

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

ABŞERON YARIMADASI ÜÇÜN XARAKTERİK BƏZİ CANLI SİSTEMLƏRDƏ MAQNİT XASSƏLƏRİNİN YARANMASINDA STRES AMİLLƏRİNİN TƏSİR MEXANİZMLƏRİ

İxtisas: 2406.01 – Biofizika

Elm sahəsi: Biologiya

İddiaçı: **Aygün Namiq qızı Nəsibova**

Elmlər doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün
təqdim edilmiş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

Bakı – 2024

Dissertasiya işi Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi
Radiasiya Problemləri İnstitutunda yerinə yetirilmişdir.

Elmi məsləhətçi: Fizika-riyaziyyat elmləri doktoru,
professor
Rövşən İbrahimxəlil oğlu Xəlilov

Rəsmi opponetlər: Biologiya elmləri doktoru, professor,
AMEA-nın müxbir üzvü
İbrahim Vahab oğlu Əzizov

Biologiya elmləri doktoru, professor,
AMEA-nın müxbir üzvü
Pənah Zülfüqar oğlu Muradov

Biologiya elmləri doktoru, professor
İradə Nurəddin qızı Əliyeva

Fizika-riyaziyyat elmləri doktoru,
professor
Əhməd Məhəmməd oğlu Hacıyev

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya
Komissiyasının Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi
Radiasiya Problemləri İnstitutunun nəzdində fəaliyyət göstərən
BED 3.11 Birdəfəlik Dissertasiya şurası.

Dissertasiya şurasının
sədri:

Fizika-riyaziyyat elmləri doktoru,
professor, AMEA-nın müxbir üzvü
Oktay Kazım oğlu Qasımov

Dissertasiya şurasının
elmi katibi:

Biologiya elmləri doktoru, dosent
Sevil Akif qızı Məmmədli

Elmi seminarın
sədri:

Biologiya elmləri doktoru, professor
Elimxan Süleyman oğlu Cəfərov

GİRİŞ

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi. Elmi-texniki tərəqqinin müasir mərhələsində fənlərarası tədqiqatların inkişafı yeni yüksək texnologiyalı yaxınlaşmaların köməyi ilə həyata keçirilən axtarışlarla xarakterizə olunur. Belə bir dövrdə Abşeron yarımadası üçün xarakterik təbii sistemlərin qorunması və inkişafı ilə əlaqədar onların tədqiqinə yönələn müasir və perspektivli elmi-tədqiqat işlərinin aparılması, onların biofiziki və ekoloji tədqiqi tarixi zərurətdən doğan məsələlərdəndir.

Abşeron yarımadası özünün canlı və cansız sistemlərdən ibarət təbii varlıqları ilə zəngindir. Təəssüf ki, radioaktiv çirklənmə, ağır metallar, müxtəlif zəhərli sənaye və kimyəvi istehsalat tullantıları, həmçinin başqa antropogen amillərin güclənməsi təbiətin müxtəlif komponentlərinə öz mənfi təsirini göstərir. Bu amillərin təsiri ilə stratosferin çirklənməsi baş verir ki, bu da ozon təbəqəsinin azalmasına və Yer səthinə düşən ultrabənövşəyi (UB) şüaların, xüsusilə də onun B diapazonunun (280-320 nm) intensivliyinin güclənməsinə səbəb olur¹.

Eyni zamanda ətraf mühitin radioekoloji amillərlə çirklənməsi canlı aləmin sağlamlığını təhlükə altına qoyur və onun inkişafına inhibirləşdirici təsir göstərir. Stres amillərin təbii sistemlərə zədələyici təsiri ilə əlaqədar onlarda baş verən dəyişikliklər intensiv öyrənilməkdədir. Abşeron yarımadası üçün xarakterik canlı sistemlərin müxtəlif stres amillərinin (qamma radiasiya, radioaktiv çirklənmə, UB-şüalanma və s.) təsirinə məruz qalması ilə əlaqədar olaraq, bu amillərin təsir mexanizmlərinin öyrənilməsi mühüm və aktualdır. Belə stres amillərin canlı sistemlərə təsiri onlarda müxtəlif toksiki maddələrin, oksigenin fəal formalarının (OFF), o cümlədən sərbəst radikalların yaranmasına səbəb olur.

Abşeron yarımadasının müxtəlif stres amillərinin təsirinə məruz qalan canlı sistemlərində yaranan struktur-funksional dəyişiklikləri, yeni fiziki-kimyəvi xassələri öyrənmək aktual məsələlərdəndir. Aydınır ki, bu sahədə irəliləyiş, elmi nailiyyət əsasən tədqiqatın tamlığından asılıdır.

¹ Nasibova, A.N., Achmedov, I.S., Khalilov, R.I. The effect of UV-B radiation on the thylakoid membranes of chloroplasts of higher plants // – Bulgaria. Proceedings of the University of Rousse, – 2009. – p. 171-177.

Müasir dövrümüzdə qədər canlı aləmə müxtəlif stres amillərinin təsirinin öyrənilməsi istiqamətində müəyyən işlər görülmüşdür. Lakin Abşeron yarımadası üçün xarakterik canlı sistemlərdə stres amillərinin təsiri zamanı yaranan paramaqnetizm hadisələri öyrənilməmişdir. Stres amillərinin təsiri nəticəsində canlı sistemlərdə baş verən struktur-funksional dəyişikliklər və yeni fiziki-kimyəvi xassələr tədqiq edilməmiş, yaranan yeni hadisələrin mexanizmləri verilməmişdir. Bu hadisələrin öyrənilməsi üçün əsas tədqiqat üsullarından biri Elektron Paramaqnit Rezonans (EPR) spektroskopiyası metodudur. Bu metod maddənin maqnit sahəsi ilə qarşılıqlı təsirinə əsaslanır. EPR metodu paramaqnit mərkəzlər haqqında zəngin informasiyalar verir ki, onun köməyi ilə də canlı sistemlərdə stresin təsiri ilə yaranan struktur-funksional dəyişikliklər və yeni fiziki-kimyəvi xassələr aşkar oluna bilər, təbii sistemlərin çirklənmə dərəcələrinin qiymətləndirilməsi və ətraf mühitin biomonitorinqi həyata keçirilə bilər. Eyni zamanda EPR metodu bioloji sistemlərdə maqnit nanohissəciklərinin formalaşmasının detektə olunması üçün çox perspektivli bir üsuldür ki, bu da biofiziki və biotibbi tədqiqatlar üçün yeni məlumatlar verir.

Son illər aparılan tədqiqatlar göstərir ki, bakteriyalardan tutmuş insanlara qədər canlı materiya biominerallaşma nəticəsində yaranan təbii dəmir oksidi maqnit nanohissəciklərindən ibarətdir. Məlumdur ki, canlı və cansız təbiətdə ən çox yayılan maqnit nanohissəcikləri maqnetit (Fe_3O_4) və magemitdir ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$). Biogen nanofazalı bu maqnit strukturlar mühüm fizioloji rola malikdir. Belə ki, onlar Yer in maqnit sahəsində oriyentasiyanı təmin edirlər, həmçinin müəyyən patologiyaların biomarkeri ola bilərlər ².

Maqnit nanohissəciklərinin biominerallaşması – genetik nəzarət olunan biokimyəvi prosesdir və bu prosesdə canlı orqanizmlərdə mükəmməl ferromaqnit kristallar əmələ gəlir ³.

Bu baxımdan stres amillərinin canlı sistemlərdə paramaqnit

² Gubin, S.P. Magnetic nanoparticles: preparation, structure and properties / S.P. Gubin, Y.A. Koksharov, G.B. Khomutov [et al.] // Russian Chemical Reviews, – 2005. 74 (6), – p. 489-520.

³ Khomutov, G.B. Nanocomposite biomimetic vesicles based on interfacial complexes of polyelectrolytes and colloid magnetic nanoparticles / G.B. Khomutov, V.P. Kim, Y.A. Koksharov [et.al] // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, – 2017. V.532, – p. 26-35.

mərkəzlərə təsirini öyrənmək, bununla da biominerallaşma hadisəsi nəticəsində onlarda dəmir oksidi maqnit nanohissəciklərinin biogen yolla yaranmasını araşdırmaq və yeni maqnit xassələrinin yaranma mexanizmini tədqiq etmək çox mühümdür.

Beləliklə, stres amillərin canlı sistemlərdə yarada biləcəyi yeni xassələrin, struktur-funksional dəyişikliklərin öyrənilməsi, onların molekulyar mexanizmlərinin aydınlaşdırılması böyük aktualıq kəsb edir.

Müasir dövrdə müxtəlif (fiziki, kimyəvi, bioloji) üsullar ilə nanohissəciklərin sintezi həyata keçirilir. İnsan fəaliyyətinin demək olar ki, bütün sahələrində, xüsusilə tibdə, ətraf mühitin qorunmasında, sənayenin bir çox sahələrində onlar tətbiq olunurlar. Ən çox tətbiqinə ehtiyac duyulan nanohissəciklərdən dəmir oksidi maqnit nanohissəciklərini (maqnetit- Fe_3O_4 və magemit- $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$) göstərmək olar. Bu nanohissəciklər müxtəlif bioloji sistemlərdə, o cümlədən birhüceyrəli orqanizmlərdə, bitkilərdə, balıqlarda, həşəratlarda, quşlarda, heyvanlarda və s. sistemlərdə biogen yolla yarana bilirlər. Canlı sistemlərdə biogen dəmir oksidi maqnit nanohissəciklərinin formalaşmasının EPR spektroskopiyası metodu ilə tədqiqi onların yaranmasını və rolunu dərinlənən anlamağa imkan verir. Müasir dövrdə maqnit nanohissəcikləri, həmçinin onların əsasında funksional nanosistemlər özlərinin unikal fiziki-kimyəvi xassələrinə, “kvant ölçü effektlərinə” görə bir sıra fundamental və tətbiqi elm sahələrində mühüm tədqiqat obyektidirlər.

Bu baxımdan, stres amillərin təsiri zamanı Abşeron yarımadası üçün xarakterik canlı sistemlərdə paramaqnetizm hadisələrinin öyrənilməsi fundamental nöqteyi-nəzərdən çox əhəmiyyətlidir. Onun köməyi ilə təbii sistemlərin çirklənmə dərəcələrinin qiymətləndirilməsi və ətraf mühitin biomonitorinqinin həyata keçirilməsi, canlı sistemlərdə stresin təsiri ilə yaranan struktur-funksional dəyişikliklərin aşkar olunması mümkündür və alınan nəticələr müasir biofizika və biotibb sahəsində tətbiq oluna bilər. Dəmir oksidi maqnit nanohissəciklərinin biogenliyi və bununla əlaqədar olaraq da onların toksikiliyinin az olması müasir biofiziki və biotibbi tədqiqatlar üçün çox önəmlidir.

Bunları nəzərə alaraq, Abşeron yarımadası üçün xarakterik bəzi canlı sistemlərə stres amillərinin təsiri tədqiq edilmiş, sahə tədqiqatları və laboratoriya təcrübələri əsasında biofiziki və biotibbi tətbiq nöqteyi-nəzərindən, ətraf mühitin ekoloji vəziyyətinin qiymətləndirilməsi

baxımından mühüm və zəruri nəticələr əldə edilmişdir. Bununla əlaqədar olaraq stres amillərin təsiri nəticəsində Abşeron yarımadasında geniş yayılmış müxtəlif növ ağac və kol bitkilərində, model sistem kimi laboratoriya şəraitində cücrədilən bəzi bitki nümunələrində, eyni zamanda bəzi heyvan orqanizmlərində yaranan paramaqnit mərkəzlərin tədqiqi, morfoloji, struktur-funksional dəyişikliklərin və yaranan yeni maqnit xassələrinin öyrənilməsi dissertasiya işinin həyata keçirilməsini zəruri etmişdir.

Tədqiqatın obyektı və predmeti: Dissertasiya işi yerinə yetirilərkən bitki nümunələri ilə *in vivo* və *in vitro* tədqiqatları aparılmışdır. Abşeron yarımadasında geniş yayılmış bir çox ağac və kol bitkiləri əsas tədqiqat obyektləri olmuşlar. Bunlara aiddir: Ramana qəsəbəsində (hal-hazırda fəaliyyət göstərməyən Yod zavodu ərazisi) dominantlıq təşkil edən dəvətikanı (*Alhagi pseudalhagi* L.), həlməl (*Zygophyllum fabago* L.), razyana (*Foeniculum vulgare* M.), qamış (*Scirpus lacustris* L.), cığ (*Juncus Acutus* L.), iydə (*Elaeagnus angustifolia* L.) bitkilərinin yarpaq, gövdə, toxum və toxum qabıqları; Abşeron yarımadasında geniş yayılmış qiymətli ağac növlərindən olan zeytun (*Olea europea* L.), əncir (*Ficus carica* L.), eldar şamı (*Pinus eldarica* M.), nar (*Punica granatum* L.) yarpaqları; dekorativ bitkilər olan tubulqa (*Pyracantha coccinea*), arıçubuğu (*Ligustrum* L.) bitkilərinin yarpaqları və s.

Abşeron yarımadasında geniş yayılmış müxtəlif növ bitkilər ilə yanaşı laboratoriya şəraitində model sistem kimi buğda (*Triticum* L.), qarğıdalı (*Zea mays* L.), noxud (*Cicer arietinum* L.) toxumlarının cücrətiləri tədqiq edilmişdir. Model sistem kimi eyni zamanda bəzi su bitkiləri: su limnofilas (*Limnophila aquatica*) və elodea (*Elodea canadensis*) öyrənilmişdir.

Aparılan tədqiqatlarda alınan yeni nəticələrin ümumiliyini, aşkar olunan yeni hadisənin universallığını göstərmək üçün təcrübələr ispanaq (*Spinacia* L.) yarpaqlarından izolə edilmiş xloroplastlar və bəzi heyvan orqanizmləri ilə davam etdirilmişdir. Bu təcrübələrdə tədqiqat obyektı olaraq Abşeron yarımadasının müxtəlif ərazilərindən (Akademiya bağı, Hövsan bağları və Günəşli qəsəbəsi) toplanmış çanaqlı üzüm ilbizləri (*Helix pomatia*) və model sistem kimi laboratoriya siçovulları (*Wistar Albino*) seçilmişdir. Tədqiqatın predmeti Abşeron yarımadası üçün

xarakterik canlı sistemlərdə stres amillərin təsiri zamanı paramaqnit mərkəzlərin öyrənilməsindən ibarətdir. Eyni zamanda biominerallaşma hadisəsi nəticəsində canlı sistemlərdə yaranan yeni maqnit xassələrinin əmələ gəlməsində stres amillərin rolunun göstərilməsi də tədqiqat işinin əsas predmeti olmuşdur.

Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri: Tədqiqatın əsas məqsədi Abşeron yarımadası üçün xarakterik canlı sistemlərdə (müxtəlif növ ağac və kol bitkiləri, ali su bitkiləri, xloroplastlar, bəzi heyvan orqanizmləri və s.) paramaqnit mərkəzləri araşdırmaq, maqnit sahəsinin geniş intervalında sistemli olaraq stres amillərin (ionlaşdırıcı qamma radiasiya, radioaktiv çirklənmə, UB- şüalanma və s.) təsiri ilə onlarda yaranan yeni maqnit xassələrini tədqiq etmək və bu hadisələrin molekulyar mexanizmini aydınlaşdırmaqdan ibarətdir. Bununla bağlı dissertasiya işində aşağıdakı vəzifələr qarşıya qoyulmuşdur:

- stres amillərinin Abşeron yarımadasında geniş yayılmış müxtəlif növ ağac və kol bitkilərinə (yarpaq, gövdə, toxum, toxum qabığı) təsirinin tədqiqi;

- Abşeron yarımadasında müxtəlif stres amillərin təsirinə məruz qalmış bəzi bitki növlərində maqnit xassələrinin yaranması mexanizmlərinin araşdırılması;

- Laboratoriya şəraitində model sistem kimi fotosintezin C3 və C4 bitkilərinə stres amillərin təsirinin öyrənilməsi və alınan nəticələrin mexanizminin verilməsi;

- Bəzi ali su bitkilərində (*Limnophila aquatica*, *Elodea canadensis*) dəmir oksidi maqnit nanohissəciklərinin nəqlinin və paramaqnit mərkəzlərin tədqiqi;

- *In vitro* tədqiqatlarında stres zamanı biominerallaşma hadisəsi nəticəsində maqnit xassələrinin yaranma mexanizminin araşdırılması;

- Qamma radiasiyanın bəzi heyvan orqanizmlərində yaratdığı paramaqnit mərkəzlərin və yaranan yeni maqnit xassələrinin tədqiqi;

- Ümumilikdə stres amillərin təsiri ilə canlı sistemlərdə biominerallaşma hadisəsi nəticəsində biogen dəmir oksidi maqnit nanohissəciklərinin yaranma mexanizmlərinin verilməsi.

Tədqiqat metodları. Nümunələrin qamma radiasiya ilə şüalandırılması “RXUND-20000”, “URİ” və “MRX-γ25” qurğularında, UB-B radiasiya ilə şüalandırılması xətti şüalanma spektrinə malik olan

DRT-230 civə-kvars lampasında aparılmışdır. Tədqiqat ərazilərində radiasiya fonu MKC-AT 1125 dozimetr-radiometrinin köməyi ilə müəyyən edilmişdir. Xloroplastların izolə edilməsi standart metodikaya əsaslanaraq aparılmışdır⁴. EPR tədqiqatları 3 sm diapazonlu “BRUKER - EMX” (Almaniya) və “VARIAN E-4” (ABŞ) spektrometrlərində yerinə yetirilmişdir. Mikroskopiya üsullarından Skanedici Elektron Mikroskopu (SEM, ZEİSS) və Keçirici Elektron Mikroskopu (KEM, JEM-1400-Yaponiya) tədqiqat metodları olmuşdur. CANBERRA qamma spektrometrində tədqiqat nümunələrinin radionuklid tərkibi müəyyən edilmiş və onların xüsusi aktivlikləri təyin olunmuşdur.

Tədqiqatın elmi yeniliyi. Təqdim olunan dissertasiya işində ilk dəfə olaraq:

- Abşeron yarımadası üçün xarakterik olan canlı sistemlərə - müxtəlif növ bitki və heyvan orqanizmlərinə stres amillərinin təsirinə EPR metodu ilə öyrənmə zamanı maqnit sahəsinin geniş intervalında geniş EPR siqnalı ($g \approx 2,2-2,4$; $\Delta H = 320-450$ Qs) müşahidə edilmişdir.

- Müəyyən edilmişdir ki, radioaktiv çirklənmə bitkilərinin yarpaq və toxumlarında xarakterik geniş EPR siqnalının ($g = 2,32$; $\Delta H = 320$ Qs) yaranmasına səbəb olur və yaranan siqnalın intensivliyi yarpaq nümunələrində toxumlara nəzərən daha intensivdir. Radiasiya dozasının artması ilə yaranan siqnalların intensivliklərinin yüksəlməsi aşkar edilmişdir.

- Stres amillərinin təsiri ilə canlı sistemlərdə yaranan xarakterik geniş EPR siqnalının dəmir oksidi maqnit nanohissəciklərini xarakterizə etdiyi müəyyən edilmişdir. Aşkar edilmişdir ki, stres zamanı biominerallaşma hadisəsi nəticəsində canlı sistemlərdə biogen kristallik dəmir oksidi maqnit nanohissəcikləri generasiya olunur.

- *In vitro* tədqiqatları zamanı aşkar edilmişdir ki, stres amillərinin təsiri ilə tilakoid membranlarının zədələnməsi nəticəsində elektron nəqliyyat zəncirinin (ENZ) müəyyən lokuslarında dəmir ionları reduksiya olunaraq dəmir oksidi maqnit nanohissəciklərinə çevrilir. Alınan nəticələr mikroskopik tədqiqatlarda təsdiq edilmişdir.

- Əncir (*Ficus carica* L.) yarpaqlarından alınan EPR siqnallarının

⁴ Гавриленко, В.Ф., Ладыгина, М.Е., Хандобина Л.М. Лабораторное руководство по физиологии растений // Высшая школа, – Москва: –1975.

temperaturdan asılılığı (260K-60K) tədqiq olunarkən müəyyən edilmişdir ki, detektə olunan EPR siqnalının amplitudu və paramaqrnit rezonans xəttinin eni parametrlərinin davranışında 120-125 K temperaturda maqrnit nanohissəcikləri (maqrnitit- Fe_3O_4 və maqrnit- $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) üçün xarakterik Vervey faza keçidi yaranır.

