

**XLOR ÜZVİ BİRLƏŞMƏLƏRİN MAYE SİSTEMLƏRDƏ  
RADIOLİZ VƏ FOTOLİZ PROSESLƏRİNİN ELMI  
ƏSASLARININ İŞLƏNMƏSİ**

İxtisas: 2305.01 – Nüvə kimyası

Elm sahəsi: Kimya

İddiaçı: **Zenfira İskəndər Qızı İskəndərova**

Elmlər doktoru elmi dərəcəsi  
almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

**A V T O R E F E R A T I**

Dissertasiya işi AR ETN-nin Radiasiya Problemləri İnstitutunun “Ətraf Mühitin Radiasiya Kimyası” laboratoriyasında yerinə yetirilmişdir.

**Elmi məsləhətçi:**

kimya elmlər doktoru, professor  
**Müslüm Əhməd oğlu Qurbanov**

**Rəsmi opponentlər:**

kimya elmlər doktoru, professor  
AMEA-nın həqiqi üzvü, akademik  
**Adil Abduxalıq oğlu Qəribov**

kimya elmlər doktoru, professor  
**Sevinc Rafiq qızı Hacıyeva**

kimya elmlər doktoru, professor  
**Nəcəf Tofiq oğlu Qəhrəmanov**

kimya elmlər doktoru, professor  
**Akif Şıxan oğlu Əliyev**

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Elm və Təhsil Nazirliyinin Radiasiya Problemləri İnstitutunun nəzdində fəaliyyət göstərən BED 1.22 Dissertasiya Şurası.

**Dissertasiya şurasının sədri:**

kimya elmlər doktoru, professor  
AMEA-nın müxbir üzvü  
**İslam İsrafil oğlu Mustafayev**

**Dissertasiya şurasının  
elmi katibi:**

kimya üzrə fəlsəfə doktoru  
**Ülviyə Aydın qızı Quliyeva**

**Elmi seminarın sədri:**

kimya elmlər doktoru, dosent  
**Xaqani Fərzulla oğlu Məmmədov**

## İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

**Mövzunun aktuallığı:** Ətraf mühit problemlərinin həllinə ionlaşdırıcı və UB şüalanma mənbələrinin tətbiqi yüksək enerjilər kimyası, radiasiya kimyası və fotokimya, nüvə kimyası, ekoloji kimya elmi istiqamətlərinin tədqiqat sahələrinə daxildir. Bu istiqamətdə xlorüzvi birləşmələrin radiasiya və fotokimyası mühüm aktuallığa malikdir. Bu birləşmələrin bir çoxu ətraf mühitdə kimyəvi və termik cəhətdən davamlı olub uzaq məsafələrə yayılmaq xüsusiyyətinə malikdirlər və global çirkləndiricilər sayılır. Bu birləşmələrin bir hissəsi qida zənciri vasitəsilə insan orqanizminə daxil olur və sağlamlıq üçün ciddi təhlükələr yaradır.

Xlorüzvi birləşmələrin ətraf mühitə ciddi mənfi ekoloji təsirini nəzərə alaraq BMT tərəfindən Davamlı Üzvi Çirkləndiricilər haqqında Stokholm Konvensiyası qəbul edilmiş və bu Konvensiyanın siyahısına xlorlu bifenillər, xlorlu pestisidlər, heksaxloran və s., hazırda ümumilikdə ~20-yə yaxın kimtəvi birləşmə daxil edilmişdir. Azərbaycan Respublikasının 09 dekabr 2003-cü il tarixli Qanunu ilə “Davamlı Üzvi Çirkləndiricilər haqqında” 22 may 2001-ci il tarixli Stokholm Konvensiyasına, 16 fevral 2001-ci ildə “Təhlükəli tullantıların sərhədlərarası daşınmasına və kənarlaşdırılmasına nəzarət haqqında” 22 mart 1998-ci il tarixli Bazel Konvensiyasına qoşulmuşdur. Hazırda Azərbaycan Respublikası “Müəyyən zəhərli kimyəvi maddələrin və pestisidlərin beynəlxalq ticarətində əvvəlcədən razılığın verilməsinə dair” Rotterdam Konvensiyasına qoşulmaq ərəfəsindədir.

Stokholm Konvensiyasının tələblərinə əsasən istifadə olunan PXB tərkibli yağlar (PXB-nin qatılığı 50 mq/kq-dan artıq) 2028-ci ilə qədər istifadədən çıxarılmalı və zərərsizləşdirilməlidir. Bundan əlavə qatılığı 50 mq/kq-dan kiçik olan PXB tərkibli yağların ekoloji təmiz idarə olunması üçün milli səviyyədə proqramlar hazırlanmalıdır. Bu halda yağların ətraf mühitə deqradasiyası üzrə tədqiqat işləri aparılmalı, çirklənmə mənbələrinin təmizlənməsi üçün yeni effektiv metodlar işlənməlidir. Bu sahədə radiasiya texnologiyası qarşısında geniş imkanlar yaranır.

Qeyd etmək lazımdır ki, Stokholm Konvensiyasının tələblərini yerinə yetirmə sahəsində Azərbaycanda mühüm işlər görülməkdədir. BMT-nin Sənaye İnkişaf Təşkilatının dəstəyi ilə tərkibində qatılığı 50mq/kq-dan çox PXB olan yağların zərərsizləşdirilməsi üçün Kanada istehsalı olan aşağı temperaturlu (qələvi metallar istifadə edilməklə) PXB-li yağların emal qurğusu alınmış və hazırda sınaq işlərinə başlanmışdır.

Xlorlu aromatik birləşmələr sənayenin müxtəlif sahələrində enerji sektorunda güc transformatorları, kondensatorlar, elektrik açarları, elektrik avadanlıqları, boya istehsalında və s. geniş istifadə olunmuş və olunmaqdadır. Xlorlu bifenillər (PXB) Azərbaycanda istehsal olunmasa da hazırda istifadə olunan elektrik avadanlıqlarında təxminən 680 ton PXB-lərlə çirklənmiş transformator yağının və kondensatorlarda təxminən 100 tona yaxın təmiz PXB yağının olduğu aşkar edilmişdir. SSRİ dövründə istehsal olunan və transformatorlarda istifadə olunan Sovtol-10 markalı yağın tərkibində 10% trixlorbenzol (TXB) olduğundan yağların ətraf mühitə dağılması zamanı bu kimyəvi birləşmə ilə də əlaqədar mənfi ekoloji təsirlər meydana çıxır. Bir sıra xlorlu birləşmələr içməli suyun xlorla işlənməsi zamanı yaranır. Onların sırasına 100-dən artıq xlorla çirklənmiş bifenillər, o cümlədən xlorun karbohidrogenlərlə birləşmələri (metanın və etilenin xlorlu birləşmələri), fenolun və benzolun xlorlu birləşmələri daxildir. Radiasiya texnologiyaları suyun toksiki birləşmələrdən təmizlənməsi üçün tətbiqi onun keyfiyyətinin yaxşılaşdırılması ilə bərabər onun bioloji təmizlənməsini təmin edir.

Azərbaycanda xlorlanmış bifenillərin geniş istifadə olunması nəticəsində PXB ilə çirklənmiş ərazilər geniş yayılmışdır. Sumqayıtda torpaqların bir qisminin PXB-lərlə çirklənmə dərəcəsi 0,26 mq/kq müəyyən olunur. Balaxanı və Sabunçu neft ərazilərində, habelə Xəzər dənizinin dib çöküntülərində, Bakı körfəzi ərazisində PXB-lərlə çirklənmə müşahidə olunmuşdur. Hətta Kür çayının dib çöküntülərində PXB-lərin miqdarının 28-30 nq/q səviyyəsində olduğu aşkar edilmişdir.

Xlorlu aromatik birləşmələrin yüksək ekoloji təhlükəsini nəzərə alaraq, onların müxtəlif fiziki təsirlər nəticəsində ətraf mühitdə çevrilmə proseslərinin öyrənilməsi aktual elmi məsələdir. PXB-lərin radiolizinə maraqlı çirklənmiş yağların PXB-lərdən təmizlənməsi, PXB birləşmələrin müxtəlif mühitlərdə, əsasən də su mühitində çevrilməsi

və bifenillərin nüvə reaktorlarında soyuducu və dielektrik maye kimi istifadəsi məqsədi ilə PXB tərkibli yağların radiasiya davamlılığının öyrənilməsi zərurəti ilə əlaqədardır. Yağların PXB birləşmələrindən radiasiya-kimyəvi təmizlənməsi istiqamətində geniş tədqiqatlar aparılsa da, yuxarıda qeyd olunan problemlər - ətraf mühətdə PXB-lərin deqradasiyası və çirklənmiş yağların təmizləndikdən sonra təkrar istifadəsi və yüksək qatılıqlı PXB-li yağların təmizlənməsi üçün radiasiya texnologiyalarının tətbiqi məsələləri az öyrənilmişdir, xüsusilə xloruzlaşma prosesinin mexanizminin tədqiqi üçün kinetik modelləşmə aparılmamışdır.

İş Radiasiya Problemləri İnstitutunun elmi-tədqiqat planına (№0106 Az00725, 01114160, 01144013) uyğun olaraq yerinə yetirilmişdir.

**İşin məqsədi:** Xlorlu üzvi karbohidrogenlərin (metanın, benzolun, bifenillərin) müxtəlif məhlullarda radiolitik çevrilmə proseslərinin kinetik qanunauyğunluqlarının və mexanizminin müəyyən edilməsi, bu proseslərə radiasiya texnologiyalarının tətbiqi imkanlarının təhlili və elmi əsaslarının işlənməsi.

**Qarşıya qoyulan vəzifələr:**

1. Benzolun və bifenillərin xlorlu birləşmələrinin (1,2,4-trixlorbenzol, polixlorbifenillər) ionlaşdırıcı və UB-şüalanmanın təsiri altında çevrilmə proseslərinin kinetik qanunauyğunluqlarının tədqiqi;
2. Xloroformun, 1,2,4-trixlorbenzolun və polixlorbifenilin su mühitində radiolitik (qeyri-birbaşa radiolizi) çevrilmə proseslərinin kinetik qanunauyğunluqlarının tədqiqi;
3. Qamma-şüaların təsiri altında tədqiq olunan sistemlərdə baş verən kimyəvi çevrilmələrin UB və İQ spektroskopiya metodları ilə tədqiqi;
4. Polixlorbifenillərin üzvi həlledicilərdə radioliz prosesinin (etanol, heksan, izopil spirti) kinetik qanunauyğunluqlarının tədqiqi;
5. Polixlorbifenillərin transformator yağının radioliz prosesinə təsirinin öyrənilməsi;
6. Xloroform və bifenillərin uyğun olaraq suda və üzvi həlledicilərdə radioliz prosesinin kinetik modelləşdirilməsi;
7. Nano- $\gamma$ - $Al_2O_3$  oksidinin iştirakı ilə polixlorbifenil tərkibli

transformator yağının və 1,2,4-trixlorbenzolun radioliz prosesinin tədqiqi;

8. Radiasiya-kimyəvi texnologiyaların xlorlu üzvi birləşmələrin zərərsizləşdirilməsi üçün tətbiqi imkanlarının qiymətləndirilməsi.

**İşin elmi yeniliyi:** İlk dəfə olaraq 1,2,4-trixlorbenzolun və PXB tərkibli “Sovtol” markalı transformator yağının  $\gamma$ -şüalarının təsiri altında parçalanma prosesi tədqiq olunmuşdur. PXB tərkibli yağda ionlaşdırıcı şüaların təsiri zamanı xloruzlaşma reaksiyası nəticəsində yüksək tərkibli xlorlu bifenillərin aşağı tərkibli xlorlu bifenillərə çevrilmə məhsullarının radiasiya-kimyəvi çıxımları təyin edilmiş, məhsulların yaranmasının kinetik xüsusiyyətləri müəyyən olunmuşdur.

- İlk dəfə olaraq ionlaşdırıcı şüaların təsiri altında PXB tərkibli yağların fiziki xassələrinin (özüllülük, elektrik keçiriciliyi, sıxlığı) udulma dozasından asılı olaraq dəyişmə kinetikasi tədqiq edilmişdir. İlk dəfə xloroformun suda məhlullarının zəncirvari radioliz prosesinin kinetik modeli yaradılmış və riyazi modelləşmə aparılmışdır.
- İlk dəfə olaraq 1,2,4 trixlorbenzolun və PXB tərkibli yağların suda radioliz prosesinin kinetik parametrləri təyin edilmişdir.
- PXB tərkibli yağların müxtəlif üzvü həlledicilərdə radioluiz prosesi tədqiq olunmuş, çevrilmə prosesini xarakterizə edən parametrlər təyin edilmiş sistemin radioliz prosesi kinetik modelləşdirilmişdir.
- İlk dəfə olaraq PXB və xlorbenzolun transformator yağında radioliz prosesi zamanı yaranan qaz məhsullarının kinetikasi öyrənilmiş və məhsulların radiasiya-kimyəvi çıxımı təyin edilmişdir.
- İlk dəfə olaraq nano- $\gamma$ - $Al_2O_3$  oksidin 1,2,4 trixlorbenzolun, PXB tərkibli yağların radioliz prosesinə təsiri tədqiq olunmuş və bu sistemlərdə baş verən radiolitik proseslər təhlil edilmişdir.

**İşin praktiki əhəmiyyəti:** PXB-lərlə çirkələnmiş transformator yağlarının radiasiya-kimyəvi üsulla təmizlənməsi yağda PXB-lərin miqdarı və istifadə olunan ionlaşdırıcı şüa mənbələrinin gücündən asılı olaraq təmizlənməmiş yağların təkrar istifadəsinə imkan verir.

- Alınmış nəticələr xlorlu birləşmələrin çirklənmiş mühitlərlə təmas zamanı yaranan risklərin qiymətləndirilməsi üçün istifadə oluna bilər.
- Tədqiqat işində xloruzlaşma prosesi üçün istifadə olunan kinetik yanma və modellər kimyəvi kinetikada analoji məsələlərin həlli üçün tətbiq oluna bilər.

### **Müddəfi çıxarılan əsas müddəalar:**

- 1,2,4-trixlorbenzolun radiolizi və onun transformator yağında radiolitik çevrilmə proseslərinin kinetik qanunauyğunluqları;
- Xlorlaşmış bifenillərin  $\gamma$ -şüalarının və UB şüalanmanın təsiri altında kinetik çevrilmə qanunauyğunluqları;
- Xloroformun suda məhlullarının radioliz prosesinin kinetik qanunauyğunluqları və mexanizmi;
- PXB tərkibli yağların üzvi həlledicilərdə məhlulun radiolizinin qanunauyğunluqları;
- PXB-lərin qələvi mühitdə və üzvi həlledicilərin iştirakı ilə radioliz prosesinin kinetik qanunauyğunluqları və mexanizmi;
- Xloraromatik birləşmələrin radiolitik parçalanma proseslərinə nano- $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  oksidinin təsiri;
- Radiasiya-kimyəvi texnologiyanın xlorlu üzvi birləşmələrin zərərsizləşməsinə tətbiqi imkanlarının qiymətləndirilməsinin nəticələri.

**İşin aprobasiyası:** Görülmüş işlərin nəticələri aşağıdakı seminar və konfranslarda müzakirə olunmuşdur:

Nəsrəddin Tusinin 800 illik yubileyinə həsr edilmiş Respublika elmi konfransı (Bakı, 2001); “Ekologiya və həyat fəaliyyətinin mühafizəsi” mövzusunda V Beynəlxalq elmi konfrans (Sumqayıt, 2004); «Müasir dövr və Azərbaycanda ekoloji siyasət» mövzusunda elmi-nəzəri konfrans (Bakı, 2007); “Abşeron yarımadasının Radioekoloji Durumuna neft-qaz istehsalının təsiri” mövzusunda konfrans (Bakı, 2007); Akademik Mahmud Kərimovun anadan olmasının 60 illiyinə həsr olunmuş beynəlxalq konfrans (Bakı, 2008); Akademik M.F.Nağıyevin yubileyinə həsr olunmuş elmi konfrans (Bakı, 2008); The Fifth Eurasian Conference on Nuclear Science and its Application (Ankara, Turkey, 2008); VII Бакинская международная Мамадалиевская конференция по нефтехимии, посвященная 80-летию Института Нефтехимических Процессов

НАН Азербайджана (Баку, 2009); AMEA Radiasiya Problemləri İnstitutunun 40 illik yubileyinə həsr olunmuş Beynəlxalq konfrans (Bakı, 2009); M.M.Məlikzadənin 100 illik yubileyinə həsr olunmuş “Nüvə Enerjisinin dinc məqsədlərlə istifadəsi” adlı Beynəlxalq konfrans (Bakı, 2010); AMEA-nın müxbir üzvü, əməkdar elm xadimi Adil Qəribovun 60 illik yubileyinə həsr olunmuş “Radiasiya və Ətraf Mühit” adlı konfrans (Bakı, 2010); Akademik T.H.Şahmurovun 85 illik yubileyinə həsr olunmuş Respublika Elmi konfransı (Bakı, 2011); Nüvə Enerjisinin Dinc Məqsədlərlə İstifadəsi Perspektivləri IV Beynəlxalq konfrans (Bakı, 2011); The V International Conference on “Perspectives of Peaceful Use of Nuclear Energy” (Baku, 2012); Akademik M.K.Kərimovun 65 illik yubileyinə həsr olunmuş “Radiasiya Tədqiqatları və onların praktiki aspektləri” adlı VIII konfrans (Bakı, 2013); “Nüvə elmi və onun tətbiqi” mövzusunda 7-ci Avrasiya konfransı (Bakı, 2014); IV Всероссийская конференция с международным участием «Актуальные вопросы химической технологии и защиты окружающей среды» (Чебоксары, 2014); FHN-in yaradılmasının 10 illik yubileyinə həsr olunmuş “Fövqəladə hallar və təhlükəsiz həyat” mövzusunda elmi-praktiki konfrans (Bakı, 2015); VIII международная научно-практическая конференция по теме «Наука в современном мире» (Киев, 2016); 4-я международная научно-практическая конференция по теме «Проблемы и перспективы современной науки» (Москва, 2016); International Scientific Forum on Nuclear Science and Technologies dedicated to the 60<sup>th</sup> anniversary of the Institute of Nuclear Physics, 11<sup>th</sup> International conference “Nucleus-2017”, 8<sup>th</sup> Eurasian Conference “Nuclear Science and its Application” (Almaty, 2017); 68-я международная конференция «Ядро 2018» по теме «Фундаментальные проблемы ядерной физики, атомной энергетики и ядерных технологий» (Воронеж, 2018); IV Международная конференция по теме «Актуальные и научные и научно-технические проблемы обеспечения химической безопасности» (ASTICS-2018) (Москва, 2018); ISEF-2018 Konfransı (Bakı, 2018); Международная научно практическая конференция по теме «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность-2018» (Севастополь, 2018); International Scientific-Practical Conference on «Radiation and chemical safety problems» (Baku, 2019); “İşğal olunmuş ərazilərdə

fövqəladə hal riskləri” mövzusunda elmi-texniki konfrans (Bakı, 2021); “İşğaldan azad olunmuş ərazilərdə radioloji və kimyəvi risklər” mövzusunda Respublika elmi-texniki konfransı (Bakı, 2022); H.Əliyevin anadan olmasının 100 illiyinə həsr edilmiş “Radiasiya texnologiyaları və onun tətbiqi” mövzusunda elmi-texniki konfrans (Bakı, 2023).

**Dissertasiyanın quruluşu və həcmi.** Dissertasiya işi giriş, 8 fəsil, nəticələr, istifadə edilmiş ədəbiyyat siyahısından və ixtisarlardan siyahısından ibarət olmaqla ümumi həcmi 325 səhifə təşkil edir. **Dissertasiyanın struktur bölmələrinin ayrılıqda həcmi qeyd olunmaqla dissertasiyanın işarə ilə ümumi həcmi.** Dissertasiya işi titullar - 1 səhifə, mündəricat – 4 səhifə (5525 işarə), giriş – 16 səhifə (29494 işarə), 1-ci fəsil 50 səhifə (75847 işarə), 2-ci fəsil 47 səhifə (47731 işarə), 3-cü fəsil 26 səhifə (29095 işarə), 4- cü fəsil 27 səhifə (25826 işarə), 5-ci fəsil 21 səhifə (25469 işarə), 6-cı fəsil 33 səhifə (44546 işarə), 7-ci fəsil 39 səhifə (38793 işarə), 8-ci fəsil 22 səhifə (27887 işarə) əsas nəticələr – 4 səhifə (4845 işarə), 305 adda istinad olunmuş ədəbiyyat siyahısı – 43 səhifə (69571 işarə) və qısaldılmış adlar və şərti işarələr - 1 səhifə (366 işarə) olmaqla ümumilikdə 325 səhifədən ibarətdir. Dissertasiyada mövcud olan ümumi işarələrin həcmi - 425403. Dissertasiya işində 305 ədəbiyyata istinad edilmişdir ki, onlardan 21 -i azərbaycan, 126 -i rus və 178 -i ingilis dilində olan mənbələrdir.

## İŞİN QISA MƏZMUNU

**Birinci fəsildə** xlorlu üzvi birləşmələr haqqında ümumi məlumatlar xlorlu bifenillərlə çirklənmiş yağların əhəmiyyətli zərərsizləşdirilməsi üsulları və bu məqsədlə istifadə olunan innovativ - radiasiya-kimyəvi, fotokimyəvi, plazmakimyəvi, elektrokimyəvi texnologiyalar haqqında məlumatlar təhlil olunmuşdur. Əhəmiyyətli texnologiyalardan fərqli olaraq innovativ texnologiyalar təmizləmə proseslərini aşağı temperaturlarda, əlavə kimyəvi reagentlər olmadan, ətraf mühitə təsirin minimum olması ilə səciyyələnir. Təmizləmə proseslərinin effektivliyinə müxtəlif həlledicilərin təsiri tədqiq olunmuş və müəyyən olunmuşdur ki, xlorlu bifenillərin xloruzlaşma prosesi polyar həlledicilərin iştirakı ilə daha sürətlə gedir, həll olmuş oksigen bu prosesə mənfi təsir edir. Alınmış nəticələr xlorlu

bifenillərin solvatlaşmış elektronlarla effektiv olaraq reaksiyaya girməsi hesabına xlor atomlarının yaranması nəticəsində xloruzlaşma reaksiyalarının getdiyini sübut edir (Şerman mexanizmi). Bu fəsildə həmçinin digər xlorlu üzvi birləşmələrin fiziki faktorların təsiri altında parçalanması prosesləri üzrə məlumatlar təhlil edilmişdir. Bu birləşmələr sırasına xlorlu pestisidlər və xlorbenzolların, habelə aşağı molekullu xlor üzvi birləşmələr daxildir. Göstərilən xlorüzvi birləşmələrin suda ikifazlı sistemlərinin radiolizi və fotoliz proseslərinə aid tədqiqat işlərinin nəticələri tədqiq edilmiş və göstərilmişdir ki, hər iki halda bu fiziki faktorların təsiri xlorüzvi birləşmələrin parçalanmasına və nəticə etibarlı ilə deqradasiya proseslərinin baş verməsinə gətirir.

