

## POLIETİLEN+NANOĞİL NANOKOMPOZİTLƏRİN ELEKTRİK PARÇALANMA KİNETİKASINDA ELEMENTAR PROSESLƏR

A.R. SADIQOVA

*Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının H.M.Abdullayev adına Fizika İnstitutu,  
AZ-1143, Azərbaycan, Bakı, H. Cavid pr.131*

*e-mail: [arzu-sadigova@mail.ru](mailto:arzu-sadigova@mail.ru)*

Polietilen və polietilen əsasında nanogil əlavəli nanokompozit polimer nümunələrin elektrik yaşama müddətinə görə paylanması araşdırılmışdır. Orta yaşama müddətində deşilməyən nümunələrdə elektrik gərginliyinin təsirini aradan qaldırmaqla nümunəyə fasilə verilmişdir. Fasilə müddətindən asılı olaraq bu müddətdə temperaturu dəyişməklə və əks qütblü gərginlik verməklə nümunələrin bu cür işləmərdən sonra yaşama müddətinə görə paylanması dəyişmişdir. Fasiləyə qədər deşilməyən nümunələrdə baş verən hadisələrə (qüsurlarda yığılan yüklər, qırılan rabitələr və s.) fasilə zamanı xarici amillərlə müdaxilə etmək olar. Elektrik parçalanmasına gətirən elementar proseslərin dönən bir proses olduğu müəyyən edilmişdir.

**Açar sözlər:** elektrik parçalanma, nanokompozit, yaşama müddəti, nanogil

**PACS:** 81.05.Rm

### GİRİŞ.

Polimerlər və onların əsasında fərqli əlavələrlə alınan kompozitlərin elektrik möhkəmliyini  $\tau$  yaşama müddəti (elektrik sahə gərginliyinin sabit qiymətində deşilmə anına qədər keçən müddət) ilə xarakterizə edə bilirik. Bu materialların elektrik parçalanma kinetikasının analizi təcrübi olaraq çox sayda tədqiqatlarda öz əksini tapanmışdır. Deşilməyə hazırlıq mərhələsində elektron proseslər haqqında bəzi təsəvvürlər söylənilmişdir: elektrodlardan elektronların injeksiyası, müxtəlif işarəli həcmi yüklərin formalaşması, elektron tələlərin dinamikası, polimer molekulunun ionizasiyası və s. [1-3]. Polimerlərin deşilmə halına yaxınlaşana qədər bu proseslər kinetik xüsusiyyətlərinə görə hazırlıq prosesində müxtəlif cür iştirak edə bilirlər. Yəni, elektrik deşilməsi ani baş verən kritik bir hadisə deyil, zamandan və başqa amillərdən asılı olan kinetik bir hadisədir. “Gecikən parçalanma” adlanan bu hadisə tətbiq edilən sahə gərginliyinin qiyməti ilə yanaşı başqa amillərdən (temperatur, quruluş, xarici mühit və s.) asılıdır. [4,5]. Elektrik parçalanma kinetikasının tədqiqi fenomenoloji ( $\tau$ -nın elektrik gərginliyindən ( $E$ ) və temperaturdan ( $T$ ) asılılığı) və bir çox birbaşa fiziki üsullarla araşdırılır. Temperaturun müəyyən qiymətində parçalanma termoflukuasiya – (çəpərüstü) və tunel (çəpəraltı) mexanizmləri ilə izah edilir [1-3]. Elektrik və mexaniki parçalanma xarici amillərin təsiri ilə, ən sadə halda, atomlararası rabitələrin qırılması nəticəsində yığılan dəyişmələrin müəyyən bir səviyyəyə çatdıqdan sonra materialın bütövlüyünü itirməsidir. Atomlararası rabitələrin qırılmasını gecikdirmək üçün bir sıra üsullar vardır. Bunlardan biri də polimerlərə nanoəlavələr daxil etməklə nanokompozitlərin alınmasıdır. Nanoəlavələr qırılan rabitələrin sayının artmasını gecikdirməklə materialın yaşama müddətini artırsa da, nəticədə parçalanma qaçınmazdır.