- Stres amillərin fotosintezin C3 və C4 bitkilərinin morfoloji xüsusiyyətlərinə təsirinin tədqiqi göstərmişdir ki, bu amillər müəyyən dozaya qədər C3 bitkilərinin böyüməsinə stimullaşdırıcı, C4 bitkilərinə isə ləngidici təsir göstərir. Aşkar olunan qanunauyğunluğun C3 bitkilərində OFF-nın yaranmasını qarşısını alaraq müdafiə funksiyasını yerinə yetirən fototənəffüs prosesinin işə düşməsi ilə əlaqəli olduğu müəyyən edilmişdir.

- EPR üsulu ilə müəyyən edilmişdir ki, nar (*Punica granatum L.*) ekstraktı reduksiyaedici xüsusiyyətlərə malikdir. Göstərilmişdir ki, müəyyən qatılıqlarda Fe^{3+} ionları nar ekstraktında nanofazalı dəmir oksidi hissəciklərinin generasiyasına səbəb ola bilər.

- Qamma radiasiyanın və UB-şüalanmanın çanaqlı üzüm ilbizlərinə təsiri EPR üsulu ilə öyrənilmişdir. Şüalanmanın dozasından asılı olaraq onların çanaq və bədən hissələrindən alınan sərbəst radikal və dəmir oksidi maqrnit nanohissəciklərini xarakterizə edən geniş EPR siqnallarının parametrləri və davranışları öyrənilmişdir. Alınan qanunauyğunluqların mexanizmlərinin əsasları verilmişdir.

- EPR üsulu ilə ilk dəfə müəyyən edilmişdir ki, qamma radiasiyanın təsiri ilə siçovulların qaraciyər orqanlarında kristallik dəmir əsaslı maqrnit nanohissəciklərinin biogenerasiyası baş verir. Yaranan maqrnit nanohissəciklərini KEM ilə vizual olaraq görmək mümkün olmuşdur.

- İlk dəfə olaraq EPR üsulu ilə aşkar edilmişdir ki, stres amillərin təsiri nəticəsində canlı sistemlərdə biominerallaşma hadisəsi nəticəsində biogen kristallik dəmir oksidi maqrnit nanohissəcikləri və maqrnit xassələri yaranır. Bu hadisənin mexanizmi verilmişdir. Alınan yeni hadisə müxtəlif metodlarla öz təsdiqini tapmışdır.

Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti. EPR üsulu ilə aparılan tədqiqatların nəticələri biofiziki, biotibbi və ekoloji tədqiqatlarda mühüm informasiya mənbəyidirlər. Alınan nəticələr tibbdə diaqnostika və terapiya məqsədləri ilə istifadədə mühüm əhəmiyyət kəsb edirlər. Tədqiqatlar

zamanı canlı orqanizmlərin otaq temperaturunda qeydə alınan EPR spektrlərinin parametrləri ekoloji tədqiqatlarda bioindikasiya parametrləri kimi istifadə oluna bilər. Stres amillərin çanaqlı üzüm ilbizlərinə təsirini öyrənən zaman alınan nəticələr deməyə əsas verir ki, çanaqlı üzüm ilbizlərindən ətraf mühitin ekoloji vəziyyətinin qiymətləndirilməsində bioindikator kimi istifadə etmək olar. Laboratoriya siçovulları ilə aparılan təcrübələrdə alınan nəticələrin müasir biofiziki, biotibbi tədqiqatlarda tətbiqi çox əhəmiyyətlidir. Nəticələr radiasiya təhlükəsizliyinin elmi əsaslarının işlənilməsi və hazırlanmasında da praktiki əhəmiyyətə malikdirlər. Dissertasiyanın nəticələri Azərbaycan Elm Fondu və UETM – in dəstəklədiyi qrant layihələrinin hazırlanmasında və yerinə yetirilməsində istifadə edilmişdir.

Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar.

➤ Radioaktiv çirklənmə bitkilərin müxtəlif orqanlarında geniş EPR siqnalının ($g \approx 2,2-2,4$; $\Delta H \approx 320-450$ Qs) yaranmasına səbəb olur. Radiasiya fonunun yüksəlməsi daha çox yeni paramaqnit mərkəzlərin əmələ gəlməsini şərtləndirir.

➤ Stres amillərin müəyyən dozaya qədər C3 bitkilərinə təsiri zamanı stimullaşdırıcı effektin üzə çıxması fototənəffüs prosesinin işə düşməsi və OFF-nın yaranmasının qarşısını alaraq müdafiə funksiyasını yerinə yetirməsi ilə əlaqədar ola bilər.

➤ *In vitro* tədqiqatlarında ali bitki yarpaqlarından ayrılan xloroplastlarda dəmir oksidi maqnit nanohissəciklərinin yaranmasını xarakterizə edən geniş EPR siqnalları ($g=2,4$; $\Delta H=320$ Qs) detektə edilir.

➤ Müxtəlif növ çay yarpaqlarında paramaqnit mərkəzlərin öyrənilməsi əsasında onların yüksək antioksidant aktivliyə malik olduğunun göstərilməsi. EPR spektrlərinə əsasən antioksidant aktivliyin təzə çay yarpağı nümunələrində qablaşdırılmış çay nümunələrindən daha yüksək olmasının müəyyən edilməsi.

➤ Radiasiya dozasından asılı olaraq çanaqlı üzüm ilbizlərinin bədən və çanaq hissələrindən alınan EPR siqnallarının dəyişmə xüsusiyyətlərində aşkar olunmuş qanunauyğunluq bu canlı orqanizmlərdən ətraf mühitin ekoloji vəziyyətinin qiymətləndirilməsində bioindikator kimi istifadə edilməsinə imkan verir.

➤ Laboratoriya siçovulları ilə aparılan tədqiqatlar əsasında qamma

radiasiyanın təsiri ilə onların qaraciyər orqanlarında dəmir oksidi maqnit nanohissəciklərinin yaranmasının EPR üsulu ilə aşkar edilməsi və KEM vasitəsilə təsdiqi.

➤ Abşeron yarımadasının bəzi neft yataqlarından çıxarılan biogen mənşəli neft nümunələrində maqnit nanohissəciklərinin mövcudluğunun müəyyən edilməsi və bunun üstünlükləri.

➤ Stres amillərin təsiri zamanı canlı sistemlərdə biominerallaşma hadisəsi nəticəsində biogen kristal dəmir oksidi maqnit nanohissəciklərinin generasiyası və yeni maqnit xassələrinin yaranması.

İşin aprobeiasyası. Dissertasiyanın mövzusu üzrə tədqiqatların nəticələri müxtəlif respublika və beynəlxalq elmi konfranslarda və simpoziumlarda müzakirə edilmişdir: Nüvə enerjisinin dinc məqsədlərlə istifadəsi perspektivləri. III Beynəlxalq konfrans (Bakı, 2010); International conference. “Photosynthesis Research for Sustainability” (Baku, 2011); Nüvə enerjisinin dinc məqsədlərlə istifadəsi perspektivləri. IV Beynəlxalq konfrans (Bakı 2011); Международная Конференция РАН, Радиобиологическое общество. «Медико-биологические проблемы действия радиации» (Москва, 2012); International Scientific Conference. Soils of Azerbaijan: genesis, geography, melioration, rational use and ecology (Baku-Qabala, 2012); The V International conference. Perspectives of Peaceful Use of Nuclear Energy. ANAS, IRP (Baku, 2012); “Radiasiya tədqiqatları və onların praktiki aspektləri” VIII konfrans, Akademik M.K.Kərimovun 65 illik yubileyinə həsr olunur. AMEA Radiasiya Problemləri İnstitutu (Bakı, 2013); XII International Conference on Nanostructured Materials (Nano-2014) (Moscow, 2014); VII съезд по радиационным исследованиям. (Москва, 2014); The seventh Eurasian Conference Nuclear Science and its Application. (Baku-Azerbaijan, 2014); VII Съезд Российского фотобиологического общества. Пушино-2014; The 22th International Conference. Mathematics. Computing. Education (Puschino-Russia, 2015); 3-rd International Conference on Integrative Biology (Valencia-Spain, 2015); XXIII международная конференция «Математика. Компьютер. Образование». Биофизика сложных систем. (Москва, 2016); XXIV международная конференция «Математика. Компьютер. Образование» (Пушино, 2017); International Conference Modern Trends in Physics. BSU (Baku, 2017); International Conference

on Biological, Environmental Sciences Applications (Luxor-Egypt, 2017); XXVI International Conference. "Mathematics. Computer. Education" (Puschino, 2019); First Eurasian Conference on Nanotechnology. Nanotech Eurasia. Khazar University (Baku, 2019); XXVII International Conference "Mathematics. Computing. Education" (Dubna, 2020); Koronavirus pandemiyası: elmi tədqiqatlardan sağlam gələcəyin təminatına doğru mövzusunda Beynəlxalq Konfrans (Bakı, 2020); XIX International Scientific and Practical Conference - Applied and fundamental scientific research. (Brussels-Belgium, online, 2021); International Scientific and Practical "Problems of modern science and practice" (Boston-USA, online, 2021); International Conference. Modern Problems of Nuclear Energetics and Nuclear Technologies (Tashkent-Uzbekistan, online, 2021); VII International Conference "Modern Trends in Physics" BSU (Baku, 2021); XXIX International Conference. "Mathematics. Computing. Education" (Moscow, Online, 2022); The XVIII International Scientific and Practical Conference "Advancing in Research, Practice and Education" (Florence-Italy, online, 2022); III International Scientific and Practical Conference "Theoretical Aspects of Education Development" (Warsaw, Poland, 2023); International Scientific and Practical Conference "Scientific Directions of Research in Educational Activity" (Osaka, Japan, 2023); VII Congress of Biophysicists of Russia (Krasnodar, 2023). Dissertasiya üzrə alınan nəticələr həmçinin Radiasiya Problemləri İnstitutu və Bakı Dövlət Universitetinin seminarlarında müzakirə edilmişdir.

Nəşrlər. Dissertasiya işinin əsas məzmunu dünyanın yüksək reytingli elmi jurnallarında nəşr edilmiş 43 məqalə və 24 tezis, ölkədaxili elmi jurnallarda 16 məqalə və 18 tezis, 1 monoqrafiyada öz əksini tapmışdır. Dissertasiya işinin əsas nəticələri 59 məqalə, 42 tezis, 1 monoqrafiya olmaqla ümumilikdə 102 elmi əsərdə dərc edilmişdir.

Dissertasiyanın strukturu və həcmi. Dissertasiya işi giriş, 5 fəsil, yekun, əsas nəticələr, 241 sayda ədəbiyyat siyahısı, əlavələr, ixtisarlardan və şərti işarələrin siyahısı daxil olmaqla 365 səhifədən, 478957 işarədən (Giriş – 20594 işarə, I fəsil – 134462 işarə, II fəsil – 32865 işarə, III fəsil – 154472 işarə, IV fəsil – 56619 işarə, V fəsil – 11259 işarə) ibarətdir. Həmçinin, dissertasiya işi 10 cədvəl, 181 şəkil ilə zənginləşdirilmişdir.

DİSSERTASIYANIN ƏSAS MƏZMUNU

Dissertasiya işinin GİRİŞ hissəsində mövzunun aktuallığı, tədqiqatın obyektı və predmeti, məqsəd və vəzifələri, tədqiqat metodları, müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar, alınan elmi yeniliklər şərh edilmiş, tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti, işin aprobeasiyası təqdim edilmişdir. Burada həmçinin dissertasiya mövzusunə uyğun dərc olunmuş elmi işlər haqqında məlumat verilmişdir.

I FƏSİL ƏDƏBİYYAT İCMALI

Ədəbiyyat icmalında dissertasiyanın mövzusunə uyğun müxtəlif istiqamətlərdə aparılmış elmi tədqiqat işlərinin nəticələri geniş şərh edilmişdir. Burada müxtəlif stres amillərinin (ionlaşdırıcı qamma radiasiya, radioaktiv çirklənmə və ultrabənövşəyi (UB) şüalar) canlı orqanizmlərə təsirinin tədqiqi zamanı alınan nəticələrin⁵, EPR spektroskopiyası üsulu ilə canlı sistemlərin araşdırılmasının nəticələrinin geniş icmalı təhlil olunmuşdur^{6,7}. Biominerallaşma hadisəsinin mahiyyəti bu fəsildə ətraflı şərh edilmiş, canlı sistemlərdə maqnit nanohissəcikləri, onların əhəmiyyəti, dərmanların ünvanlı çatdırılmasında və başqa sahələrdə istifadəsinin xülasəsi verilmişdir^{8,9}. Bu fəsildə həmçinin, bəzi heyvan orqanizmlərinə stres amillərinin təsir

⁵ Gudkov, S.V. Effect of ionizing radiation on physiological and molecular processes in plants / M. Grinberg, V.S. Sukhov, V.A. Vodeneev // *Journal of Environmental Radioactivity*, – 2019. №202, – p. 8-24.

⁶ Блюменфельд, Л.А., Тихонов, А.Н. Электронный Парамагнитный Резонанс // *Соросовский Образовательный Журнал*, – 1997. №9, – с.91-99.

⁷ Тихонов, А.Н. Электронный Парамагнитный Резонанс в Биологии // *Соросовский Образовательный Журнал*, – 1997. №11, – с. 8-15.

⁸ Nudelman, F. In vitro models of collagen biomineralization / F. Nudelman, A.J.Lausch, N.A.Sommerdijk [et al.] // *Journal of Structural Biology*, – 2013. 183 (2), – p. 258-269.

⁹ Gubin, S.P. Magnetic nanoparticles: preparation, structure and properties / S.P. Gubin, Y.A. Koksharov, G.B. Khomutov [et al.] // *Russian Chemical Reviews*, – 2005. 74 (6), – p. 489-520.

effektləri ilə bağlı aparılan tədqiqat işlərinin şərhə öz əksini tapmışdır^{10,11}.

II FƏSİL MATERİALLAR VƏ TƏDQİQAT METODLARI

Tədqiqat işlərində əsasən Abşeronun Ramana qəsəbəsi, Yod zavodu ərazisində (hal-hazırda fəaliyyət göstərmir) dominantlıq təşkil edən bitkilər (iydə (*Elaeagnus angustifolia* L.), qamış (*Scirpus lacustris* L.), cığ (*Juncus Acutus* L.), dəvətikanı (*Alhagi pseudalhagi* L.), həlməl (*Zygophyllum fabago* L.), razyana (*Foeniculum vulgare* M.)), onların yarpaq, gövdə, toxum və toxum qabıqları öyrənilmişdir.

Bundan başqa Abşeron yarımadası üçün xarakterik bəzi ağac və kol bitkiləri: zeytun (*Olea europea* L.), əncir (*Ficus carica* L.), eldar şamı (*Pinus eldarica* M.), tubulqa (*Pyracantha coccinea*), arıçubuğu (*Ligustrum* L.), nar (*Punica Granatum* L.) yarpaqları, laboratoriya şəraitində fotosintezin C3 və C4 tiplərinə aid olan uyğun olaraq buğda (*Triticum* L.) və qarğıdalı (*Zea mays* L.) toxumlarının cücərtiləri və bəzi ali su bitkiləri: su limnofilas (*Limnophila aquatica*), elodea (*Elodea canadensis*) tədqiq edilmişlər.

Stres təsir zamanı canlı sistemlərdə aşkar etdiyimiz yeni hadisənin –maqnit xassələrinin yaranması hadisəsinin ümumiliyini və universallığını göstərmək üçün canlı sistem olaraq ispanaq (*Spinacia* L.) yarpaqlarından izolə edilmiş xloroplastlar və bəzi heyvan orqanizmləri: çanaqlı üzüm ilbizləri (*Helix pomatia*) və laboratoriya siçovulları (*Wistar Albino*) ilə təcrübələr davam etdirilmişdir.

Tədqiqat obyektlərinin qamma-radiasiya ilə şüalandırılması “RXUND–20000” (doza gücü (D) = 2.722–0.249 Rad/san), “URİ” (D = 9.965 – 6.781 Rad/san) və “MRX-γ25” (D = 136,165 – 100,453 Rad/san) qurğularında aparılmışdır. Şüa mənbəyi ⁶⁰Co izotopu

¹⁰ McDermott, M. Advancing Discovery of Snail Mucins Function and Application / M. McDermott, A.R. Cerullo, J.Parziale [et al.] // Frontiers in Bioengineering and Biotechnology, – 2021. № 9, – p. 1-12.

¹¹ Parkinson, C. Diagnostic necropsy and selected tissue and sample collection in rats and mice / C.M. Parkinson, A. O'Brien, T. M. Albers [et al.] // Journal of Visualized Experiment, – 2011. 54, – p. 2-7.

olmuşdur. Şüalandırma zamanı tədqiqat obyektlərinin letal və yarımletal dozaları nəzərə alınmışdır. Bundan başqa, tədqiqat nümunələri xətti şüalanma spektrinə malik olan DRT – 230 civə-kvars lampalarından istifadə edilməklə UB–B şüaları ilə də şüalandırılmışlar. Təcrübələrdə ekoloji UB şüaları (290-360 nm) almaq üçün UFS – 2 filtrindən istifadə olunmuşdur.

Sahə təcrübələri zamanı ərazilərdə radiasiya fonunun təyini üçün geniş funksional imkanlara malik yüksək həssas cihaz MKC-AT 1125 (Belarus) dozimetr – radiometri istifadə edilmişdir.

Xloroplastların ayrılması bir neçə mərhələ üzrə aparılmışdır və bütün mərhələlər kifayət qədər funksional fəal preparat almaq üçün bir qayda olaraq 0-4°C temperaturda davam etdirilmişdir. Standart metodikaya əsaslanaraq izolə edilmiş xloroplastlar alınmış və aşağıdakı tərkibdə hazırlanan məhluldan istifadə olunmuşdur: 0,05 M tris-HCl buferində 0,35 M NaCl, pH=8.00.

Stres amillərin canlı sistemlərə təsiri zamanı onlarda yaranan yeni paramaqnit mərkəzlər EPR spektroskopiyası metodu ilə öyrənilmişdir. EPR spektrləri 3 sm diapazonlu “VARIAN E-4” (ABŞ) və “BRUKER - EMX” (Almaniya) spektrometrlərində qeydə alınblar. Tədqiqatlar zamanı bir qayda olaraq intakt yarpaqlarda və izolə edilmiş xloroplastlarda EPR spektrləri ifrat yüksək tezliyi (İYT) – 10 mVt gücündə, yüksək tezlikli modulyasiya 0,2-0,4 mT amplitudunda qeyd edilmişdir. Tədqiq olunan bioloji sistemlər SEM və KEM ilə də öyrəniliblər. Nümunələrin radionuklid tərkibi CANBERRA gamma spektrometrində müəyyən edilmiş və onların xüsusi aktivlikləri təyin olunmuşdur.

III FƏSİL

MÜXTƏLİF STRES AMİLLƏRİNİN TƏSİRİ ZAMANI BİTKİLƏRDƏ YARANAN PARAMAQNİT MƏRKƏZLƏRİN TƏDQIQI

Müxtəlif stres amillərinin ətraf mühitə təsirinin güclənməsi onun bütün komponentlərinə - canlı və cansız varlıqlarına mənfi təsir göstərir və nəticədə canlı sistemlərin yaşama şəraitinin keyfiyyəti xeyli aşağı düşür. Canlı və cansız təbiət ağır metallar, radioaktiv

çirklənmə, UB-radiasiya, müxtəlif zəhərli sənaye tullantıları kimi müxtəlif stres amillərin təsirinə məruz qalırlar. Belə stres amillərin təsiri canlı sistemlərdə OFF-nın, müxtəlif toksiki maddələrin yaranmasına səbəb olur¹².

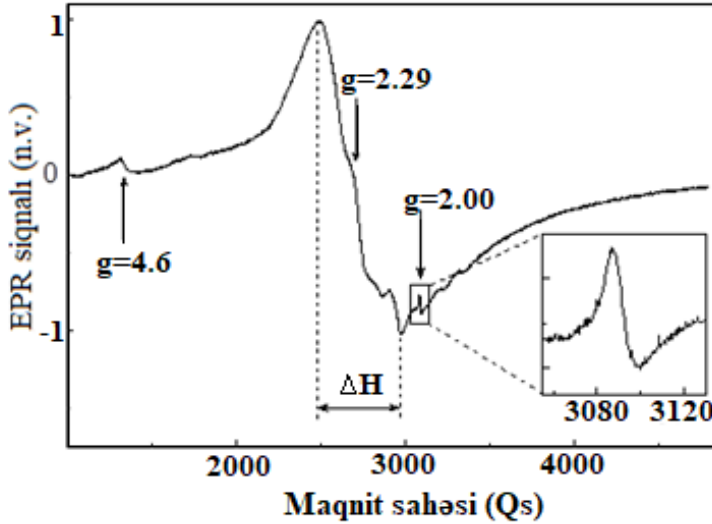
Stres amillərin canlı sistemlərdə yarada biləcəkləri struktur-funksional dəyişikliklərin, yeni fiziki-kimyəvi xassələrin yaranma mexanizmini öyrənmək üçün onlarda paramaqnit mərkəzlər tədqiq edilmişdir.