Xlorlu birləşmələrin radiolizi və UB-fotolizinin geniş tədqiq edilməsinə baxmayaraq aşağıdakı məsələlər az öyrənilmişdir:

- xlorlaşmış bifenillərin və benzolun xlorlu birləşmələrinin ionlaşdırıcı şüalarla şüalandırılması zamanı baş verən radiasiya-kimyəvi proseslər;
- su və transformator yağı kimi ekoloji vacib sistemlərdə xlorlu birləşmələrin radiasiya-kimyəvi deqradasiya prosesləri;
- Həllədicilərdə yüksək qatılıqlı PXB izomerlərinin radiasiya-kimyəvi çevrilmə prosesləri;
- PXB tərkibli transformator yağlarının şüalandırılması zamanı yağın elektrofiziki xassələrinin dəyişməsi;
- Kinetik sxemlər əsasında modelləşdirilmə və mümkün mexanizmin işlənməsi.

**İkinci fəsildə** 1,2,4-TXB-nin, TXB tərkibli transformator yağının və təmiz transformator yağının  $\gamma$ -şüalarının təsiri altında parçalanma, kondensasiya və oksidləşmə proseslərinin kinetik qanunauyğunluqlarının təyini üçün xromatoqrafik, spektroskopik və kimyəvi analiz metodlarından istifadə edilmişdir.

- 1,2,4-trixlorbenzolun radiolizində  $H_2O_2$  və  $H_2$ -nin qatılığının udulan dozadan asılılığı öyrənilmiş və göstərilmişdir ki,  $H_2O_2$ -nin qatılığı dozanın  $\sim 4$  kGy qiymətinə qədər artır, sonra dozanın artması ilə azalır.  $H_2O_2$ -nin radiasiya-kimyəvi çıxımı 0.76 molekul/100 eV-a təşkil edir.  $H_2$ -nin qatılığı dozanın artması ilə artır və  $>60$  kQr dozalarda stasionar qiymətə çatır.  $H_2$ -nin radiasiya-kimyəvi

çıxımı 0,045 olub və benzolun radiolizində H<sub>2</sub>-nin radiasiya-kimyəvi çıxımına ~0,04 yaxındır.

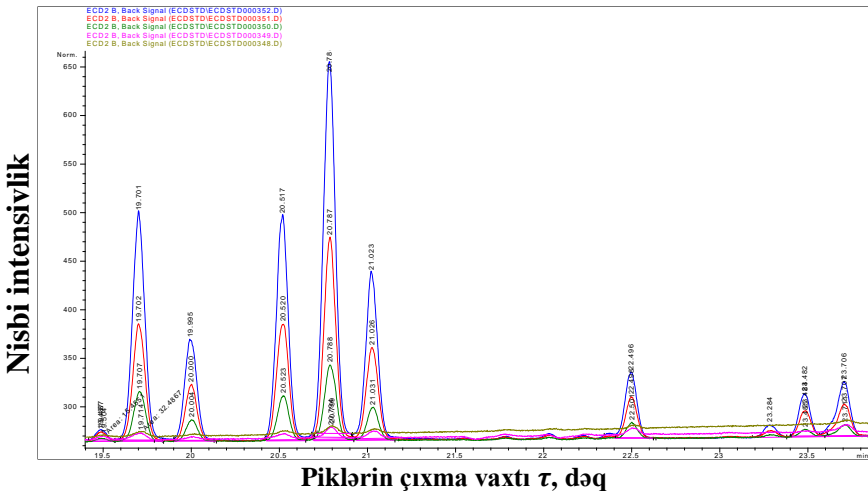
- 1,2,4-TXB molekulları ilə elektronların effektiv tutulması nəticəsində parçalanması baş verir. Nəticədə HCl turşusu yaranır və bu təcrübi olaraq müşahidə edilmişdir. Göstərilmişdir ki, dozanın artması pH-ın azalmasına səbəb olur, doza 136,8 olduqda pH 6,4-dən 3,1-ə qədər azalır.
- 1,2,4-TXB-nin radioliz məhsulları xromatoqrafik metodla tədqiqi nəticələri şəkil 1-də verilmişdir. TXB-nin analizi Agilent Technologies 7820 A xromatoqrafı ilə aparılmışdır.

Şəkil 1-də TXB-nin qamma şüalarının təsiri altında radiolizi zamanı yaranan məhsulların qatılığının udulma dozəsindən asılılığı verilmişdir.

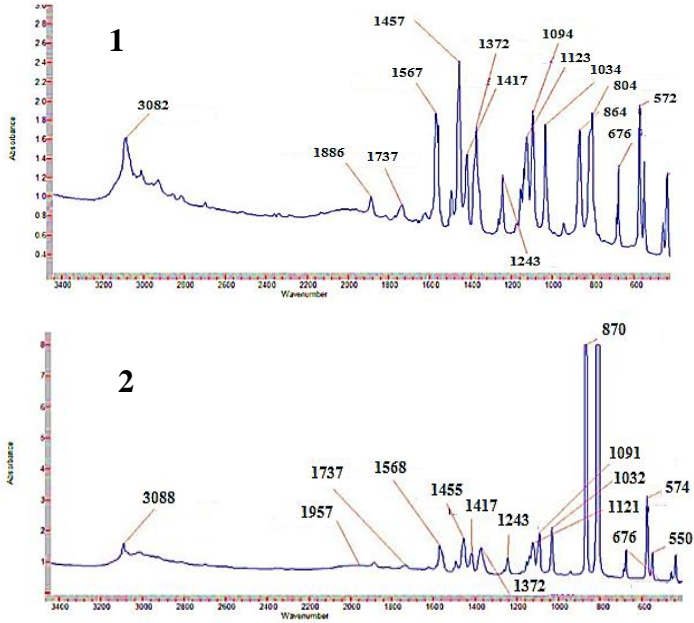
Xromatoqrafik analizdən görünür ki, 1,2,4-TXB-nin radiolizi zamanı yaranan birləşmələrin uyğun çıxma vaxtı ilkin 1,2,4-TXB-nin çıxma vaxtından 6-7 dəfə çoxdur. Ehtimal etmək olar ki, benzolun radiolizində olduğu kimi, 1,2,4-TXB-nin radiolizində də kondensasiya reaksiyası nəticəsində daha ağır benzol tərkibli birləşmələr yaranır.

Göründüyü kimi bütün piklərin intensivliyi doza artdıqca artır.

1,2,4-trixlorbenzolun radiolizi zamanı baş verən kimyəvi dəyişikliklər İQ spektroskopiyaya metodu ilə tədqiq edilmişdir. Şəkil 2-də şüalandırılmış 1,2,4-trixlorbenzol nümunələrinin 136,8 kGy-yə kimi müxtəlif udulma dozalarında İQ spektrləri verilmişdir.

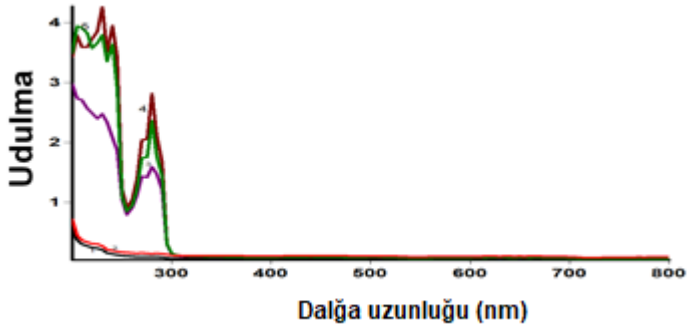


**Şəkil 1. Müxtəlif dozalarda (4,1; 27,4; 68,4; 136,8 kGy) şüalandırılmış 1,2,4-TXB nümunələrinin xromatoqrammaları.**



**Şəkil 2. 1,2,4-trixlorbenzol nümunələrinin İQ- spektrləri (1 - D=0; 2 - D=136,8 kGy).**

Radioliz məhsulları haqqında əlavə məlumat UB spektroskopiya metodu ilə alınmışdır. Spektrlər Varian 50 spektrofotometrində çəkilməmişdir. TXB nümunələri küveytin divarı səthi üzərinə çəkilmiş və stasionar qat alındıqdan sonra spektrlər çəkilmişdir. Şəkil 3-də şüalandırılmış 1,2,4-trixlorbenzol nümunələrinin müxtəlif udulma dozalarında UB spektrləri verilmişdir.



**Şəkil 3. Müxtəlif şüalanma dozalarında TXB-lərin radioliz məhsullarının UB udma spektrləri: 1 – İlkin; 2 –4,1 kGy; 3 –27,4 kGy; 4 –68,4 kGy; 5 –136,8 kGy.**

Göründüyü kimi udulma dozası artdıqca 300 nm-dən kiçik oblastda müşahidə olunan piklərin intensivlikləri kəskin şəkildə artır və şüalanma prosesində TXB-nin kimyəvi çevrilmələrə məruz qaldığını sübut edir.

• Tərkibində 5-40 mq/kq 1,2,4-trixlorbenzol olan transformator yağının radiolizi zamanı oksidləşmə məhsulları olan  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ -nin qatılığının və tərkibində 1,2,4-trixlorbenzol olmayan transformator yağının pH göstəricisinin udulan dozadan asılılığı öyrənilmişdir.

Dozadan asılı olaraq hidrogen peroksidin əmələ gəlməsinin maksimal dozası  $\sim 27$  kGy olması müşahidə edilib. Dozanın sonrakı artımında  $\text{H}_2\text{O}_2$ -nin qatılığı azalır, bu onun ikincili reaksiyalarda iştirakını göstərir.  $\text{CO}_2$  qatılığının 27 kGy-də maksimal qiyməti müşahidə edilir və radiasiya-kimyəvi çıxım 0,18 molekul/100 eV-dir.

Göstərilmişdir ki, hər iki oksidləşmə məhsulu ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ) radiasiya-kimyəvi çıxımları yağda TXB-nin qatılığı artdıqca artır və  $\text{H}_2\text{O}_2$  üçün 3,6-dan 6-ya,  $\text{CO}_2$  üçün 0,18-dən 1,8-ə artır.

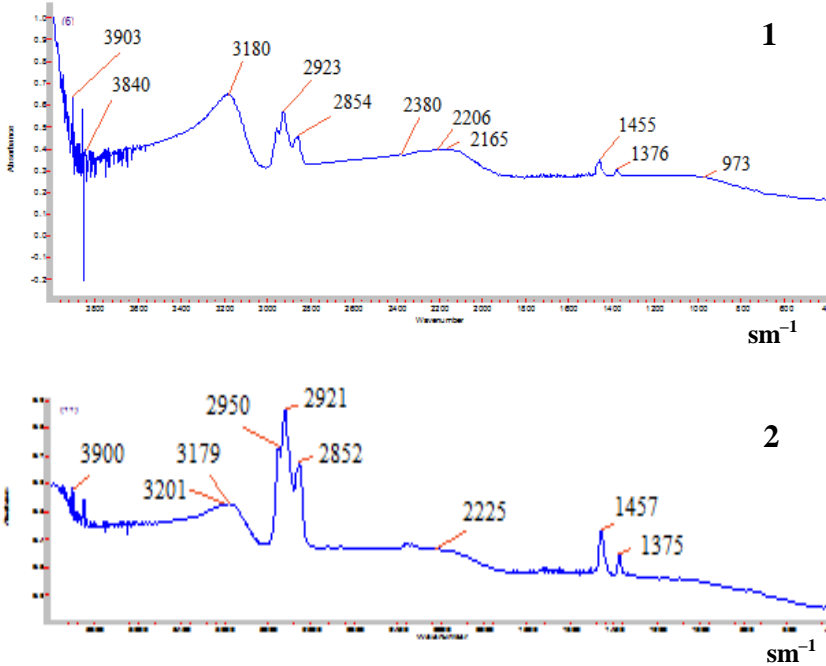
Oksidləşmə prosesilə yanaşı, transformator yağının komponentlərinin molekulları ionlaşdırıcı şüaların təsiri altında parçalanmaya məruz qalır. Bu da qaz məhsullarının yaranmasına səbəb olur. Hidrogen və  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$ ,  $\text{C}_3\text{H}_8$ ,  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ,  $\text{C}_5\text{H}_{12}$  və  $\text{C}_6\text{H}_{14}$  kimi karbohidrogen məhsulları təyin edilmişdir.

Transformator yağında 1,2,4-TXB-nin müxtəlif qatılıqlarında qaz məhsullarının radiasiya-kimyəvi çıxımları TXB-nin qatılığından asılı olaraq ekstremal şəkildə dəyişir.

Beləki, qaz məhsullarının çıxımları TXB-nin qatılığının 15

mq/kq qiymətinə qədər artır və TXB-nin qatılığının sonrakı artımı cıxımların zəif azalmasına gətirir.

Tərkibində müxtəlif qatılıqlı TXB olan transformator yağının radioliz prosesinin İQ spektroskopiyaya metodu ilə tədqiqinin nəticələri şəkil 4-də verilmişdir.



**Şəkil 4. Tərkibində müxtəlif qatılıqlı TXB olan transformator yağının radioliz prosesində müxtəlif udulma dozalarında (1 – D=0; 2 – D=68,4 kGy) nümunələrin İQ spektrləri.**

Göründüyü kimi  $\gamma$ -şüalarının təsiri altında spektrdə ciddi dəyişikliklər müşahidə olunur.

• Güc transformatorları enerji sektorunda, o cümlədən atom energetikasında geniş istifadə olunur. Bu səbəbdən transformator yağlarının radiasiya davamlılığının öyrənilməsi vacib bir məsələdir. Atom elektrik stansiyalarının aqreqlarının və müxtəlif hissələrinin iş qabiliyyətinin təyininə həsr olunmuş müxtəlif qəza halları nəticəsində əmələ gələn elektrik avadanlıqlarının materiallarının radiasiyaya davamlılığı ilə əlaqədar problemlər bir sıra işlərdə tədqiq olunmuşdur.

1986-cı ildə Çernobıl AES-də baş verən qəzadan sonra bu məsələ daha da aktuallaşmışdır.

Müxtəlif qəza vəziyyətlərində əmələ gələn elektrik avadanlığının radiasiya davamlılığı ilə bağlı problemlər, atom elektrik stansiyaların müxtəlif hissələrinin və aqreqatlarının iş qabiliyyətinin təyin edilməsinə dair bir çox işlərdə tədqiq olunub. Qəza nəticəsində şüalanma zamanı, mümkün etibarlılığın azalmasının müəyyən edilməsi məqsədi ilə, daha çox funksional əhəmiyyətli komplektləşdirmə materialları və elektrik avadanlığı - transformator yağı və elektrik izolyasiyalı karton tədqiq edilmişdir.

$\gamma$ -şüalarının təsiri altında transformator yağlarının radiasiya davamlılığının öyrənilməsi və fiziki-kimyəvi parametrlərin, qaz məhsullarının,  $H_2$ ,  $CH_4$ ,  $C_2H_4$ ,  $C_2H_6$ ,  $C_3H_8$ ,  $C_4H_{10}$ ,  $C_5H_{12}$ ,  $C_6H_{14}$ , sıxlıq, özlülük və xüsusi müqavimətin (29,7-237,6) kGy udulan doza intervalında dəyişməsi tədqiq olunmuşdur. Nümunələrin İQ-udma spektrləri də tədqiq olunmuşdur.

Göstərilmişdir ki, udulan doza 60 kGy olduqda bütün kinetik ayrılar induksiya periodu ilə xarakterizə olunur. Dozanın 60 kGy-dən yuxarı qalxması bu məhsulların yaranma sürətinin kəskin artmasına gətirib çıxarır. Ən yüksək sürət  $H_2$ -nin yaranmasında müşahidə olunur. Sürətlərin qiymətlərinin ardıcılığı belədir:  $w(H_2) > w(CH_4) > w(C_2H_4) > w(C_2H_6)$

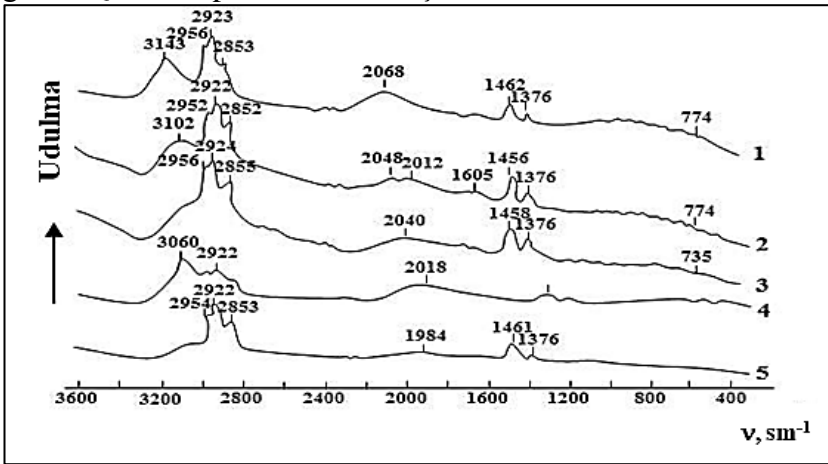
İnduksiya periodu həmçinin  $\Sigma C_3$ ,  $\Sigma C_4$  karbohidrogenlərin yaranması zamanı da müşahidə olunur.  $C_5$ ,  $C_6$  kimi ağır məhsullar yüksək dozalarda əmələ gəlir və yalnız 70 kGy-dən artıq dozada identifikasiya olunur. Belə ki,  $C_6$  karbohidrogeninin yaranma sürəti  $C_5$ -in yaranma sürətindən çoxdur.

Karbohidrogenlərdən başqa, hidrogen peroksid və karbon qazı kimi oksidləşmə məhsullarının yaranması müşahidə olunur və onların kinetikası öyrənilmişdir. Göstərilmişdir ki, hər iki kinetik asılılıqlarda maksimum qatılıq 20-30 kGy dozada müşahidə olunur. Dozanın sonrakı artımı onun qatılığının azalmasına gətirir. Hidrogen peroksid üçün yaranma sürəti və maksimum qatılıq bir qədər çoxdur (~5-6 dəfə).  $H_2O_2$  və  $CO_2$ -nin yaranmasının radiasiya-kimyəvi çıxımları müvafiq olaraq 3,6 və 0,18 molekul/100 eV-a bərabərdir. Alınan nəticələr öyrənilən udulan doza intervalında transformator yağının parçalanmasını (destruksiya) göstərir və nəticədə bu dəyişiklik digər

fiziki-kimyəvi kəmiyyətlərə təsir göstərir. 29,7-237,6 kGy doza intervalında şüalandırılmış transformator yağının sıxlığı və özülülüyü təyin edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, baxılan doza intervalında yağın sıxlığı 0,86-0,60 q/sm<sup>3</sup> intervalında, özüllüyü isə 5,42-5,73 mm<sup>2</sup>/san intervalında dəyişir.

Dozanın artması ilə xüsusi müqavimətn azalması və müvafiq olaraq elektrik keçiriciliyinin artması müşahidə olunur, bu isə parçalanma (destruksiya) prosesinin getməsi və oksidləşmə məhsulları, nisbətən yüksək yürlüklü məhsulların əmələ gəlməsi ilə əlaqədardır.

Şəkil 5-də müxtəlif dozalarda şüalandırılmış transformator yağının İQ-udma spektrləri verilmişdir.



Şəkil 5. Müxtəlif dozalarda şüalandırılmış transformator yağının İQ-udma spektrləri: 1– ilkin; 2 – 4,1 kGy; 3 – 27,4 kGy; 4 – 68,4 kGy; 5 – 136,8 kGy.

Şəkil 5-dən İQ-udma spektri  $\Delta\lambda_1=2800-3300 \text{ sm}^{-1}$ ,  $\Delta\lambda_2=2000 \text{ sm}^{-1}$ ,  $\Delta\lambda_3=1350-1450 \text{ sm}^{-1}$  və  $\Delta\lambda_4=600-1200 \text{ sm}^{-1}$  diapazonunda müşahidə edilir.

Göründüyü kimi, spektrlərdə valent rəqsləri  $=C-H$ , müstəvi deformasiya rəqsləri -  $C=C$  və qeyri-müstəvi deformasiya rəqsləri -  $CH$  aromatik birləşmələr müşahidə olunur. Bundan başqa valent rəqsləri -  $C-H$  və deformasiya rəqsləri -  $C-CH_3$  (qeyri-simmetrik və simmetrik) alkanlarda müşahidə olunur.

Şəkil 5 (2-5)-də 4,1-136,8 kGy dozalarda şüalandırılmış nümunələrin udulma spektrləri göstərilmişdir. Görüldüyü kimi, dozanın artması ilə zolaqların intensivliyinin dəyişməsi kimi udulma

müşahidə olunur.

Göstərilmişdir ki,  $\lambda_{\text{maks}}=3143 \text{ sm}^{-1}$ ,  $2068 \text{ sm}^{-1}$  və  $774 \text{ sm}^{-1}$  zolaqları üçün  $J_{\text{maks}}/J_0$  qiyməti ilkin dozada (4 kGy-a qədər) azalır, dozanın 68,4 kGy-ə qədər artması ilə artır. Dozanın sonrakı artımı  $J_{\text{maks}}/J_0$  qiymətini azaldır. Yuxarıda göstəriləyi kimi, bu udulma zolaqları aromatik karbohidrogenlər üçün xarakterikdir.

Aromatik karbohidrogenlərdən fərqli olaraq, alkanlar üçün xarakterik olan zolaqların intensivliyi 68,4 kGy dozaya qədər artır, sonra doza artdıqca azalır.

**Üçüncü fəsil**də PXB tərkibli “Sovtol-10” transformator yağının  $\gamma$ - və UB şüalarının təsiri altında çevrilmə proseslərinin kinetik qanunauyğunluqları tədqiq edilmiş, yağın sıxlığının və elektrofiziki parametrlərinin, pH göstəricisinin oksidləşmə məhsullarının ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ) və karbohidrogen qazlarının şüalanma müddətindən asılılığı öyrənilmişdir.

“Sovtol-10” yağının tərkibində identifikasiya olunmuş izomerlər və homoloqlar PXB 18 (2,2',5-trixlorbifenil), PXB 28+31 (2,4,4'-trixlorbifenil + 2,4',5-trixlorbifenil), PXB 52 (2,2',5,5'-tetraxlorbifenil), PXB 44 (2,2',3,5'-tetraxlorbifenil), PXB 101 (2,2',4,5,5'-pentaxlorbifenil), PXB 118+149 (2,3',4,4',5-pentaxlorbifenil + 2,2',3,4',5',6-heksaxlorbifenil), PXB 153 (2,2',4,4',5,5'-heksaxlorbifenil), PXB 138 (2,2',3,4,4',5'-heksaxlorbifenil), PXB 180 (2,2',3,4,4',5,5'-heptaxlorbifenil), PXB 194 (2,2',3,3',4,4',5,5'-oktaxlorbifenil) əhatə edir. Yuxarıda göstərilən PXB-lərin qatılığının 250 kGy dozaya qədər xətti olaraq azalması müəyyən edilmişdir.

Kinetik əyrilərdən identifikasiya olunmuş izomerlərin parçalanmasının radiasiya-kimyəvi çıxımları müəyyən edilərək cədvəl 1-də verilmişdir.