Polimerlər əsasında alınan üzvi və qeyri-üzvi əlavələr daxil edilmiş kompozit materialların dinamik-mexanik, elektrik, deformasiya və optik xassələrinin dəyişməsi tədqiq edilmiş və bu dəyişmənin mexanizmi haqqında, az da olsa, məlumat verilmişdir.

Nümunələri parçalanmaya hazırlayan elementar prosesləri idarə etmək qarşımızda duran mühüm məsələlərdən biridir. Yəni, material bütövlüyünü itirənə qədər baş verən dəyişiklikləri, qırılmış rabitələri bərpa etmək mümkündürmü? Elektrik parçalanma kinetikasında elementar proseslərin istiqamətini (dönən və ya dönməyən olmasını) müəyyən edə bilərikmi?

Bu araşdırmalarda saf polietilen (PE) və onun əsasında alınan nanokompoziti elektrik parçalanma kinetikasında deşilməyə qədər olan hazırlıq prosesində molekulyar proseslərin yönünü müəyyən etmək üçün tədqiqat aparılmışdır.

### NÜMUNƏLƏRİN ALINMASI VƏ ÖLÇMƏ METODLARI.

NG müxtəlif faizlərdə toz şəklində PE ilə mexaniki qarışdırıldıqdan sonra, qaynar presləmə üsulu ilə (425 K, 15 Mpa, 10 dəq.) nazik (40-60 mkm) nümunələr əldə edilmişdir. Hər ikisi toz şəklində və sıxlıqları bir-birinə yaxın olduğundan, bircinsli qarışıq alınır. Əlavə olaraq istifadə olunan NG montimorillanit (MM) təbəqəli silikatlardır: ölçüləri 200 nm uzunluğunda 1nm enindədir [6]. MM hissəciklərinin müstəvi şəklində olması bu təbəqələrin bir-biri üzərinə düzülərək polimer matrisası ilə lay-lay təbəqəli quruluş yaradır.

Tədqiqat obyektii olaraq saf PE və PE+3,0%NG nanokompozitdən istifadə edilmişdir. Elektrik sahə gərginliyinin təsiri ilə deşilməyə gətirən yığılma proseslərinin dönmə dərəcəsini öyrənmək üçün, elektrik sahəsinin davamlı və fasilələrlə təsiri altında  $\tau$  ölçülmüşdür. Bərk cisimlər, o cümlədən, saf polimerlərin mexaniki parçalanması üçün tədqiqatlar aparılmışdır [6, 7].

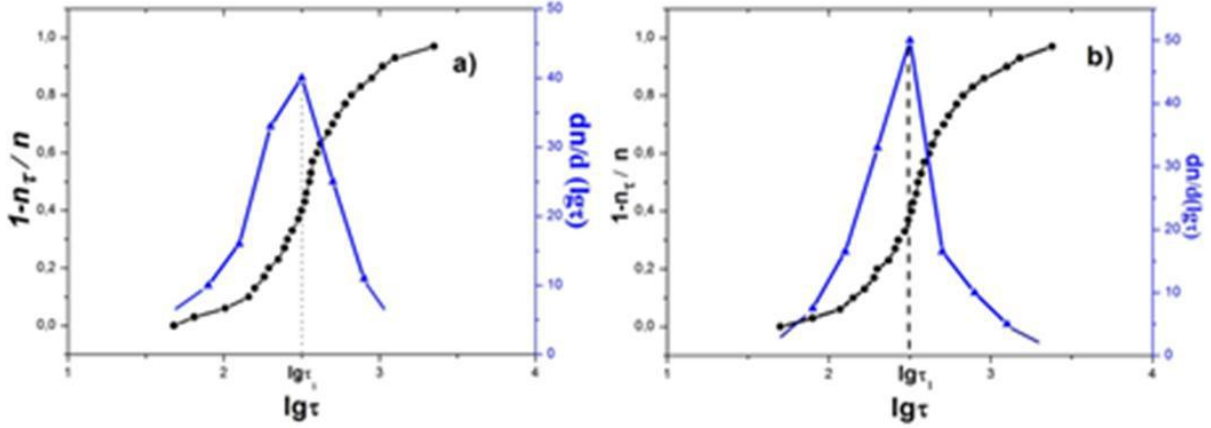
Polimerin və başqa materialların yaşama müddətinin öyrənilməsində bütün şərtlər eyni olduğu halda ( $E=\text{const}$ ,  $T=\text{const}$ ),  $\tau$ -nın həqiqi qiymətindən kənara çıxmalar olur. Xəta payını azaltmaq üçün, eyni nümunələrdən çox sayda götürüb  $\tau$ -nu ölçməklə həqiqi qiymətə daha çox yaxınlaşmış olarıq. Bu araşdırmada  $\tau$ -nın ölçülməsində 30 nümunədən istifadə edilib və ya-