3.1. Radiasiya fonu müxtəlif olan ərazilərdə bitən bitkilərin yarpaq, gövdə, toxum və toxum qabıqlarının EPR siqnallarının müqayisəli tədqiqi. Abşeron yarımadasının müxtəlif ərazilərində bitən bitkilərdə stres zamanı paramaqnit mərkəzləri tədqiq etmək üçün ilkin tədqiqat ərazisi Ramana qəsəbəsi Yod zavodu ərazisi seçilmişdir.

Həmin dövrdə bu ərazidə radiasiya fonu təqribən 4-800 mkR/saat aralığında dəyişirdi. Ona görə də bu ərazidən təbii laboratoriya kəni istifadə edilmişdir. (Qeyd edək ki, hal-hazırda zavod fəaliyyət göstərmir, bu ərazi təmizlənib və tamamilə təhlükəsizdir). Burada dominantlıq təşkil edən iydə (*Elaeagnus angustifolia* L.), qamış (*Scirpus lacustris* L.), cığ (*Juncus Acutus* L.), dəvətikanı (*Alhagi pseudalhagi* L.), həlməl (*Zygophyllum fabago* L.), razyana (*Foeniculum vulgare* M.) bitkiləri kontrol (ekspozisiya dozasının gücü (EDG) 4-10 mkR/saat) və radioaktiv çirklənmiş (EDG = 12-800 mkR/saat) ərazilərdən yığılmış, onların müxtəlif orqanları EPR metodu ilə müqayisəli şəkildə öyrənilmişdir.

Şəkil 1-də radioaktiv çirklənmiş ərazidən (EDG=140 mkR/saat) yığılmış, otaq temperaturunda qurudulmuş iydə bitkisinin yarpaqlarının maqnit sahəsinin geniş intervalında (1000-5000 Qs) EPR spektri verilmişdir. Bu spektrdə dəmir ionlarının siqnalı ($g=4,6$) və ensiz sərbəst radikal siqnalı ($g=2,0023$; $\Delta H=9Qs$) müşahidə olunur. Göründüyü kimi, qeydə alınan EPR spektrində əsas yeri ilk dəfə tərəfimizdən bitki sistemlərində aşkar olunan geniş siqnal ($g=2.29$, $\Delta H=450 Qs$) tutur.

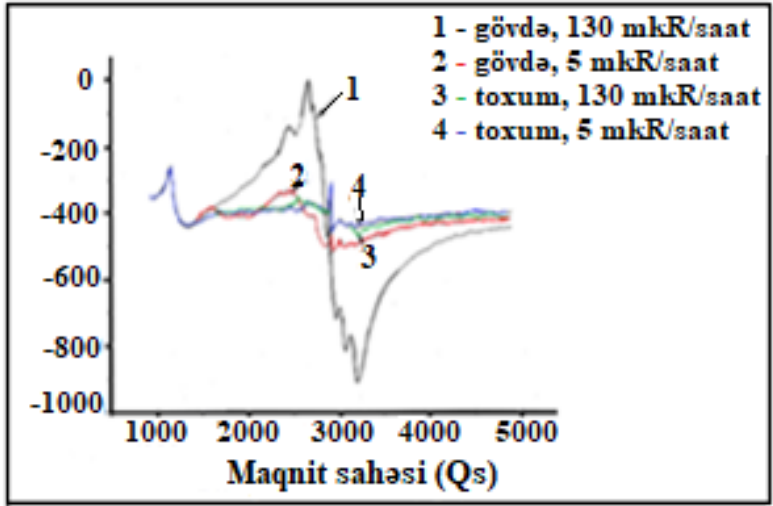
¹² Burlakova, E.B., Naidich, V.I. Radiation safety as a research problem // Herald of the Russian Academy of Sciences, – 2006. 76,1 – p. 591–594.



Şəkil 1. Radioaktiv çirklənmiş ərazidən (EDG \approx 140 mkr/saat) yığılmış iydə bitkisinin yarpaqlarının EPR spektri

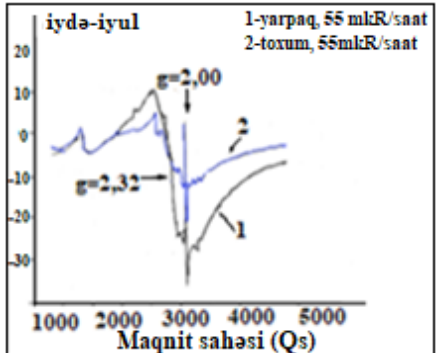
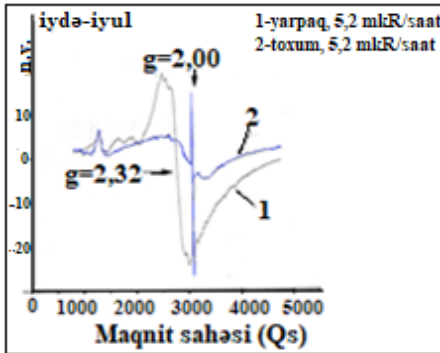
Davamlı araşdırmalarımız göstərdi ki, bu siqnal öz parametrlərinə və davranışına görə dəmir oksidi maqnit nanohissəciklərinə məxsusdur və stres amillərin təsiri ilə generasiya olunan bu nanohissəciklər canlı sistemlərdə maqnit xassələrinin yaranmasına səbəb olur.

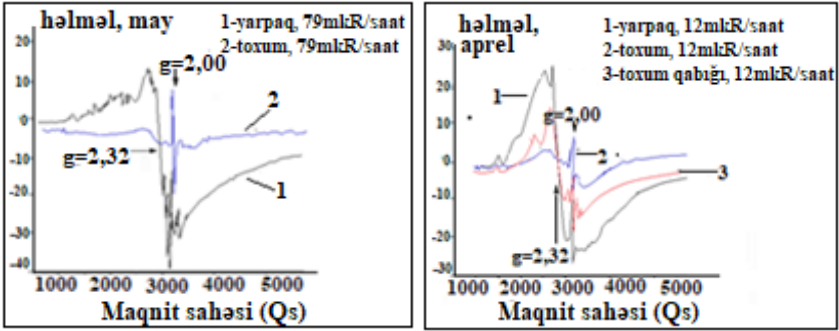
Radioaktiv çirklənmənin bitkilərin yarpaq, gövdə, toxum və toxum qabıqlarında paramaqnit mərkəzlərə təsiri öyrənilərkən aşkar edilmişdir ki, stres amillər onlarda nanofazalı dəmir oksidi hissəciklərini xarakterizə edən geniş EPR siqnallarının yaranmasına səbəb olur. Radiasiya fonu yüksəldikcə bu siqnalların intensivliyi artır. Yarpaq və gövdə nümunələrində qeydə alınan siqnalların intensivliyinin toxumlarla müqayisədə daha yüksək olduğu aşkar olunmuşdur (şəkil 2). Tədqiq edilən bütün bitkilərdə analoji nəticələr alınmışdır. Radioaktiv çirklənmiş ərazidə bitən bitkilərin yarpaq və toxumlarında qeydə alınan dəmir oksidi maqnit nanohissəciklərini xarakterizə edən siqnalların intensivliyinin kontrol nümunələrin uyğun siqnallarının intensivliyindən daha yüksək olduğu müəyyən edilmişdir.



Şəkil 2. Kontrol və radioaktiv çirklənmiş ərazilərdə bitən ciğ bitkisinin gövdə və toxumlarının EPR spektrləri

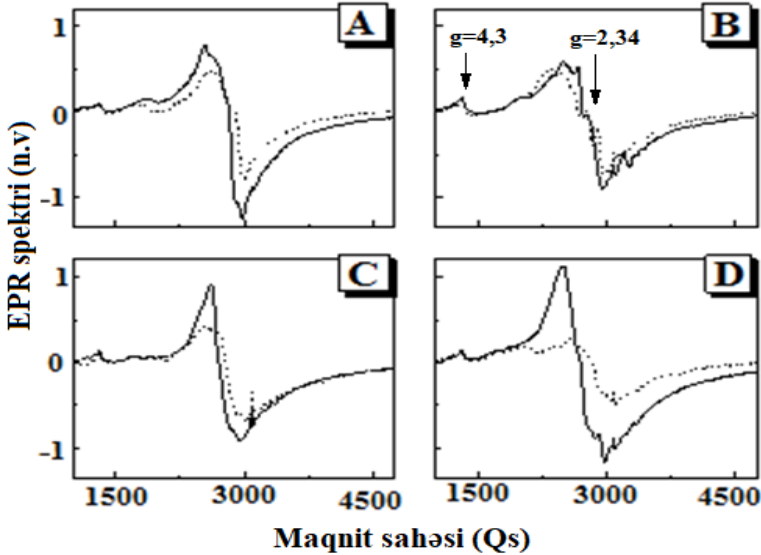
Bu işə onu deməyə əsas verir ki, radioaktiv çirklənmə zamanı bitki nümunələrində daha çox dəmir əsaslı maqnit nanohissəcikləri generasiya olunur və bu hadisə yarpaqlarda daha intensiv baş verir (şəkil 3).





Şəkil 3. Kontrol və radioaktiv çirklənmiş ərazilərdə bitən iydə və həlməl bitkilərinin yarpaq, toxum və toxum qabıqlarının EPR spektrləri

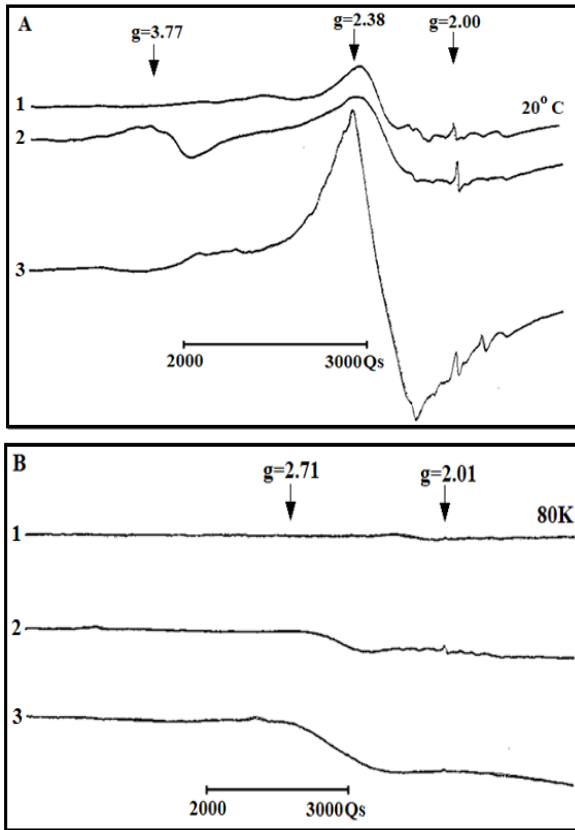
Alınan nəticələrdə hər hansı kənar faktorların (məsələn, temperatur, quraqlıq, UB şüalar və s.) təsirinin rolunu müəyyən etmək üçün tədqiqatların müxtəlif fəsilələrində təkrar edilmişdir (şəkil 4).



Şəkil 4. İlin müxtəlif fəsilələrində radiasiya fonu fərqli olan ərazilərdə bitən iydə bitkisinin yarpaqlarının EPR spektrləri. A) may, B) iyun, C) iyul, D) oktyabr ayları. (Qırıq xətlə kontrol, səlis xətlə radioaktiv çirklənmiş ərazilərdən yığılan bitkilərin spektrləri verilmişdir)

Məlum olmuşdur ki, bütün fəsillərdə radiasiya fonunun yüksəlməsi bitkilərdə maqnit nanohissəciklərini xarakterizə edən geniş EPR signalının intensivliyinin yüksəlməsinə səbəb olur. Bitkilərdə maqnit nanohissəciklərinin signalı ($g=2,34$) ilə yanaşı, dəmir ionlarının da signalı ($g=4,3$) qeydə alınmışdır.

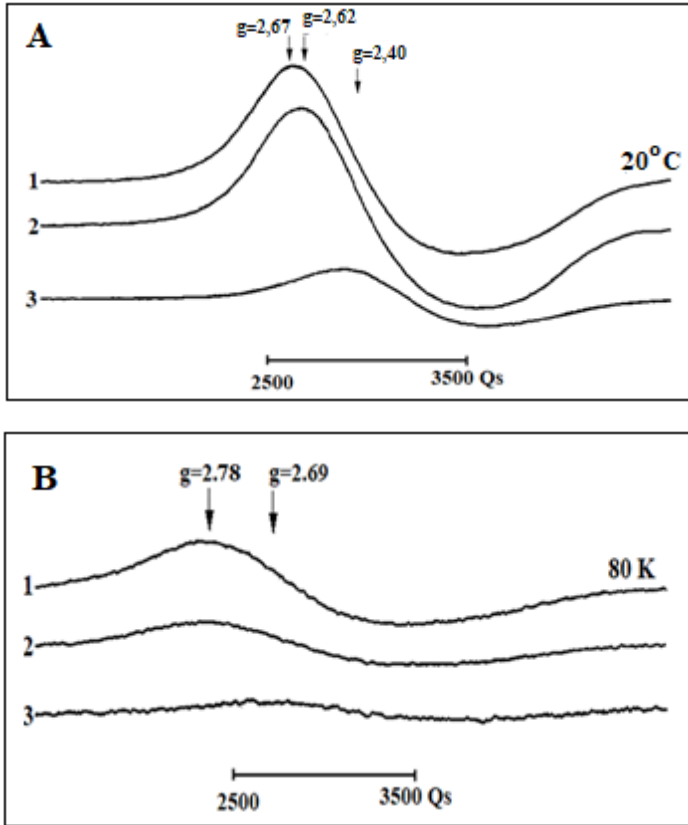
Yod zavodu ərazisində dominantlıq təşkil edən bitkilərin EPR spektrləri eyni zamanda otaq temperaturu (293-295K) və maye azot temperaturunda (77-80K) müqayisəli tədqiq edilmişdir (şəkil 5).



Şəkil 5. Dəvətikanı bitkisinin gövdə və yarpaqlarının (qarışıq) müxtəlif temperaturlarda EPR spektrləri: 1- kontrol bitkilər (EDG \approx 10 mkR/saat); 2, 3 - uyğun olaraq EDG =170 mkR/saat və EDG =220 mkR/saat olan ərazilərdən yığılmış bitkilər. A–otaq temperaturu (293 K); B–maye azot temperaturu (80 K)

Bitkilərin yarpaq və gövdələrinin otaq temperaturunda qeyd olunan geniş EPR siqnallarının amplitudu siqnalın qeydiyyat temperaturunun 80 K-ə qədər aşağı düşməsi ilə kəskin azalmışdır. Bu isə aşağı temperaturda siqnalın genişlənməsi ilə şərtlənə bilər.

Təcrübələrin davamı olaraq, müqayisə məqsədilə kimyəvi yol ilə sintez olunmuş maqnit nanohissəcikləri tədqiq edilmişdir. Maqnit nanohissəciklərinin polietilen matris üzərində ($\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{PE}$) EPR spektrləri müxtəlif temperaturlarda qeyd alınmışdır (şəkil 6).



Şəkil 6. Maqnetit nanohissəciklərinin EPR spektrləri, temperatur A-293K və B-80 K (1- $\text{Fe}_3\text{O}_4+\text{PE}$, 15 ml, 9.4 nm; 2- $\text{Fe}_3\text{O}_4+\text{PE}$, 10 ml, 9.4 nm; 3- $\text{Fe}_3\text{O}_4+\text{PE}$, 5 ml, 9.4 nm)

Otaq temperaturunda qeydə alınan siqnallarla müqayisədə aşağı temperaturda siqnalların genişlənməsi onların amplitudlarının kiçilməsi ilə müşahidə olunmuşdur. Beləliklə, temperaturun azalması ilə sintez olunmuş maqnit nanohissəciklərinin geniş EPR siqnalları dəyişmə xüsusiyyətinə, davranışına görə bitki yarpaqlarında qeydə alınan analoji siqnallarla uyğun olmuşdur.

Yod zavodunun radioaktiv çirklənmiş və kontrol ərazilərində bitən bitkilərin radionuklid tərkibi və onların xüsusi aktivliklərinin müəyyən edilməsi göstərdi ki, radiasiya fonunun yüksəlməsi onlarda ^{40}K , ^{226}Ra və ^{228}Ra radionuklidlərinin xüsusi aktivliklərinin artmasına səbəb olmuşdur (cədvəl 1).

Cədvəl 1

Yod zavodunun radioaktiv çirklənmiş və kontrol ərazilərində bitən bitkilərin radionuklid tərkibi və xüsusi aktivlikləri

Analiz olunan element	Radionuklidlərin xüsusi aktivliyi (Bq/kq)				
	Həlməl (<i>Zygophyllum fabago L.</i>)			İydə (<i>Elaeagnus angustifolia L.</i>)	
	Radiasiya fonu (mkR/saat)				
	5	170	200	5	140
^{40}K	151 ± 18	305 ± 18	596 ± 17	205 ± 10	234 ± 26
^{226}Ra	4.4 ± 1.4	14.2 ± 1.1	214.3 ± 1.4	2,2 ± 0.7	6.6 ± 2.1
^{228}Ra	0.4 ± 0.8	0.5 ± 0.6	2,2 ± 0.8	1.3 ± 1.1	2.30 ± 0.04
^{235}U	0.9 ± 0.2	0.8 ± 0.1	16.6 ± 1.0	0.20 ± 0.06	0.20 ± 0.04
^{238}U	19.5 ± 4.0	17.4 ± 1.9	360 ± 21.72	4.3 ± 1.1	4.3 ± 0.8

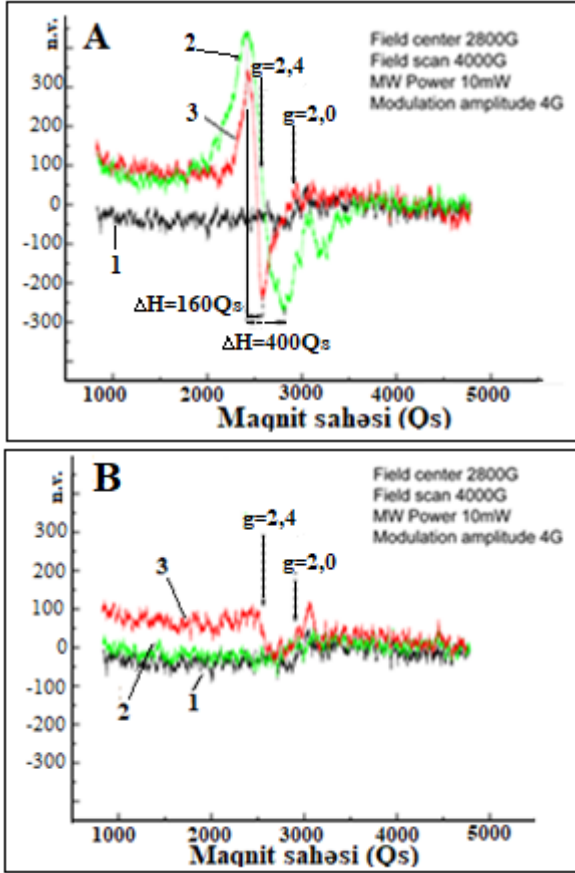
Beləliklə, EPR üsulu ilə radioaktiv çirklənmənin bitkilərə təsirini öyrənərkən müəyyən edirik ki, stres amilin təsiri zamanı bitki sistemlərində biominerallaşma hadisəsi nəticəsində biogen dəmir oksidi maqnit nanohissəcikləri generasiya olunur. Bu hadisənin mahiyyəti ondan ibarətdir ki, stres təsir nəticəsində canlı sistemdə olan bağlı dəmir sərbəst dəmir formasına keçir və dəmir ionları orqanizmdə çoxalır. Digər tərəfdən stres amilin təsiri zamanı bitki xloroplastlarının nativliyi, intaktlığı pozulur və ENZ-də baş verən qırılmalar nəticəsində mühitə elektronlar ayrılır. Beləliklə, yaranan

reduksiyaedici mühitin sayəsində dəmir ionları dəmir oksidi maqnit nanohissəciklərinə çevrilirlər. Qeyd etmək lazımdır ki, dəmir oksidi maqnit nanohissəciklərinin yaranması orqanizmin özünümüdafiə rolunu oynayır. Əks halda dəmir ionlarının çoxalması canlı sistemdə OFF və sərbəst radikalların yaranmasına səbəb olardı (Fenton reaksiyası). Lakin reduksiyaedici mühitin olması maqnit nanohissəciklərinin əmələ gəlməsinə səbəb olur ki, bu da canlı sistemi sərbəst radikallardan və OFF-dan qoruyur. Alınan yeni hadisənin universallığını göstərmək üçün Abşeron yarımadası üçün xarakterik müxtəlif ağac növləri tədqiq edilmişdir.