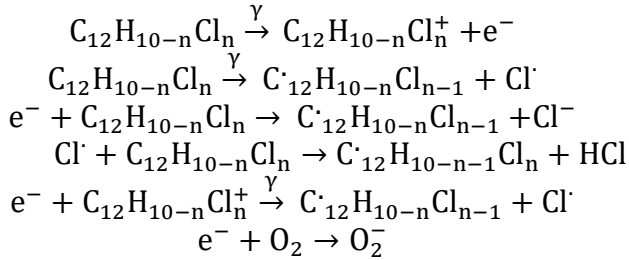
**Cədvəl 1**

**«Sovtol 10» tipli PXB tərkibli yağın radiolizi zamanı təyin olunmuş PXB-lərin parçalanmasının radiasiya-kimyəvi çıxımları**

PXB-lər	PXB -52	PXB -101	PXB -149+118	PXB -138	PXB -153	PXB -ümumi
Radiasiya-kimyəvi çıxım, G, molekul/100 eV	2,33	1,9	2,45	1,34	1,11	9,1

Alınan nəticələr PXB tərkibli yağların radiolizi zamanı solvatlaşmış elektronların bu molekullarla tutulması ilə izah oluna bilər. Müəyyən edilmişdir ki, solvatlaşdırılmış elektronların di-, tetra-

və dekalxlorbifenil molekulları ilə sürət sabitlərinin qiymətləri müvafiq olaraq bərabərdir:  $3,8 \cdot 10^9 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$ ,  $3 \cdot 10^9 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$ ,  $7 \cdot 10^9 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$ . Elektronların oksigenlə reaksiyasının sürət sabitləri də bu tərtibdədir: ( $1,9 \cdot 10^{10} \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$ ).



Yuxarıda deyilənləri nəzərə alaraq, PXB yağlarının radiolizi zamanı elektronların, xlor atomlarının və PXB molekulunun qatılığının zamandan asılı olaraq dəyişməsi üçün aşağıdakı tənlikləri yaza bilərik:

$$\begin{aligned} \frac{\partial e}{\partial t} &= G_e * J * 10^{-2} - k_1[e][\text{ArCl}^+] - k_2[e][\text{ArCl}] - k_3[e][\text{O}_2] \\ - \frac{\partial [\text{ArCl}]}{\partial t} &= \omega_0 + k_2[e][\text{ArCl}] + k_4[\text{Cl}][\text{ArCl}] \\ \frac{\partial \text{Cl}}{\partial t} &= \omega_0 - k_4[\text{Cl}][\text{ArCl}] \end{aligned}$$

burada:  $G_e$  – PXB-nin radiolizi zamanı bütün elektronların radiasiya-kimyəvi çıxımı, molekul/100 eV;  $J$  - udulan dozanın gücü, Gy/san;  $k_i$  - müvafiq reaksiyaların sürət sabitləri,  $\text{M}^{-1}\text{san}^{-1}$ ;  $\omega_0$  - PXB molekulunun ionlaşma və parçalanma sürəti,  $\text{M} \cdot \text{san}^{-1}$ .

PXB-nin qatılığı ilə müqayisədə  $\text{O}_2$ -nin qatılığının və doza gücünün kiçik qiymətində  $\omega_1$  və  $\omega_3 \ll \omega_2$  olduğunu qəbul etmək olar. Onda,

$$\frac{\partial e}{\partial t} = G_e * J * 10^{-2} - k_2[e][\text{ArCl}]$$

Stasionar halda:  $\frac{\partial \text{Cl}}{\partial t} = 0, \quad \frac{\partial e}{\partial t} = 0$

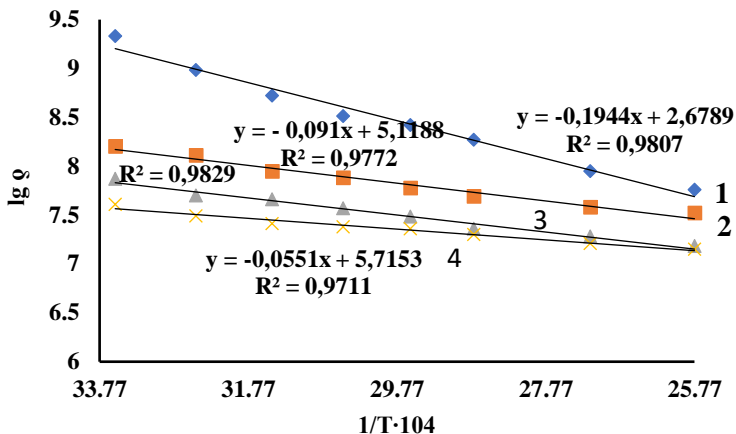
Onda:  $[e]_s = \frac{G_e * J * 10^{-2}}{k_2[\text{ArCl}]}, \quad [\text{Cl}]_s = \frac{\omega_0}{k_4[\text{ArCl}]}$  alarıq.

PXB molekullarının parçalanmasının maksimum radiasiya-kimyəvi çıxımı üçün  $G_{[-\text{ArCl}]} = 2G_{\text{ArCl}^+, \text{Cl}} + G_e$  ifadəsini alarıq. Üzvi maddələrin radiolizi zamanı elektronların və ionların çıxımı təxminən 3 zərrəcik/100eV tərtibində olduğundan  $G_{[-\text{ArCl}]} = 8-9$  molekul/100 eV

alınır.

UB-işıq və  $\gamma$ -şüaların təsiri transformator yağı komponentlərinin kimyəvi çevrilmələrinə səbəb olur.

Şəkil 6-da «Sovtol-10»-nun müxtəlif UB-şüalanma müddətlərində xüsusi müqavimətinin temperaturdan asılılığı verilmişdir.



Şəkil 6. «Sovtol-10»-nin xüsusi müqavimətinin müxtəlif UB-şüalanma müddətlərində temperaturdan asılılığı ( $I=2 \cdot 10^{15}$  kvant/s).  
(1 – ilkin nümunə; 2 - 1 saat; 3 – 2 saat 30 dəq; 4 -3 saat 30 dəq).

#### Cədvəl 2

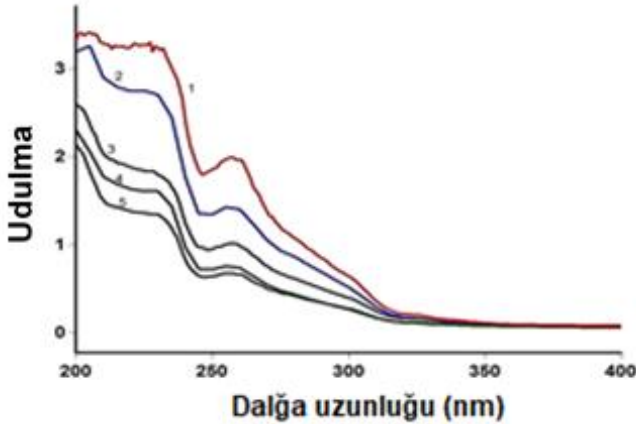
«Sovtol-10» transformator yağının müxtəlif şüalanma müddətlərində ( $\tau$ ), (0,1; 2,5 və 3,5 saat) elektrik keçiriciliyinin dəyişməsinin aktivləşmə enerjiləri

$\tau$ , saat	0	1	2,5	3,5
$E_{\text{aktiv}}$ , kkal/mol	5,3	2,1	1,3	0,97

İstifadə olunmuş PXB yağlarının xüsusi müqaviməti  $10^{11}$ - $10^{12}$   $\text{Om}^{-1}\text{m}$  olan güclü dielektriklərdir. İşlənmiş yağlarda təyin etdiyimiz xüsusi müqavimətin qiyməti  $25^\circ\text{C}$ -də təzə yağa nisbətən kiçik olub  $10^9$   $\text{Om}^{-1}\text{m}$ -dir. Buna səbəb PXB molekulunun şüalanmanın təsiri altında parçalanmasıdır. Yağların keçiriciliyi şüalanmanın təsiri altında zəif əlaqəli yüklərin ( $\text{HCl} \rightarrow \text{H}^+ + \text{Cl}^-$ ) yaranması və işlənmiş yağlarda metalların olması ilə əlaqədardır. Yağ qarışığının keçiriciliyi həmçinin təcrübi olaraq təyin etdiyimiz metalların Cr, Mn, Fe, Rb, Sr, Zr, Mo, Ba və Pb olması ilə əlaqədar ola bilər.

UB-şüalarının təsiri altında «Sovtol 10» özlülüyünün azalması müşahidə olunur, bu da yağın hərəkətliliyini artırır. Analoji asılılıq tərkibində PXB olmayan işlənmiş yağlar üçün alınmışdır.

Tərkibində 14 mq/kq PXB olan transformator yağının UB fotoliz məhsullarının udma spektrləri 7 sayılı şəkildə göstərilmişdir.

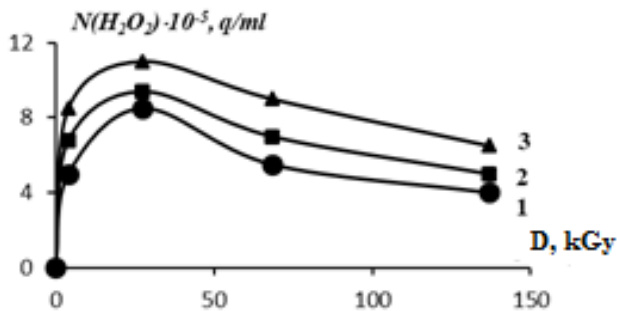


**Şəkil 7. Tərkibində “Sovtol-10” olan transformator yağının UB-fotolizi məhsullarının müxtəlif şüalanma müddətlərində udulma spektrləri: 1 – ilkin; 2 – 10 dəq; 3 – 15 dəq; 4 – 20 dəq; 5 – 40 dəq şüalanma ( $I=2 \cdot 10^{15}$  kvant/san).**

Göründüyü kimi, güclü udulma  $\lambda < 300$  nm dalğa uzunluğunda baş verir. Müşahidə olunan udulma zolaqlarının maksimumları  $\lambda_{\max} = 201,9$  nm, 205,1 nm, 207,0 nm, 211,0 nm, 222,0 nm, 227,1 nm, 228,9 nm, 231,9 nm, 258,0 nm. Müəyyən edilmişdir ki, şüalanma müddəti artdıqca müvafiq zolaqların Abs (udulması) azalır.

Tərkibində PXB-lər olan transformator yağının radiolizi nəticəsində oksidləşmə məhsulları ( $H_2O_2$ ,  $CO_2$ ) və transformator yağının komponentlərinin parçalanmasının qaz ( $C_1-C_7$ ) məhsullarının dozadan və pH göstəricisinin qiymətinin yağda PXB-nin miqdarından asılılıqları öyrənilmişdir.

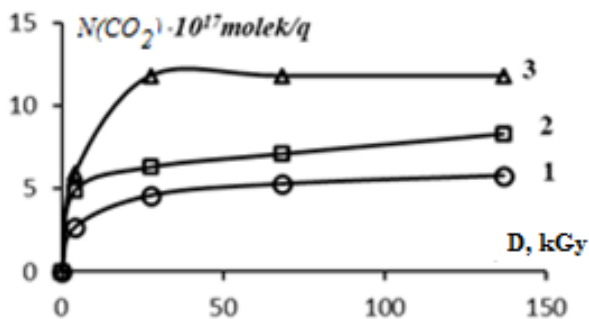
Şəkil 8-də  $H_2O_2$ -nin qatılığının yağda PXB-lərin müxtəlif miqdarlarında dozadan asılılığı verilmişdir.



Şəkil 8. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-nin qatılığının yağda PXB-lərin müxtəlif miqdarlarında dozadan asılılığı. 1) 5; 2) 15; 3) 40 mq/kq PXB.

Göründüyü kimi PXB-li transformator yağının radiolizi zamanı PXB-nin baxılan qatılıq intervalında H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-nin qatılığının dozadan asılılığı ekstremal xarakter daşıyır. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-nin maksimum qatılığı ~27 kGy dozada müşahidə olunur. Dozanın böyük qiymətlərində H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-nin qatılığının azalması müşahidə olunur ki, bu da onun radioliz prosesində yaranan aktiv zərrəciklərin reaksiyası nəticəsində baş verir.

Şəkil 9-da PXB-nin ilkin qatılığının müxtəlif qiymətlərində karbon qazının qatılığının dozadan asılılığı verilmişdir.



Şəkil 9. PXB-nin ilkin qatılığının müxtəlif qiymətlərində karbon qazının qatılığının dozadan asılılığı: 1) 5; 2) 15; 3) 40 mq/kq PXB.

Doza artdıqca karbon qazının qatılığının artması və 27 kGy-dən yüksək dozalarda stasionar qiymətə çatdığı müşahidə olunur. Yuxarıda göstərilən kinetik əyrilərdən PXB-lərin müxtəlif ilkin qatılıqlarında qiymətləri hesablanmış və 3 sayılı cədvəldə verilmişdir.

Cədvəl 3

**Tərkibində 5-40 mq/kq PXB olan transformator yağının radiolizi zamanı H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> və CO<sub>2</sub> –nin radiasiya kimyəvi çıxımları**

C <sub>PXB</sub> , mq/kq	G, molekul/100 eV	
	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
0	3,6	0,18
5	3,9	1,1
15	4,7	1,9
40	5,9	2,3

Alınmış nəticələr göstərir ki, baxılan sistemlərin radiolizi zamanı H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> və CO<sub>2</sub> qazlarının radiasiya kimyəvi çıxımı PXB-nin ilkin qatılığından asılı olaraq artır.

Baxılan sistemlərin radiolizi zamanı qaz məhsulları kimi H<sub>2</sub>-nin və karbohidrogenlərin CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>, C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>, C<sub>5</sub>H<sub>12</sub>, C<sub>6</sub>H<sub>14</sub> yaranmasının PXB-lərin yağda ilkin qatılıqlarda kinetikasi öyrənilmiş, göstərilmişdir ki, PXB-lərin ilkin qatılığından asılı olmayaraq yaranan məhsulların kinetik ayrılırları müəyyən induksion perioda malikdirlər. Dozanın 68 kGy qiymətindən sonra baxılan qazların yaranma sürəti və radiasiya-kimyəvi çıxımları artır.

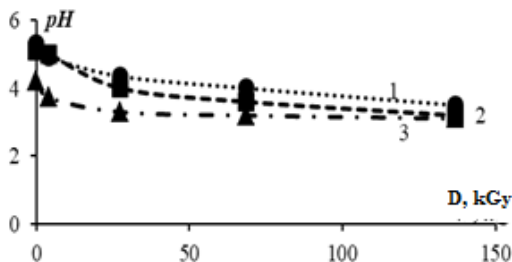
**Cədvəl 4**

**Tərkibində 5-40 mq/kq PXB olan transformator yağının radiolizi zamanı H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>-nin radiasiya kimyəvi çıxımları**

C <sub>PXB</sub> , mq/kq	G, molekul/100 eV			
	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>
0	0,24	0,65	0,30	0,13
5	0,31	0,44	0,21	0,19
15	0,35	0,47	0,15	0,11
40	0,41	0,51	0,2	0,12

4 sayılı cədvəldən görüldüyü kimi bu qazların radiasiya-kimyəvi çıxımları PXB-lərin ilkin qatılığından asılı olaraq zəif dəyişir.

Transformator yağının tərkibində olan PXB-lərin radiolitik xloruzlaşma prosesini pH göstəricisi xarakterizə edir. Şəkil 10-da PXB-nin müxtəlif ilkin qatılıqlarında pH göstəricisinin dozadan asılılı olaraq dəyişməsi öyrənilmişdir.



**Şəkil 10. PXB-nin müxtəlif ilkin qatılıqlarında pH göstəricisinin dozadan asılılığı 1) 5, 2) 15, 3) 40 mq/kq PXB.**

Göründüyü kimi doza artdıqca pH göstəricisinin qiyməti azalır, bu isə PXB-lərin xlorosuzlaşması nəticəsində turşu xarakterli birləşmələrin yaranması ilə əlaqədardır.

**Dördüncü fəsil**də xloroformun müxtəlif ilkin qatılıqlarında suda məhlulunun kinetik qanunauyğunluqları öyrənilmiş, sistemin radiolizi zamanı baş verən kimyəvi proseslər tədqiq edilmiş və alınan nəticələr əsasında stasionar qatılıqlar metodu ilə xloroformun parçalanma sürəti ilə prosesi xarakterizə edən parametrləri (xloroformun və həll olmuş oksigenin qatılıqları, habelə udulan doza gücü) əlaqələndirən ifadə alınmışdır. Müşahidə edilən zəncirvari reaksiya rejimini təsvir edən kinetik model hazırlanmış və riyazi modelləşdirilmişdir. Hesablama nəticələri təcrübi nəticələrlə müqayisə edilmiş və kinetik modelin alınmış nəticələrə adekvat olduğu müəyyənləşdirilmişdir.

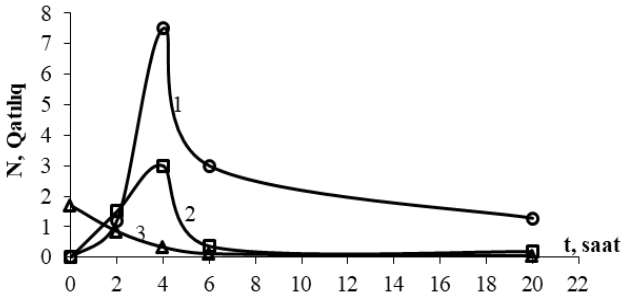
- Xloroformun suda məhlullarında radiolitik çevrilməsi və xlorlu birləşmələrin yaranma kinetikasi.

Kinetik tədqiqatlar 2 metodla aparılmışdır. a) Birinci üsulda (dinamik rejim) nümunələr xloroformun suda məhlulundan müxtəlif sürətlərlə hava buraxmaqla şüalandırılmışdır. b) İkinci üsulda (statik rejim) xloroformun suda məhlulu hava ilə təmas saxlanılmaqla statik şəraitdə müxtəlif dozalarda şüalandırılmışdır.

Statik şəraitdə şüalanma zamanı isə xloroformun ilkin qatılığından asılı olaraq onun parçalanma prosesinin radiasiya-kimyəvi çıxımı 6,4-dən 129 molekul/100 eV-a qədər artır ( $8,3 \cdot 10^{-2}M$ ). Alınmış nəticələr göstərir ki,  $4,2 \cdot 10^{-2}M$  qatılığından böyük qiymətlərdə xloroformun radiolitik çevrilməsi zəncirvari reaksiyalarda baş verir. Şüalanmış nümunələrin UB spektrlərində optik sıxlıq dozanın

ilkın qiymətlərində 0,4-dən 1,2-ə qədər artır, 8,6 kGy-dən böyük qiymətlərdə isə udulmadozasının artması optik sıxlıqların azalmasına gətirir. Bu asılılıq yaranan məhsulların böyük dozalarda radiolitik deqradasiyaya məruz qalması ilə əlaqədardır.

Xloroformun suda məhlulunun xlorlu birləşmələri kimi dioxlormetan və tetraxloretran identifikasiya edilmiş və göstərilmişdir ki, onların qatılığı 8,6 kGy dozada maksimum qiymətlər alır və dozanın sonrakı artımı bu xlorlu birləşmələrin qatılığının azalmasına səbəb olur.



**Şəkil 11.**  $1,7 \cdot 10^{-2}$  M qatılıqlı xloroformun suda məhlulunun radiolizi zamanı yaranan xloroform, dioxlormetan və tetraxloretranın qatılığının şüalanma müddətindən asılılığı. 1) CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>, 10<sup>-5</sup>M, 2) C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>Cl<sub>4</sub>, 10<sup>-3</sup>M, 3) CHCl<sub>3</sub>, 10<sup>-2</sup>M (J=0,6 Gy/s).

Xloroformun suda məhlulunun radioliz prosesində şüalanmış nümunələrin pH və OKT parametrlərinin dəyişmə kinetikasi aşağıdakı cədvəldə verilmişdir:

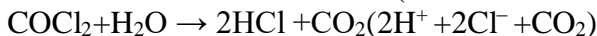
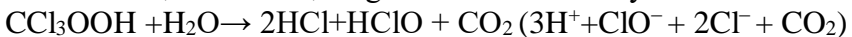
**Cədvəl 5**

**4.2 · 10<sup>-2</sup> M qatılıqlı xloroformun su məhlullarının radiolizində OKT və pH göstəricisinin udulan dozadan asılılığı**

D, kGy	0	4,3	8,6	13,0	43,0
pH	7,0	4,6	3,9	3,5	2,3
OKT, mqO/L	170	153	120	105	53

Göründüyü kimi doza artdıqca OKT və pH göstəricisinin azalması müşahidə olunur, bu da üzvi birləşmələrin parçalanması və turşuların əmələ gəlməsini göstərir.

Bu məhsullar bir sıra məhsulların hidrolizi nəticəsində yarana bilər. Məsələn, CCl<sub>3</sub>OOH, fosgenin hidroliz reaksiyalarında

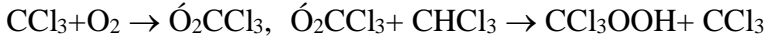


Müəyyən olunmuşdur ki, doza artdıqca pH göstəricisi və OKT

azalır, bu da üzvi birləşmələrin parçalanması və turşuların əmələ gəlməsini sübut edir. Xloroformun parçalanmasının radiasiya-kimyəvi çıxımı onun ilkin qatılığından asılıdır. Belə ki, qatılıq  $\geq 4.2 \cdot 10^{-2}$  M olduqda radiasiya-kimyəvi çıxım 52-245 molekul/100 eV intervalında olur.

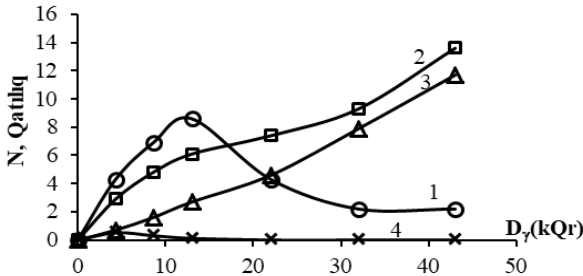
Xloroformun çevrilməsi suyun radiolizi zamanı əmələ gələn ilkin zərrəciklər - H atomları, OH radikalları və  $e_{hidrat}$  hesabına baş verir.

Məhlulda oksigen olduqda çevrilmə prosesində yaranan  $CCl_3$  radikalları xloroformun zəncirvari parçalanmasına səbəb olur.



• Xloroformun suda məhlulunun radioliz prosesində yaranan  $H_2O_2$  və qaz məhsullarının qatılıqlarının dəyişmə kinetikası

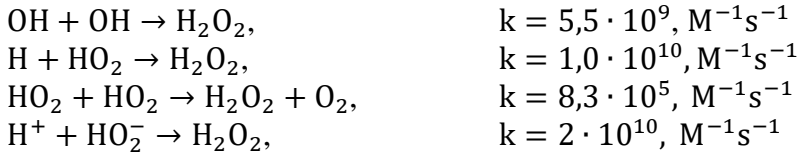
Xloroformun suda məhlulunun radioliz prosesində yaranan  $H_2O_2$  və qaz məhsullarının qatılıqlarının dəyişmə kinetikası aşağıdakı şəkildə verilmişdir.