şama müddətinə görə PE və PE+3,0% NG nanokompozitin paylanma funksiyası təhlil edilmişdir.

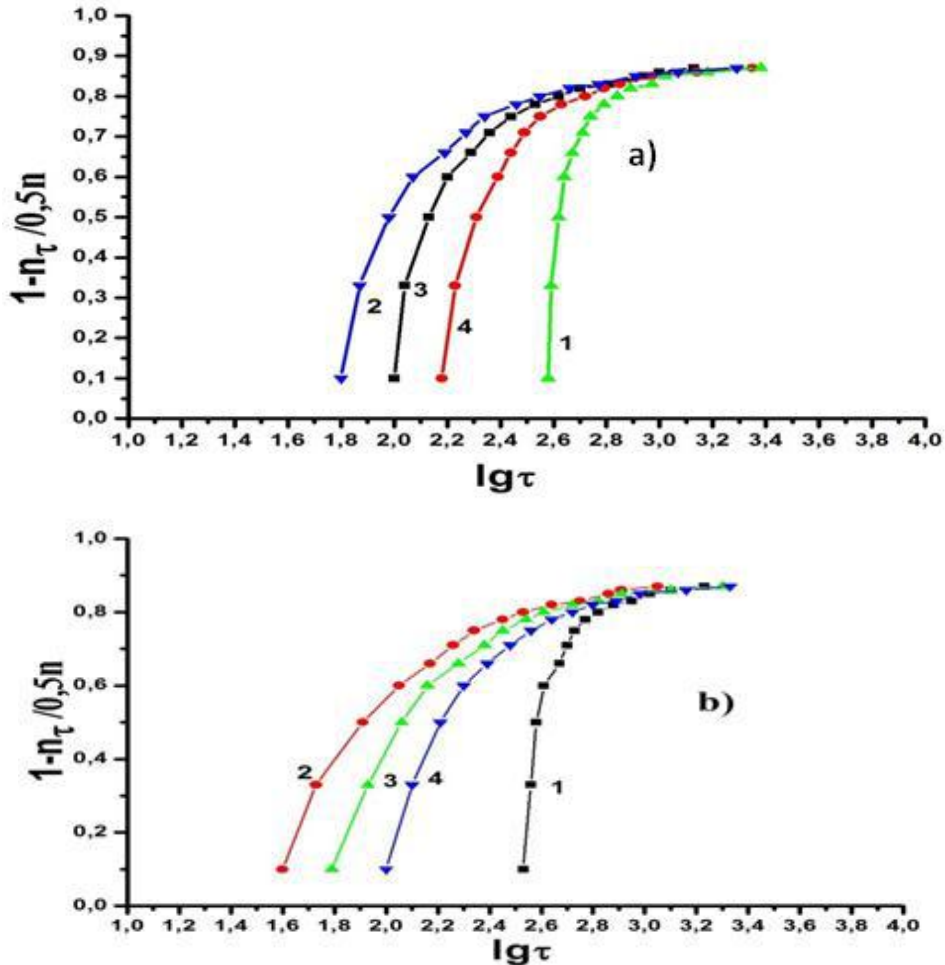
### TƏCRÜBİ NƏTİCƏLƏR VƏ İZAH.