3.2. Nar (*Punica granatum*) bitkisinin ekstraktlarında paramaqnit mərkəzlərin tədqiqi. Tətbiqinə böyük ehtiyac duyulan biogen mənşəli maqnit nanohissəciklərinin canlı sistemlərdə yaranma mexanizmlərinin öyrənilməsi böyük maraq doğurur. Bu hadisənin aydınlaşdırılmasında canlı sistemlərdə paramaqnit mərkəzlərin öyrənilməsi vacibdir. Odur ki, respublikamızda, o cümlədən Abşeron yarımadasında geniş yayılmış nar bitkisinin paramaqnit mərkəzlər tədqiq edilmiş, onlarda dəmir əsaslı maqnit nanohissəciklərinin biogenerasiyası öyrənilmişdir.

Kontrol və tərkibinə ayrı-ayrılıqda $FeCl_3$ və $FeCl_2$ əlavə olunmuş nar ekstraktlarının EPR spektrləri qeydə alınmışdır (şəkil 7, A, B). Tərkibinə $FeCl_3$ əlavə edilmiş nümunələrdə nanofazalı dəmir oksidi hissəciklərini xarakterizə edən siqnallar qeydə alınmışdır. Lakin kontrol nümunədə bu siqnal müşahidə edilməmişdir (şəkil 7, A). Nar ekstraktına $FeCl_2$ əlavə edildikdə isə geniş EPR siqnalı yaranmamışdır (şəkil 7, B). Bu onu göstərir ki, xarakterik EPR siqnallarının formalaşması üçün reaksiya mühiti reduksiya qabiliyyətinə malik olmalıdır. Nar ekstraktına $FeCl_3$ – ün əlavə edilməsi və mühidə olan müəyyən bioloji birləşmələr dəmir oksidi maqnit nanohissəciklərinin yaranmasına səbəb olur. Beləliklə, nar ekstraktı təcrübələrdə reduksiyaedici rolunu oynayır¹³. $FeCl_2$ məhlulunun nar suyuna əlavə edilməsi isə geniş EPR siqnalının əmələ gəlməsinə səbəb olmur.

¹³ Nasibova, A.N., Khalilov R.I. Preliminary studies on generating metal nanoparticles in pomegranates (*Punica Granatum*) under stress // International Journal of Development Research, – 2016.6(3), – p. 7071-7078.



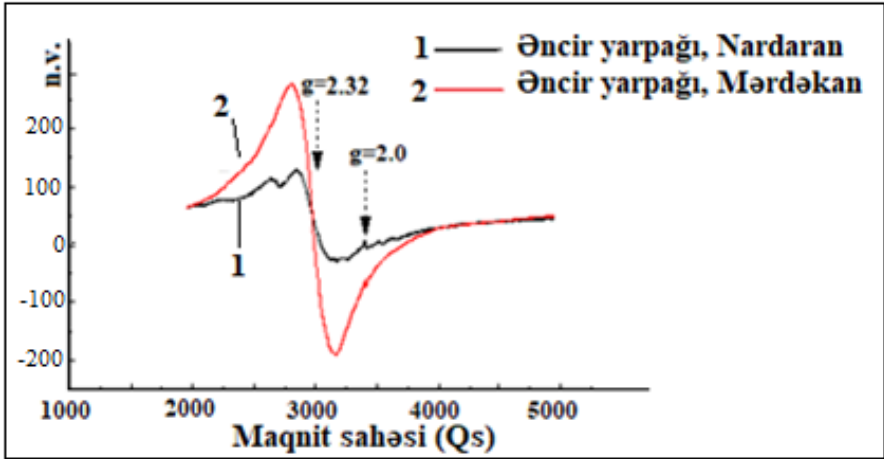
Şəkil 7. Nar ekstraktından alınmış EPR spektrləri.

A) 1-kontrol; 2,3- üzərinə $FeCl_2$ əlavə olunub;

B) 1-kontrol; 2,3- üzərinə $FeCl_2$ əlavə olunub

3.3. Abşeron yarımadası üçün xarakterik əncir (*Ficus carica* L.) yarpaqlarında paramaqnit mərkəzlərin davranışı və bəzi parametrlərdən asılılığı. Abşeronun müxtəlif ərazilərindən yığılmış əncir (*Ficus carica* L.) yarpaqları EPR spektrometrində tədqiq edilmişdir. Müəyyən olunmuşdur ki, yarpaqların spektrlərində iki tip siqnal qeydə alınır: geniş EPR siqnalı ($g=2,32$; $\Delta H=400$ Qs) və sərbəst radikal siqnalı ($g=2,0023$; $\Delta H=10$ Qs) (şəkil 8). Aldığımız geniş EPR siqnalları ilk dəfə olaraq deməyə əsas verir ki, Abşeron yarımadasında

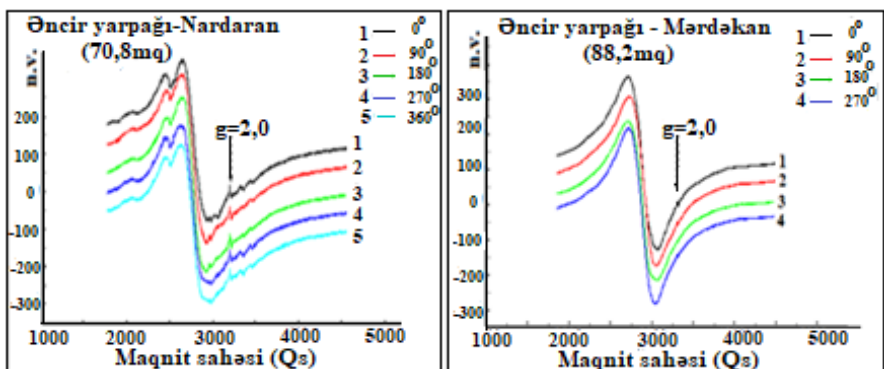
bitən əncir yarpaqlarında dəmir oksidi maqnit nanohissəcikləri mövcuddur və onlar stres amillərin təsiri ilə biominerallaşma hadisəsi nəticəsində generasiya olunurlar.



Şəkil 8. Nardaran və Mərdəkan ərazilərindən yığılan əncir (*Ficus carica* L.) yarpaqlarının EPR spektrləri

Ficus carica L. yarpaqlarından alınan maqnit nanohissəciklərini xarakterizə edən EPR siqnallarının xüsusiyyətlərini öyrənmək üçün radiospektrometrin parametrlərini dəyişərək, müxtəlif bucaq variyasiyalarında onları tədqiq etmişik və müəyyən etmişik ki, bu siqnal maqnit anizotropiyasına malikdir (şəkil 9). Belə ki, spektrometrin rezonatorunda qurudulmuş əncir yarpağı nümunələri yerləşən kvarts ampulanı 90° , 180° , 270° , 360° döndərən zaman qeydə alınan EPR siqnallarının formasında müəyyən dəyişikliklər müşahidə edilmiş və eyni zamanda siqnalların rezonans sahədə sol tərəfə 100-150 Qs yerini dəyişdiyi müəyyən edilmişdir (şəkil 9). EPR siqnallarının belə davranışı maqnetit (Fe_3O_4), magemit ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) və superparamaqnit nanohissəciklər üçün aşkar edilmişdir¹⁴.

¹⁴ Ацаркин, В.А. Влияние диамагнитного разбавления на спиновую динамику в манганитах / В.А. Ацаркин, В.В. Демидов, Д.Г. Готовцев [и др.] // Актуальные проблемы физики конденсированных сред, – Казань: –2004. –с.13-27.



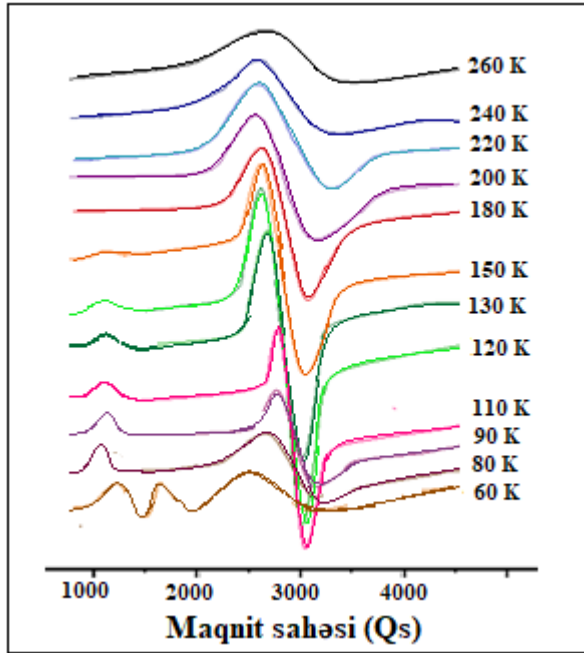
Şəkil 9. Əncir (*Ficus carica* L.) yarpaqlarının müxtəlif bucaq variasiyalarında EPR spektrləri

Əncir yarpaqları ilə aparılan EPR təcrübələri mühüm və yeni nəticələrin alınmasına gətirmişdir. Bu səbəbdən aldığımız EPR siqnallarının daha geniş identifikasiyası və daha dolğun xarakteristikalarının verilməsi üçün onların temperaturdan asılılığı öyrənilmişdir. Məlum olmuşdur ki, spektrlərin parametrləri temperaturdan asılı olaraq dəyişirlər (şəkil 10). Temperatur 260 K-dən 120-125 K-ə qədər azaldıqda əncir yarpaqlarından alınan geniş EPR siqnallarının amplitudlarının tədricən artması və $T \approx 120-125$ K olduqda maksimum qiymətə çatması müşahidə edilmişdir.

Temperaturun sonrakı azalmaları zamanı siqnalların intensivliyi tədricən kiçilmiş və siqnal özü maqnit sahəsində yerini bir qədər sol tərəfə, kiçik maqnit sahəsinə doğru dəyişmişdir (şəkil 10).

Məlumdur ki, temperaturun azalması ilə EPR siqnalının genişlənməsi və daha kiçik maqnit sahəsinə tərəf yerini dəyişməsi maqnetit, magemit və superparamaqnit nanohissəciklər üçün xarakterikdir¹⁵.

¹⁵ Berger, R. Temperature dependence of superparamagnetic resonance of iron oxide nanoparticles / R. Berger, J.C., Bissey, J. Kliava [et al.] // Journal of Magnetism and Magnetic Materials, – 2001. V.234. I.3, – p. 535-544.

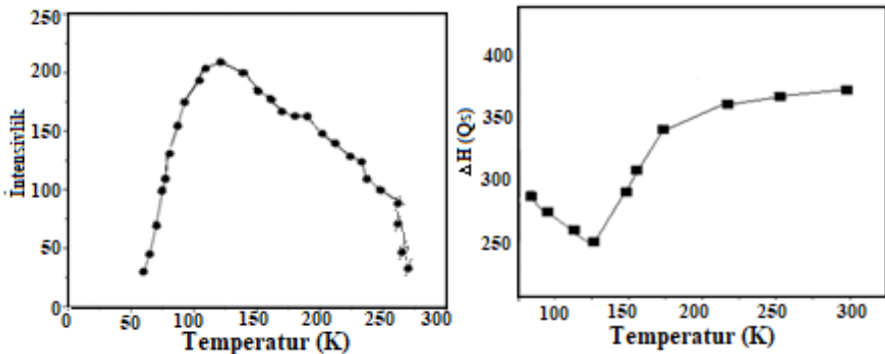


Şəkil 10. 260K – 60K diapazonunda əncir (*Ficus carica* L.) yarpaqlarının EPR spektrlərinin temperaturdan asılılığı

Ficus carica L. yarpaqlarının EPR siqnallarının temperaturdan asılılığı əsasında bu siqnalların inteqral intensivliyinin və eninin temperaturdan asılılığı detektə olunmuş və burada qeyri-monotonluq müşahidə edilmişdir (şəkil 11). Maqnit nanohissəciklərini xarakterizə edən EPR siqnallarının xarakteristikalarının (amplitud, g – faktor, siqnalın eni) temperaturdan kəskin asılı olduğu və bu siqnalın maqnit anizotropiyasına malik olması aşkar edilmişdir.

EPR siqnallarının temperaturdan asılılığı öyrənilən zaman paramaqnit rezonans siqnalının amplitudu və eni parametrlərinin davranışında 120-125 K temperaturda xarakterik Vervey faza keçidinin yaranması aşkar edilmişdir ki, bu da superparamaqnit nanohissəciklər üçün xarakterikdir¹⁶.

¹⁶ Walz, F. The Verwey transition - a topical review //Journal of Physics: Condensed Matter, – 2002. V. 14, I. 12, – p. 1-8.



Şəkil 11. Əncir (*Ficus carica L.*) yarpaqlarından alınan EPR siqnalının intensivliyinin və eninin temperaturdan asılılığı

Beləliklə, Abşeron yarımadası üçün xarakterik bəzi ağac və kol bitkilərində paramaqnit mərkəzləri tədqiq edərkən müəyyən edirik ki, stres amillərin təsiri ilə onlarda biogen dəmir oksidi maqnit nanohissəcikləri və maqnit xassələri yaranır. Bu nanohissəciklərin yaranması stres amillərin təsiri nəticəsində orqanizmdə bağlı dəmirin sərbəst dəmir formasına keçməsi, həmçinin xloroplastların ENZ-də baş verən zədələnmələr nəticəsində reduksiyaedici sistemin yaranması ilə əlaqəlidir. Qeyd etmək lazımdır ki, stres təsir nəticəsində canlı sistemlərdə yaranan dəmir oksidi maqnit nanohissəcikləri orqanizmi müdafiə funksiyasını yerinə yetirərək Fenton reaksiyasının baş verməsinin - OFF-nın yaranmasının qarşısını alır. Əks halda canlı sistem destruksiyaya uğrayardı.

Alınan nəticələrin ümumiliyini göstərmək üçün təbiətdə bitən bitkilərdən başqa laboratoriya şəraitində model sistem kimi buğda (*Triticum L.*) və qarğıdalı (*Zea mays L.*) toxumlarının cücərtilərində stres amillərinin təsiri öyrənilmişdir.

3.4. Stres amillərin C3 və C4 bitkilərinə (buğda-*Triticum L.* və qarğıdalı-*Zea mays L.*) təsiri. Stres amillərdən radioaktiv çirklənmənin və qamma radiasiyanın fotosintezin C3 və C4 tipinə aid olan buğda və qarğıdalı bitkilərinə təsiri öyrənilmişdir. İlk növbədə yuxarıda adları çəkilən stres amillərin təsiri ilə buğda və qarğıdalı cücərtilərində yaranan morfoloji dəyişikliklər öyrənilmiş, alınmış qanunauyğunluqların mexanizmi müəyyən edilmişdir. Eyni zamanda,

stres amillərin təsiri nəticəsində bu bitkilərdə yaranan paramaqnit mərkəzlər tədqiq olunmuşdur.

Buğda və qarğıdalı toxumları laboratoriya şəraitində kontrol (təmiz) və radioaktiv çirklənmiş torpaqlarda cücərdilmişlər (şəkil 12). Qeyd etmək lazımdır ki, radioaktiv çirklənmiş torpaq paraqraf 3.1-də tədqiq olunan, hal-hazırda fəaliyyət göstərməyən Yod zavodu ərazisindən yığılmış, yod istehsalında istifadə edilən və radiasiya mənbəyi olan aktivləşdirilmiş kömür sorbentindən istifadə etməklə laboratoriya şəraitində hazırlanmışdır.

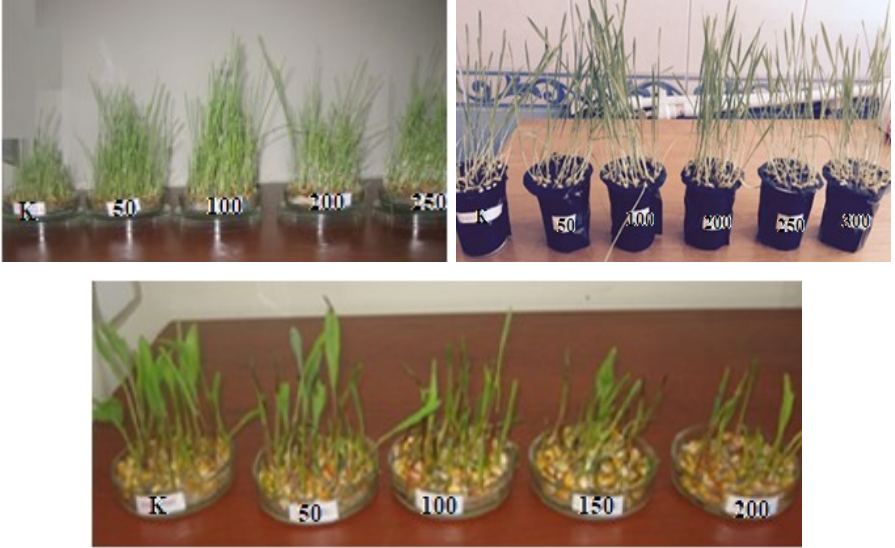
Şəkil 12-dən görüldüyü kimi radioaktiv çirklənmiş torpaqda yetişdirilən buğda cücərtilərinin boy artımı, cücərmə sıxlığı kontrol torpaqda bitən cücərtilər ilə müqayisədə nəzərəcarpacaq dərəcədə yüksək olmuşdur.



Şəkil 12. Kontrol və radioaktiv çirklənmiş torpaqda bitən 10 günlük buğda və qarğıdalı cücərtiləri (solda-buğda, sağda-qarğıdalı)

Radioaktiv çirklənmənin qarğıdalı bitkisinin morfoloji xüsusiyyətlərinə təsirini öyrənərkən alınan nəticə isə fərqli olmuşdur. Belə ki, radioaktiv çirklənmiş torpaqda bitən qarğıdalı cücərtiləri boy artımı və cücərmə sıxlıqlarına görə kontrol cücərtilərdən zəif olmuşdur.

Bu bitkilərinin morfoloji xüsusiyyətlərinə qamma radiasiyanın da təsiri öyrənilmişdir. Şəkil 13-də müxtəlif dozalarda (50 Qr, 100 Qr, 200 Qr, 250 Qr, 300 Qr) qamma radiasiya ilə şüalandırılmış buğda toxumları və müxtəlif dozalarda (50 Qr, 100 Qr, 150 Qr, 200 Qr) şüalandırılmış qarğıdalı toxumlarının 10 günlük cücərtiləri göstərilmişdir.



Şəkil 13. Kontrol və müxtəlif dozalarda qamma radiasiya ilə şüalandırılmış buğda və qarğıdalı toxumlarının 10 günlük cücərtiləri (yuxarıda-buğda, aşağıda-qarğıdalı)

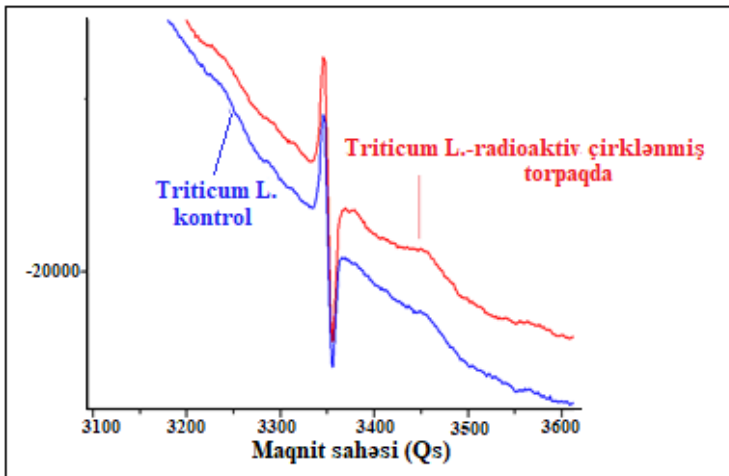
Şüalanma dozası artdıqca onların görünüşündə fərqlər aydın görünür. Müəyyən edilmişdir ki, qamma radiasiya buğda toxumlarının cücərməsinə və inkişafına stimullaşdırıcı təsir edir. Lakin qarğıdalı cücərtilərinin boy artımı və cücərmə faizində şüalanma dozası artdıqca ləngimə müşahidə edilmişdir. Bu nəticə radioaktiv çirklənmənin qarğıdalı bitkisinə təsiri zamanı alınan nəticə ilə korrelyasiya edir.