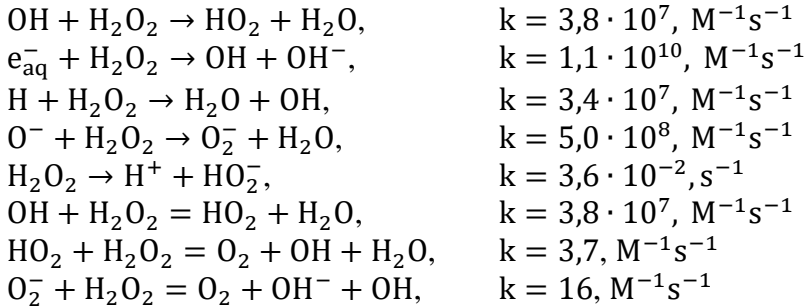
Şəkil 12.  $4,2 \cdot 10^{-2}$  M qatılıqlı xloroformun su məhlullarının radioliz prosesində yaranan qaz məhsullarının ( $H_2O_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2$ ,  $CO$ ) konsentrasiyasının dozadan asılılığı. 1)  $N_{H_2O_2}$ ,  $10^{-5}$  q/ml; 2)  $N_{CO_2}$ ,  $10^{18}$  molekul/q; 3)  $N_{H_2}$ ,  $10^{18}$  molekul/q; 4)  $N_{CO}$ ,  $10^{18}$  molekul/q ( $J=0,6$  Gy/s).

Göründüyü kimi  $H_2O_2$  qatılığının dozadan asılı olaraq əvvəlcə artması, 14 kQr-dən sonra azalması müşahidə olunur və radiasiya-kimyəvi çıxımı 3 molekul/100 eV-dur. Alınan qiymət suyun radiolizi zamanı (0,7-0,8 molekul/100 eV) hidrogen peroksidin radiasiya-kimyəvi çıxımından çoxdur. Bu da xloroform məhlulunun radiolitik oksidləşməsi prosesində hidrogen peroksidin əlavə olaraq əmələ gəlməsini göstərir. Bu isə doza 14 kGy-yə qədər artdıqca  $H_2O_2$ -nin əmələgəlmə mərhələləri və 14 kGy-dən sonra parçalanma reaksiyalarının baş verdiyini göstərir.

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-nin əmələgəlmə reaksiyaları:



H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-nin sərfoqlma reaksiyaları:

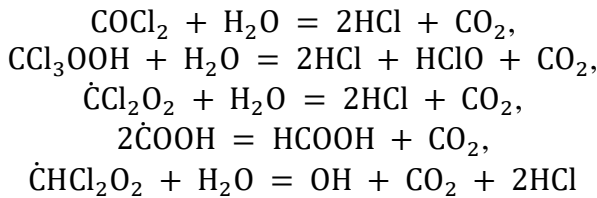


Şəkilədən görüldüyü kimi radioliz məhsulları olan CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>-nin qatılığı udulan doza artdıqca artır, karbon oksidinin qatılığının 5 kGy-ə qədər artması, sonra isə azalması müşahidə olunur.

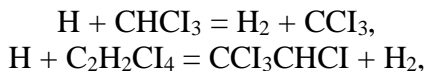
CO<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>-nin radiasiya-kimyəvi çıxımları hesablanmışdır:

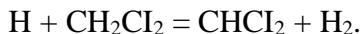
$$G_{\text{CO}_2} = 8,0 \frac{\text{molek}}{100\text{eV}} \quad G_{\text{H}_2} = 1,3 \frac{\text{molek}}{100\text{eV}} \quad G_{\text{CO}} = 1,2 \frac{\text{molek}}{100\text{eV}}$$

Karbon qazı əsasən hidroliz proseslərində və karboksil radikalının rekombinasiya prosesində yaranır.



Molekulyar hidrogenin radiasiya-kimyəvi çıxımı suyun radioliz prosesində yaranan bilən hidrogenin çıxımından ~3 dəfə çoxdur. Bu sistemdə hidrogenin yaranması üçün əlavə kanalların mövcud olmasını göstərir:

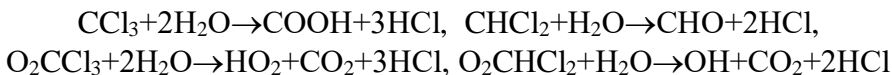




• Xloroformun suda məhlullarının radioliz prosesinin kinetik modelləşdirilməsi.

Xloroformun su məhlullarının  $\gamma$ -radiolizi zamanı alınan qiymətlərə və elementar reaksiyaların sürət sabitlərinin ədəbiyyat qiymətlərinə əsasən prosesin formal-kinetik sxemi qurulub.

Formal-kinetik sxemə suyun radiolizinin ilkin zərrəciklərinin iştirakı ilə gedən elementar reaksiyalar daxildir (38 reaksiya) və onların xloroform molekullarının çevrilmə məhsulları ilə reaksiyası (24 reaksiya) həmçinin  $\text{CO}_2$  və  $\text{HCl}$ -un əmələgəlməsi ilə və xlorotərkibli məhsulların hidroliz reaksiyaları (aralıq və son 6 reaksiya) daxildir.



Xloroformun suda məhlullarda radiolitik çevrilmə prosesinin ehtimal olunan reaksiyaları aşağıdakı 6 sayılı cədvəldə verilmişdir.

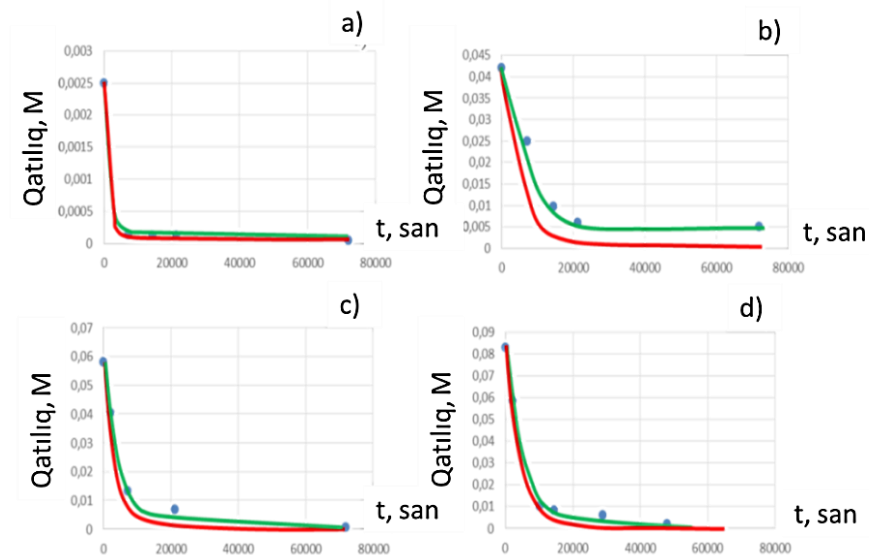
**Cədvəl 6**

**Xloroformun suda məhlulunun radiolizində radiolitik çevrilmə proseslərinin formal-kinetik sxemi**

	Elementar reaksiyalar	Reaksiyaların sürət sabitləri, 1/san, l/mol·san (hər iki vahid qalır)
1.	$\text{OH} + \text{CHCl}_3 = \text{H}_2\text{O} + \text{CCl}_3$	5e+06
2.	$\text{H} + \text{CHCl}_3 = \text{H}_2 + \text{CCl}_3$	7.8e+07
3.	$e^- + \text{CHCl}_3 = \text{CHCl}_2 + \text{Cl}^-$	1e+10
4.	$\text{OH} + \text{C}_2\text{H}_2\text{Cl}_4 = \text{CCl}_3\text{CHCl} + \text{H}_2\text{O}$	1e+06
5.	$\text{H} + \text{C}_2\text{H}_2\text{Cl}_4 = \text{CCl}_3\text{CHCl} + \text{H}_2$	1e+07
6.	$e^- + \text{C}_2\text{H}_2\text{Cl}_4 = \text{C}_2\text{H}_2\text{Cl}_3 + \text{Cl}^-$	1e+10
7.	$\text{OH} + \text{CH}_2\text{Cl}_2 = \text{CHCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$	9e+07
8.	$\text{H} + \text{CH}_2\text{Cl}_2 = \text{CHCl}_2 + \text{H}_2$	4e+06
9.	$e^- + \text{CH}_2\text{Cl}_2 = \text{CH}_2\text{Cl} + \text{Cl}^-$	6e+09
10.	$\text{CCl}_3 + \text{O}_2 = \text{CCl}_3\text{O}_2$	4.7e+09
11.	$\text{CCl}_3\text{O}_2 + \text{CHCl}_3 = \text{CCl}_3\text{OOH} + \text{CCl}_3$	1e+04
12.	$2\text{CCl}_3 = \text{C}_2\text{Cl}_6$	3.7e+08
13.	$2\text{CHCl}_2 = \text{C}_2\text{H}_2\text{Cl}_4$	1e+08
14.	$\text{CHCl}_2 + \text{CHCl}_3 = \text{CH}_2\text{Cl}_2 + \text{CCl}_3$	1e+08
15.	$\text{CHCl}_2 + \text{O}_2 = \text{HClO} + \text{COCl}$	4.7e+09
16.	$\text{COCl} + \text{CHCl}_3 = \text{COCl}_2 + \text{CHCl}_2$	1e+04

17.	$2\text{CCl}_3\text{O}_2 = \text{C}_2\text{Cl}_6 + 2\text{O}_2$	$1\text{e}+08$
18.	$\text{COCl}_2 + \text{H}_2\text{O} = 2\text{HCl} + \text{CO}_2$	$1\text{e}+05$
19.	$\text{CCl}_3\text{OOH} + \text{H}_2\text{O} = 2\text{HCl} + \text{HClO} + \text{CO}_2$	$1\text{e}+06$
20.	$\text{H}_3\text{O}^+ + \text{Cl}^- = \text{HCl}$	$1\text{e}+06$
21.	$\text{HCl} = \text{H}_3\text{O}^+ + \text{Cl}^-$	$1\text{e}+10$
22.	$\text{CHCl}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{CHO} + 2\text{HCl}$	$1\text{e}-04$
23.	$\text{CHO} + \text{H}_2\text{O} = \text{HCOOH} + \text{H}$	$1\text{e}-04$
24.	$\text{CCl}_3\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{OH} + \text{PrA} + \text{HCl}$	$1\text{e}-05$
25.	$\text{CCl}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} = 2\text{HCl} + \text{CO}_2$	$1\text{e}-05$
26.	$\text{CCl}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} = \text{COOH} + 3\text{HCl}$	$1\text{e}-05$
27.	$2\text{COOH} = \text{HOCCOOH}$	$1\text{e}-05$
28.	$2\text{COOH} = \text{HCOOH} + \text{CO}_2$	$5\text{e}+08$
29.	$\text{CHCl}_2 + \text{O}_2 = \text{CHCl}_2\text{O}_2$	$1\text{e}+07$
30.	$\text{CHCl}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{OH} + \text{CO}_2 + 2\text{HCl}$	$1\text{e}+05$

Hesablamanın nəticələri şəkil 13-də (a, b, c, d) xloroformun müxtəlif ilkin qatılıqlarında onun qatılığının şüalanma müddətindən asılı olaraq dəyişməsi verilmişdir.



Şəkil 13. Xloroformun müxtəlif ilkin qatılıqlarında radiolizi zamanı onun qatılığının şüalanma müddətindən asılılığı: 1)  $0,25 \cdot 10^{-2}$ ; 2)  $4,2 \cdot 10^{-2}$ ; 3)  $5,8 \cdot 10^{-2}$ ; 4)  $8,3 \cdot 10^{-2}$  M əyri-hesablama, nöqtələr təcrübə qiymətləridir,  $J=0,6$  Gy/san,  $T=300\text{K}$ .

Kinetik əyrilərin başlanğıc hissələrinə əsasən xloroformun parçalanmasının radiasiya-kimyəvi çıxımı müxtəlif ilkin qatılıqlarda

təyin edilmişdir və 7 sayılı cədvəldə verilmişdir.

**Cədvəl 7**

**Xloroformun müxtəlif ilkin qatılıqlarında parçalanma prosesinin radiasiya-kimyəvi çıxımları**

Radiasiya-kimyəvi çıxımlar, molekul/100 eV		
Qatılıq, (M)	$G_{\text{təcrübi}}$	$G_{\text{nəzəri}}$
$2,5 \cdot 10^{-3}$	6,4	6,5
$4,2 \cdot 10^{-2}$	46,0	72,2
$5,8 \cdot 10^{-2}$	80,0	180,0
$8,3 \cdot 10^{-2}$	129,0	267,8

Cədvəldə xloroformun çevrilmə prosesinin təcrübi və hesablanmış qiymətlərinin müqayisəsi baxılan kinetik sxemin məhlulda baş verən kimyəvi çevrilmələrə adekvat olduğunu göstərir.

**V fəsilə** transformator yağının və tərkibində trixlorbenzol və xlorlaşmış bifenillər olan transformator yağının su mühitində  $\gamma$ -şüalar və UB-ışığın təsiri altında kinetik çevrilmə qanunauyğunluqları tədqiq edilmiş, şüalanmış nümunələrin pH və OKT parametrlərinin udulan dozadan asılılıqları, nümunələrin müxtəlif dozalarda UB spektrləri tədqiq edilmişdir. Tədqiq edilən transformator yağı + su sistemi yağın suda həll olmaması səbəbindən ikifazlı halda olur və bu sistemin radiolizi zamanı baş verən proseslər yağ qatında, su qatında və onların təması boyunca sərhəd zolağında olan fiziki-kimyəvi reaksiyaları əhatə edir.

Aşağıdakı 8 sayılı cədvəldə transformator yağının və tərkibində 15 mq/kq TXB və PXB olan transformator yağı + su sisteminin  $\gamma$ -şüaların təsiri altında radioliz nəticəsində nümunələrin pH parametrinin dozadan asılılığı göstərilmişdir. Qeyd etmək lazımdır ki, transformator yağı + su sisteminin radioliz prosesində pH parametri nümunənin su hissəsini xarakterizə edir.

**Cədvəl 8**

**Transformator yağı və tərkibində 15 mq/kq trixlorbenzol + su və polixlorbifenil + su olan transformator yağı sisteminin radiolizi zamanı pH göstəricisinin udulan dozadan asılılığı. Transformator yağının və suyun həcmələri müvafiq olaraq 5 ml və 10 ml təşkil edir**

D, kGy	pH		
	Transformator yağı	15 mq/kq TXB + transformator yağı + su	15 mq/kq PXB + transformator yağı + su
0	5,6	5,1	6,5
4,1	4,9	4,9	6,1

27,4	4,3	4,8	5.9
68,4	4,1	4,6	5.6
136,8	3,5	4,3	5.3

Göründüyü kimi hər 3 sistemin radiolizi zamanı dozanın artması pH göstəricisinin azalmasına gətirir. Bu azalma transformator yağının radiolizi zamanı oksidləşmə məhsulu kimi yaranan üzvi turşuların və xlorlu birləşmələrin radiolitik xloruzlaşma prosesindən yaranan xlorid turşusunun yaranması ilə əlaqədardır. Transformator yağı mürəkkəb tərkibə malik olduğundan onun radiolizinin elementar reaksiyaları alkanların, sikloalkanların, aromatik və poliaromatik birləşmələrin çevrilməsini, prosesdə yaranan ion və həyəcanlanmış zərrəciklərin yağın tərkibində olan karbohidrogenlərlə reaksiyalarını əhatə edir. Digər tərəfdən yağın tərkibində olan həll olmuş oksigen çevrilmə proseslərində fəal iştirak edə bilər. Cədvəl 9-da transformator yağı və tərkibində 15 mq/kq trixlorbenzol + su və polixlorbifenil + su olan transformator yağı sisteminin radiolizi zamanı OKT göstəricisinin udulan dozadan asılılığı verilmişdir.

#### Cədvəl 9

**Transformator yağı və tərkibində 15 mq/kq trixlorbenzol + su və polixlorbifenil + su olan transformator yağı sisteminin radiolizi zamanı OKT göstəricisinin udulan dozadan asılılığı. Transformator yağının və suyun həcmələri müvafiq olaraq 5 ml və 10 ml təşkil edir**

D, kGy	OKT, mqO/L	
	15 mq/kq TXB + transformator yağı + su	15 mq/kq PXB + transformator yağı + su
0	683	433
4,1	600	600
27,4	516	766
68,4	433	933
136,8	350	1266

Cədvəldən göründüyü kimi dozanın artması ilə tərkibində 15-mq/kq TXB olan + transformator yağı + su nümunələrinin OKT göstəricisi azaldığı halda tərkibində 15 mq/kq PXB olan + transformator yağı + su sisteminin radiolizi zamanı doza artımı OKT göstəricisinin artmasına səbəb olur.

Tərkibində 15 mq/kq TXB olan + transformator yağı + su nümunələrinin OKT göstəricisi azalması TXB molekulunun  $\gamma$ -şüalarının təsiri altında parçalandığını və üzvi maddələrin qatılığının azalması ilə

əlaqədardır. PXB birləşmələri TXB-dən fərqli olaraq çoxlu sayda izomer və homoloqlardan ibarət olduğu üçün onun baxılan sistemdə radiolitik çevrilməsi zamanı tərkibində daha çox xlor atomu olan PXB-lərin xloruzlaşması nəticəsində tərkibində nisbətən az xlor atomu olan PXB homoloqları əmələ gəlir. Digər tərəfdən PXB-lərin radiolitik parçalanması zamanı yaranan xlor atomları transformator yağının komponentləri ilə reaksiyaya girərək onların da xlorlaşmasına səbəb olur. Nəticədə PXB-lər olan sistemdə üzvi maddələrin qatılığı artdığından doza artdıqca OKT-nin artması müşahidə olunur.

Baxılan sistemlərin radiolizi zamanı həmçinin  $H_2O_2$  və  $CO_2$  əmələ gəlməsi baş verir. Cədvəl 10-da TXB və PXB tərkibli transformator yağı + su sisteminin radiolizi zamanı  $H_2O_2$ -nin qatılığının udulan dozadan asılılığı göstərilmişdir.

**Cədvəl 10**

**Transformator yağı və tərkibində 15 mq/kq trixlorbenzol + su və polixlorbifenil + su olan transformator yağı sisteminin radiolizi zamanı  $H_2O_2$ - qatılığının udulan dozadan asılılığı. Transformator yağının və suyun həcmələri müvafiq olaraq 5 ml və 10 ml təşkil edir**

D, kGy	$H_2O_2, 10^{-5}, q/ml$		
	Transformator yağı	15 mq/kq TXB + transformator yağı + su	15 mq/kq PXB + transformator yağı + su
4,1	5,1	6,0	5,9
27,4	6,0	7,9	7,9
68,4	4,3	6,1	4,3
136,8	4,1	5,1	4,3

Cədvəldən görüldüyü kimi hər 3 sistemin radiolizi zamanı  $H_2O_2$  qatılığının dozadan asılılığı ekstremal xarakter daşıyır. Belə ki, dozanın artımı  $H_2O_2$  qatılığının artmasına və ~27 kGy-dən sonra isə azalmasına səbəb olur. Bu asılılıq  $H_2O_2$ -in böyük dozalarda sistemin radiolizi zamanı çevirmə proseslərində iştirakını göstərir. Sistemdə TXB və PXB olduğu halda  $H_2O_2$  radiasiya-kimyəvi çıxımı 4,2 molekul/100 eV təşkil edir. Qeyd etmək lazımdır ki, alınan radiasiya-kimyəvi çıxımın qiymətləri suyun radiolizi zamanı  $H_2O_2$  radiasiya-kimyəvi çıxımlarından 6-8 vahid çoxdur ki, bu da baxılan ikifazlı sistemin radiolizi zamanı  $H_2O_2$  əmələ gəlməsinin əlavə kanalların hesabına olmasını göstərir.

Cədvəl 11-də baxılan sistemlərin radiolizi zamanı  $CO_2$  qazının qatılığının udulan dozadan asılı olaraq dəyişməsi verilmişdir.

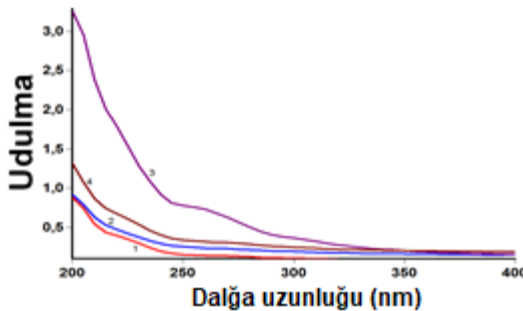
Cədvəldən görüldüyü kimi transformator yağının radiolizi zamanı şüalanma müddətində yaranan karbon qazının qatılığı 27 kGy-də maksimum qiymət alır, doza artdıqca onun qatılığının azalması müşahidə olunur, yağa TXB və PXB birləşmələri daxil edildikdə sistemin radiolizi zamanı doza artdıqca yaranan karbon qazının qatılığı artır. Karbon qazının radiasiya-kimyəvi çıxımları sistemdə TXB olduqda 0,33 molekul/100 eV, PXB olduqda isə 0,39 molekul/100 eV və təmiz transformator yağının radiolizində isə 0,18 molekul/100 eV təşkil edir. Alınan nəticələr göstərir ki, sistemdə xlorlu üzvi birləşmələr olduqda karbon qazının yaranma surəti artır.

**Cədvəl 11**

**Transformator yağı və tərkibində 15 mq/kq trixlorbenzol + su və polixlorbifenil + su olan transformator yağı sisteminin radiolizi zamanı CO<sub>2</sub> qatılığının udulan dozadan asılılığı. Transformator yağının və suyun həcmi müvafiq olaraq 5 ml və 10 ml təşkil edir**

D, kGy	CO <sub>2</sub> , 10 <sup>17</sup> , molekul/q		
	Transformator yağı	15 mq/kq TXB + Transformator yağı + su	15 mq/kq PXB + Transformator yağı + su
4,1	0,5	2,5	0,9
27,4	2,3	2,6	1,1
68,4	0,3	3,3	1,2
136,8	0,4	6,5	2,5

Baxılan sistemlərin radioliz prosesində fiziki-kimyəvi parametrlərinin kinetik qanunauyğunluqlarının öyrənilməsi ilə yanaşı şüalandırılmış nümunələrin müxtəlif udulma dozalarında UB spektrləri çəkilmişdir. Aşağıdakı şəkil 14-də müxtəlif şüalanma dozalarında udulma spektrləri verilmişdir.



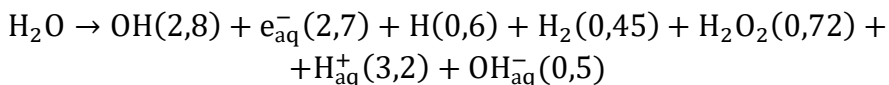
**Şəkil 14. Nümunələrin udulma spektrləri: 5 mq/kq TXB və 5 ml transformator yağı +10 ml su (su hissəsi) sisteminin müxtəlif dozalarda udulma spektrləri**

(200-400 nm). 1. D=0; 2. 4,1 kGy; 3. 27,4 kGy; 4. 68,4 kGy.

Şəkildən görüldüyü kimi nümunələrin optik sıxlığı doza artdıqca artır və 27,4 kGy-dən böyük qiymətlərdə isə azalır. Müşahidə olunan udulma ~300 nm-dən başlayaraq 200 nm-ə qədər oblastı əhatə edir.

Baxılan sistemlərin radiolizi zamanı şüalanma enerjisi sistemlərin əsas komponenti olan su və transformator yağı molekulları tərəfindən udulur. Bu səbəbdən bu komponentlərin radiolizinin ilkin məhsullarının xlorlu birləşmələrlə reaksiyaları mühüm rol oynayır.