PE və PE+NG nanokompozitlərin elektrik sahəsinin təsiri ilə baş verə bilən dəyişikliklər əvvəlcədən apardığımız tədqiqat işlərində öyrənilmişdir [8]. Mü-

əyyən edilmişdir ki, NG-in miqdarından asılı olaraq PE-nin yaşama müddəti azalır. Araşdırma üçün PE və PE+3,0 % NG nümunəsi götürülmüşdür. Eyni şəraitdə alınan nümunələrdə sabit  $E$ -də və sabit  $T$ -də çoxlu sayda (30 nümunə)  $\tau$ -lar ölçülmüşdür. Təcrübədən alınan bu qiymətlər  $\tau$ -nun artmasına görə düzülür və nümunələrin sayının ( $n$ )  $\tau$ -dan asılılığı qurulur (şəkil 1).



Şəkil 1. YSPE (a) və YSPE+3,0%NG nanokompozitin (b) elektrik yaşama müddətinə görə inteqral və diferensial paylanma əyriləri  $T=293 \text{ K}$ ,  $E=5,2 \cdot 10^7 \text{ V/m}$  (a);  $E=4,0 \cdot 10^7 \text{ V/m}$  (b)



Şəkil 2. YSPE (a) və YSPE+3,0%NG nanokompozitin (b) elektrik parçalanmasının yaşama müddətinə görə inteqral paylanma əyriləri. 1-  $\tau_1=317$  san-dən sonrakı yaşama müddətinə görə inteqral paylanması; 2-  $\tau_2$  ikinci yaşama müddətinə görə inteqral paylanması; 3- fasilə zamanı  $T=373\text{K}$ -də  $10^3$  saniyə gözlədikdən sonra  $\tau_2$ -yə görə inteqral paylanması; 4- fasilə zamanı  $10^3$  saniyə müddətində əks qütblü gərginliyin təsirindən sonra  $\tau_2$ -yə görə inteqral paylanması.  $E=4,5 \cdot 10^7 \text{ V/m}$  (a);  $E=3,2 \cdot 10^7 \text{ V/m}$  (b)

Bu qrafik nümunələrin  $E$  və  $T$  - nin sabit qiymətlərində  $lg\tau$ -ya görə paylanmanın inteqral və diferensial funksiyasıdır. Yəni,  $E$ - nin təsiri ilə dəşilən nümunələrin sayının yaşama müddətinə görə paylanma əyrisi-  
dir. Ordinat oxu üzərində  $\frac{1-n_\tau}{n}$  inteqral və  $\frac{dn}{d(lg\tau)}$

diferensial funksiyaları göstərilmişdir.  $n$ - təcrübə üçün hazırlanan nümunələrin ümumi sayı,  $n_\tau$ - $\tau$  zamanında dəşilməyən nümunələrin sayıdır. Paylanmanın effektiv eni  $\Delta lg \tau=1 \div 1,3$  olmaqla  $S$  şəklindədir. Paylanmanın şəkli təsadüfi qiymətlərin normal paylanmasına yaxındır.

Yaşama müddətinə görə diferensial paylanma əyrisi  $\tau$ - nun orta qiymətinə görə simmetrik şəkildə olmaqla Qauss paylanmasına çox bənzəyir və yaşama müddətinin ən ehtimalı qiyməti ətrafında paylanmanın təsadüfi xarakterini göstərir. Təsadüfi nöqtələrin sayı çox olarsa (təcrübə şəraiti dəyişərsə, maddə mükəmməl quruluşa malik deyilsə, quruluşdakı qüsurlar çox isə və s.), əyrinin eni böyük olur.  $\tau$ - nun həqiqi qiymətinə yaxınlaşmaq üçün çox sayda nümunələrdən alınan nəticələrin statistik qiymətlərinə baxılmalıdır. Eyni diferensial paylanmanı bərk cisimlər üçün qursaq, əyrinin eni dar olar, çünki bərk maddələr polimerlərə nisbətən daha nizamlı quruluşa malikdir.