Beləliklə, müəyyən edirik ki, stres amillər C3 bitkisi olan buğdanın boy artımına, cücərmə faizinə stimullaşdırıcı təsir göstərir, C4 bitkisi olan qarğıdalıda isə inhibirləşdirici effekt yaradır. Stres amillərin C3 tip bitkilərə təsiri zamanı stimullaşdırıcı effektin üzə çıxması stres zamanı bu bitkilərdə fototənəffüs prosesinin işə düşməsi və OFF-nın yaranmasının qarşısını alaraq müdafiə rolunu yerinə yetirməsi ilə əlaqədar baş verə bilər. Ədəbiyyatdan məlumdur ki, fototənəffüs o zaman sürətlənir ki, fotosintezin hədsiz çox karbohidrat məhsulları yaranır. Belə şərait «artıq» şəkərin oksidləşməsinə və beləliklə də amin turşularının yaranmasına səbəb olur. Yaranan amin turşuları bitki yarpaqlarının böyüməsinə sərf olunur. Hətta inkişafını

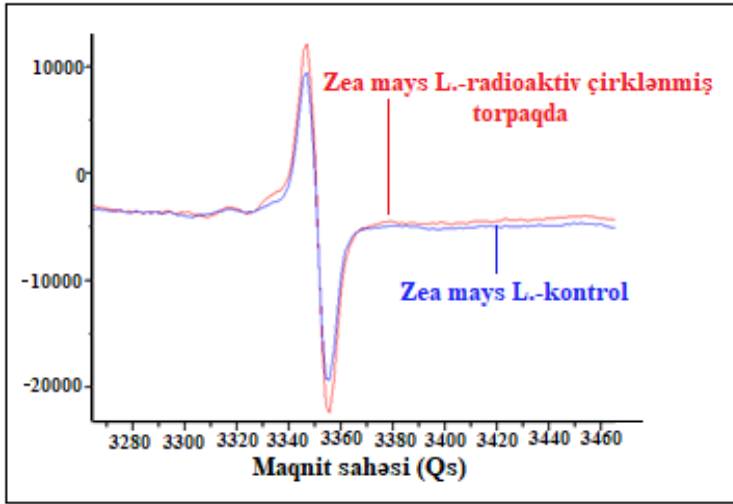
baş a çatdırmış yarpaq yenidən inkişaf etməyə başlayır¹⁷.

Bizim təcrübələrdə də fotosintezin C3 tipinə aid olan buğdanın cücərtiləri stres amillərin təsiri ilə kifayət qədər böyüyürlər. C4 bitkilərində isə aydın ifadə olunan fototənəffüs aşkar olunmayıb. Alınan nəticələr stres zamanı C3 bitkilərində fototənəffüsün müdafiə rolu olduğunu göstərir və belə fikir söyləməyə imkan verir ki, fototənəffüs stres zamanı C3 bitkilərində OFF-nın yaranmasının qarşısını alan bir prosesdir.

Araşdırılan bitki nümunələrində paramaqnit mərkəzlərin də tədqiqi mühüm nəticələr əldə etməyə imkan verdi. Hər iki bitki cücərtilərinin EPR spektrləri və onların müqayisəli təhlili göstərdi ki, radioaktiv çirklənmə sərbəst radikal siqnalının ($g=2,0023$; $\Delta H=10$ Qs) intensivliyinin artmasına səbəb olur. Bütün hallarda çirklənmiş torpaqda bitən cücərtilərdə sərbəst radikal siqnalının amplitudu kontrola nəzərən yüksək olmuşdur (şəkil 14). Nəticələr bir daha göstərdi ki, radioaktiv çirklənmə bitki sistemlərində yeni paramaqnit mərkəzlərin əmələ gəlməsinə səbəb olur. Bu nəticə ətraf mühitin biomonitorinqində istifadə oluna bilər.

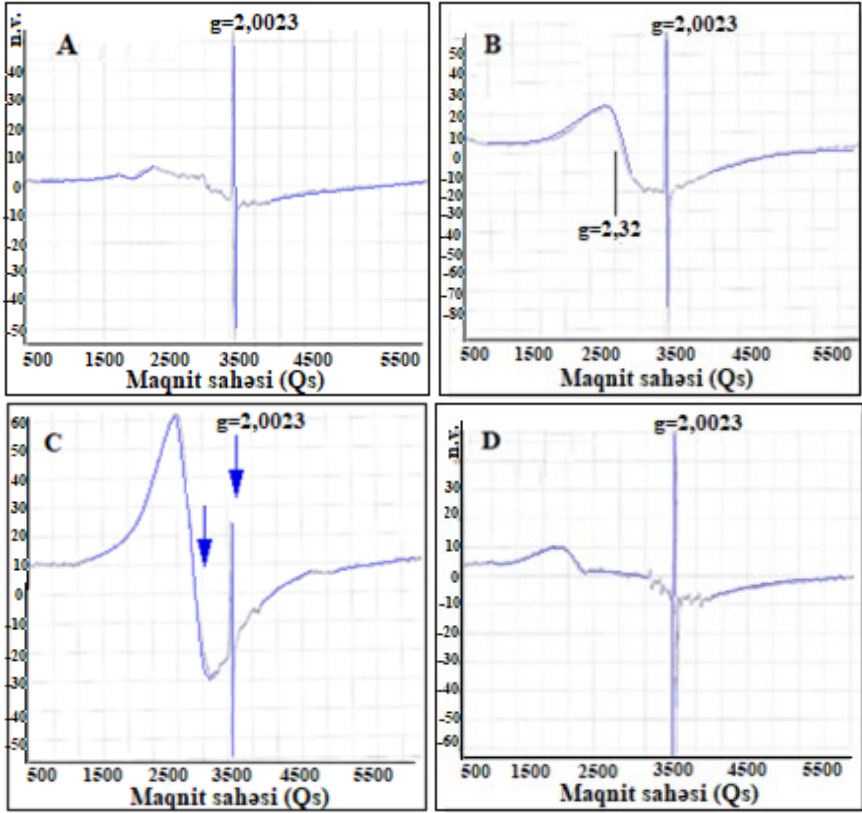


¹⁷ Чиков, В.И. Фотодыхание // Соросовский Образовательный Журнал, – 1996. № 11, – с. 2–8.



Şəkil 14. Radioaktiv çirklənmənin buğda və qarğıdalı bitkilərində paramaqnit mərkəzlərə təsiri

Növbəti təcrübələrdə EPR üsulu ilə buğda bitkisinə paramaqnit mərkəzlərə qamma radiasiyanın müxtəlif dozalarının təsiri öyrənilmişdir. Kontrol və müxtəlif dozalarda qamma radiasiya ilə şüalanmış buğda toxumları distillə edilmiş su ilə otaq temperaturunda cücərdilmişlər. On günlük cücərtilərin EPR spektrləri qeydə alınmışdır (şəkil 15). Şəkildən görüldüyü kimi kontrol nümunədə maqnit sahəsinin geniş intervalında yalnız sərbəst radikal siqnalları ($g=2,0023$) detektə edilmişdir. Burada dəmir oksidi maqnit nanohissəciklərini xarakterizə edən geniş EPR siqnalının yaranmasını müşahidə etmirik. Çünki heç bir stres təsir olmadığından canlı sistemdə dəmir bağlı olaraq qalır, reduksiyaedici sistem yoxdur və maqnit nanohissəcikləri də əmələ gəlmir. Artıq 100 Qr dozada şüalanmış nümunədə dəmir oksidi maqnit nanohissəciklərini xarakterizə edən kiçik intensivlikli geniş EPR siqnalının ($g=2,32$; $\Delta H = 320$ Qs) yarandığını müşahidə edirik. Çünki 100 Qr dozada şüalanma canlı orqanizmdə bağlı dəmirin sərbəst dəmir formasına keçməsinə səbəb olur. Həmçinin, xloroplastların və ENZ bütövlüyünün pozulması, mühitə elektronların ayrılması nəticəsində yaranan reduksiyaedici sistem sərbəst dəmir ionlarının dəmir oksidi maqnit nanohissəciklərinə çevrilməsinə gətirir.



Şəkil 15. Buğda cücərtilərini EPR spektrləri (A-kontrol, B-100 Qr, C-200 Qr, D-300 Qr dozada şüalanmış)

Şüalanma dozasının 200 Qr-ə çatması siqnalın intensivliyinin bir qədər də yüksəlməsinə səbəb olur. Bu onunla əlaqədardır ki, radiasiya dozasının artması canlı sistemdə dəmir ionlarının miqdarının artmasına səbəb olur. Həmçinin ENZ-də daha çox zədələnmələr, qırılmalar mühitə daha çox elektronların ayrılmasına gətirir və nəticə etibarilə miqdarı baxımdan daha çox dəmir oksidi maqnit nanohissəcikləri generasiya olunur. Şüalanma dozası 300 Qr-ə yüksəldikdə kontrol nümunədə olduğu kimi yalnız sərbəst radikal siqnalının yarandığını müşahidə edirik. Geniş EPR siqnalının amplitudu kəskin azalır. Bu onunla izah olunur ki, baxmayaraq ki, stres təsir mövcuddur, canlı sistemdə dəmir ionlarının sayı artır, lakin

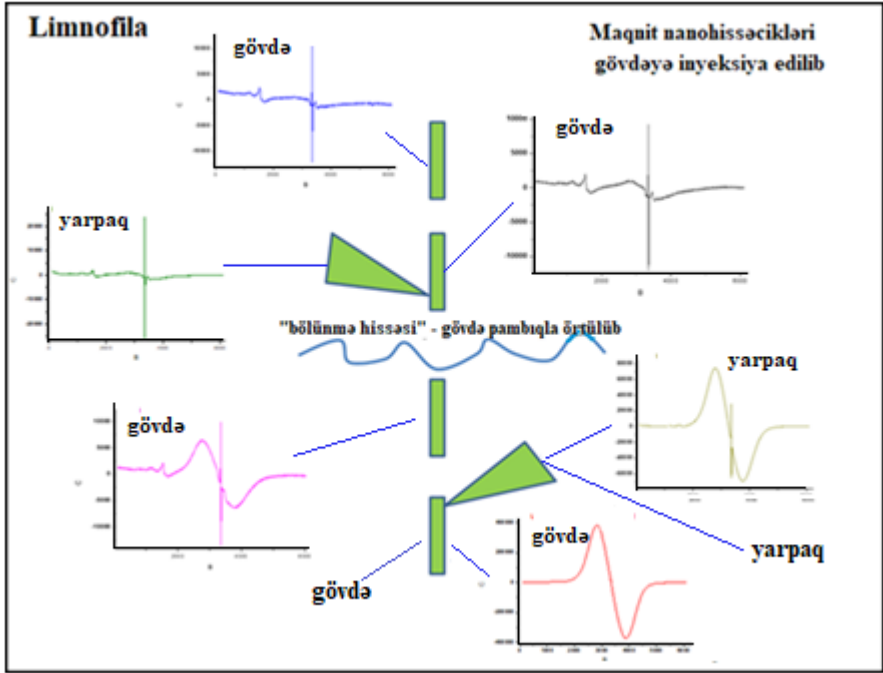
300 Qr dozada şüalanma artıq reduksiyaedici sistemin sıradan çıxmasına səbəb olur və dəmir oksidi maqnit nanohissəcikləri əmələ gəlmir, canlı sistem destruksiyaya uğrayır. Ona görə də maqnit nanohissəciklərini xarakterizə edən siqnal qeydə alınmır.

Bu təcrübələrdə aldığımız nəticələr bizə həm bitkilərdə maqnit nanohissəciklərinin yaranması mexanizmini aydınlaşdırmağa kömək edir, həm də maqnit nanohissəciklərinin məhz bitkinin özündə generasiya olunduğunu deməyə əsas verir.

Beləliklə, apardığımız *in vivo* tədqiqatları belə nəticəyə gəlməyə imkan verir ki, stres amillərin təsiri canlı sistemlərdə biominerallaşma hadisəsi nəticəsində nanofazalı kristallik dəmir oksidi maqnit hissəciklərinin generasiyasına, yeni maqnit xassələrinin yaranmasına səbəb olur.

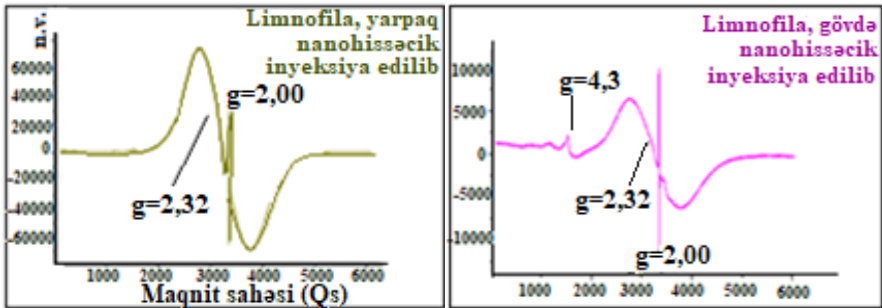
3.5. Bəzi su bitkilərində maqnit nanohissəciklərinin nəqlinin və paramaqnit mərkəzlərin tədqiqi. Abşeron yarımadasında bitən müxtəlif növ ağac və kol bitkilərinin, eyni zamanda model sistem kimi laboratoriya şəraitində yetişdirilən bitki toxumlarının cürcətilərinin EPR metodu ilə tədqiqinin davamı olaraq ali su bitkiləri (su limnofilas *Limnophila aquatica*), elodea (*Elodea canadensis*) ilə təcrübələr aparılmışdır.

Su limnofilas ilə aparılan təcrübələrin sxematik təsviri şəkil 16-da göstərilmişdir. *Limnophila aquatica* bitkisi daxilində pambıqla örtülmüş arakəsməsi və içərisində su olan xüsusi qaba qoyulmuşdur. Bitkinin kök və kökə yaxın hissəsi arakəsmənin bir tərəfində, yuxarı hissəsi isə digər tərəfində yerləşdirilmişdir. Sonra bitkinin aşağı hissəsindən gövdəsinə inyeksiya vasitəsi ilə kimyəvi yol ilə sintez olunmuş maqnit nanohissəcikləri yeridilmişdir. Bu təcrübələri aparmaqda məqsəd maqnit nanohissəciklərinin bitkinin digər orqanlarına: gövdənin yuxarı hissəsinə, yarpaqlara nəqliyyatının və toplanmasının mümkünlüyünü araşdırmaqdan ibarət olmuşdur. Bunun üçün bitkinin gövdəsinin aşağı hissəsinə (kök hissəsinə yaxın) inyeksiya vasitəsilə maqnit nanohissəcikləri yeridildikdən sonra arakəsmədən əvvəl və sonra limnofila bitkisinin gövdə və yarpaqlarının EPR spektrləri qeydə alınmışdır.



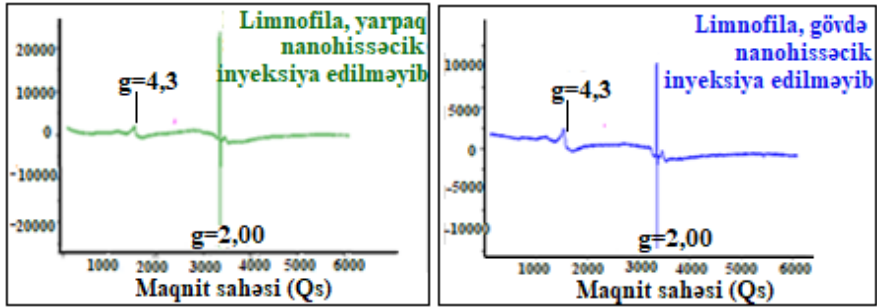
Şəkil 16. Gövdəsinə inyeksiya şəklində maqnit nanohissəcikləri yeridilən *Limnophila aquatica* bitkisinin dəmir oksidi nanohissəciklərinin hərəkətinin sxematik təsviri

Müəyyən edilmişdir ki, arakəsməyə qədər gövdə və yarpaqlarda dəmir oksidi maqnit nanohissəciklərini xarakterizə edən siqnallar yaranır (şəkil 17).



Şəkil 17. Arakəsməyə qədər olan hissədə *Limnophila aquatica* bitkisinin yarpaq və gövdələrinin EPR spektrləri

Şəkil 17-dən görüldüyü kimi spektrlərdə ensiz sərbəst radikal siqnalı və nanofazalı maqnit hissəciklərini xarakterizə edən siqnallar qeydə alınır. Gövdədə bu siqnallar ilə yanaşı dəmir ionlarının da siqnalı ($g=4,3$) qeydə alınmışdır. Lakin arakəsmədən sonra demək olar ki, maqnit nanohissəciklərinin siqnalları müşahidə edilmir (şəkil 18). Bu da bitkinin gövdə və yarpaqlarında dəmir oksidi maqnit nanohissəciklərinin nəqliyyatının olmamasına və yaxud çox zəif olmasına dəlalət edir.



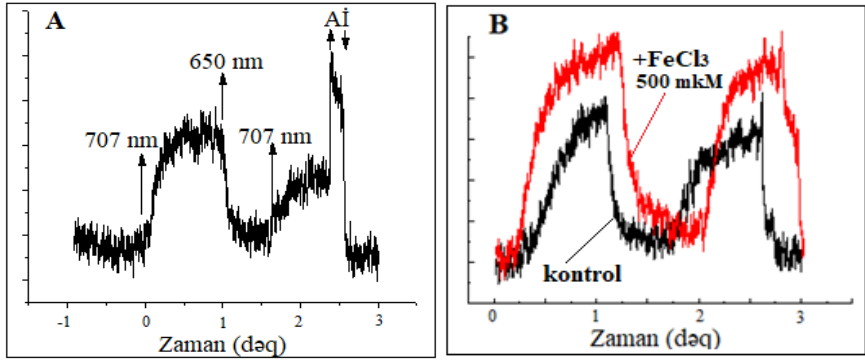
Şəkil 18. Arakəsmədən sonra olan hissədə *Limnophila aquatica* bitkisinin yarpaq və gövdələrinin EPR spektrləri

Alınan nəticələr bir daha deməyə əsas verir ki, EPR metodu ilə bitkilərin müxtəlif orqanlarında detektə etdiyimiz kristallik dəmir oksidi maqnit nanohissəcikləri stres təsir nəticəsində məhz canlı orqanizmin özündə biominerallaşma hadisəsi nəticəsində generasiya olunur.

3.6. Xloroplastlarda maqnit nanohissəciklərinin yaranması.

In vivo tədqiqatları zamanı aldığımız yeni hadisənin – stres təsir nəticəsində bitkilərdə maqnit xassələrinin yaranması hadisəsinin mexanizmini aydınlaşdırarkən model sistem olaraq ali bitkilərdən (ispanaq–*Spinacia* L.) izolə edilmiş xloroplastlar ilə *in vitro* tədqiqatları aparılmışdır. Kinetik əyrilərin alınması üçün maqnit sahəsi EPR 1 siqnalının maksimumunda fiksə edilmişdir. FS1-in reaksiya mərkəzi olan P700-ün oksidləşmə-reduksiya çevrilmələrinin kinetikasına oksidləşmiş P700⁺ mərkəzlərindən alınan EPR 1 siqnalına əsasən baxılmışdır. Kontrol və 500 mK qatılıqda FeCl₃ duzu əlavə edilmiş xloroplastlarda EPR 1 siqnalının fotoinduksiya

olunmuş dəyişikliklərinin kinetikasi FS 1-i həyəcanlandıran uzaq qırmızı işıqın ($\lambda=707\text{nm}$), FS 2- ni həyəcanlandıran yaxın qırmızı işıqın ($\lambda=650\text{nm}$) və ağ işıqın təsirləri zamanı tədqiq edilmişdir (şəkil 19).