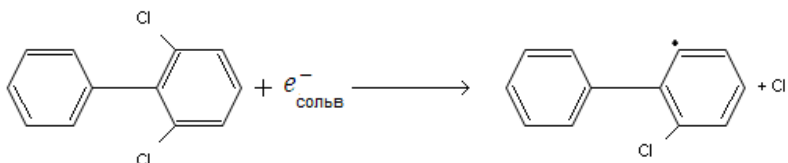
Suyun radiolizinin aralıq məhsullarının radiasiya-kimyəvi çıxımları (1/100 eV) aşağıda verilmişdir:



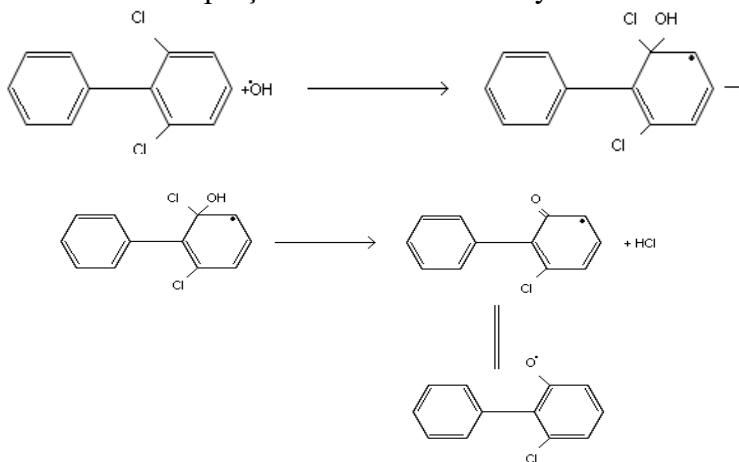
H atomları və OH<sup>-</sup> radikalları otaq temperaturunda su molekulları ilə reaksiyaya girmədiyindən, onlar rekombinasiya reaksiyalana, yaxud sistemdə PXB molekulları ilə reaksiyaya girə bilirlər.

Xlorlaşmış aromatik karbohidrogenlər yüksək elektron hərisliyinə malikdir, ona görə də PXB-lərin xloruzlaşdırılmasının ən ehtimal olunan mexanizmi hidratlaşmış elektronlarla reaksiyasıdır (Sherman mexanizmi). Hidratlaşmış elektronların PXB molekulları ilə reaksiyasının sürət sabitləri molekulda xlorun artması ilə artır. Hidratlaşmış elektronların dixlorbifenil, tetraxlorbifenil və dekaxlorbifenil molekulları ilə reaksiyalarının sürət sabitləri müvafiq olaraq  $2 \cdot 10^9$ ,  $3 \cdot 10^9$  və  $7 \cdot 10^9 \text{ k} \cdot \text{M}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$  təşkil edir. H və OH<sup>-</sup>-in PXB molekulları ilə reaksiyasının sürət sabitləri məlum deyil, lakin impulsu radioliz üsulu ilə müəyyən edilmişdir ki, xlorlaşmış fenollar üçün sürət sabitləri müvafiq olaraq  $k(\text{OH} + 4\text{-Cl-PhOH}) = 1,5 \cdot 10^{10} \text{ dm}^3 \cdot \text{M}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$  və  $k(\text{H} + 4\text{-Cl-PhOH}) = 2 \cdot 10^9 \text{ dm}^3 \cdot \text{M}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$  təşkil edir. Analoji reaksiyaların sürət sabitlərinin bu intervalda yerləşdiyi ehtimal olunur.

Solvatlaşdırılmış elektronların tutulması C-Cl əlaqəsinin qırılmasına və Cl<sup>-</sup> ionlarının əmələ gəlməsinə səbəb olur.



PXB molekulları ilə OH radikallarının reaksiyalarında yeni məhsullar adduktların parçalanması nəticəsində yaranır.



Analoji hal PXB molekulları ilə  $H^+$  atomlarının reaksiyalarında baş verir.

PXB + su sisteminin radiolizi prosesində son məhsullar turşu xarakterli olur. İkifazlı sistemin radiolizi zamanı müşahidə etdiyimiz qanunauyğunluqlar  $Cl^-$  ionlarının yaranması və pH mühitinin dəyişməsi, PXB yağının radiolizi və suyun radiolizinin ilkin zərrəciklərinin reaksiyaları, xüsusən də xloruzlaşmaya gətirən hidratlaşmış elektronların PXB molekulları ilə reaksiyaları ilə izah olunur.

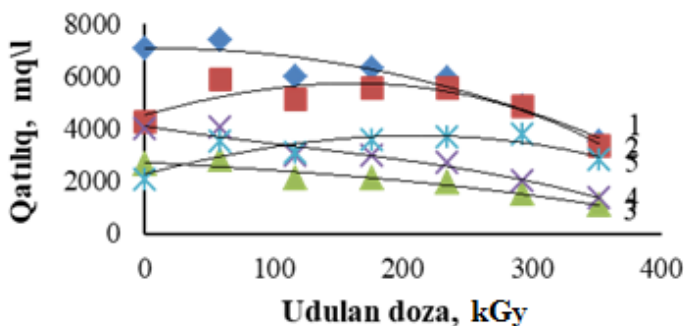
Transformator yağının radiolizinin aralıq məhsulları haqqında kifayət dərəcədə məlumat olmadığından onun əsas komponentləri olan alkanların, sikloalkanların və aromatik birləşmələrin radiolizinin ümumi mexanizmi əsas götürülsə, onda uyğun olaraq heksanın, sikloheksanın və benzolun radiolizinin aralıq məhsulları haqqında ümumi məlumat təhlil üçün əsas götürülə bilər.

Yaranan aktiv zərrəciklərin bəziləri aromatik karbohidrogenlər tərəfindən tutulur, məsələn hidrogen atomları benzolla effektiv şəkildə reaksiyaya girirlər. Bu səbəbdən yaranan aktiv zərrəciklərin xlorlu üzvi

birləşmələrlə reaksiyasının nisbi sürəti kiçik olduğundan bu reaksiyaların xlorüzvi birləşmənin deqradasiya prosesində rolu azdır.

**VI fəsil**də PXB tərkibli yağların radioliz prosesinin kinetik qanunauyğunluqları polyar və qeyri polyar üzvi həlledicilərin, həmçinin qələvilərin iştirakı ilə öyrənilmişdir. Bu məsələnin aktuallığı transformatorların PXB-lərdən təmizlənməsi üçün həcmdən götürüldükdən sonra onların daxili divarlarının üzvi həlledicilərlə yuyulması zamanı yaranan PXB tərkibli tullantıların təmizlənməsi üçün radiasiya-kimyəvi texnologiyanın tətbiqi imkanlarının öyrənilməsi zərurəti ilə əlaqədardır. Aşağıdakı şəkillərdə heksan və izopropil spirtinin iştirakı ilə Sovtol tipli PXB yağının çevrilmə proseslərinə qamma şüalarının təsirinin öyrənilməsi nəticələri verilmişdir.

Şəkil 15-də «Sovtol 10» tipli PXB yağı, heksan və izopropil spirti müvafiq olaraq (0,25 q + 8 ml + 0,5 ml) miqdarlarda götürülmüş sistemin radiolizi zamanı identifikasiya olunmuş PXB izomer və homoloqlarının qatılıqlarının udulan dozadan asılı olaraq dəyişməsi asılılığı göstərilmişdir. İdentifikasiya olunmuş PXB-lər PXB (149+118) heksa-pentaxlorbifenil, PXB (101) pentaxlorbifenil, PXB (153) heksaxlorbifenil, PXB (138) heksaxlorbifenil, PXB (52) tetraxlorbifenil əhatə edir.



**Şəkil 15.** PXB + heksan + izopropil spirti sisteminin radiolizi zamanı udulan dozadan asılı olaraq PXB izomerlərinin qatılığının dəyişmə kinetikası ( $I=0,30$  Qr/s). 1 - PXB (149+118) heksa-pentaxlorbifenil; 2 - PXB (101) pentaxlorbifenil; 3 - PXB (153) heksaxlorbifenil; 4 - PXB (138) heksaxlorbifenil; 5 - PXB (52) tetraxlorbifenil.

Şəkildən görüldüyü kimi heksaxlorbifenillərin qatılığı doza artdıqca azalır. Tetraxlor və pentaxlorların qatılığı isə dozanın müəyyən qiymətlərinə qədər azalır və böyük dozalarda bu PXB-lərin də qatılığının azalması müşahidə olunur. Tərkibində daha az xlor olan PXB-lərin qatılığının dozadan asılı olaraq dəyişməsi analoji şəkildə baş verir. Belə ki, trixlorbifenil və tetraxlorbifenillərin qatılığı dozadan asılı olaraq artır, heptaxlorbifenilin qatılığı isə baxılan doza intervalında azalır.

Kiçik dozalarda aşağı xlorlu PXB izomer və homoloqların əlavə olaraq əmələ gəlməsi ehtimal olunur. PXB + heksan+ izopropil spirti qarışığının radiolizi zamanı kinetik əyrilərin başlanğıc hissələrinə əsasən müvafiq proseslərin radiasiya-kimyəvi çıxımları hesablanmış və cədvəl 12-də göstərilmişdir.

**Cədvəl 12**

**PXB + heksan+ izopropil spirti qarışığının radiolizi zamanı müvafiq PXB-lərin radiasiya-kimyəvi çıxımları**

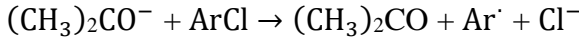
PXB izomerləri	Radiasiya-kimyəvi çıxım, G (molekul/100 eV)
PXB-18	0,280
PXB-31+28	0,094
PXB-44	0,32
PXB-101	0,210
PXB-149+118	- 0,024
PXB-153	- 0,081
PXB-138	- 0,156
PXB-180	- 0,023
PXB-52	0,28
PXB -lərin deqradasiyasının ümumi çıxımı	1,468

\*«Mənfi» işarəsi sərf olunmanı göstərir.

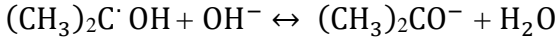
Beləliklə, PXB izomerlərinin əmələ gəlməsinin yekun çıxımı 0,90 molekul/100 eV təşkil edir. Tərkibində PXB olan izomer və homoloqların ilkin qatılığının azalması 240 kGy-dan yuxarı dozalarda müşahidə edilir.

Qeyd edildiyi kimi xlorlu bifenillərin parçalanması ilkin olaraq solvatlaşmış elektronlarla reaksiyalarda baş verir. Baxılan sistemin radiolizində heksanın əsas komponent olmasına baxmayaraq, onun radiolizində solvatlaşmış elektronların çıxışı çox kiçikdir (~0,12 elektron/100eV). Bu səbəbdən propil spirti molekullarının elektron hərisliyi böyük olduğundan yaranan sərbəst elektronlar əsasən baxılan

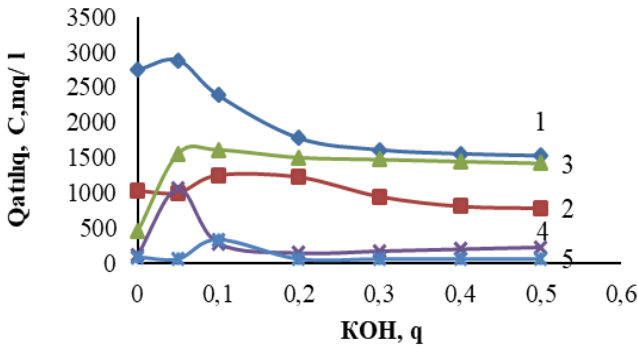
sistemdə bu molekullar tərəfindən udulur və yaranan  $(CH_3)_2CO^-$  anion radikalları PXB molekulları ilə effektiv reaksiyaya girirlər:



Baxılan sistemə qələvinin əlavə edilməsi onların elektrolitik dissosiasiyası nəticəsində yaranan  $OH^-$  ion radikallarının izopropil spirtinin radikalları ilə reaksiyası nəticəsində  $(CH_3)_2CO^-$  ionun yaranması baş verir:



Şəkil 16-də müxtəlif dozalarda PXB (0,25 ml) + heksan (8 ml)+ izopropil spirti (0,5 ml) sisteminin radiolizi zamanı PXB izomerləri qatılığının (149+118) (1 - 46 kGy, 2 - 333 kGy, 3 - 460 kGy), PXB (18) (4 - 460 kGy, 5 - 46 kGy) KOH(0,05; 0,1; 0,5q) miqdardan asılılığı göstərilmişdir.



Şəkil 16. Müxtəlif  $\gamma$ -şüalanma dozalarında PXB (0,25 ml) + heksan (8 ml)+ izopropil spirti (0,5 ml) sisteminin radiolizi zamanı PXB izomerləri qatılığının (149+118) (1 - 46 kGy; 2 - 333 kGy; 3 - 460 kGy), PXB (18) (4 - 460 kGy; 5 - 46 kGy) miqdardan asılılıq ayrılıqları.

16 sayılı şəkildən görüldüyü kimi baxılan sistemlərin radiolizi zamanı PXB izomerlərinin qatılığının KOH-ın miqdarından asılı olaraq dəyişməsi ekstremal xarakter daşıyır və maksimum dəyişiklik 0,5-0,1 q KOH olduqda müşahidə olunur.

Gamma şüalarının təsiri altında baxılan sistemin radiolizi zamanı PXB-lərin radiolitik çevrilməsi nəticəsində şüalanmış nümunələrin pH-nın kəskin azalması və xlor ionlarının yaranması müşahidə olunur. KOH-ın baxılan qatılıq intervalında onun qatılığının artması xlor ionlarının stasionar qatılığının artmasına gətirib çıxarır.

Alınmış nəticələr əsasında PXB-li Sovtol yağının üzvi həlledicilərdə və KOH-ın iştirakı ilə qamma şüalarının təsiri altında çevrilmə proseslərinin 52 elementar reaksiyalardan ibarət kinetik sxemi cədvəl 13-də qurulmuş və riyazi modelləşdirmə aparılaraq prosesi xarakterizə edən parametrlərin dozadan asılılıq əyriləri alınmışdır. Kinetik sxem baxılan sistemin əsas komponenti olan heksanın radiolizinin ilkin proseslərini, izopropil spirti və PXB-lərin radiolitik çevrilmə proseslərini, həmçinin KOH-ın elektrolitik çevrilmə proseslərini əhatə edir:

**Cədvəl 13**  
**Prosesin formal kinetik sxemi**

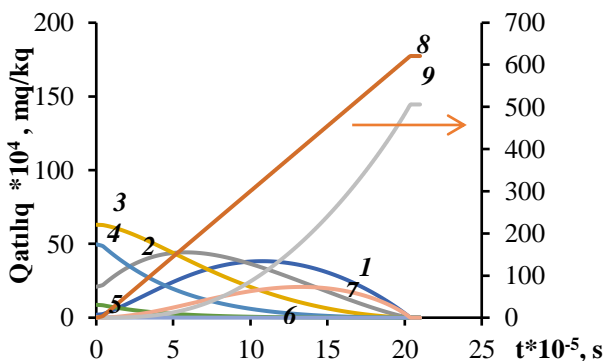
Nö	Reaksiya	Sürət sabitləri, s <sup>-1</sup> , M <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup>
1	2	3
1	R (CH <sub>3</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> , C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> , C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> , C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> , C <sub>6</sub> H <sub>13</sub> , C <sub>7</sub> H <sub>15</sub> ) + O <sub>2</sub> → RO <sub>2</sub>	(CH <sub>3</sub> ) 4,7·10 <sup>9</sup> , (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ) 2,9·10 <sup>9</sup> , (C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> ) 4,9·10 <sup>9</sup> (sikloheksan)
2	HO <sub>2</sub> +RH →H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> +R	10 <sup>4</sup>
3	HO <sub>2</sub> + HO <sub>2</sub> → H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + O <sub>2</sub>	8,3·10 <sup>5</sup>
4	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> →C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> <sup>+</sup> + e <sup>-</sup>	1,33·10 <sup>-8</sup>
5	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> <sup>+</sup> +(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CHOH → (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CHOH <sup>+</sup> +C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	10 <sup>10</sup> -10 <sup>11</sup>
6	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CHOH <sup>+</sup> +(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CHOH → (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CHOH <sub>2</sub> <sup>+</sup> +(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> COH·	10 <sup>10</sup> -10 <sup>11</sup>
7	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CHOH <sub>2</sub> <sup>+</sup> + e <sup>-</sup> → (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> COH+H	10 <sup>11</sup> -10 <sup>12</sup>
8	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CHOH + H→(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> COH+H <sub>2</sub>	9·10 <sup>7</sup>
9	2(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> COH → (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CO + (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> COH	3,8·10 <sup>8</sup>
10	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> COH +O <sub>2</sub> → (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> C(OO)OH	3,9·10 <sup>9</sup>
11	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> C(OO)OH → (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CO +HO <sub>2</sub>	10 <sup>4</sup>
12	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> COH +H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> → (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CO +HO <sub>2</sub> +OH	7,0·10 <sup>5</sup>
13	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CHOH +OH → (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> COH· +H <sub>2</sub> O	1,6·10 <sup>9</sup>
14	KOH → K <sup>+</sup> + OH <sup>-</sup>	
15	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> COH· + OH <sup>-</sup> ⇌ (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CO· + H <sub>2</sub> O	10 <sup>8</sup> -10 <sup>9</sup>
16	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CO· + C <sub>12</sub> H <sub>10-n</sub> Cl <sub>n</sub> → (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CO + C <sub>12</sub> H <sub>10-n</sub> Cl <sub>n-1</sub> +Cl <sup>-</sup> (n=1-10)	n=1' k <sub>1</sub> = 1,2·10 <sup>8</sup> n=2 k <sub>2</sub> = 1,4·10 <sup>8</sup> n=3' k <sub>3</sub> = 1,6·10 <sup>8</sup> n=4 k <sub>4</sub> = 1,8·10 <sup>8</sup> n=5' k <sub>5</sub> = 2·10 <sup>8</sup> n=6' k <sub>6</sub> = 2,2·10 <sup>8</sup> n=7' k <sub>7</sub> = 2,4·10 <sup>8</sup> n=8' k <sub>8</sub> = 2,6·10 <sup>8</sup> n=9' k <sub>9</sub> = 2,8·10 <sup>8</sup> n=10' k <sub>10</sub> = 3·10 <sup>8</sup>
17	C <sub>12</sub> H <sub>10-n</sub> Cl <sub>n-1</sub> + O <sub>2</sub> → hidroperksid aromatik	10 <sup>8</sup> -10 <sup>9</sup>

1	birləşmə	
---	----------	--

13 sayılı cədvəlin ardı

1	2	3
18	$\text{Cl}^- + \text{C}_6\text{H}_{14} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{13} \cdot + \text{HCl} + \text{e}^-$	$10^8 - 10^9$
19	$\text{e}^- + \text{C}_{12}\text{H}_{10-n}\text{Cl}_n \rightarrow \text{C}_{12}\text{H}_{10-n}\text{Cl}_{n-1} + \text{Cl}^- \quad (n=1-10)$	$n=1' \quad k_1 = 1,5 \cdot 10^9$ $n=2 \quad k_2 = 2,1 \cdot 10^9$ $n=3' \quad k_3 = 2,7 \cdot 10^9$ $n=4 \quad k_4 = 3,3 \cdot 10^9$ $n=5' \quad k_5 = 3,9 \cdot 10^9$ $n=6' \quad k_6 = 4,5 \cdot 10^9$ $n=7' \quad k_7 = 5,1 \cdot 10^9$ $n=8' \quad k_8 = 5,7 \cdot 10^9$ $n=9' \quad k_9 = 6,3 \cdot 10^9$ $n=10 \quad k_{10} = 6,9 \cdot 10^9$
20	$\text{C}_{12}\text{H}_{10-n}\text{Cl}_{n-1} + (\text{CH}_3)_2\text{CHOH} \rightarrow \text{C}_{12}\text{H}_{10-n+1}\text{Cl}_{n-1} + (\text{CH}_3)_2\text{C} \cdot \text{OH}$	$10^6 - 10^7$
21	$\text{R}_i\text{OO} + \text{C}_6\text{H}_{14} \rightarrow \text{R}_i\text{OOH} + \text{C}_6\text{H}_{13}$	$10^5$
22	$\text{R}_i\text{OOH} \rightarrow \text{R}_i\text{O} + \text{OH}$	$2 \cdot 10^{-4}$
23	$\text{R}_i\text{O} + \text{C}_6\text{H}_{14} \rightarrow \text{R}_i\text{OH} + \text{C}_6\text{H}_{15}$	$10^7$
24	$\text{R}_i\text{O} + (\text{CH}_3)_2\text{CHOH} \rightarrow \text{R}_i\text{OH} + (\text{CH}_3)_2\text{COH}$	$5 \cdot 10^7$
25	$\text{e} + \text{O}_2 \rightarrow \text{O}_2^-$	$1,9 \cdot 10^{10}$
26	$(\text{CH}_3)_2\text{CHOH}_2^+ + \text{O}_2^- \rightarrow (\text{CH}_3)_2\text{CHOH} + \text{HO}_2$	$10^{11}$

Reaksiya nömrəsinin yanındakı işarə (') analogi reaksiya əsasında olan qiyməti göstərir.



Şəkil 17. PXB (0,25 ml) + heksan (8 ml) + izopropil spirti (0,5 ml) + KOH (0,05; 0,1; 0,5q) sisteminin şüalanması zamanı PXB izomerlərinin və əmələ gələn məhsulların – bifenil PXB- 1 və xlor ionlarının qatılığının şüalanma müddətindən asılılığı (I=0,30 Qr/s). 1) PXB 18; 2) PXB 52; 3) PXB 101; 4) PXB 138; 5) PXB 180; 6) PXB 194; 7) PXB 1; 8) Bifenil, 9) Cl<sub>m</sub>.

Göründüyü kimi dozadan asılı olaraq izomerlərin qatılığının dəyişmə xarakteri müxtəlif izomerlər üçün fərqlidir. PXB - (18) (2,2',5-trixlorbifenil), PXB - (31+28) (2,4,4'-trixlorbifenil + 2,4',5-trixlorbifenil), PXB - (44) (2,2',3,5'-tetraxlorbifenil), PXB- (101) (2,2',4,5,5'-pentaxlorbifenil), PXB - (52) (2,2',5,5'-tetraxlorbifenil) izomerlərinin qatılığı udulan doza artıqca artır. Bundan fərqli olaraq PXB (149+118) (2,3',4,4',5-pentaxlorbifenil + 2,2',3,4',5',6-heksaxlorbifenil), PXB - (153) (2,2',4,4',5,5'-heksaxlorbifenil), PXB - (138) (2,2',3,4,4',5'-heksaxlorbifenil), PXB-180 (2,2',3,4,4',5,5'-heptaxlorbifenil) PXB izomerlərinin qatılığı udulan dozadan asılı olaraq monoton azalır.