Şəkil 1 a və b-dən göründüyü kimi PE və nanokompozit üçün nümunələrin yarısının yaşama müddəti otaq temperaturunda (293K)  $\tau_1$ - 317san-dən çoxdur.  $E$ -nin təsiri ilə baş verən dəyişiklikləri aşkara çıxarmaq üçün  $\tau_1$ - 317san zaman müddətində dəşilməyən nümunələrdə elektrik sahəsinin təsirini aradan qaldırmaqla nümunəyə fasilə veririk. Fasilə zamanı iki hala baxırıq: 1-ci halda  $E$ - ni qaldırıqdan sonra (fasilə zamanı) temperaturu 373 K qədər dəyişərək  $10^3$ san gözlədikdən sonra gərginliyi yenidən verərək  $\tau_2$ -ni ölçürük (ikinci yaşama müddəti). Şəkil 1-dən inteqral paylanma əyrisinin yuxarı hissəsini 0,5 səviyyəsinə görə yenidən qursaq və hər iki nümunə üçün yarım yaşama müddətini nəzərə almasaq, şəkil 2 a, b-dəki qrafikləri alırıq. 2-ci halda fasilə müddətində gərginlik mənbəyində yüksək voltlu elektrodun qütübünü dəyişməklə (yüksək voltlu elektroda fasiləyə qədər müsbət qütbdən gərginlik verilmişsə, fasilə zamanı mənfə qütbdən gərginlik verilir və ya tərsinə)  $10^3$ san müddətində əks işarəli gərginlik verilir. Bu işləmədən sonra həmin nümunəyə fasilədən öncəki gərginliyi verərək  $\tau_2$ -ni ölçürük. Yəni şəkil 2-dəki 1 əyrisi şəkil 1-dəki inteqral paylanmanın  $0,5n$  miqyasına görə təkrarlanmış əyriləridir. Şəkil 2-dəki 2 əyriləri  $\tau_2=\tau-\tau_1$  ikinci yaşama müddətinə görə qurulmuş əyriləridir.

Tədqiqat işlərində polimerlər üçün  $lg \tau(E, T)$  asılılığının analizi polimerlərin elektrik parçalanma kinetikasının mexanizmini az-çox açıqlamışdır [9, 10, 11 ]. Göstərilmişdir ki, metal elektrodlara tətbiq olunan elektrik gərginliyi zamanı elektrodan polimerə elektronlar injeksiya olur: elektronlar katoddan, dəşiklər anoddan. İnjeksiya olunmuş yüklü zərrəciklər polimerin daxilində müxtəlif ölçülərə malik tələlərdən çıxan yüklü zərrəciklərə maneəni (əngəli) azaldır. Yüksək temperaturlarda dərin tələlərdən yüklü zərrəciklərin çıxması termofluktuasiya (çəpər üstü) mexanizmi ilə baş verir. Aşağı temperaturalarda isə atermik xarakterə malik olan dərin tələlərdən çıxış çəpəraltı tunel kəşidi ilə baş verir [10]. Hər iki halda müəyyən zaman müddətində (elektrik yaşama müddəti) toplanan həcmi yüklərin kritik qiymətində parçalanma baş verir və nümunə dəşilir.

$\tau_1$  orta yaşama müddətində parçalanma baş verməmişsə, fasilə zamanı 1-ci və 2-ci hallara baxdıqda tələlərdə yığılan yüklərə təsir etməklə rekombinasiya prosesi ola bilərmi? Yığılan yüklərin dəyişməsinə fenomenoloji və birbaşa olan üsullarla öyrənmək olar. Birbaşa ölçmə texniki çətin olduğuna görə, bu üsul yaramır. Fenomenoloji olaraq, yığılan yüklərdə baş verən dəyişiklikləri yaşama müddətinə görə öyrənmək olar. Fasilə müddətində yığılan yüklərin artmasına bir səbəb yoxdur, əksinə işləmlər nəticəsində yüklərin sayını azaltmaq olar. Yuxarıda söylədiyimiz kimi, fasilə müddətində nümunənin temperaturunu artırmaqla  $\tau$ -nu ölçmək olar fasilə müddətində əks qütbdən gərginlik verməklə  $\tau$ -ni ölçə bilərik. Təcrübə nəticələri şəkil 2 a, b-də göstərilmişdir. Məlum olmuşdur ki, injeksiya yolu ilə polimer daxilində yığılan yükləri dəyişməklə onların yaşama müddətini dəyişmək olar. Hər iki nümunədə fasilə müddətində həm temperaturu artırmaqla, həm də əks qütblü elektrik gərginliyi verməklə yenidən ölçsək yaşama müddəti artmış olur. Fasilə müddətində aparılan işləmlər nəticəsində elektrik parçalanma prosesini yönləndirmək olar və mexaniki parçalanma prosesindən fərqli olaraq [6] elektrik parçalanma prosesi dönəndir.