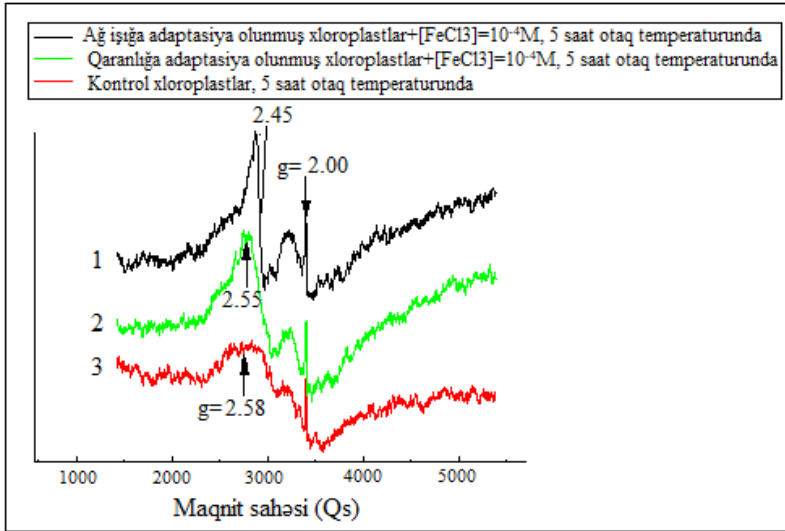


Şəkil 19. İspanaq bitkisinin izolə olunmuş xloroplastlarında EPR1 siqnalının qiymətinin fotoinduksiya olunmuş dəyişikliklərinin kinetikasi. \uparrow və \downarrow ilə kəsilməz uzaq qırmızı işıqın ($7 \times 10^{-4} \text{ C/sm}^2 \times \text{san}$), yaxın qırmızı işıqın ($10^{-4} \text{ C/sm}^2 \times \text{san}$) və ağ işıqın ($4 \times 10^{-2} \text{ C/sm}^2 \times \text{san}$) uyğun olaraq yanma və sönmə anları göstərilir

Şəkil 19 A – dan görünür ki, dalğa uzunluğu $\lambda=707 \text{ nm}$ olan işıqın təsiri altında P700-ün oksidləşməsi baş verir. EPR 1 siqnalı stasionar səviyyəyə çatdıqdan sonra bu işığı FS 2-ni daha effektiv həyəcanlandıran $\lambda=650 \text{ nm}$ işığına keçirdikdə EPR1 siqnalının kiçilməsi müşahidə olunur. Buna səbəb elektronların FS 2-dən P700⁺-ə axımıdır. Yenidən uzaq qırmızı işıqın verilməsi EPR 1 siqnalının bir qədər böyüməsinə səbəb olur. EPR 1 siqnalı stasionar səviyyədə olduqda hər iki fotosistemi effektiv həyəcanlandıran ağ işığı yandırdıqda EPR1 siqnalının sürətlə böyüməsi, ağ işığı söndürdükdə isə yenidən kəskin kiçilməsi baş verir. Müəyyən edilmişdir ki, nümunəyə 500 mkm qatılıqlı FeCl₃ əlavə etdikdə (şəkil 19 B) P700 reaksiya mərkəzlərinin oksidləşmə-reduksiya sürəti artır. Bu isə xloroplastda elektron qəbul edən sistemin (FeCl₃) olması ilə izah oluna bilər.

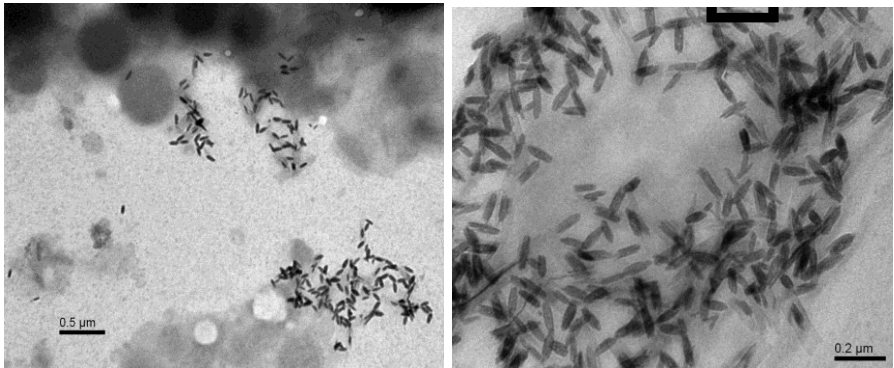
Xloroplastlarla aparılan təcrübələrin davamı olaraq ispanaq yarpaqlarından ayrılmış xloroplast suspenziyaları ayrı-ayrılıqda ağ

işığa və qaranlığa adaptasiya olunduqdan sonra onlara 10^{-4} M qatılıqda FeCl_3 məhlulu əlavə edilmiş və hazırlanmış məhlul 5 saat otaq temperaturunda saxlandıqdan sonra onların EPR spektrləri çəkilmişdir (şəkil 20). Eyni zamanda kontrol xloroplastlar da 5 saat otaq temperaturunda saxlandıqdan sonra onların EPR spektrləri qeydə alınmışdır. Məlum olmuşdur ki, dəmir ionlarının yüksək qatılığı xloroplastların aqreqasiyasına və onların fotosintetik aktivliyinin inhibirləşməsinə səbəb olur. Xloroplastlar işıqda saxlandıqda və onlara FeCl_3 məhlulu əlavə edildikdə dəmir oksidi maqnit nanohissəciklərinin yaranma effekti aşkar edilmişdir ($g=2,45$). Bu o deməkdir ki, xloroplastların tilakoid membranlarında baş verən elektron nəqliyyatı dəmir ionlarının reduksiyasına, eyni zamanda molekulyar oksigenin (O_2) mühitdə varlığı nanofazalı dəmir oksidi hissəciklərinin əmələ gəlməsinə səbəb olur. Bu da xarakterik geniş EPR siqnullarının generasiyası ilə müşahidə edilir.



Şəkil 20. İspanaq yarpaqlarından ayrılmış xloroplastların EPR spektrləri. 1. Ağ işığa adaptasiya olunmuş xloroplastlar + $[\text{FeCl}_3] = 10^{-4}$ M, 5 saat otaq temperaturunda. 2. Qaranlığa adaptasiya olunmuş xloroplastlar + $[\text{FeCl}_3] = 10^{-4}$ M, 5 saat otaq temperaturunda. 3. Kontrol xloroplastlar, 5 saat otaq temperaturunda

In vitro təcrübələri göstərdi ki, ispanaq yarpaqlarından ayrılmış xloroplastlarda maqnit nanohissəciklərinin fotoinduksiya olunmuş generasiyası baş verir. Müəyyən olundu ki, canlı sistemlərdə müəyyən şəraitdə oksidləşmə-reduksiya proseslərində nisbi kiçik konsentrasiyalarda dəmir ionlarının iştirakı ilə dəmir oksidi maqnit nanohissəcikləri (Fe_3O_4 - maqnetit və $\gamma-Fe_2O_3$ - magemit) generasiya oluna bilər. Maqnit nanohissəciklərinin vizuallaşdırılması üçün KEM üsulundan istifadə olunmuşdur. Nəticələr KEM ilə aparılan təcrübələrdə öz təsdiqini tapmışdır (şəkil 21).



Şəkil 21. Dəmir duzu əlavə olunmuş xloroplast məhlullarının KEM təsvirləri

IV FƏSİL

BƏZİ HEYVAN ORQANİZMLƏRİNDƏ RADIASIYA AMİLLƏRİNİN TƏSİRİ İLƏ MAQNİT XASSƏLƏRİNİN YARANMASI

Müasir dövrdə canlı sistemlərdə biogen nanoölçülü maqnetit kristallarının mövcud olması məlumdur. Bitkilərlə yanaşı, əsasən onlar insan və heyvan beyninin toxumalarında da iştirak edirlər¹⁸. Bu kristallik nanohissəciklərin xassələri az öyrənilmişdir və indiyə qədər

¹⁸ Kirschvink, J.L., Kobayashi-Kirschvink, A., Woodford, B.J. Magnetite biomineralization in the human brain // Proceedings of the National Academy of Sciences.USA: Biophysics, – 1992. V.89, - p. 7683-7687.

onların mənbəyi və təyinatı haqqında elmi nəticələr alınmamışdır. Bu barədə müxtəlif mülahizələr və fikirlər müzakirə olunur^{19,20}.

Bitki sistemləri ilə aparılan tədqiqatlarımız göstərdi ki, canlı sistemlərdə belə maqnit nanohissəciklərini aşkar etməyə və xarakterizə etməyə EPR spektroskopiyası metodu çox gözəl imkanlar verir. Təcrübələrimiz göstərdi ki, bu nanohissəciklər canlı sistemlərdə yeni maqnit xassələrinin meydana gəlməsinə və eyni zamanda geniş EPR signalının yaranmasına səbəb olurlar. Müxtəlif bitki sistemlərinə stres amillərinin təsirinin tədqiqinin davamı olaraq, bəzi heyvan orqanizmlərinə: Abşeronun müxtəlif ərazilərindən (Akademiya bağı, Hövsan bağları və Günəşli qəsəbəsi) yığılmış çanaqlı üzüm ilbizləri (*Helix pomatia*) və laboratoriya siçovullarına (*Wistar albino*) stres amillərinin təsiri öyrənilmişdir.

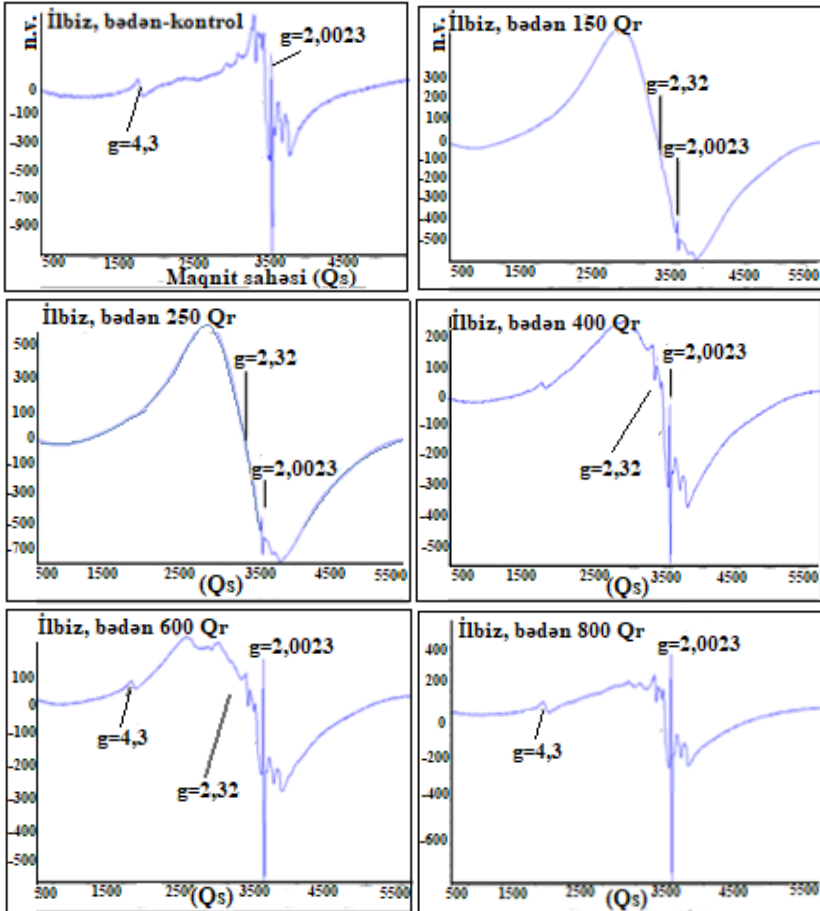
4.1. Stres amillərinin çanaqlı üzüm ilbizlərində (*Helix pomatia*) maqnit xassələrinin yaranmasında rolu. Model obyekt kimi seçilən üzüm ilbizləri stres amillərin təsirinə qarşı çox davamlıdırlar. Onların toxumalarında dəmirin miqdarı azdır, dəmir ionları əsasən fermentlərin tərkibinə daxil olurlar. Belə sistemdə dəmir oksidi kristallik hissəciklərin yaranması onların funksional vacibliyinə dəlalət edir. Bundan başqa ilbizlərdə biominerallaşma nəticəsində yaranan çanaqların tədqiqi də böyük maraq doğurur. Bu xüsusiyyətlərinə görə heyvan orqanizmlərində maqnit xassələrinin yaranmasını öyrənərkən tədqiqat obyektlərindən biri olaraq çanaqlı üzüm ilbizləri (*Helix pomatia*) seçilmişdir.

Kontrol və qablaşdırılaraq müxtəlif dozalarda (50 Qr, 100 Qr, 200 Qr, 350 Qr, 400 Qr, 500 Qr, 600 Qr, 700 Qr, 800 Qr) qamma radiasiya ilə şüalandırılmış çanaqlı üzüm ilbizləri Abşeronun müxtəlif ərazilərindən toplanmış və EPR metodu ilə tədqiq edilmişlər. Şüalanmadan sonra 30 gün müddətində onların həyat fəaliyyətləri, morfoloji xüsusiyyətləri izlənilmişdir. Bu müddət ərzində kontrol

¹⁹ Brem, F., Magnetic iron compounds in the human brain: a comparison of tumour and hippocampal tissue / F. Brem, A.M. Hirt, M. Winklhofer [et al.] // Journal of the Royal Society Interface, – 2006. 3(11), - p. 833-841.

²⁰ Mourdikoudis, S., Pallares, R.M., Thanh, N. T. K. Characterization techniques for nanoparticles: comparison and complementarity upon studying nanoparticle properties // Nanoscale, – 2018. V.10, – p. 12871-12934.

nümunələrdə ölüm faizi aşkar edilməmiş, onların aktiv hərəkətli olmaları müşahidə edilmişdir. Aşağı dozalarda (50 Qr - 350 Qr) şüalandırılan nümunələrdə az miqdarda ölən fərdlərə rast gəlinmiş, dozanın yüksəlməsi ilə ölüm faizi yuxarı olmuşdur. Şüalanmış fərdlərdə nisbətən az hərəkətlik və zəif qidalanma müşahidə edilmişdir. Şüalanmadan 30 gün sonra ilbizlərin bədən və çanaq hissələri bir-birindən ayrılaraq təbii şəraitdə, otaq temperaturunda qurudulmuş və onlarda paramaqnit mərkəzlər EPR metodu ilə tədqiq edilmişdir (şəkil 22, şəkil 24).



Şəkil 22. Kontrol və müxtəlif dozalarda qamma radiasiya ilə şüalandırılmış ilbizlərin bədən hissələrinin EPR spektrləri

Şəkil 22-dən görünür ki, üzüm ilbizlərinin bədən hissələrindən alınan spektrlərdə sərbəst radikal siqnalları ($g=2,0023$), maqnit nanohissəciklərini xarakterizə edən geniş EPR siqnalları ($g=2,32$) və dəmir ionlarının siqnalları ($g=4,3$) qeydə alınmışdır.

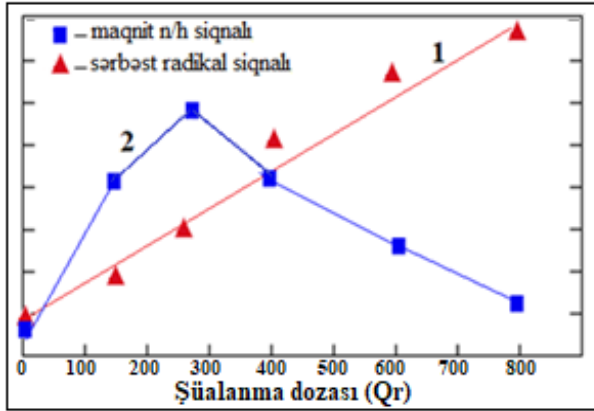
Kontrol ilə müqayisədə 250 Qr-ə qədər şüalanmış ilbizlərin bədən hissələrində dəmir oksidi maqnit nanohissəciklərini xarakterizə edən yüksək amplitudlu geniş EPR siqnalı ($g=2,32$) yaranmışdır. Şüalanma dozasının 400 Qr - dən 800 Qr- ə qədər yüksəlməsi isə bu siqnalların intensivliyinin tədricən azalmasına səbəb olmuşdur. Qeyd edək ki, belə qanunauyğunluq araşdırdığımız bitki nümunələrində də aşkar edilmişdir.

Siqnalların belə davranışının əsas mahiyyəti ondan ibarətdir ki, stres amil olan radiasiyanın dozasının tədricən artması (150 Qr və 250 Qr) nəticəsində ilbizlərin orqanizmində sərbəst dəmir ionlarının çoxalması baş verir.

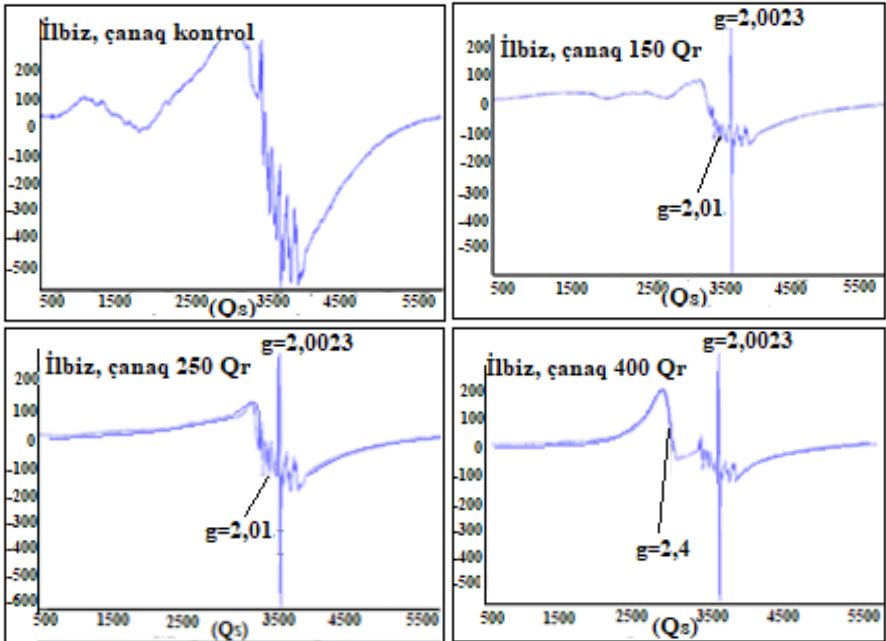
Digər tərəfdən stres təsir mitoxondrilərin ENZ – də qırılmalara səbəb olur və mühitə elektronlar yayılır. Nəticədə reduksiyaedici sistem orqanizmdə nanofazalı dəmir oksidi hissəciklərinin yaranmasına gətirir. Radiasiyanın dozasının bir qədər də artması ilə (400 Qr və 600 Qr) ilbizlərin orqanizmində sərbəst dəmir ionlarının çoxalmasına baxmayaraq reduksiyaedici sistemin tədricən zəifləməsi və sıradan çıxması orada maqnit nanohissəciklərinin əmələ gəlməsini azaldır. Ən yüksək - 800 Qr dozada şüalanma isə reduksiyaedici sistemin tamamilə destruksiyasına səbəb olduğu üçün artıq nanohissəciklərin yaranması demək olar ki, baş vermir və orqanizm məhv olur.

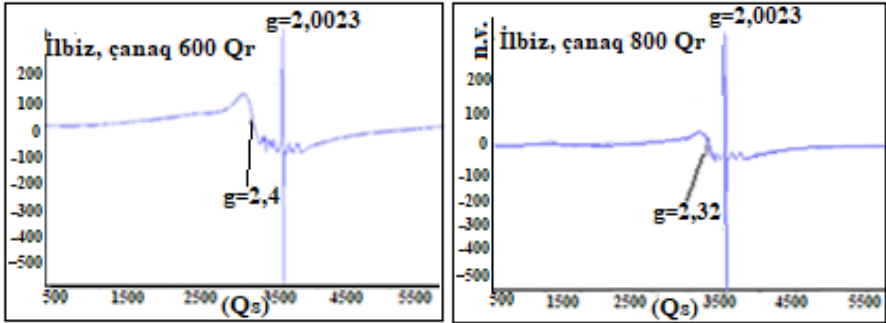
Bundan başqa, spektrlərdə sərbəst radikal siqnallarının intensivliklərinin şüalanma dozasından asılı olaraq xətti artması müşahidə edilmişdir. Qeydə alınan hər iki siqnalların intensivliyinin şüalanma dozasından asılılığı şəkil 23-də verilmişdir.

İlbizlərin çanaq hissələrinin də EPR spektrləri qeydə alınmışdır (şəkil 24). Bu spektrlərdə sərbəst radikal siqnalları ($g=2,0023$), dəmir oksidi maqnit nanohissəciklərinin siqnalları ($g=2,4$), yüksək incə quruluşa malik altikomponentli manqan ionlarının siqnalları ($g=2,01$) detektə edilmişdir.