Göründüyü kimi, şüalanma müddətindən asılı olaraq qatılığın dəyişməsinin kinetik əyriləri aşağı dozalarda ( $t \sim 0,5 \cdot 10^5$  s) nisbətən qatılığın stabil qiymətləri ilə və sonrakı artımla monoxlorbifenil, PXB 52 və PXB 18  $t \sim 12 \cdot 10^5$  s maksimuma çatır və müvafiq olaraq (360 kGy),  $10 \cdot 10^5$  s (300 kGy) və  $5 \cdot 10^5$  s (150 kGy) qiymətlərini alır. Qeyd edilmiş PXB izomerlərinin tərkibində üç ya dörd xlor atomları var. Bu izomerlərdən fərqli olaraq PXB 101, 138, 180, 194 kimi nisbətən yüksək xlor tərkibli izomerlərin qatılıqları şüalanma müddəti artdıqca monoton azalır. Bu izomerlərin tərkibində 5-dən çox xlor atomu var. PXB izomerlərinin xlorsuzlaşdırılmasının son məhsulu olan bifenillərin əmələ gəlməsi induksiya periodu ilə baş verir. Bifenilin əmələ gəlməsinin intensiv prosesləri, şüalanma dozası (150 kGy) olduqca baş verir. Alınan nəticələr göstərir ki, PXB izomerlərinin xlorsuzlaşması mərhələlər üzrə baş verir. Əvvəlcə yüksək xlor tərkibli PXB izomerlərinin xlorsuzlaşması və az xlorlu PXB izomerlərin əmələ gəlməsi baş verir. Sonra şüalanma müddəti artdıqca əmələ gələn az xlor tərkibli PXB izomerləri həmçinin xlorsuzlaşır və bifenillər əmələ gəlir. Şüalanmanın əvvəlində müşahidə edilən PXB izomerlərinin qatılığının stabilliyi elektronların oksigen molekulları ilə tutulması ilə bağlıdır. PXB və oksigen molekulları tərəfindən elektronların sərf olunmasının nisbi sürətinin qiymətləndirilməsi göstərir ki, prosesin əvvəlində oksigen demək olar ki, tam olaraq elektronları tutur.

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{k_1[e][O_2]}{k_2[e][PXB]} = \frac{1,9 \cdot 10^{10} \cdot 4,5 \cdot 10^{-3}}{5 \cdot 10^8 \cdot 0,5 \cdot 10^{-2}} \approx 30,$$

burada  $\omega_1, k_1, \omega_2, k_2$  -  $O_2$  və PXB molekulları tərəfindən

elektronların tutulması reaksiyalarının sürətləri və sürət sabitləridir.

Oksigen tam sərf olunduqdan sonra elektronlar PXB molekulları ilə tutulur ki, bu da onların yenidən xlor-suzlaşmasına gətirir.

Kinetik əyrlərə əsasən müvafiq PXB izomerlərinin əmələ gəlməsi (PXB-18, 52, monoxlorbifenillər, bifenillər və Cl<sup>-</sup>) və parçalanmasının (PXB 101, 138, 180) radiasiya-kimyəvi çıxımları müəyyən edilmişdir (Cədvəl 14). ~600 kGy dozada PXB izomerləri tam istifadə olunur, yekun məhsullar kimi bifenillər və xlorid turşusu əmələ gəlir.

PXB-lərin parçalanma prosesinin ümumi radiasiya-kimyəvi çıxımı 2,7 molekul/100 eV təşkil edir ki, bu da təqribən bifenilin çıxımına bərabərdir. Xlorid turşusunun çıxımı bifenilin çıxımından çoxdur və bu xlor-suzlaşma prosesinin stexiometriyası ilə izah edilir.

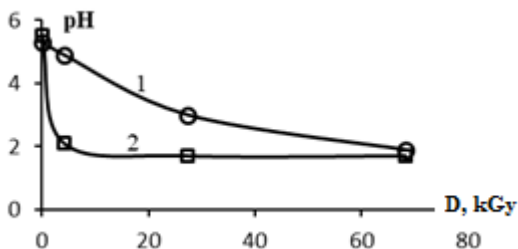
**Cədvəl 14**

**PXB 18, PXB 52, monoxlorbifenillər, bifenillər və Cl<sup>-</sup> əmələ gəlməsinin və PXB 101, 138, 180 parçalanmasının radiasiya-kimyəvi çıxımlarının hesablanmış qiymətləri**

	PXB-18	PXB-52	PXB-101	PXB-138	PXB-180	Mono-xlor-bifenil (PXB 1)	Bifenil	Cl <sub>m</sub>
G, molekul/100 eV	0,45	0,30	-0,76	-0,61	-0,15	0,45	2,1	5,1

**VII fəsildə** tərkibində TXB olan transformator yağının nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> –ün iştirakı ilə və iştirakı olmadan  $\gamma$ -şüalarının təsiri altında radiolizi zamanı dozadan asılı olaraq pH göstəricisinin dəyişməsi, CO<sub>2</sub> və H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-nin, H<sub>2</sub>-nin və karbohidrogen qazlarının (CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>, C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>, C<sub>5</sub>H<sub>12</sub>, C<sub>6</sub>H<sub>14</sub>, C<sub>7</sub>H<sub>16</sub>) yaranması kinetikasi öyrənilmişdir. Aşağıdakı 18 sayılı şəkildə pH göstəricisinin udulan dozadan asılılığı verilmişdir.

Yağın turşuluğu hər iki halda artır, lakin nano- $\gamma$ - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> iştirakı ilə turşuluğun daha güclü artması müəyyən edilmişdir. Bu halda turşuluğun stasionar qiyməti ~7 dəfə aşağı dozada, yəni, ~10 kGy-də alınır. Bundan başqa transformator yağında TXB-nin qatılığı artdıqca turşuluğun artım sürəti artır, bu isə TXB-nin yüksək qatılıqlarında onun xlor-suzlaşma sürətinin artması ilə əlaqədardır.



**Şəkil 18. Tərkibində 15 mq/kq TXB olan transformator yağının pH göstəricisinin udulan dozadan asılılığı. 1) transformator yağı 2) transformator yağı + 0,1 q nano- $\gamma$ - $Al_2O_3$ .**

Yuxarıda göstərilən sistemin şüalandırılması zamanı turşuluğun artmasının digər mümkün yolu transformator yağında həll olmuş əsas komponentlərin oksidləşməsidir.

TXB-lərin radiolitik çevrilməsi şüalandırılan sistemdə yüksək elektron sıxlığına malik transformator yağının radiolizi ilə əlaqədardır. Sistemə nano-zərrəcik əlavə olunduqda transformator yağının komponentlərinin parçalanma prosesi nano-zərrəciklərin səthində əmələ gələn qeyri-bərabər yükdaşıyıcıların - elektron və deşiklərin iştirakı ilə baş verir.

Transformator yağında həll olmuş oksigenin iştirakı ilə  $\gamma$ -şüaların təsiri altında karbon qazı və hidrogen peroksidin yaranması təcrübi olaraq tədqiq olunmuşdur.

Cədvəl 15-də tərkibində müxtəlif qatılıqlı TXB olan transformator yağı homogen sisteminin və tərkibində 5-40 mq/kq intervalında TXB olan transformator yağı + nano- $\gamma$ - $Al_2O_3$  kimi heterogen sistemin radiolizi zamanı əmələ gələn  $CO_2$  və  $H_2O_2$ -nin radiasiya-kimyəvi çıxımlarının qiymətləri verilmişdir.

**Cədvəl 15**

**TXB + transformator yağı və TXB + transformator yağı + nano- $\gamma$ - $Al_2O_3$  sistemlərinin radiolizi zamanı  $H_2O_2$  və  $CO_2$ -nin radiasiya kimyəvi çıxımları:**

TXB, mq/kq	G, molekul/100 eV			
	TXB+transformator yağı		TXB+transformator yağı+0,1q nano- $\gamma$ - $Al_2O_3$	
	$CO_2$	$H_2O_2$	$CO_2$	$H_2O_2$
5	1,78	4,7	1,26	3,55
15	1,39	5,4	0,66	4,11
40	1,18	6,0	0,47	5,42

Göründüyü kimi hər iki sistemdə TXB-nin ilkin qatılıqları

artdıqca CO<sub>2</sub>-nin radiasiya-kimyəvi çıxımı azalır, sistemdə nano-zərrəcik olduğu halda CO<sub>2</sub>-nin radiasiya-kimyəvi çıxımı daha çox azalır.

CO<sub>2</sub>-dən fərqli olaraq H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-nin radiasiya-kimyəvi çıxımının qiyməti sistemdə TXB-nin ilkin qatılığı artdıqca artır, lakin nano- $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> iştirakı ilə azalır.

Beləliklə, hər iki sistemdə (TXB + transformator yağı, TXB + transformator yağı + 0,1q nano- $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) TXB-nin ilkin qatılıqları artdıqca CO<sub>2</sub>-nin radiasiya-kimyəvi çıxımı azalır, sistemdə nano-zərrəcik olduğu halda CO<sub>2</sub>-nin radiasiya-kimyəvi çıxımı daha çox azalır.

CO<sub>2</sub>-dən fərqli olaraq H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-nin radiasiya-kimyəvi çıxımı TXB-nin ilkin qatılığı artdıqca artır, lakin nano- $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> iştirakı ilə azalır. Hər iki halda yağın turşuluğu artır, lakin nano- $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> iştirakı ilə turşuluq daha çox artır. Bu halda turşuluğun stasionar qiyməti 10 kGy dozada alınır, belə ki, bu ~7 dəfə az dozada stasionar hala çatır. Transformator yağında TXB-nin qatılığının artması ilə turşuluğun artma sürəti də artır, bu isə TXB-nin nisbətən böyük qatılıqlarında xloruzlaşma sürətinin artması ilə izah olunur. Cədvəl 16-də tədqiq olunan sistemin radiolizində hidrogenin radiasiya-kimyəvi çıxımının TXB-nin ilkin qatılığından asılılığı göstərilmişdir.

**Cədvəl 16**

**Tədqiq olunan sistemin radiolizində hidrogenin radiasiya-kimyəvi çıxımının TXB-nin ilkin qatılığından asılılığı**

TXB-nin qatılığı, mq/kq	G, molekul/100 eV	
	Transformator yağı	Transformator yağı +nano- $\gamma$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
5	0,39	1,25
15	0,42	1,10
40	0,43	0,99

Qarışıqda 40 mq/kq TXB olduqda, yəni transformator yağına TXB əlavə edildikdə hidrogenin radiasiya-kimyəvi çıxımı az miqdarda 0,37-dən 0,43 molekul/100 eV-a qədər artır. Sistemə nano- $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> əlavə edildikdə G(H<sub>2</sub>)-nin 1,25 molekul/100 eV-a qədər artması, TXB-nin qatılığının artması ilə G(H<sub>2</sub>)-nin azalması müşahidə olunur və 40 mq/kq TXB üçün G(H<sub>2</sub>) ~1molekul/100 eV-a bərabərdir.

Karbohidrogen qazlarının (CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>, C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>, C<sub>5</sub>H<sub>12</sub>, C<sub>6</sub>H<sub>14</sub>, C<sub>7</sub>H<sub>16</sub>) udulan dozadan asılı olaraq yaranma kinetikası

öyrənilmiş və qaz məhsullarının radiasiya-kimyəvi çıxımları cədvəl 17-də verilmişdir. Cədvəldən görüldüyü kimi TXB-nin qatılığı artdıqca metan, etan və propanın radiasiya-kimyəvi çıxımları azalır.

**Cədvəl 17**

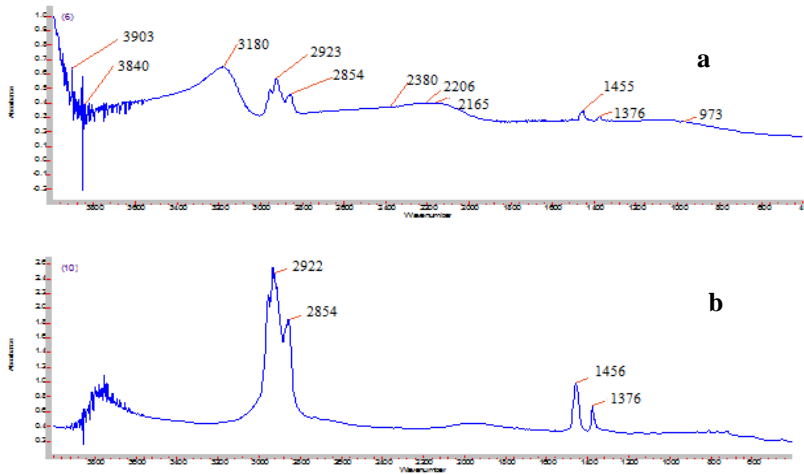
**Tədqiq olunan sistemin radiolizində karbohidrogen qazlarının radiasiya-kimyəvi çıxımının TXB-nin ilkin qatılığundan asılılığı**

TXB, mq/kq	G, molekul/100 eV, $10^{-3}$							
	CH <sub>4</sub>		C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>		C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>		C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	
	1	2	1	2	1	2	1	2
5	2,00	2,56	0,30	1,220	0,55	0,98	0,31	0,48
15	1,30	1,97	0,45	0,390	0,47	0,90	0,29	0,43
40	0,80	1,57	0,43	0,196	0,35	0,87	0,28	0,39

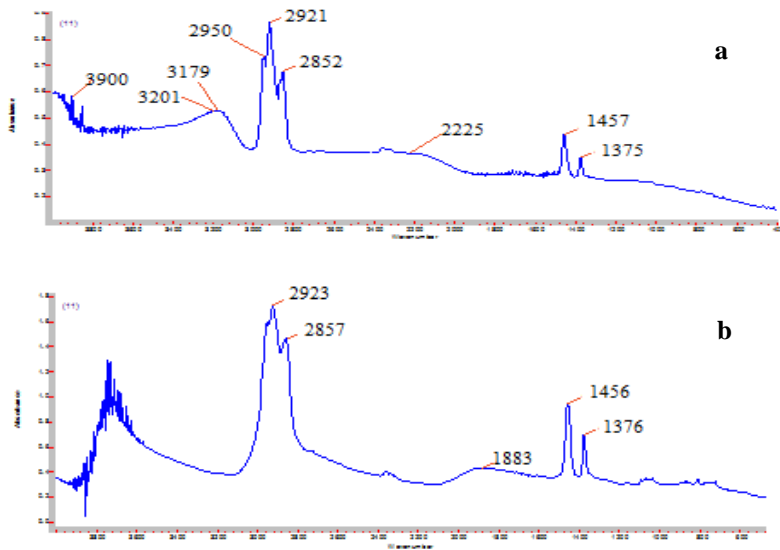
- 1) Transformator yağı + TXB
- 2) Transformator yağı + TXB + nano- $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Sistemə nano- $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> əlavə edildikdə metan, etan, propanın bütün hallarda radiasiya-kimyəvi çıxımları artır, lakin, TXB-nin ilkin qatılığının artması homogen sistemin radiolizində müşahidə olunduğu kimi onların radiasiya-kimyəvi çıxımının azalmasına gətirib çıxarır. Daha ağır karbohidrogenlərin radiasiya-kimyəvi çıxımlarının qiyməti  $\sim 10^{-4}$  molekul/100 eV-dan aşağıdır. TXB-lər transformator yağında yaxşı həll olduğu üçün onların qarışığı birfazlı olub və homogen sistemdir. Bu sistemlərdə gedən radiasiya-kimyəvi proseslər transformator yağının əsas komponentlərinin radiolizi zamanı əmələ gələn hər bir komponentin elektron sıxlığına müvafiq yaranan aktiv zərrəciklərlə davam etdirilir.

Alınan nəticələr göstərir ki, nano- $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> iştirakı ilə radiasiya-kimyəvi proseslərin sürəti artır. Nano- $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ün iştirakı ilə transformator yağı komponentlərinin çevrilmə dərəcəsi artır və hidrogenin, karbohidrogen qazlarının çıxımı artır. Şəkil 19 a-da tərkibində 15 mq/kq TXB olan şüalandırılmamış transformator yağının, 19 b-də həmin nümunəyə nano- $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> əlavə edildikdə alınan İQ spektrlər verilmişdir. Görüldüyü kimi spektrdə Abs<sub>max</sub> 3180, 2973, 2854, 2200, 1450, 1330 sm<sup>-1</sup> zolaqları müşahidə olunur.



**Şəkil 19. Tərkibində 15 mq/kq TXB olan şüalandırılmamış transformator yağının (a) və tərkibində 15 mq/kq TXB + transformator yağı+0,1q nano- $\gamma$ - $Al_2O_3$  İQ-spektrləri (b).**



**Şəkil 20. 68,4 kGy dozada şüalandırılmış və tərkibində 15 mq/kq TXB olan transformator yağının (a) və tərkibində 15 mq/kq TXB + transformator yağı + 0,1 q nano- $\gamma$ - $Al_2O_3$  İQ-spektrləri (b).**

Sistemə nano- $\gamma$ - $Al_2O_3$  əlavə etdikdə  $Abs_{max}=3180 \text{ sm}^{-1}$  geniş

zolaq itir, əvəzində digər zolaqlar üçün  $Abs_{max}$  4 dəfə artır. Bu isə səthdə onların qatılığının artmasına səbəb olan transformator yağı komponentlərinin adsorbsiyası ilə əlaqədardır.

Şəkil 20 a-da tərkibində 15 mq/kq TXB olan transformator yağı nümunələrinin 68,4 kGy udulma dozasında İQ-spektrləri verilmişdir. Şəkil 20 b-də verilən İQ-spektrlərdə transformator yağı +TXB+nano- $\gamma$ - $Al_2O_3$  qarışığının şüalandırılması zamanı  $Abs_{max}$  dəyişməsinin əks mənzərəsi müşahidə olunur.

Udulan dozadan asılı olaraq  $Abs_{max}$  dəyişmə kinetikasi cədvəl 18-də verilmişdir.

**Cədvəl 18**

**Müxtəlif udulma dozalarında şüalandırılan nümunələrin spektrlərində zolaqların  $Abs_{max}$  qiymətləri:**

**(1) 3180  $sm^{-1}$ ; (2) 2960-2947  $sm^{-1}$ ; (3) 2922-2924  $sm^{-1}$ ; (4) 2851-2857  $sm^{-1}$ ; (5) 1960-1883  $sm^{-1}$ ; (6) 1456  $sm^{-1}$ ; (7) 1376  $sm^{-1}$**

D, kGy	$Abs_{max}$ -un qiymətləri													
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
0	0,65	0	0,50	2,20	0,58	2,50	0,48	1,85	0,44	0,50	0,35	1,00	0,33	0,70
4,1	0,56	0	0,82	1,25	0,94	1,35	0,67	1,40	0,35	0,50	0,42	0,90	0,35	0,65
27,4	0,54	0	0,61	2,00	0,65	1,65	0,52	1,80	0,38	-	0,36	1,10	0,32	0,75
68,4	0,54	0	0,65	2,10	0,70	1,75	0,60	1,70	0,42	0,50	0,49	1,00	0,40	0,75

1) Transformator yağı + TXB

2) Transformator yağı + TXB+ nano- $\gamma$ -  $Al_2O_3$

Udulma zolaqlarının təyini [5] işinə uyğun aparılmışdır:

(1) 3180  $sm^{-1}$   $\equiv C-H$  aromatic birləşmələrdə valent rəqsləri;

(2) 2960-2947  $sm^{-1}$   $-CH_3$ ,  $-CH_2$ , valent rəqsləri;

(3) 2922-2924  $sm^{-1}$   $-CH_2$  valent rəqsləri;

(4) 2 851-2857  $sm^{-1}$  C-H alkanlarda valent rəqsləri;

(5) 1960-1883  $sm^{-1}$  C-H qeyri-müstəvi rəqsləri;

(6) 1456  $sm^{-1}$   $-CH_2$  valent rəqsləri;

Cədvəldən görüldüyü kimi tərkibində 15 mq/kq TXB olan transformator yağını şüalandırıqda 2, 3, 4 zolaqları üçün  $Abs_{max}$  4,1 kGy-yə qədər artır, dozanın sonrakı artımı  $Abs_{max}$  azalmasına gətirir və  $Abs_{max}$ -un stasionar qiyməti təyin olunur. Sistemə nano- $\gamma$ - $Al_2O_3$  əlavə edildikdə  $Abs_{max}$ -un udulan dozadan asılılığı antibat karakter daşıyır, 4,1 kGy dozada bu zolaq üçün  $Abs_{max}$ -un ən kiçik qiyməti

müşahidə olunur, başqa zolaqlar üçün  $Abs_{max}$  udulan dozadan asılı olaraq dəyişilmir. Aşağıdakı şəkillərdə tərkibində 5; 15 və 40 mq/kq TXB olan transformator yağının nano- $\gamma$ - $Al_2O_3$  iştirakı ilə radiolizi məhsullarının 4,1-68,4 kGy doza intervalında İQ spektrləri göstərilmişdir.

Tərkibində müxtəlif miqdarda PXB olan transformator yağının nano- $Al_2O_3$  –ün iştirakı ilə və iştirakı olmadan  $\gamma$ -şüalarının təsiri altında radiolizi zamanı dozadan asılı olaraq pH göstəricisinin dəyişməsi,  $CO_2$  və  $H_2O_2$ -nin,  $H_2$ -nin və karbohidrogen qazlarının ( $CH_4$ ,  $C_2H_4$ ,  $C_2H_6$ ,  $C_3H_8$ ,  $C_4H_{10}$ ,  $C_5H_{12}$ ,  $C_6H_{14}$ ,  $C_7H_{16}$ ) yaranması kinetikasi öyrənilmiş və nəticələr əsasında verilmişdir.

Tərkibində PXB izomerləri və homoloqları və 10% trixlorbenzol olan işlənmiş transformator yağından (“Sovtol-10”) istifadə edilmişdir. Bu yağ müxtəlif miqdarlarda götürülərək T-1500 təzə transformator yağına əlavə edilmişdir. Nümunələrin hazırlanması, şüalandırılması və məhsulların analiz metodikaları 7.1-ci fəsilə verilmişdir.

Müxtəlif dozalarda şüalandırılmış nümunələrin pH göstəricisinin qiymətləri cədvəl 19-da verilmişdir.

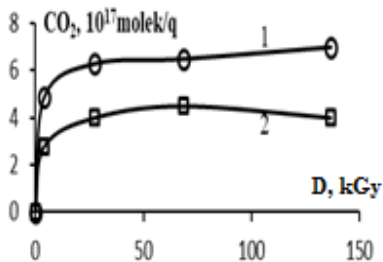
**Cədvəl 19**

**Tərkibində PXB və PXB+transformator yağı+0,1q nano- $\gamma$ - $Al_2O_3$  olan transformator yağının PXB-nin müxtəlif ilkin qatılıqlarında radiolizi zamanı pH göstəricisinin udulan dozadan asılılığı**

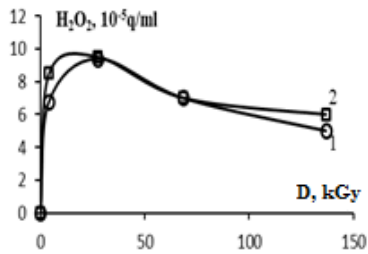
D, kGy	pH					
	PXB			PXB+0,1q nano- $\gamma$ - $Al_2O_3$		
	5 mq/kq	15 mq/kq	40 mq/kq	5 mq/kq	15 mq/kq	40 mq/kq
0	5,5	4,7	4,5	5,30	5,1	4,20
4,1	5,2	4,6	4,2	4,92	5,0	3,72
27,4	4,8	4,3	3,9	4,35	4,0	3,30
68,4	4,5	3,9	3,7	4,00	3,6	3,20
136,8	4,4	3,7	3,5	3,50	3,2	3,11
Çevrilmə dərəcəsi	20,0%	21,2%	22,2%	37,7%	37,2%	26,0%

Göründüyü kimi yağın turşuluğu hər iki halda artır, 1-ci halda (nano- $\gamma$ - $Al_2O_3$  iştirakı olmadan) turşuluğun artma dərəcəsi 20-22%, 2-ci halda (nano- $\gamma$ -  $Al_2O_3$  iştirakı ilə) qarışıqda PXB-nin müxtəlif qatılıqlarında turşuluq 26-38% intervalında dəyişir.