## NƏTİCƏ.

Həm PE-də, həm də PE+3,0% NG nanokompozitində elektrik yaşama müddətinin qiymətlərinin statistik analizi göstərdi ki, polimerlərin elektrik parçalanmasına gətirən yığılma prosesi dönəndir və prosesdə NG əlavəsinin heç bir rolu yoxdur.

- [1] *A.И. Слущер, Т.М. Велиев, И.К. Алиева, В.А.Алекперов, С.А. Абасов.* ФТТ, 1990, № 8, с. 2339-2344.  
[2] *A.И. Слущер, Т.М. Велиев, И.К. Алиева, В.А. Алекперов, С.А. Абасов.* Письма в ЖТФ, 1991,Т. 17, № 13,с. 67-72.  
[3] *В.А. Закревский, Н.Т. Сударь.* ФТТ, 2013, Т.55, №7, с.1298-1303.

- [4] *И.К. Алиева, Т.М. Велиев, П.Б. Асилбейли, А.Р. Садыгова, И.М. Исмаилов.* Проблемы энергетики,2017, №1, с. 62-68.  
[5] *И.К. Алиева, Т.М. Велиев, П.Б.Асилбейли, А.Р. Садыгова, Э. С. Сафиев.* Проблемы энергетики, 2018, №1,с.31-36.  
[6] *М.Ə. Ramazanov, A.R. Sadiqova, A.Ə. Hadyeva, İ.İ. Abbasov.* AJP Fizika, 2018, v. XXIV №2, p. 15-19.

- [7] *A.P. Садыгова, И.И. Аббасов, Э. С. Сафиев, П.Б. Асилбейли, В.А. Алекперов.* Nano-sistemi, Nanomateriali, Nanotehnologii, 2019, t.17, №1, c. 155-165.
- [8] *А.И. Слуцкер, В.Л. Гиляров, Д.Д. Каров, Ю.И. Поликарпов.* ФТТ, 2011, 53, 7, с.1255
- [9] *А.И. Слуцкер, Т.М. Велиев, И.К. Алиева, В.А.Алекперов, Ю.И.Поликарпов, Д.Д. Каров.* ФТТ, 2016, 58, 9, 1826.

**A.R. Sadygova**

**ELEMENTARY PROCESSES IN THE KINETICS OF ELECTRIC DESTRUCTION OF  
POLYETHYLENE + NANOGLINE NANOCOMPOSITES**

The distribution of the electric life time of polyethylene samples and nanocomposite polymeric samples based on polyethylene is studied. In samples not pierced with an average life time, the effect of an electric field was excluded and they were given a break. In dependence on the interruption time, temperature change, and supply of bipolar voltage, the distribution of the electrical lifetime of the samples was studied. The processes in unbroken samples before the break (charges accumulated in structural defects, broken bonds) were affected by external factors and it was found that elementary processes leading to electric destruction are reversible.

**A.P. Садыгова**

**ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ПРОЦЕССЫ В КИНЕТИКЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРУШЕНИЯ  
НАНОКОМПОЗИТОВ ПОЛИЭТИЛЕН+ НАНОГЛИНА**

Исследовано распределение электрического времени жизни образцов полиэтилена и нанокompозитных полимерных образцов на основе полиэтилена. В образцах не пробитых при средней продолжительности времени жизни было исключено воздействие электрического поля и им был предоставлен перерыв. В зависимости от времени перерыва, изменения температуры, подачи разнополярного напряжения было исследовано распределение электрического времени жизни образцов. На процессы в непробитых образцах до перерыва (заряды накопленные в дефектах структуры, разорванные связи) были воздействованы внешние факторы и установлено, что элементарные процессы, приводящие к электрическому разрушению, являются обратимыми.

*Qəbul olunma tarixi: 14.10.2019*