Şəkil 23. İlbizin bədən hissələrindən alınan sərbəst radikal siqnallarının (1) və dəmir oksidi maqnit nanohissəciklərini xarakterizə edən geniş EPR siqnallarının (2) intensivliklərinin şüalanma dozasından asılılığı



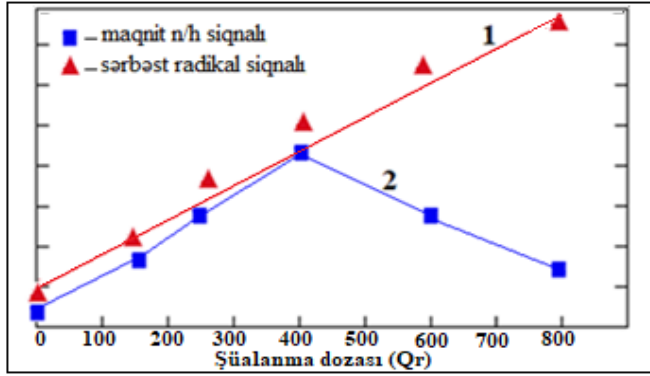


Şəkil 24. Kontrol və müxtəlif dozalarda qamma radiasiya ilə şüalanmış ilbizlərinin çanaq hissələrinin EPR spektrləri

Müəyyən edilmişdir ki, 150 Qr, 250 Qr dozada şüalanma çanaq nümunələrində dəmir oksidi maqnit nanohissəciklərini xarakterizə edən siqnalların əmələ gəlməsinə səbəb olur və şüalanma dozasının artması ilə bu siqnalların intensivliyi tədricən yüksəlir. Şüalanma dozası 400 Qr-ə çatdıqda maqnit nanohissəciklərini xarakterizə edən siqnalın intensivliyi maksimum qiymətini alır. Artıq 600 Qr dozada şüalanma bu siqnalın intensivliyinin bir qədər azalmasına səbəb olmuşdur. 800 Qr dozada şüalanma zamanı isə siqnalın intensivliyinin iki dəfə azalması müşahidə edilmişdir.

Məlumdur ki, çanaqlarda reduksiyaedici sistem yoxdur. Lakin onlarda da maqnit nanohissəciklərinin yaranmasını müşahidə edirik. Bu isə çanağın bədən ilə bilavasitə əlaqəli olması, onun vasitəsi ilə “qidalanması” sayəsində mümkün ola bilər. Biominerallaşma nəticəsində yaranan çanağın strukturunun əmələ gəlməsində, tərkibinin formalaşmasında bədənənin rolu və təsiri böyükdür²¹. İlbizlərin çanaq hissələrinin spektrlərində sərbəst radikal siqnallarının ($g=2,0023$) intensivliklərinin şüalanma dozasından asılı olaraq xətti artması müəyyən edilmişdir. Hər iki siqnalın intensivliyinin şüalanma dozasından asılılığı şəkil 25-də verilmişdir.

²¹ Nasibova, A.N. The use of EPR signals of snails as bioindicative parameters in the study of environmental pollution // *Advances in Biology & Earth Sciences*, – 2019. V.4, №.3, – p.196-205.



Şəkil 25. İlbizin çanaq hissələrindən alınan sərbəst radikal siqnalının (1) və maqnit nanohissəciklərini xarakterizə edən geniş EPR siqnalının (2) intensivliklərinin şüalanma dozasından asılılığı

Beləliklə, stres amillərin canlı sistemlərə təsirini öyrənərkən müəyyən edirik ki, stres amil bitki sistemlərində olduğu kimi heyvan orqanizmlərində də yeni maqnit xassələrinin yaranmasına səbəb olur. Bu nəticə istər biotibbi tətbiq baxımından, istərsə də ətraf mühitin ekoloji qiymətləndirilməsində çox perspektivli və əhəmiyyətlidir.

Üzüm ilbizlərinin bədən və çanaqlarının radionuklid tərkibi, onların xüsusi aktivlikləri müəyyən edilmişdir (cədvəl 2).

**Cədvəl 2
Üzüm ilbizlərinin çanaq və bədən hissələrinin radionuklid tərkibləri və onların xüsusi aktivlikləri**

Radionuklidlər	Ölçü vahidi	Çanaqlı üzüm ilbizləri, çanaq	Çanaqlı üzüm ilbizləri, bədən
⁴⁰ K	Bq/kq	26.1 ±3.1	6.7 ±1.5
²³² Th	Bq/kq	6.2 ± 0.3	MDA=0.32
²²⁶ Ra	Bq/kq	3.1 ±0.5	MDA=0.63
²²⁸ Ra	Bq/kq	4.3 ±0.4	MDA=0.55
¹³⁷ Cs	Bq/kq	1.39 ±0.12	0.91 ±0.14
²³⁵ U	Bq/kq	0.08 ±0.03	MDA=0.03
²³⁸ U	Bq/kq	1.65 ±0.31	MDA=0.65

*MDA – minimal doza aktivliyi

Məlum olmuşdur ki, ilbizlərin bədən hissələri ilə müqayisədə çanaqlarda daha çox radionuklidlər (^{40}K , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{137}Cs , ^{235}U , ^{238}U) toplanır. Eyni zamanda çanaqlarda radionuklidlərin xüsusi aktivliklərinin bədən ilə müqayisədə daha yüksək olması aşkar edilmişdir.

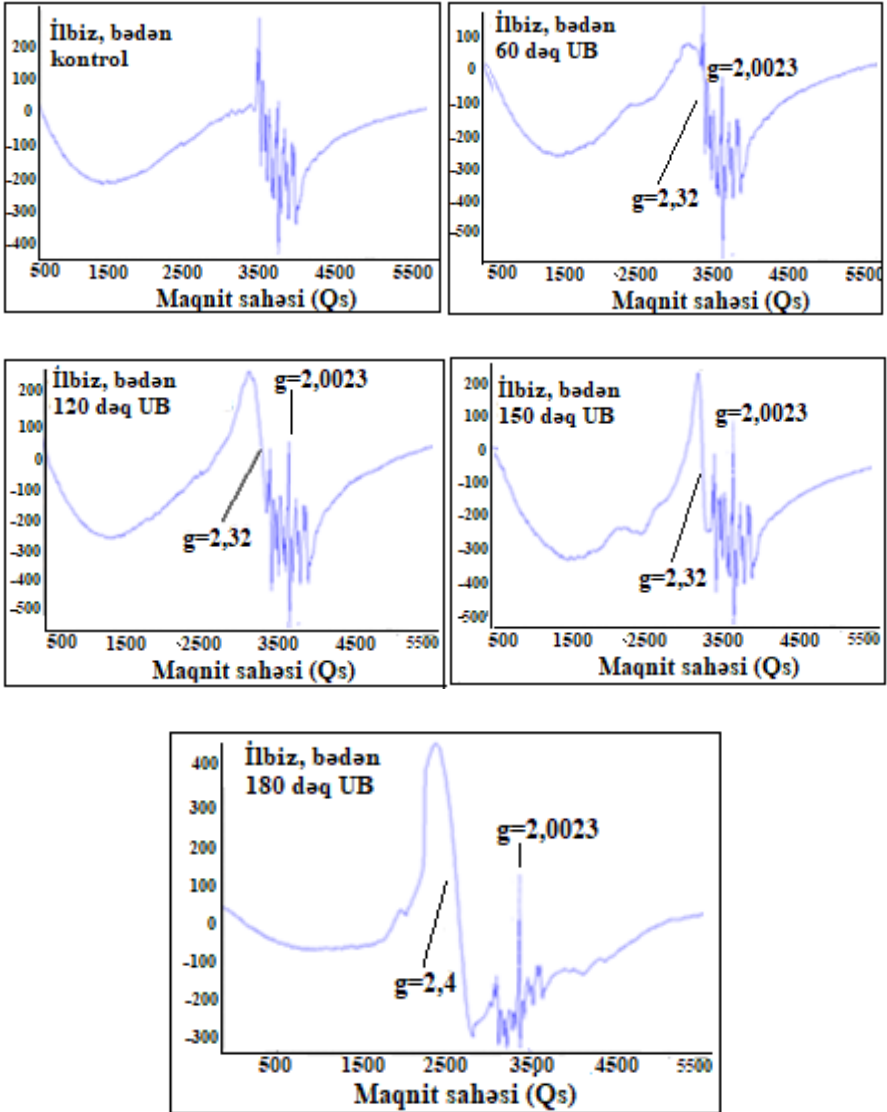
Aparılan tədqiqatlarda dəmir oksidi maqnit nanohissəciklərinin generasiyası və bu hadisəyə stres amillərinin təsir mexanizmi öyrənilmişdir. Alınan nəticələr göstərdi ki, stres amillər, o cümlədən radiasiya amili canlı sistemlərdə paramaqnit mərkəzlərin yaranmasında stimullaşdırıcı təsir rolunu oynayır.

Çanaqlı üzüm ilbizlərinin tədqiqi zamanı EPR üsulu ilə aparılan təcrübələr və alınan nəticələr göstərdi ki, bu üsul heyvan orqanizmlərində paramaqnit mərkəzlərin generasiyasının detektə olunmasında tamamilə yeni biofiziki, ekoloji məlumatlar əldə etmək üçün böyük əhəmiyyət kəsb edir. Alınan nəticələr canlı sistemlərdə (bitki orqanizmləri, xloroplastlar, heyvan orqanizmləri) biogen paramaqnit mərkəzlərin yaranmasını və rolunu dərinlən anlamağa imkan verir.

4.2. UB-şüalanmanın çanaqlı üzüm ilbizlərində endogen paramaqnit mərkəzlərə təsiri. İonlaşdırıcı qamma radiasiyadan başqa UB-şüalanmanın da çanaqlı üzüm ilbizlərinə təsiri tədqiq olunmuşdur.

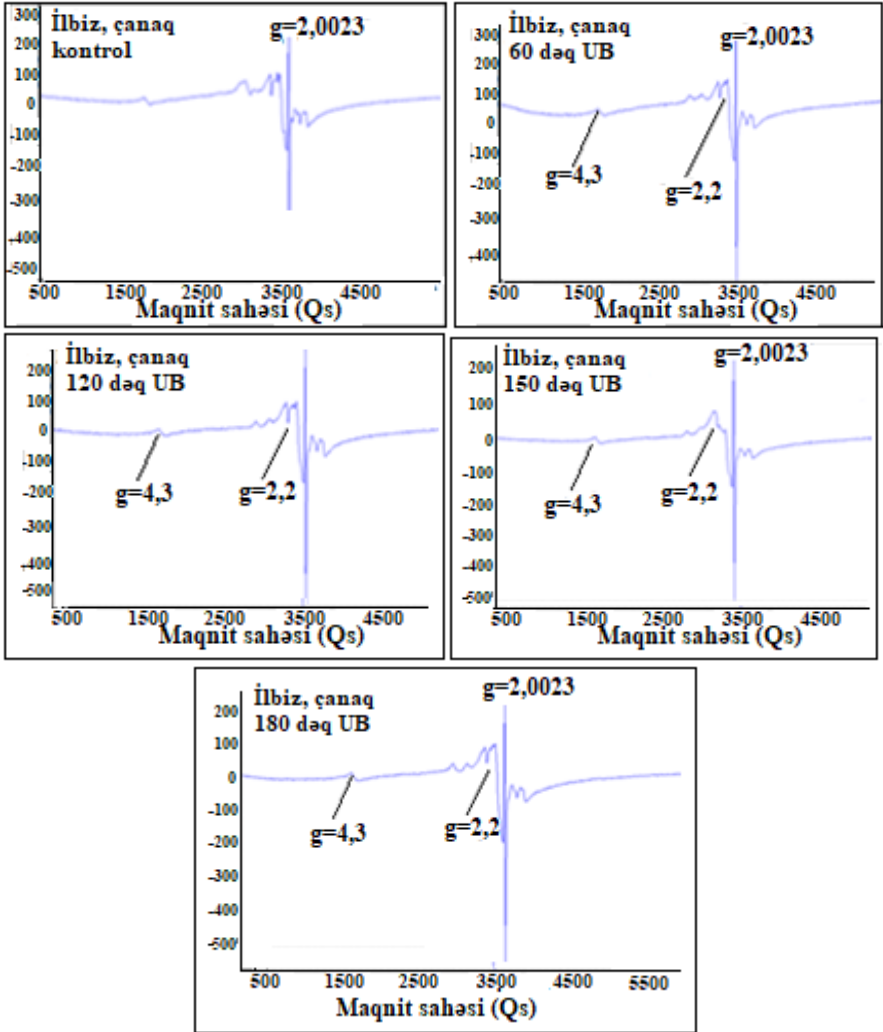
İlbizlər hər birində 13-18 fərd olmaqla qablaşdırılmış və DRT-230 civə-kvars lampası ilə şüalandırılmışlar. UB-radiasiya ilə şüalanma 60 dəq., 120 dəq., 150 dəq., 180 dəq. müddətlərində aparılmışdır. Qeyd edək ki, 10 dəq. şüalanma $1,2 \text{ C/sm}^2$ -ə uyğundur. 3 gün sonra ilbizlərin çanaq və bədən hissələri bir-birindən ayrılmış, otaq temperaturunda, təbii şəraitdə qurudulduqdan sonra onların EPR spektrləri maqnit sahəsinin geniş intervalında qeydə alınmışdır (şəkil 26, şəkil 27). Şəkil 26-da kontrol və müxtəlif dozalarda UB-şüalanmaya məruz qalmış ilbizlərin bədən hissələrinin EPR spektrləri verilmişdir. Kontrol nümunədə sərbəst radikal signalı ($g=2,0023$) və altı komponentli manqan ionlarının signalı ($g=2,01$) detektə edilmişdir. UB radiasiya ilə şüalanma zamanı həmçinin, dəmir oksidi maqnit nanohissəciklərini xarakterizə edən EPR signalı da qeydə alınmışdır və şüalanma dozasının artması ilə bu signalın integral

intensivliklərinin xətti yüksəlməsi müşahidə edilmişdir. UB şüalanma sərbəst radikal siqnallarının amplitudlarının xətti artmasına səbəb olmuşdur (şəkil 26).



Şəkil 26. Kontrol və UB-şüalanmaya məruz qalmış çanaqlı üzüm ilbizlərinin bədən hissələrinin EPR spektrləri

UB radiasiya ilə şüalanmış ilbizlərin çanaq hissələrinin EPR spektrləri şəkil 27-də göstərilmişdir. Burada sərbəst radikal siqnallarının ($g=2,0023$) UB şüalanmadan asılı olaraq xətti artması müşahidə edilmiş və dəmir ionlarının siqnalları ($g=4,3$) qeydə alınmışdır.



Şəkil 27. Kontrol və UB-şüalanmaya məruz qalmış üzüm ilbizlərinin çanaq hissələrinin EPR spektrləri

Çanaqlardan alınan spektrlərdə nanofazalı dəmir oksidi hissəciklərini xarakterizə edən, zəif intensivliyə malik olan siqnallar ($g=2,2$) qeydə alınmışdır. Çanaq nümunələrində bu siqnalların yaranması üzüm ilbizlərində çanağın strukturunun formalaşmasında bədənin böyük rolu olduğunun göstəricisidir. Beləliklə, təcrübələr göstərdi ki, stres amillər (qamma radiasiya, UB şüalanma) ilbizlərdə dəmir oksidi maqnit nanohissəciklərinin və maqnit xassələrinin yaranmasına səbəb olur.

4.3. Stres amil olaraq qamma radiasiyanın təsirinə məruz qalmış laboratoriya siçovullarında (*Wistar albino*) maqnit xassələrinin öyrənilməsi. Stres amillərinin heyvan orqanizmlərinə təsirini öyrənərkən laboratoriya siçovulları ilə də tədqiqatlar aparılmışdır. Qamma radiasiyanın müxtəlif dozalarının (3 Qr, 6 Qr, 8 Qr) siçovullara təsiri öyrənilmişdir. Kontrol və müxtəlif dozalarda qamma radiasiya ilə şüalanmış laboratoriya siçovullarında paramaqnit mərkəzlər tədqiq edilmişdir.

Aparduğumuz təcrübələrdə hər birində altı fərd olmaqla siçovullar dörd qrupa bölünmüşdür: 1) kontrol; 2) 3 Qr şüalanmış; 3) 6 Qr şüalanmış; 4) 8 Qr şüalanmış. Siçovullar ^{60}Co mənbəli RXUND 20000 qurğusunda ($D=0,286$ rad/san) şüalandırılıblar. Təcrübələrdə adətən 37-55 günlük siçovullardan istifadə edilmişdir. Şüalandırılmış siçovullar laboratoriya şəraitində (30 gün), otaq temperaturunda saxlanılmışlar. Bu müddət ərzində siçovulların həyat fəaliyyətləri, davranışları nəzarətdə saxlanılmış, onlarda şüalanmadan sonra yaranan morfo-fizioloji dəyişikliklər izlənilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, siçovulların həyat qabiliyyətləri, aktivlikləri aşağı düşmüş, qidalanmaları zəifləmişdir.

Şüalanmadan sonra bir ay müddətində kontrol və 3 Qr dozada şüalanmış nümunələrdə adətən ölüm halları müşahidə edilmir. 6 Qr dozada şüalanmış siçovullar 2-6 ay müddətində, 8 Qr dozada şüalanmış siçovullar isə bir qayda olaraq 1 aya qədər olan müddətdə tələf olurlar. Şüalanmadan sonra siçovullar kəsilərək daxili orqanları (ürək, qaraciyər, ağciyər, dalaq, böyrəklər) çıxarılmış (şəkil 28) təbii şəraitdə, otaq temperaturunda qurudulduqdan sonra onların EPR spektrləri qeydə alınmışdır.

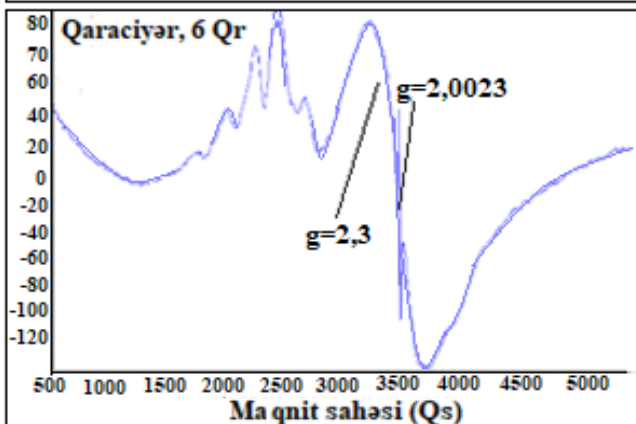
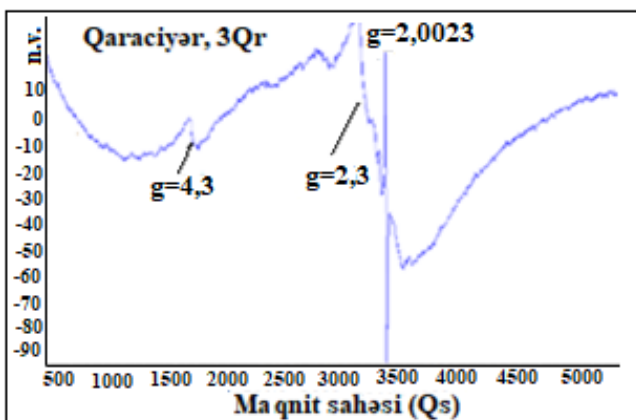
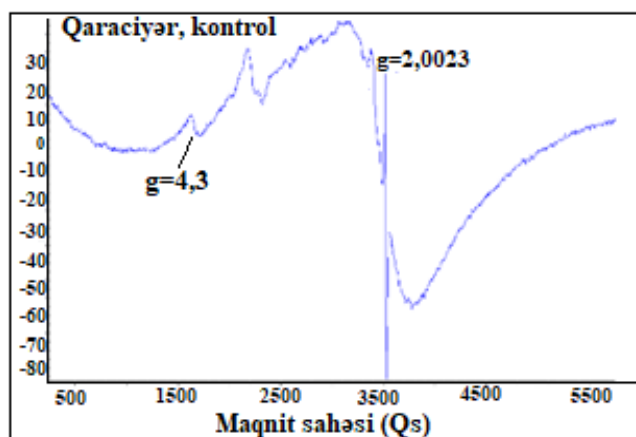


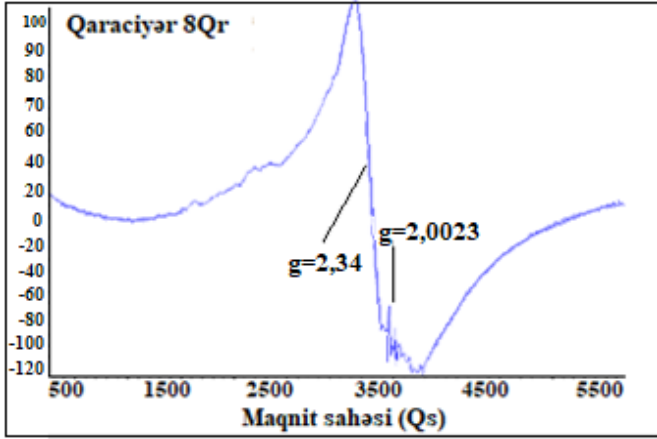
Şəkil 28. Kontrol və şüalanmış siçovulun daxili orqanları (soldan-ürək, dalaq, böyrəklər, ağciyər, qaraciyər)

Kontrol və şüalanmış laboratoriya siçovullarının daxili orqanlarında sərbəst radikalın, altıkomponentli manqan ionlarının siqnalları müşahidə edilmişdir. Qaraciyər orqanlarında bu siqnallarla yanaşı dəmir oksidi maqnit nanohissəciklərini xarakterizə edən siqnallar da aşkar edilmişdir (şəkil 29).