Hidrogen peroksidin və  $CO_2$ -nin əmələgəlmə kinetikasi Şəkil 21 və 22-də verilmişdir.



Şəkil 21. CO<sub>2</sub>-nin qatılığının udulan dozadan asılılığı. Tərkibində 15 mq/kq PXB olan 1) transformator yağı və 2) PXB + transformator yağı + 0,1 q nano- $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.



Şəkil 22. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-nin qatılığının udulan dozadan asılılığı. Tərkibində 15mq/kq PXB olan 1) transformator yağı və 2) PXB + transformator yağı + 0,1q nano- $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Göründüyü kimi udulan dozanın ~30 kGy qiymətinə qədər hidrogen peroksidin qatılığının kəskin artması, doza artdıqca isə azalması hidrogen peroksidin 2-cili reaksiyalarda iştirakı ilə əlaqədardır. Sistemdə CO<sub>2</sub>-nin əmələ gəlməsi kimi, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-nin yaranma sürəti də nano- $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ün iştirakı ilə azalır.

Cədvəl 20-də tərkibində müxtəlif qatılıqlı PXB olan transformator yağı kimi homogen sistemin və tərkibində 5-40 mq/kq intervalında PXB olan transformator yağı + nano- $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kimi heterogen sistemin radiolizi zamanı əmələ gələn CO<sub>2</sub> və H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-nin radiasiya-kimyəvi çıxımlarının qiymətləri verilmişdir.

Göründüyü kimi hər iki sistemdə PXB-nin ilkin qatılıqları artdıqca CO<sub>2</sub>-nin radiasiya-kimyəvi çıxımları azalır, sistemdə nano-zərrəcik olduğu halda CO<sub>2</sub>-nin radiasiya-kimyəvi çıxımı daha çox azalır. Beləliklə, hər iki sistemdə (PXB + transformator yağı, PXB + transformator yağı + 0,1q nano- $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) PXB-nin ilkin qatılıqları artdıqca CO<sub>2</sub>-nin radiasiya-kimyəvi çıxımı azalır, sistemdə nano-zərrəcik olduğu halda CO<sub>2</sub>-nin radiasiya-kimyəvi çıxımı daha çox azalır.

Cədvəl 20

PXB + transformator yağı və PXB + transformator yağı + nano- $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sistemlərinin radiolizi zamanı H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> və CO<sub>2</sub>-nin radiasiya kimyəvi çıxımları

PXB, mq/kq	G, molekul/100 eV	
	PXB + transformator yağı	PXB + transformator yağı + 0,1 q nano- $\gamma$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>

	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
5	1,1	3,9	4,9	4,1
15	1,9	4,7	1,1	5,9
40	2,3	5,9	0,8	6,9

CO<sub>2</sub>-dən fərqli olaraq H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-nin radiasiya-kimyəvi çıxımı sistemdə PXB-nin ilkin qatılığı artdıqca artır, lakin nano- $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> iştirakı ilə azalır. Hər iki halda yağın turşuluğu artır. Birinci halda nano- $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> iştirakı olmadan turşuluğun artma dərəcəsi 20-22%, 2-ci halda nano- $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> iştirakı ilə qarışıqda PXB-nin müxtəlif qatılıqlarında turşuluq 26-38% intervalında dəyişir. Spektroskopik tədqiqatlara əlavə olaraq hidrogen molekulunun yaranmasına nano- $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> təsirini aydınlaşdırmaq üçün tədqiq edilən sistemin radiolizi öyrənilmişdir.

Cədvəl 21-də tədqiq olunan sistemlərin radiolizində hidrogenin radiasiya-kimyəvi çıxımının PXB-nin ilkin qatılığından asılılığı verilmişdir.

**Cədvəl 21**

**PXB+ Transformator yağı və PXB+Transformator yağı +nano- $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sistemlərində hidrogenin radiasiya-kimyəvi çıxımının PXB-nin ilkin qatılığından asılılığı**

PXB-nin qatılığı, mq/kq	G(H <sub>2</sub> ), molekul/100 eV	
	Transformator yağı	Transformator yağı +nano- $\gamma$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
5	0,24	0,91
15	0,26	0,72
40	0,27	0,10

Qarışıqda 40 mq/kq PXB olduqda, yəni transformator yağına PXB əlavə edildikdə hidrogenin radiasiya-kimyəvi çıxımı az miqdarda 0,24-dən 0,27 molekul/100 eV-a qədər artır. Sistemə nano- $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> əlavə edildikdə G(H<sub>2</sub>)-nin 0,91 molekul/100 eV-a qədər artması, PXB-nin qatılığının artması ilə G(H<sub>2</sub>)-nin azalması müşahidə olunur və 40 mq/kq PXB üçün G(H<sub>2</sub>) ~0,1 molekul/100 eV-a bərabərdir.

Udulan dozadan asılı olaraq karbohidrogen qazlarının radiasiya-kimyəvi çıxımları cədvəl 22-də verilmişdir.

**Cədvəl 22**

**PXB+ Transformator yağı və PXB+Transformator yağı +nano- $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sistemlərinin radiolizində karbohidrogen qazlarının radiasiya-kimyəvi çıxımının PXB-nin ilkin qatılığından asılılığı**

PXB, mq/kq	G, molekul/100 eV, 10 <sup>-3</sup>			
	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>

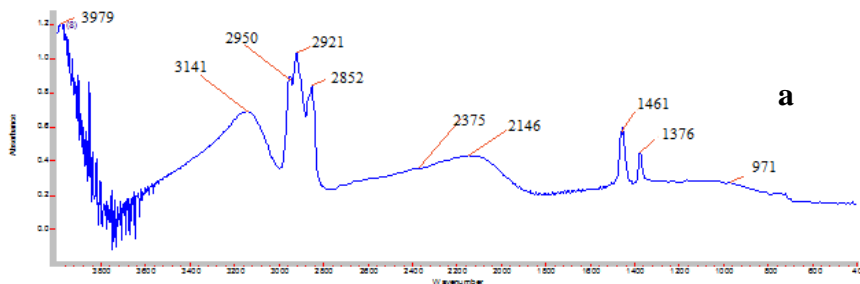
	1	2	1	2	1	2	1	2
5	0,47	1,20	0,29	0,50	0,190	0,35	0,04	0,35
15	0,44	1,10	0,15	0,45	0,105	0,24	0,08	0,32
40	0,51	0,81	0,20	0,40	0,124	0,15	0,12	0,28

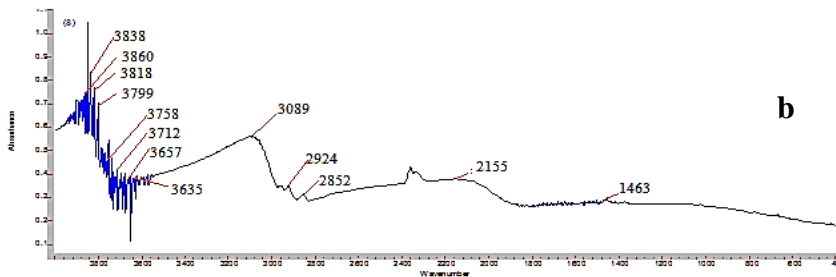
- 1) Transformator yağı + PXB
- 2) Transformator yağı + PXB + nano- $\gamma$ -  $Al_2O_3$

Cədvəldən görüldüyü kimi PXB-nin qatılığı artdıqca metan, etan və propanın radiasiya-kimyəvi çıxımları azalır. Sistemə nano- $\gamma$ - $Al_2O_3$  əlavə edildikdə metan, etan, propanın bütün hallarda radiasiya-kimyəvi çıxımları artır, lakin PXB-nin ilkin qatılığının artması homogen sistemin radiolizində müşahidə olunduğu kimi onların radiasiya-kimyəvi çıxımının azalmasına gətirib çıxarır. Daha ağır karbohidrogenlərin radiasiya-kimyəvi çıxımlarının qiyməti  $\sim 10^{-4}$  molekul/100eV-dan aşağı olur.

Şəkil 23 a-da tərkibində 15 mq/kq PXB olan şüalanmamış transformator yağının İQ-spektrləri verilmişdir. Görüldüyü kimi spektrdə  $Abs_{max}$  3180, 2973, 2854, 2200, 1450, 1330  $sm^{-1}$  zolaqları müşahidə olunur.

Sistemə nano- $\gamma$ - $Al_2O_3$  əlavə etdikdə  $Abs_{max}=3180$   $sm^{-1}$  geniş zolaq itir, əvəzində digər zolaqlar üçün  $Abs_{max}$  4 dəfə artır. Bu işə səthdə onların qatılığının artmasına səbəb olan transformator yağı komponentlərinin adsorbsiyası ilə əlaqədardır (şəkil 23 b). 3180  $sm^{-1}$  zolağının itməsinin səbəbi aydın deyil. Görüldüyü kimi birinci seriyə şüalandırılan nümunələrdə müşahidə olunan bütün zolaqların  $Abs_{max}$  artır.





**Şəkil 23. Tərkibində 15 mq/kq PXB olan şüalandırılmamış transformator yağının (a), tərkibində 15 mq/kq PXB + transformator yağı + 0,1q nano- $\gamma$ - $Al_2O_3$  (b) İQ-spektrləri.**

Tərkibində PXB olan transformator yağı + nano- $\gamma$ - $Al_2O_3$  sisteminin radioliz prosesinə suyun təsirinin öyrənilməsi üçün bu sistemin radiolizində pH,  $H_2O_2$ ,  $CO_2$  və OKT-nin dozadan asılılığı tədqiq edilmişdir (cədvəl 23).

**Cədvəl 23**

**Tərkibində 15 mq/kq PXB olan transformator yağı +su +0,1 q nano- $\gamma$ - $Al_2O_3$  sisteminin radiolizində pH göstəricisinin,  $H_2O_2$ -nin,  $CO_2$ -nin qatılığının, OKT-nin dozadan asılılığı**

D, kGy	PXB + 10 ml su +0,1 q nano- $\gamma$ - $Al_2O_3$ (15 mq/kq PXB)			
	pH	$H_2O_2 \cdot 10^{-5}$ , q/ml	$CO_2 \cdot 10^{17}$ molek/q	OKT, mqO/l
0	5,0	0	0	517
4,1	4,8	6,8	0,72	433
27,4	4,5	8,0	1,25	350
68,4	4,2	6,0	1,00	267
136,8	4,0	6,0	1,00	183

$H_2O_2$  və  $CO_2$ -nin hesablanmış radiasiya-kimyəvi çıxımları cədvəl 24-də verilmişdir.

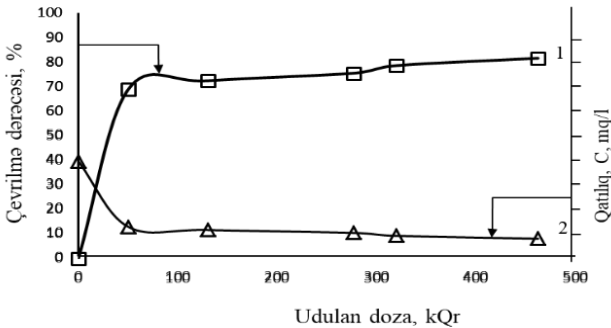
**Cədvəl 24**

**Tərkibində (5, 15, 40) mq/kq PXB olan transformator yağı + nano-  $\gamma$ - $Al_2O_3$  + su sisteminin radioliz prosesi zamanı əmələ gələn  $H_2O_2$  və  $CO_2$ -nin radiasiya-kimyəvi çıxımları**

N, mq/kq	G, molekul/100 eV	
	$H_2O_2$	$CO_2$
0	0,8	---
5	4,1	0,15
15	4,7	0,28
40	5,2	0,39

Cədvəldən göründüyü kimi, tərkibində (5, 15, 40) mq/kq PXB olan transformator yağı+ nano- $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  + su sisteminin radioliz prosesi zamanı PXB-nin ilkin qatılığı artdıqca  $\text{H}_2\text{O}_2$  və  $\text{CO}_2$ -nin radiasiya-kimyəvi çıxımları artır.

**VIII fəsil**də radiasiya-kimyəvi texnologiyaların xlorlu üzvi birləşmələrin zərərsizləşməsinə tətbiqi imkanlarının və transformator yağlarının PXB-lərdən və tullantı sularının xloroformdan təmizlənməsi üçün tələb olunan dozanın qiyməti və toksiklik dərəcəsi qiymətləndirilmişdir (şəkil 24).



**Şəkil 24.** PXB (0,25 ml) + heksan (8 ml)+ izopropil spirti (0,5 ml) sisteminin radiolizi zamanı KOH (0,1 q) iştirakı ilə aşağı qatılıqlı izomerlərin çevrilmə dərəcəsinin (əyri 1) və qatılığının (əyri 2) udulan dozadan asılı olaraq dəyişmə kinetikasi.

Yağların PXB-dən təmizlənməsi zamanı tələb olunan dozanın və toksiklik dərəcəsinin qiymətləndirilməsi PXB-lərin qatılığının və çevrilmə dərəcəsinin udulan dozadan asılılıqlarına əsasən aparılmışdır. Şəkil 24-də PXB (0,25 ml) + heksan (8 ml)+ izopropil spirti (0,5 ml) sisteminin radiolizi zamanı KOH (0,1 q) iştirakı ilə aşağı qatılıqlı izomerlərin çevrilmə dərəcəsinin (əyri 1) və qatılığının (əyri 2) udulan dozadan asılı olaraq dəyişmə kinetikasi verilmişdir.

Analoji asılılıqlar nisbətən yüksək qatılıqlı izomerlər üçün də öyrənilmişdir.

Qatılığın dəyişməsinin kinetik əyrisi aşağıdakı tənliklə ifadə olunur:

$$C = C_0 \exp\left(-\frac{kD}{I}\right),$$

burada:  $C_0$  – PXB ilkin qatılığı, mq/l;  $C$  – suda yol verilən qatılıq ( $10^{-3}$

<sup>3</sup> mq/l); I – dozanın gücü, Gy/s; k – PXB-nin parçalanmasının sürət sabiti, s<sup>-1</sup>; D - yol verilən qatılığa qədər PXB-nin parçalanması üçün dozanın qiyməti, kGy.

Bu tənlik aşağıdakı kimi də yazıla bilər:

$$D = \frac{I}{k} \ln \frac{C_0}{C}$$

I=0,30 Gy/s, C<sub>0</sub>= 40 mq/l, C= 10<sup>-3</sup> mq/l və k=0,4·10<sup>-5</sup> c<sup>-1</sup> olduqda alırıq

$$D=0,3 \cdot 10,7 / 0,4 \cdot 10^{-5} = 8 \cdot 10^5 \text{ Gy} = 800 \text{ kGy.}$$

Beləliklə, su mühitində izomer qatılığı 40 mq/l olduqda, PXB-194-ün yol verilən qatılığa qədər parçalanması üçün udulan dozanın qiyməti, 800 kGy təşkil edir.

Transformator yağının PXB-dən təmizlənməsi hallarında tərkibində 40 mq/l PXB olan ekoloji təhlükəsiz tullantıların qəbul edilən qiymətləri 2 ~3 mq/l təşkil edir. Bu halda yağların təmizlənməsi üçün tələb olunan doza: D=0,75·10<sup>5</sup>·2,57=193 kGy təşkil edir.

Alınan nəticələr məhsulların ekvivalent toksiki qatılıq qiymətlərinin (TEC – Toxic Equivalent Concentrations) fərdi PXB konqenerlərinin qatılıq qiymətlərinin toksiklik ekvivalenti faktorunun (TEF–Toxic Equivalent Factor) müvafiq qiymətlərinə vurulması yolu ilə qiymətləndirməyə imkan verir.

Şəkil 24-də verilənlərə əsasən müəyyən edilmişdir ki, bu sistemin radiolizi zamanı PXB izomerlərinin ümumi miqdarı 470 kGy dozada 21200 mq/l-dən 4321 mq/l qədər azalır. Bu TEC-in 212-43 mq/l azalmasına müvafiqdir, yəni ekvivalent toksik qatılığın qiymətlərinin 80% azalması müşahidə olunur.

Xloroformun sudan təmizlənməsi üçün analoji tənliklərdən istifadə etməklə xloroformun parçalanma sürətinin və qatılığının aşağıdakı qiymətləri halında yol verilən hədd qatılığına kimi təmizlənmə üçün tələb olunan udulma dozasının qiyməti üçün D = 34 kGy alırıq.

## ƏSAS NƏTİCƏLƏR

1. Müəyyən edilmişdir ki, metanın, benzolun və bifenillərin xlorlu birləşmələrinin suda və üzvi həlledicilərdə radiolizi zamanı paralel olaraq bu birləşmələrin radiolitik parçalanması, oksidləşməsi və xlorosuzlaşması prosesləri baş verir. Müxtəlif fiziki-kimyəvi

metodlarla uyğun prosesləri xarakterizə edən parametrlərin (ilkin qatılığın, OKT və pH göstəricilərinin, qaz və maye məhsullarının qatılığı, yaranan məhsulların UB və İQ spektrlərinin intensivlikləri) udulan dozadan asılı olaraq dəyişmə kinetikasi və proseslərin mexanizmi öyrənilmişdir. [1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 20, 23]

2. Xloroformun suda məhlulunun radiolizi zamanı onun zəncirvari parçalanmasının uyğun parametrləri təyin edilmiş və ilk dəfə olaraq 68 elementar reaksiyalar əsasında bu prosesin kinetikasi hesablanmışdır. Kinetik modelə əsasən prosesi xarakterizə edən parametrlərin qiymətləri hesablanmış və təcrübi qiymətləri arasında uyğunluq təklif edilən mexanizmin sistemin radioliz prosesinə adekvat olduğunu göstərir. [3, 4, 25, 29, 55]
3. İlk dəfə olaraq 1,2,4-trixlorbenzolun (TXB) su mühitində radioliz prosesini xarakterizə edən fiziki-kimyəvi parametrlərin (pH, OKT göstəriciləri, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> qatılıqları, UB spektrlərinin intensivliyi) dozadan asılı olaraq dəyişmə kinetikasi öyrənilmişdir. Alınmış nəticələr baxılan sistemin radiolizi zamanı paralel olaraq TXB-nin oksidləşməsi və xloruzlaşma prosesinin getdiyini göstərir. Analoji kinetik qanunauyğunluqlar PXB-lərin suda radiolizi zamanı da müşahidə olunmuşdur. Lakin bu halda baxılan sistemdə PXB-lərlə yanaşı transformator yağları da olduğundan radioliz prosesində OKT parametri doza artdıqca artır. [44, 48, 22, 30, 40, 35, 41, 49, 51]
4. İlk dəfə olaraq PXB-lərin və 1,2,4-trixlorbenzolun qamma şüalarının təsiri altında parçalanma proseslərinin kinetik qanunauyğunluqları tədqiq edilmiş və tədqiq olunan Sovtol-10 PXB tərkibli yağın radiolizi zamanı yaranan aşağı xlor tərkibli PXB birləşmələrinin radiasiya-kimyəvi çıxımları və PXB-lərin ümumi radiasiya-kimyəvi çıxımı müəyyən edilmişdir. [14, 17, 19, 34, 45, 46, 47, 52, 64]
5. PXB tərkibli yağların UB fotolizi zamanı çevrilmə proseslərini xarakterizə etmək üçün bu yağların fiziki-kimyəvi və elektrofiziki parametrlərinin şüalanma müddətindən asılılığı öyrənilmişdir. Göstərilmişdir ki, UB şüalanma nəticəsində yağın xüsusi müqaviməti xətti olaraq azalır. Elektrik keçiriciliyinin temperaturdan asılılığı öyrənilmiş və göstərilmişdir ki, şüalanma müddəti artdıqca elektrik keçiriciliyinin dəyişməsinin aktivləşmə enerjisi azalaraq 3,5 saat şüalanma müddətində ~1 kkal/mol təşkil edir. Yağın özüllüyü də şüalanma müddəti artdıqca azalır və 3,5

saat müddətində  $\sim 34,8$  mm<sup>2</sup>/san təşkil edir. Analoji asılılıqlar PXB-lərin  $\gamma$ -şüaların təsiri altında radiolizi zamanı da müşahidə olunur. [10, 21, 24, 28, 33, 38, 42, 54]

6. Müəyyən edilmişdir ki, PXB-lərin üzvi həlledicilərdə məhlullarının radiolizi zamanı PXB-lərin qatılığının dozadan asılı olaraq dəyişmə xarakteri PXB molekullarında xlor atomlarının sayı və yerləşməsi ilə müəyyən olunur. Bu asılılıq PXB-lərin üzvi həlledicilərdə məhlulunun radiolizi zamanı yüksək xlor tərkibli PXB-lərin radiolitik parçalanması nəticəsində nisbətən aşağı xlor tərkibli PXB-lərin yaranması ilə əlaqədardır. Müəyyən edilmişdir ki, KOH-ın PXB-lərin üzvi həlledicilərdə məhlullarına əlavə edilməsi PXB-lərin radiolitik çevrilmə prosesinin sürətinin artmasına gətirir. Müşahidə olunan asılılıq məhlulda KOH olduqda onun elektrolitik dissosiasiyası nəticəsində yaranan OH<sup>-</sup> ionlarının PXB-lərin parçalanma prosesində iştirak etməsi ilə əlaqədardır. İlk dəfə olaraq PXB yağı + heksan + izopropil spirti + KOH sisteminin radiolizi prosesinin kinetik modelləşdirilməsi aparılmış və PXB-lərin parçalanmasının, izopropil spirtinin, heksanın radioliz məhsullarının (H<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>-C<sub>12</sub>) radiasiya-kimyəvi çıxımları hesablanmış və ədəbiyyatda olan uyğun qiymətləri ilə müqayisə edilmiş və müşahidə olunan uyğunluq təklif olunan formal kinetik sxemin radioliz prosesinə adekvat olduğunu göstərir. [12, 13, 15, 16, 18, 31, 36, 39]
7. Trixlorbenzolun və polixlorbifenillərin transformator yağında radioliz prosesinə nano- $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ün təsiri müxtəlif fiziki kimyəvi metodlarla öyrənilmiş və göstərilmişdir ki, bu sistemlərə nano katalizator əlavə olunduqda oksidləşmə məhsulları olan CO<sub>2</sub> və H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-nin radiasiya-kimyəvi çıxımı azalır, destruksiya məhsulu olan qazların (H<sub>2</sub>, C<sub>1</sub>-C<sub>12</sub>) çıxımları isə artır. Xlorlu birləşmələrin ilkin qatılığı artdıqca H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> istisna olmaqla digər məhsulların çıxımları azalır. Baxılan doza intervalında (70 kGy-ə qədər) digər məhsullardan fərqli olaraq H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-nin yaranma kinetikasında maksimum müşahidə olunur (10-15 kGy). [56, 58, 60]
8. Radiasiya-kimyəvi texnologiyanın xlorlu üzvi birləşmələrin zərərsizləşməsinə tətbiqi imkanları təhlil edilmiş və ionlaşdırıcı şüaların təsiri nəticəsində toksiklik dərəcəsinin azalması müəyyən edilmişdir. Transformator yağının tərkibində  $\sim 40$  mq/l qatılıqlı

