöntemleri, uygulamada özellikle kimya teknolojilerinde geniş uygulama alanına sahiptir. Teknik ve teknolojik süreçlerin taleplerinin tam olarak yerine getirilmesi soğurma süreçlerinin etkinliğinin yükseltilmesini gerektirir. Teknolojik süreçte temizleme yöntemlerinden biri de soğurma süreçlerine elektriksel boşalmaların etkisi olabilir. Bu yöntemin etkinliği, elektriksel boşalmaların soğurma sürecine doğrudan etkisi, enerji tasarruflu olması, ekonomik ve teknolojik verimliliği ile belirlenir.

Bu bölümde, elektriksel boşalmanın etkisi altında transformatör yağlarının soğurma yöntemi ile temizlenmesinin araştırılmasından elde edilen sonuçlar verilmiştir. Araştırmalarda Bakü petrol rafinerisinde üretilen transformatör yağlarının iki türünden alınan numuneler kullanılmıştır. Birinci tür numune, elektriksel boşalmaların etkisi ile temizlenmeye çalışılmış, ikinci tür numune ise basit standart yöntemle temizlenmiştir. Elektrik alan şiddeti olarak, havanın elektriksel delinme alan şiddeti olan 30 kV/cm'nin 7 kV/cm altı ve üstü değerlere karşılık gelen, 23 ve 37 kV/cm değerlerinde iki farklı sabit alan şiddeti uygulanmıştır.

Yağ numunelerinin temizlenmesi sürecinde, elektriksel boşalmalar, yağ numuneleri soğurucudan geçirildiği sürece etki etmiştir. Araştırmalarda diğer parametreler sabit tutulmuştur. Soğurucu olarak silikagel kullanılmıştır. Silikagel vakum ortamında beş saat süreyle $t = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta kurutulmuştur. Basit standart temizleme ve önerilen elektriksel boşalma ile temizleme yöntemlerinin uygulanmasıyla temizlenen yağlardan elde edilen sonuçlar, Tablo 3'de verilmiştir.

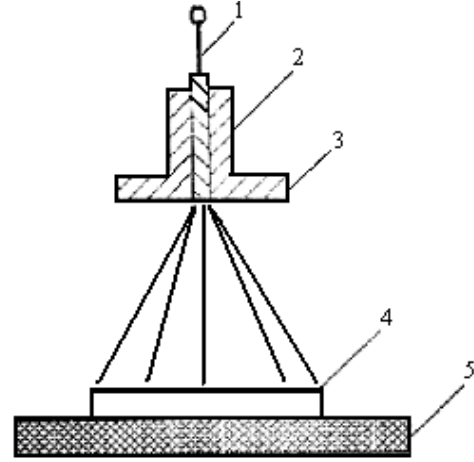
Tablo 3. Transformatör yağlarının temizlenmesinin sonuçları

No.	U (kV)	2. Numunenin asit miktarı (Mg KON/g)	Su miktarı (%)	1. Numunenin Delinme Dayanımı E_{cm} 23 kV/cm (kV/cm)	2. Numunenin Delinme Dayanımı E_{cm} 37 kV/cm (kV/cm)
1	0	0,022	Yok	38	40
2	3	0,016	Yok	44,5	45,4
3	6	0,020	Yok	46,2	46,5
4	9	0,016	Yok	48,6	49,2
5	12	0,019	Yok	52,5	58,6

Tablo 3'te verilen sonuçların incelenmesinden; etki eden elektriksel boşalmanın gerilim düzeyi yükseldikçe, süreçten geçerek temizlenen yağın delinme dayanımlarının, her iki numune de yükselmiş olduğu görülmüştür. Ancak burada, aynı zamanda yağları karakterize eden diğer parametrelerde

önemli değişiklikler kayda alınmamıştır. Yağın içeriğindeki su miktarı hidrokalsiyum yöntemi ile saptanmıştır.

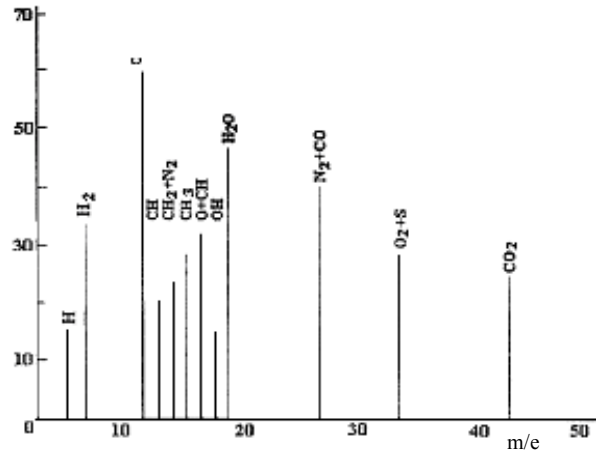
Bu yöntem, yağ içindeki kullanılmış su miktarını belirlemeye imkan verdiği halde, içeriğinde olan bağlı su miktarını vermez. Yağ numunelerinin delinme dayanımlarının yükselmesinin sebebini bulmak amacıyla aşağıdaki araştırmalar yapılmıştır. Kullanılmış sudan kurtulan yağ numuneleri, Şekil 4'te gösterilen devreden yararlanarak, kıvılcım şekilli elektriksel boşalmaların etkisi altında tutulmuştur.



Şekil 4. Kıvılcım şekilli elektriksel boşalmalı elektrot sistemi.