PXB olduqda onun yol verilən qatılığa ( $10^{-3}$  mq/l) qədər təmizlənməsi üçün tələb olunan dozanın qiyməti 800 kGy, suyun xloroformdan yol verilən həddə ( $6 \cdot 10^{-3}$  mq/l) qədər təmizlənməsi üçün 34 kGy udulma dozasının tələb olunduğu müəyyən edilmişdir. Alınmış nəticələr xlorlu üzvi birləşmələrin qatılığının kiçik qiymətlərində radiasiya-kimyəvi texnologiyanın mühitlərin bu toksiki komponentlərdən təmizlənməsi üçün perspektiv üsul olduğunu göstərir. [27, 37, 41, 43, 50, 53, 57, 59, 61, 62, 63, 65]

### **Dissertasiyanın nəticələri üzrə çap olunmuş elmi işlərin siyahısı**

1. Курбанов, М.А., Способ очистки метана от сероводорода, Авторское свидетельство №1632475, СССР / Мамедов Х.Ф., Мустафаев И.И., Искендерова З.И. – 1991.
2. Курбанов, М.А., Искендерова, З.И. Роль хлорных соединений во вторичном загрязнении атмосферы // Nəsrəddin Tusinin 800 illik yubileyinə həsr edilmiş Respublika Elmi konfransının Materialları, – Azərbaycan, Bakı: – 02-03 aprel, – 2001, - s.2.
3. Qurbanov, M.Ə., İskəndərova, Z.İ., Şəfiyeva, Ş.M. Hava mühitində xloroformun termiki çevrilmə prosesinin kinetikasi // “Ekologiya və Həyat Fəaliyyətinin Mühafizəsi” mövzusunda V Beynəlxalq elmi konfransın materialları, – Azərbaycan, Bakı: – 26-27 noyabr, – 2004.
4. Ahmedov, S.A., Gurbanov, M.A., Iskenderova, Z.I., Abdullayev, E.T., Ibadov, N.A. Radiation-chemical degradation of chloroform in water solutions // The fourth Eurasian conference "Nuclear Science and its Application", – Azerbaijan, Baku: – October 31-November 03, – 2006, – p.192 -193.
5. Qurbanov, M.Ə., Qurbanov, Ə.H., İskəndərova, Z.İ., Abdullayev, E.T., Şəfiyeva, Ş.M. Polixlorbifenilli yağların ionlaşdırıcı və ultrabənövşəyi şüaların təsiri ilə çevrilmə qanunauyğunluqlarının tədqiqatı // Abşeron yarımadasının Radioekoloji Durumuna neft-qaz istehsalının təsirinə həsr edilmiş konfrans materialları, – Azərbaycan, Bakı: – 05-07 dekabr, – 2007, – s. 23-24.
6. İskəndərova, Z.İ., Qurbanov, M.Ə., Şəfiyeva, Ş.M., Su mühitlərinin bioloji və kimyəvi təmizlənməsində yeni

- texnologiyalar // «Müasir dövr və Azərbaycanı ekoloji siyasət» mövzusunda elmi-nəzəri konfrans, – Azərbaycan, Bakı: – 21-22 dekabr, – 2007, – s. 111-112.
7. Gurbanov, M.A., Gurbanov, A.H., Abdullayev, E.T., Ahmadov, S.A., İskenderova, Z.İ., Aliyeva, S.H., Şefiyeva, Ş.M. Radiation-chemical processes in PCB oils and its water solutions // The Fifth Eurasian Conference on Nuclear Science and its Application, – Turkey, – 14-17 october, – 2008, – p. 188-189.
  8. Qurbanov, M.Ə., Qurbanov, Ə.H., İskəndərova, Z.İ., Şəfiyeva, Ş.M., Əliyeva, S.H. Tərkibində polixlorbifenil olan transformator yağlarının ionlaşdırıcı şüaların təsiri ilə radiolizi nəticəsində çevrilmə qanunauyğunluqlarının tədqiqi // Akademik M.F.Nağıyevin 100 illik yubileyinə həsr olunmuş elmi konfrans, – Azərbaycan, Bakı: – 10-11 noyabr, – 2008, – p. 302.
  9. Qurbanov, M.Ə., Qurbanov, Ə.H., İskəndərova, Z.İ. Radiasiya texnologiyasının energetikanın ekoloji məsələlərinin həllinə tətbiqi // Akademik Mahmud Kərimovun anadan olmasının 60 illiyinə həsr olunmuş beynəlxalq konfrans, – Azərbaycan, Bakı: – 10-12 dekabr, – 2008, – s. 24.
  10. Qurbanov, M.Ə., İskəndərova, Z.İ., Abdullayev, E.T., Qurbanov, Ə.H., Şəfiyeva, Ş.M., Balayev, V.S. Polixlorbifenilin sulu məhlullarının fotolizi və radiolizinin tədqiqi // VII Бакинская международная Мамедалиевская конференция по нефтехимии, посвященная 80-летию института нефтехимических процессов НАН Азербайджана, – Azərbaycan, Bakı: – 29 sentyabr-02 oktyabr, – 2009, – s. 102-103.
  11. Qurbanov, M.Ə., Qurbanov, Ə.H., Abdullayev, E.T., İskəndərova, Z.İ., Şəfiyeva, Ş.M., Əliyeva, S.H. İonlaşdırıcı şüaların təsiri ilə polixlorbifenilli yağların fiziki-kimyəvi xassələrinin öyrənilməsi // VII Бакинская международная Мамедалиевская конференция по нефтехимии, посвященная 80-летию института нефтехимических процессов НАН Азербайджана, – Azərbaycan, Bakı: – 29 sentyabr – 02 oktyabr, – 2009, – s. 100-101.
  12. Qurbanov, M.Ə., Qurbanov, Ə.H., İskəndərova, Z.İ., İbadov, N.Ə., Şəfiyeva, Ş.M. Polixlorbifenil-propil spirti sisteminin radiolizi zamanı polixlorbifenilin xloruzlaşdırılması prosesinin tədqiqi // Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Radiasiya

Problemləri İnstitutunun 40 illik yubileyinə həsr olunmuş Beynəlxalq konfrans, – Azərbaycan, Bakı: – 03-05 noyabr, – 2009, – s. 30-32.

13. Qurbanov, M.Ə. Polixlorbifenilli transformator yağlarının heksan və propil spirti iştirakı ilə radiolizi / M.Ə.Qurbanov, E.T.Abdullayev, Ə.H.Qurbanov [və b.] // Azərbaycan Kimya Jurnalı, – Bakı: – 2010. №3, – s. 75-78.
14. Qurbanov, M.Ə. Polixlorbifenilli (polixlorbifenil) yağların γ şüaların təsiri ilə çevrilmə qanunauyğunluqlarının tədqiqi / M.Ə.Qurbanov, Z.İ.İskəndərova, E.T.Abdullayev [və b.] // Kimya Problemləri, – Bakı: – 2010. №2, – s. 292-295.
15. Qurbanov, M.Ə., Abdullayev, E.T., Qurbanov, Ə.H., İbadov, N.Ə., İskəndərova, Z.İ. Polixlorbifenilli transformator yağlarının heksan və propil spirtinin iştirakı ilə radiolizi // RPİ-nin direktoru, AMEA-nın həqiqi üzvü, Əməkdar elm xadimi Adil Qəribovun 60 illik yubileyinə həsr olunmuş “Radiasiya və Ətraf Mühit” mövzusunda konfrans, – Azərbaycan, Bakı: – 01-02 iyun, – 2010, – s. 18-19.
16. Qurbanov, M.Ə., İskəndərova, Z.İ., Şəfiyeva, Ş.M., Əliyeva, S.H. Polixlorbifenilli yağların spirtli məhlulunun radioliz prosesinə KOH-ın təsiri // M.M.Məlikzadənin 100 illik yubileyinə həsr olunmuş “Nüvə enerjisinin dinc məqsədlərlə istifadəsi” mövzusunda beynəlxalq konfrans, – Azərbaycan, Bakı: – 08-10 noyabr, – 2010, – s. 60-61.
17. Qurbanov, M.Ə., Qurbanov, Ə.H., İskəndərova, Z.İ., Əliyeva, S.H., Şəfiyeva, Ş.M. Polixlorbifenilli yağların Radiasiya kimyəvi üsulla təmizlənməsi // Akademik T.H Şahtaxtiniskinin 85 illik yubileyinə həsr olunmuş Respublika Elmi konfransı, – Azərbaycan, Bakı: – 27-28 oktyabr, – 2011, – s. 216-217.
18. Qurbanov, M.Ə., Qurbanov, Ə.H., İskəndərova, Z.İ., Şəfiyeva, Ş.M., Əliyeva, S.H., Cavanşirova, Ə.Ə. Polixlorbifenilli transformator yağlarının kalim hidroksidin iştirakı ilə radiolizi // “Nüvə Enejisinin Dinc Məqsədlərlə İstifadəsi Perspektivləri” mövzusunda IV Beynəlxalq konfrans, – Azərbaycan, Bakı: – 23-25 noyabr, – 2011, – s. 115.
19. Qurbanov, M.Ə., İskəndərova, Z.İ., Qurbanov, Ə.H., Şəfiyeva, Ş.M., Abdullayev, E.T., Əliyeva, S.H. Polixlorbifenil tərkibli transformator yağlarının radiolizi // “Nüvə Enejisinin Dinc

- Məqsədlərlə İstifadəsi Perspektivləri” mövzusunda IV Beynəlxalq konfrans, – Azərbaycan, Bakı: – 23-25 noyabr, – 2011, – s. 116.
20. Gurbanov, M.A., Iskenderova, Z.I., Gurbanov, A.G., Abdullayev, E.T. Radiation technology application for cleaning of water from admixtures of phenol, PAC and PCBs // International Conference on Nuclear Science and its Application, – Uzbekistan, Tashkent: – September 25-28, – 2012, – p. 396-398.
  21. Qurbanov, M.Ə., İskəndərova, Z.İ., Şəfiyeva, S.M., Abdullayev, E.T., Cavanşirova, Ə.Ə. Hidrogenin polixlorbifenilli Yağların Fotokimyəvi Xlorsuzlaşma Prosesinə Təsiri / The V International Conference on Perspectives of Peaceful Use of Nuclear Energy, – Azerbaijan, Baku: – November 21-23, – 2012, – p. 125.
  22. Курбанов, М.А. Радиолит двухфазной системы полихлорбифенилы-вода / М.А. Курбанов, З.И.Искендерова, У.А.Гулиева, У.А. [и др.] // Химические Проблемы, – 2012. №2, – с. 292-296.
  23. Курбанов, М.А., Искендерова, З.И., Джамалов, П.Дж., Алиева, С.Г. Исследование фотохимического разложение ПХБ содержащего масла методом УФ спектроскопии // Akademik M.K.Kərimovun 65 illik yubileyinə həsr olunmuş “Radiasiya Tədqiqatları və onların praktiki aspektləri” mövzusunda VIII konfrans, – Azərbaycan, Bakı: – 20-21 noyabr, – 2013, – s. 144-145.
  24. Iskenderova, Z.I., Gurbanov, M.A. UV photolysis of cross PCB-s contaminated transformer oils / “Nüvə elmi və onun tətbiqi” mövzusunda 7-ci Avrasiya konfransı, - Azərbaycan, Bakı: –21-24 oktyabr, – 2014, – s.133-134.
  25. Алиева, Р.А., Шукурли, С.А., Искендерова, З.И., Аминбеков, А.С., Курбанов, М.А., Радиационно-химическая очистка воды от хлороформа / IV Всероссийская конференция с международным участием «Актуальные вопросы химической технологии и защиты окружающей среды» , – Россия, Москва: – 21-22 ноября, – 2014, – с. 39.
  26. Курбанов, М.А., Мамедов, С.Г., Кулиева, У.А., Искендерова, З.И. Газообразования в жидких радиоактивных отходах // 10-я международная конференция по теме «Ядерная и радиационная физика», – Казахстан, Алматы: – 08-11

- сентября, – 2015, – с. 47.
27. Qurbanov, M.Ə., İskəndərova, Z.İ., Hidayətov, B.H. Enerji sektorunda xlorlaşmış bifenillər (polixlorbifenil) problemi və əlaqədar risklər // FHN-in yaradılmasının 10 illik yubileyinə həsr olunmuş “Fövqəladə hallar və təhlükəsiz həyat” mövzusunda elmi-praktiki konfrans, – Azərbaycan, Bakı: – 09-11 sentyabr, – 2015.
  28. Jamalov, P.J. Comparative study of the radiolysis and photolysis of the ethanol solutions of polychlorinebiphenyls / P.J.Jamalov, E.T.Abdullayev, M.A.Gurbanov [et al.] // European Journal of Analytical and Applied Chemistry, – 2015. №2, – p. 49-53.
  29. Iskenderova, Z.I., Gurbanov, M.A. Kinetic regularities of radiolytic degradation of chloroform in water solutions // Journal of Radiation Researches, – 2015. 2(2), – p. 51-56.
  30. Искендерова, З.И., Джаванширова, А.А., Курбанов, М.А. Фотохимическая деградация полихлорбифенилов в водной среде // VIII международная научно-практическая конференция по теме «Наука в современном мире», – Украина, Киев: – 12-14 апреля, – 2016, – с. 13-17.
  31. Джаванширова, А.А., Искендерова, З.И., Курбанов, М.А., Абдуллаев, Э.Т. Влияние щелочи на процесс радиационно-химического дехлорирования полихлорбифенилов // 4-я международная научно-практической конференция по теме «Проблемы и перспективы современной науки», – Россия, Москва: – 10-12 ноября, – 2016, – с. 142-145.
  32. Искендерова, З.И., Джаванширова, А.А., Курбанов, М.А. Исследование фотолиза полихлорбифенил содержащего трансформаторного масла методом УФ спектроскопии // Журнал «Оптика и спектроскопия», – 2016. 120(5), – p. 877-879.
  33. Iskenderova, Z.I., Dvanshirova, A.A., Gurbanov, M.A. A study of photolysis of polychlorobiphenylcontaining transformer oil by UV spectroscopy // Journal of Optics and Spectroscopy, – 2016. 120(5), – p. 823-825.
  34. Джаванширова, А.А. Исследование радиолиза полихлорированных бифенилов под действием  $\gamma$ -излучения / А.А.Джаванширова, З.И.Искендерова, Э.Т.Абдуллаев [и др.]

- // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований, – 2016. №4, – с. 898-901.
35. Javanshirova, A.A. Iskenderova, Z.I., Gurbanov, M.A. Research of polychlorinated compounds in used transformer oil // Journal of Radiation Researches, – 2016. 3 (2), – p. 42-47.
36. Джаванширова, А.А. Особенности кинетики радиационно-химического дехлорирования ПХБ масла (Совтол-10) в присутствии органических растворителей / А.А.Джаванширова, З.И.Искендерова, Э.Т.Абдуллаев [и др.] // Журнал Фундаментальные Исследования, – 2017. 4 (2), – с. 242-246.
37. Искендерова, З.И., Джаванширова, А.А., Курбанов, М.А. Применение радиационно-химических технологий для очистки масел от хлорированных бифенилов // International Scientific Forum on Nuclear Science and Technologies dedicated to the 60th anniversary of the Institute of Nuclear physics, 11th International conference “Nucleus-2017”, 8th Eurasian Conference on “Nuclear Science and its Application”, – Kazakhstan, Almaty: – 12-15 September, – 2017, – с. 388.
38. Джаванширова, А.А. Влияние УФ-света и  $\gamma$ -излучения на физико-химические параметры обработанного технического трансформаторного «Совтол-10» и конденсаторного «Совол» масел / А.А.Джаванширова, З.И.Искендерова, Э.Т.Абдуллаев [и др.] // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований, – 2017. 5 (2), – с. 243-247.
39. Джаванширова, А.А. Численные моделирование радиационно-химических превращений полихлорированных бифенилов в растворе гексана, изопропилового спирта и щелочи КОН / А.А.Джаванширова, З.И.Искендерова, С.Г.Маммедов [и др.] // Бюллетень науки и практики (Bulletin of Science and Practice), – 2017. №4, – с. 22-29.
40. Искендерова, З.И., Курбанов, М.А. Радиационно-химическая деградация полихлорбифенилов в водной среде // Journal of Radiation Researches, – 2018. 5 (1), – p. 35-39.
41. Iskenderova, Z.I., Gurbanov, M.A. Changes of operating characteristics of transformer oil under ionizing radiation // 68-я

- международная конференция «Ядро 2018» по теме «Фундаментальные проблемы ядерной физики, атомной энергетики и ядерных технологий», – Россия, Москва: – 05-07 июня, – 2018, – с. 209.
42. Искендерова, З.И., Курбанов, М.А. Влияния гамма излучения на физико-химические параметры трансформаторного масла // International Conference on Energy of Futures “Challenges and opportunities” (ISEFCO 2018), – Азербайджан, Баку: – 10-13 октября, – 2018, – с. 97-99.
  43. Искендерова, З.И., Курбанов, М.А., Джаванширова, А.А. Оценка токсичности продуктов радиационной очистки трансформаторных масел от хлорированных дифенилов // Международная научно практическая конференция «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность-2018», – Россия, Москва: – 24-27 сентября, – 2018, – с. 485-488.
  44. Искендерова, З.И., Курбанов, М.А. Радиационно-химическая деградация 1,2,4-трихлорбензола в водной среде / IV Международная конференция «Актуальные и научные и научно-технические проблемы обеспечения химической безопасности (ASTICS-2018)», – Россия, Москва: – 17-18 октября, – 2018, – с. 101.
  45. Искендерова, З.И., Курбанов, М.А., Алиев, С.М. Закономерности радиоллиза трансформаторного масла в присутствии примесей трихлорбензола // Journal of Radiation Researches, – 2018. 5 (2), – p. 390-394.
  46. Искендерова, З.И., Курбанов, М.А. Исследование радиационной стойкости трансформаторного масла в поле ионизирующего излучения // Международный научно-исследовательский журнал «Евразийский Союз Ученых», – 2018. 56 (11), – с. 57-59.
  47. Iskenderova, Z.I., Gurbanov, M.A. Radiolysis of transformer oil in the presence of admixtures of polychlorinebiphenyl // International Journal of Modern Research in Engineering Management (IJMREM), – 2018. 1 (8), – p. 1-8.
  48. Искендерова, З.И., Курбанов, М.А. Радиационно-химическая деградация 1,2,4-трихлорбензола в водной среде // Химическая безопасность, технологии ликвидации источников

- химической опасности, – 2018. 2 (2), – с. 112-118.
49. Искендерова, З.И., Курбанов, М.А. Влияние примесей хлорированных бифенилов на радиоллиз трансформаторного масла // Журнал Химия высоких энергий, – 2019. 53 (2), – с. 123-126.
  50. Искендерова, З.И., Курбанов, М.А. Изменения эксплуатационных характеристик трансформаторного масла под действием ионизирующего излучения // Журнал Химия высоких энергий, – 2019. 53 (6), – с. 459-463.
  51. Iskenderova, Z.I. Study of radiation-chemical decomposition of transformer oil by the method of IR-spectroscopy // Journal of Radiation Researches, – 2019. 6 (1), – p. 47-52.
  52. Iskenderova, Z.I. A comparative study of the radiolysis of used transformer oil and oil containing 1,2,4-trichlorobenzene under the influence of gamma-radiation // Вопросы Атомной Науки и Техники, – 2019. 123 (5), – p. 191-195.
  53. Iskenderova, Z.I., Kurbanov, M.A. Effect of chlorinated biphenyl admixtures on transformer oil radiolysis // High Energy Chemistry, – 2019. 53 (2), – p. 132-135.
  54. Искендерова, З.И. Радиационные и фотохимические методы дехлорирования полихлорбифенилов (обзор) // Химическая безопасность, – 2019. №2, – с. 130-150.
  55. Iskenderova, Z.I., Kurbanov, M.A. Experimental study and kinetic modeling of chloroform decomposition in aqueous solutions under the action of  $\gamma$ -radiation // Russian Journal of Physical Chemistry A, – 2019. 93 (1), – p. 102-105.
  56. Iskenderova, Z.I. Radiolysis of transformer oil in presence of polychlorobiphenyl and nano- $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  // Journal of Radiation Researches, – 2019. 6 (2), – p. 73-79.
  57. Iskenderova, Z.I. Polychlorbiphenyls (PCB) problems and related risks in energy sector // International Scientific-practical Conference “Radiation and Chemical Safety Problems”, – Baku, Azerbaijan, – 05-06 November, – 2019, – p. 204-205.
  58. Искендерова, З.И. Влияние нано- $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  на радиоллиз трансформаторного масла, содержащего примесей полихлорбифенила // Физика и химия обработки материалов, – 2020. №1, – с. 20-25.

59. Искендерова, З.И. Традиционные методы очистки трансформаторных масел от хлорированных бифенилов (ПХБ) // Journal of Baku Engineering University, – 2019. 3 (2), – p. 122-135.
60. Искендерова, З.И. Радиолит трансформаторного масла в присутствии трихлорбензола и нано- $\gamma$ - $Al_2O_3$  // Физика и химия обработки материалов, – 2021. №2, – с. 80-85.
61. İskəndərova, Z.İ. İşğal olunmuş ərazilərdə xlorlaşmış bifenillər və ətraf mühitə təsir riskləri / AZMİU tərəfindən keçirilən “İşğal olunmuş ərazilərdə fəvqəladə hal riskləri” mövzusunda elmi-texniki konfrans, – Azərbaycan, Bakı: – 21 may, –2021, – s .67-68.
62. İskəndərova, Z.İ. İşğaldan azad olunmuş ərazilərdə energetik qurğulardakı xlorlaşmış bifenillərin ətraf mühitdə yaratdığı risklər // “İşğaldan azad olunmuş ərazilərdə radioloji və kimyəvi risklər” mövzusunda Respublika elmi-texniki konfransı, – Bakı: – 28-29 oktyabr, – 2022, – s. 71-72.
63. Iskenderova, Z.I. Methodics of technico-economical estimation of radiation technology application (review) // Azerbaijan Journal of Chemical News, – 2022. 4 (2), – p. 76-83.
64. İskəndərova, Z., Həsənova, R. Xlorlu aromatik birləşmələrin transformator yağının radiolitik oksidləşmə prosesinə təsiri // Ulu öndər Heydər Əliyevin anadan olmasının 100 illiyinə həsr olunmuş “Radiasiya texnologiyaları və onun tətbiqi” elmi-texniki konfransı, – Bakı: – 5 may, – 2023, – s.35-36.
65. Zeynalova F., İskəndərova, Z. Radioaktiv tullantılar və onların ətraf mühitə təsiri // “Elmi iş” beynəlxalq elmi jurnal, – 2024. 17 (10), – s. 88-93.



Dissertasiyanın müdafiəsi 26 Sentyabr 2024 il tarixində saat 14:00 Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyinin Radiasiya Problemləri İnstitutu nəzdində fəaliyyət göstərən BED 1.22 Dissertasiya Şurasının iclasında keçiriləcəkdir.

Ünvan: Bəxtiyar Vahabzadə küç. 9, AZ1143, Bakı, Azərbaycan.

Dissertasiya işi ilə Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyinin Radiasiya Problemləri İnstitutunun kitabxanasında tanış olmaq olar.

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyaları Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyinin Radiasiya Problemləri İnstitutunun rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir ([www.irp.science.az](http://www.irp.science.az)).

Avtoreferat 20 Avqust 2024 il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: \_\_\_\_\_.\_\_\_\_.2024

Kağız formatı: A5

Həcm: 94188

Tiraj: 100