- 1- Yüksek gerilim elektrodu,
- 2- Fosfordan silindrisel bölüm,
- 3- ftoroplast uç,
- 4- Yağ tabakası,
- 5- Düzlem elektrot.

Elektriksel boşalmaların kısa süreli etkisinde kalan yağ içinde kullanılmış su olduğu görülmüştür ve bu kullanılmış su, soğurucu tarafından hızlı bir şekilde soğurulmuştur. Şekil 5'te yağ içinde kullanılmış suyun olduğunu gösteren kütle-spektrogramı verilmiştir.



Şekil 5. Kıvılcım şekilli elektriksel boşalma etkisi altında kalan yağ buharının kütle-spektrogramı.

Böylece yapılan araştırmaların sonucunda; elektriksel boşalmaların etkisi altında kalan yağın içeriğinde olan bağlı su miktarı artırılmış suya çevrilmiştir. Bu durum, yağın delinme dayanımının yükselmesinin sebebini açıklamak için yeterlidir.

3. SONUÇ

Çeşitli kimyasal birleşimine sahip olan monomer ve polimerlerin üretiminde ana hammadde olarak, çeşitli hidrokarbon kökenli gazlar kullanıldığında ve gazların içeriğinde çeşitli atom ve moleküllerden oluşmuş yabancı maddeler olduğunda, her bir teknolojik uygulamada, burada önerilen yöntemle yabancı maddelerden arındırma işlemi konusu araştırılmalıdır.

Sonuç olarak; elektriksel gaz boşalmalarının yukarıda açıklanan konularda mevcut teknolojik süreçlerde yararlanılmasının etkili bir yöntem olduğu söylenebilir. Yapılan araştırmanın sonuçları petrol-gaz ve petrol kimyası endüstrisi için önem taşıdığı anlaşılmaktadır.

4. KAYNAKLAR

- [1] Koykov, S. N., "Dielektriklerin Elektriksel Eskimesi", Enerji Dergisi, 1968, s. 184 (Rusça).
- [2] Aleksandrov, Q. N., İvanov, V. L., Kizevetter, V. E., "Dış Yüksek Gerilim Yalıtkanlarının Elektriksel Dayanıklılığı", Enerji Dergisi, 1969, s. 240 (Rusça).
- [3] Sajin, B. İ., "Polimerlerin Elektriksel Özellikleri", Kimya Dergisi, 1986, s. 244 (Rusça).
- [4] Denat, A., Bonifaci, N., Nur, M., "Spectral Analysis of the Light Emitted by Streamers in Hydrocarbon Liquids", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 5, No. 3, pp. 382-387, June 1998.
- [5] Tabatabaei, N. M., Kalenderli, Ö., Haşimov, A., Nayır, A., Gurbanov, K., Mehdizade, R., Kerimov, G., "Elektriksel Yalıtkan Maddelerin Fiziksel Özelliklerine Etki Eden Etkenler", ELECO'2002, Elektrik- Elektronik- Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, 2002, s.159-162.
- [6] Lusheykin, G. A., "Plastik Maddeler", No. 3, 1970, s. 34-37 (Rusça).
- [7] Tager, A. A., "Polimerlerin Fiziko-kimyası", Kimya Dergisi, 1968, s. 536 (Rusça).
- [8] Kargin, V. A., Slonimskiy, G. L., "Polimerlerin Fiziko-kimyası Üzerine Notlar", Kimya Dergisi, 1967, s. 230 (Rusça).
- [9] Strepikheev, A. A., Derevitskaya, V. A., Slonimskiy, G. L., "Yüksek Moleküllü Birleşim Kimyasının Temelleri", Kimya Dergisi, 1967, s. 515 (Rusça).
- [10] Korshak, V. V., "Polimer Kimyasının Başarıları", Kimya Dergisi, 1966, s. 300 (Rusça).
- [11] Sesler, G., "Elektretler", Mir, 1983, s. 486 (Rusça).
- [12] Dzheyl, F. K., "Polimer Monokristaller", Kimya Dergisi, 1968, s. 551 (Rusça).
- [13] Bradwell, A., Electrical Insulation, Peter Peregrinus Ltd., London, 1983.
- [14] Malik, N. H., Al-Arainy, A. A., Qureshi, M. I., Electrical Insulation in Power Systems, Marcel Dekker, Inc., New York, 1998.
- [15] Haşimov, A. M., Cuvarlı, Ç. M., Gurbanov, K. B., Kerimov, G. M., "Dielektrik Malzemelerin Yüzeylerine Elektriksel Gaz Boşalmasının Etkisinin Araştırılması", Azerbaycan Bilimler Akademisinden Haberler, Fizik- Matematik ve Teknik Bilimler Serisi, Cilt VI, No. 4-6, 2000, s. 129-132.
- [16] Haşimov, A. M., Hesenli, M. A., Gurbanov, K. B., "Elektriksel Gaz Boşalmasının Etkisi Altında Petrol Ürünlerinin Temizlenmesi", Elektronna Obrabotka Materialov, No. 4, 2001, s. 44-47.
- [17] Haşimov, A. M., Gurbanov, K. B., Kerimov, G. M., "Dielektriklerde Yüklü Durumların Ortaya Çıkması Süreçlerinde Kuruluş Faktörünün Önemi", Azerbaycan Bilimler Akademisinden Haberler, Fizik- Matematik ve Teknik Bilimler Serisi, Cilt XXII, No. 2, 2002, s. 46-49.