Şüalanma dozasının artması bu nümunələrdə sərbəst radikal siqnallarının intensivliyinin yüksəlməsinə gətirmişdir. Bundan başqa stres amilinin təsiri nəticəsində qaraciyər orqanlarında dəmir oksidi maqnit nanohissəciklərinin siqnallarının yaranması aşkar edilmişdir. Şüalanma dozası 8 Qr olduqda isə yüksək inteqral intensivlikli EPR siqnalları müşahidə edilmişdir (şəkil 29). Alınan nəticə biotibbi tədqiqatlarda tətbiq üçün mühüm praktiki əhəmiyyət kəsb edir.

EPR metodunun köməyi ilə laboratoriya siçovullarının daxili orqanlarında, xüsusilə də qaraciyərdə stres amillərinin təsiri zamanı biogen dəmir oksidi maqnit nanohissəciklərinin generasiya olunduğu müəyyən edildikdən sonra, bu nəticələr KEM vasitəsilə araşdırılmış və birmənalı təsdiq edilmişdir.



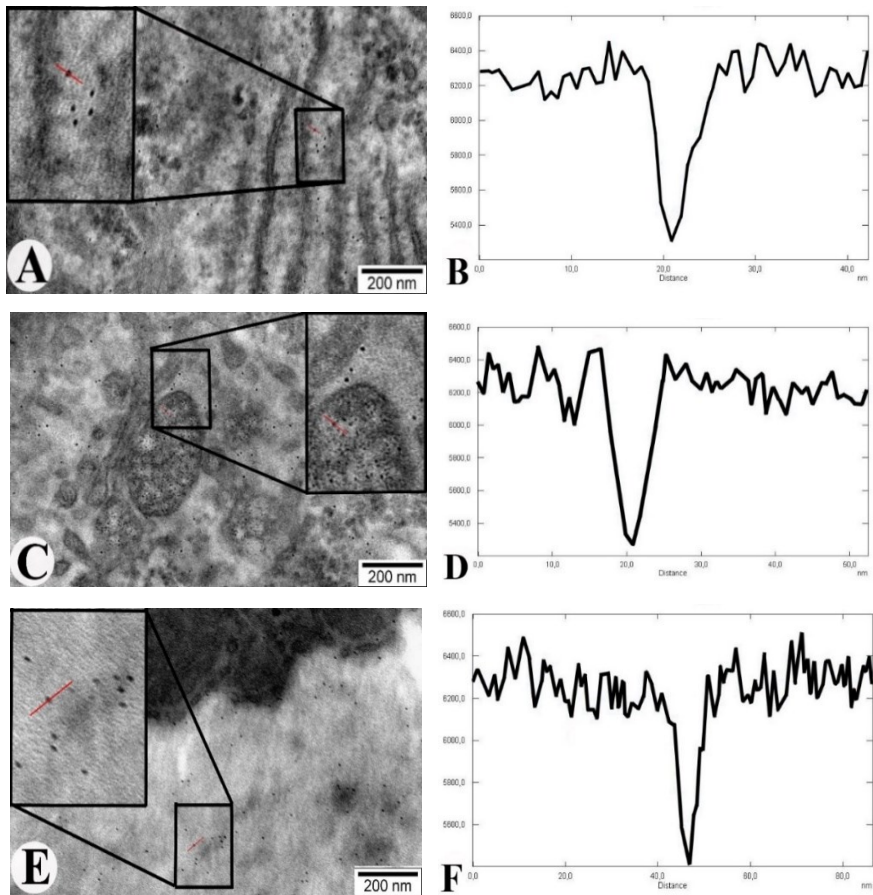


Şəkil 29. Kontrol və müxtəlif dozalarda qamma radiasiya ilə şüalanmış siçovulların qaraciyər orqanlarının EPR spektrləri

Kontrol və müxtəlif dozalarda (6 Qr, 8 Qr) ionlaşdırıcı qamma radiasiya ilə şüalanmış laboratoriya siçovullarının qaraciyər orqanlarının struktur elementlərində (hepatosit, sinusoid və s.) nanohissəciklərin bioakkumulyasiyası KEM vasitəsi ilə öyrənilmişdir.

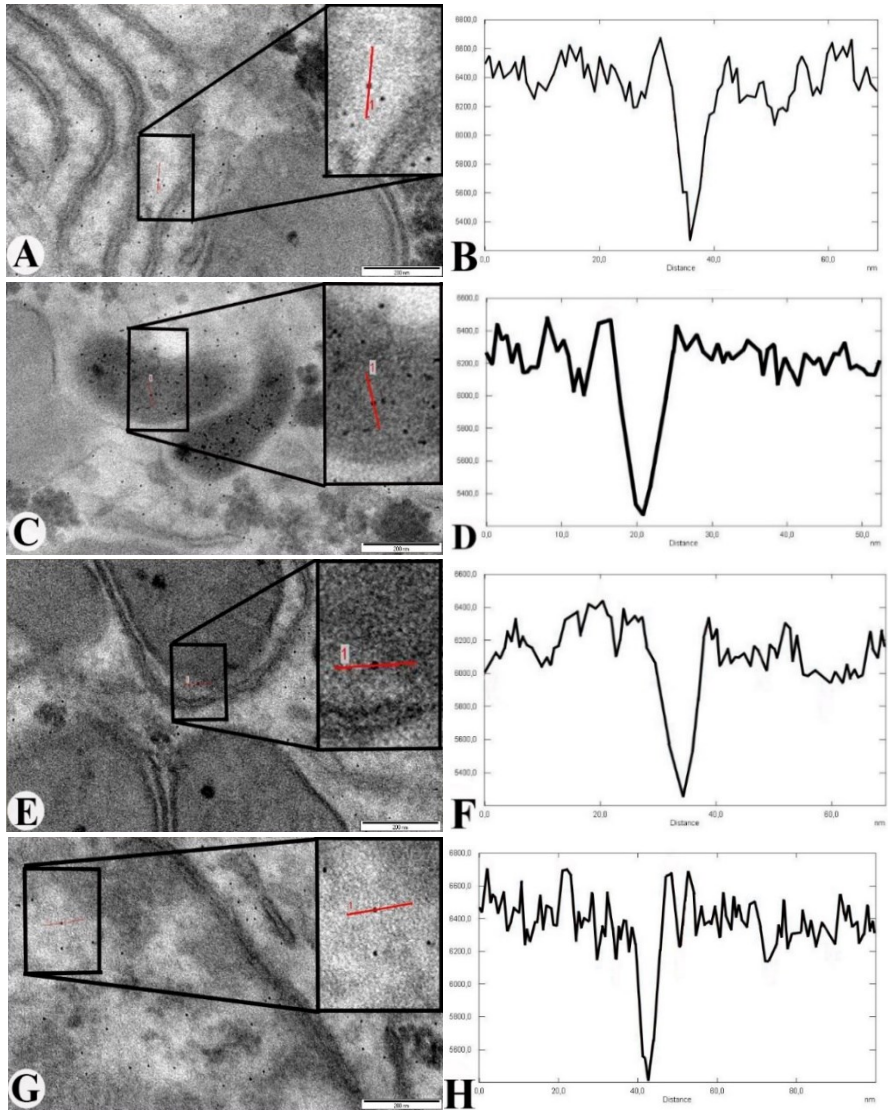
6 Qr dozada şüalanmış siçovulların qaraciyər orqanlarının ultrastruktur tədqiqi aparılmışdır. Bu zaman elektron mikroskopunun böyük böyüdücülərində (100000 dəfə və daha artıq) hepatositlərin sitoplazmasında (şəkil 30 A), mitoxondrilərin kristallarında (şəkil 30 C), qlikogendə (şəkil 30 E) və başqa struktur elementlərdə bioakkumulyasiya olunan nanohissəciklər müşahidə olunmuşdur. Həmin strukturlar şəkillərdə göstərilməklə yanaşı, onların “intensity profile” proqramı vasitəsilə histogramları da verilmişdir (şəkil 30 B, şəkil 30 D, şəkil 30 F). Nanohissəciklərin çalarlıq dərəcəsinin 5300-5400, ölçülərinin isə 10-12 nm olduğu müəyyən edilmişdir.

Qeyd olunanlar KEM-də vizual olaraq görünən nanohissəciklərin məhz dəmir oksidi maqnit nanohissəcikləri (maqnetit- Fe_3O_4) olduğunu söyləməyə əsas verir.



Şəkil 30. Şüalanmaya (6 Qr) məruz qalmış siçovullarda qaraciyərin hepatositlərində nanohissəciklərin (Fe_3O_4) bioakkumulyasiyası. A, C, E – rənglənməmiş ultranazik en kəsiyinin (50–70 nm) elektron mikroskopunda fotosəkli, B, D, F – hepatositlərdə yerləşən nanohissəciklərin histqramları

Yüksək dozada (8 Qr) radiasiyanın tətbiqindən sonra elektron mikroskopunun 100000 dəfədən artıq böyüdücüsündə alınan elektronqramlarda hepatositin sitoplazmasında və orada yerləşən strukturların daxilində toplanan nanohissəciklər aşkar edilmişdir (şəkil 31).



Şəkil 31. Şüalanmaya (8 Qr) məruz qalmış siçovullarda qaraciyərin hepatositlərində nanohissəciklərin (Fe_3O_4) bioakkumulyasiyası. A, C, E, G – boyanmamış ultranazik en kəsiyinin elektron mikroskopunda fotosəkli (50-70 nm), B, D, F, H – hepatositlərdə yerləşən nanohissəciklərin histqramları

Hepatositin sitoplazmasında (şəkil 31 A), lizosomlarda (şəkil 31 C), mitoxondrilərdə (şəkil 31 E) və həmçinin nüvənin daxilində (şəkil 31 G) nanoölçülü maqnit hissəciklər qeyd edilmişdir. Həmin strukturların “intensity profile” proqramı vasitəsilə histqramları da hazırlanmışdır (şəkil 31 B, şəkil 31 D, şəkil 31 F, şəkil 31 H). Aşkar olunan nanohissəciklərin çalarlıq dərəcəsi 5200-5400, ölçüləri isə 10-12 nm olmuşdur. Bu hal həmin nanohissəciklərin məhz maqnetit - Fe_3O_4 olduğunu göstərir.

Beləliklə, laboratoriya sığovulları ilə aparılan təcrübələrdən məlum olmuşdur ki, tədqiq etdiyimiz digər canlı sistemlərdə (müxtəlif növ bitkilər, xloroplastlar, çanaqlı üzüm ilbizləri) olduğu kimi laboratoriya sığovullarının da orqanizmlərində stres amillərin təsiri zamanı biominerallaşma hadisəsi nəticəsində biogen nanofazalı dəmir oksidi maqnit hissəcikləri generasiya olunur. Belə ki, onların qaraciyər orqanlarında dəmir oksidi maqnit nanohissəciklərini xarakterizə edən geniş EPR siqnalları ($g=2,3$; $\Delta H=320$ Qs) qeydə alınmışdır. Alınan nəticələr KEM metodu ilə də öz təsdiqini tapmışdır. 6 Qr və 8 Qr dozalarda qamma radiasiya ilə şüalandıqdan sonra laboratoriya sığovullarının qaraciyər orqanlarının müxtəlif struktur elementlərində 10-12 nm ölçülü maqnetit (Fe_3O_4) nanohissəciklərini KEM vasitəsilə vizual olaraq görmək mümkün olmuşdur. Fe_3O_4 nanohissəcikləri qaraciyərin hepatositlərinin ultrastrukturunun tədqiqi zamanı sitoplazmatik struktur elementlərdə (mitoxondri, lizosom, qlikogen, nüvə və sitoplazmanın özündə) aşkar edilmişdir.

V FƏSİL

BIOGEN MƏNŞƏLİ NEFT NÜMUNƏLƏRİNDƏ MAQNİT XASSƏLƏRİNİN YARANMASI

5.1. Abşeronun müxtəlif neft yataqlarından olan neft nümunələrində paramaqnit mərkəzlərin tədqiqi. Məlumdur ki, neft biogen mənşəlidir, canlı aləmin (bitkilər, heyvanlar, mikroorqanizmlər) məhsuludur və Abşeron yarımadası üçün də xarakterikdir. Bununla əlaqədar olaraq bitki və heyvan orqanizmlərində aşkar etdiyimiz dəmir oksidi maqnit nanohissəcikləri Abşeron yarımadası üçün xarakterik biogen mənşəli neft nümunələrində də araşdırılmışdır. Azərbaycan

karbohidrogen istehsalı sahəsində aparıcı ölkələrdən biridir. Bu neftin istehsalı, daşınması, emalı proseslərinin effektivliyinin və ekoloji təhlükəsizliyinin vacibliyini və aktuallığını şərtləndirir. Azərbaycanın yeraltı ehtiyatlarının intensiv öyrənilməsi bir sıra hallarda torpağın radioaktiv çirklənməsi ilə müşayiət olunur. Bu da ətraf mühitə radiasiyanın təsirinin nəticələrinin və monitorinqinin analizinin mühümlüyünü göstərir.

Tərəfimizdən Abşeronun müxtəlif neft yataqlarından götürülmüş neft nümunələrində paramaqnit mərkəzlər tədqiq edilmişdir. Tədqiqatlarımız göstərmişdir ki, dəmir oksidi maqnit nanohissəcikləri neftin struktur elementlərinin tərkibində də mövcud ola bilər.

Məlum olduğu kimi bir sıra mikroorqanizmlər neftlə qidalana və karbohidrogenləri parçalaya, həmçinin dəmir oksidi hissəciklərini yarada bilər. Neftdə maqnit nanohissəciklərinin olması xarici maqnit sahəsinin köməyi ilə neftin texnoloji mühüm xüsusiyyətlərini (özlülük, parafinlərin çökməsi və s.) idarəetmənin mümkünlüyünü şərtləndirir. Qeyd etmək lazımdır ki, neft bir sıra maye kolloid, o cümlədən bioloji (qan, limfa, bitki şirəsi və s.) mühitlər kimi qeyri-nyuton adlanan mayələrə aiddir. Bu mayələr, ilk növbədə, özlülüyün hərəkət deformasiyasından (mayenin hərəkət sürətinin qradiyenti) güclü asılı olmaları ilə xarakterizə olunurlar. Bu xüsusiyyət, həmçinin, ağır neftin yüksək özlülüyü neftin hasilatını və nəqlini çətinləşdirən texniki problemlərə səbəb olur. Maqnit nanohissəcikləri neftin kolloid komponentlərinin fraktal aqreqatlarının tərkibinə daxil ola bilərlər. Məhz bu hal neftə xarici maqnit sahəsinin təsirinin köməyi ilə aqreqatların strukturuna təsir etməyə, neftin xarakteristikalarını dəyişməyə (özlülüyü və parafinlərin çökməsini azaltmağa) imkan verir^{22,23}.

Qeyd etmək lazımdır ki, dəmir oksidi maqnit nanohissəcikləri maqnit xassələri ilə yanaşı kimyəvi stabilliklə də xarakterizə olunurlar və canlı, eyni zamanda cansız təbiətdə kifayət qədər geniş yayılıblar. Bəzi ədəbiyyatlarda rentgen difraktometriya üsulu ilə neftdə dəmir birləşmələrinin iştirakı aşkar edilmişdir, lakin dəmir hissəciklərinin

²² Лесин, И.В., Кокшаров, Ю.А., Хомутов, Г.Б. Магнитные наночастицы в нефти // Нефтехимия, – 2010. Т.50, №2, – с.114-117.

²³ Лесин, В.И. Кокшаров, Ю.А. Хомутов, Г.Б. Магнитные наночастицы в составе агрегатов коллоидных частиц нефти // Нефтяное хозяйство, – 2009, –с. 95-97.

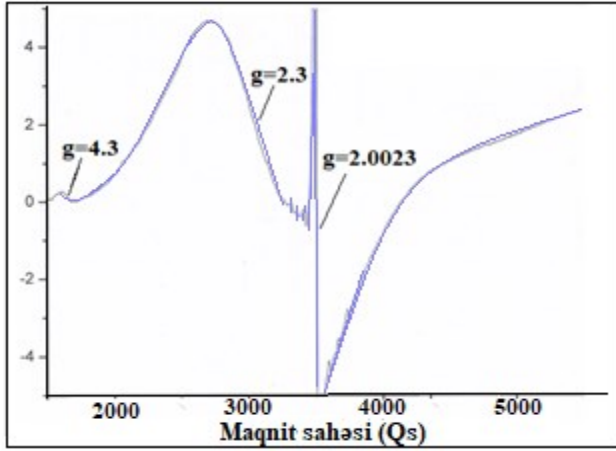
ölçüləri və onların neftin kolloidal hissəcikləri ilə qarşılıqlı təsiri barədə heç bir məlumat verilməmişdir²⁴.

Abşeronun müxtəlif ərazilərində neft quyularından (Umbakı, Atəşgah, Qala yatağı, Bibiheybət, Balaxanı və s.) götürülmüş 11 neft nümunəsinin xarakteristikaları EPR metodu ilə öyrənilmişdir. Təcrübələrdə maqnit sahəsinin geniş intervalında otaq temperaturunda qeydə alınan EPR spektrlərinin analizi göstərdi ki, dəmir oksidi maqnit nanohissəciklərinin mövcudluğu bəzi neft nümunələri üçün xarakterikdir. Bu nanohissəciklər ferromaqnit xassələrə malik olduqlarından xarici maqnit sahəsi vasitəsilə neft nümunələrinin özlülüyünü dəyişmək mümkün ola bilər. Bu isə neftin əsas fiziki-kimyəvi xüsusiyyətlərini idarəetmənin yeni effektiv nanotexnologiyalarının hazırlanmasına yönələn nəticələrdən biridir.

Şəkil 32 –də Abşeronun neft nümunəsindən alınan geniş EPR siqnalı verilmişdir. Spektrdə dəmir ionlarını xarakterizə edən EPR siqnalı ($g=4,3$) ilə yanaşı dəmir oksidi nanohissəciklərinə xas olan geniş EPR siqnalı ($g=2,3$) və bütün neft nümunələrində müşahidə edilən sərbəst radikal EPR siqnalı ($g=2,0023$) qeydə alınmışdır. Müxtəlif təbii sistemlərdə (bitki, heyvan orqanizləri, neft) paramaqnit və superparamaqnit mənbələrə mənsub EPR siqnallarının oxşarlığı onu göstərir ki, biominerallaşma hadisəsi həmin təbii sistemlərdə baş verir və nəticə etibarilə müəyyən şəraitlərdə paramaqnit mərkəzlər formalaşır. Abşeron yarımadasının bəzi neft yataqlarından çıxarılan neft nümunələrində dəmir oksidi maqnit nanohissəciklərin mövcudluğu həmin yataqlarda neftçıxarma və neft nəqli proseslərinə maqnit sahəsi vasitəsilə təsir etməyə imkan verir²⁵.

²⁴Лесин, В.И. Фрактальная теория вязкости неньютоновской нефти, основанная на учете взаимодействия коллоидных частиц: обзор и новые результаты // Актуальные проблемы нефти и газа, – 2021. №1, – с.26-46.

²⁵ Khalilov R.I. Physicochemical properties of oil (petroleum) samples containing nanoparticles. / R.I. Khalilov, I. Guliyev, F.Kadirov [et al.] // Journal of Radiation Researches, - 2018. V.5, i.2, - p.342-346.



Şəkil 32. Neft nümunəsinin EPR spektri

Bu nəticələr quyuların neft hasilatını artırmaq, boru kəmərləri ilə neftin fasiləsiz nəqlini təmin etmək və fiziki, kimyəvi təsirlərdən istifadə etməklə neftin özlülüyünün məqsədyönlü dəyişdirilməsi əsasında neft emalı üçün iqtisadi cəhətdən effektiv və ekoloji baxımdan təhlükəsiz texnologiyaların yaradılmasının elmi-texniki problemlərinin həllinə kömək edə bilər. Neftin özlülüyünün azalması problemi və neft quyularının, neft kəmərlərinin divarlarında parafin çöküntülərinin artma sürətinin azalması problemi neft hasilatı sənayesində mühüm və aktualdır, həmçinin, bunların həllindən əsas etibarilə, bütövlükdə neft sənayesinin iqtisadi və ekoloji effektivliyi asılıdır.

ƏSAS NƏTİCƏLƏR

1. İlk dəfə olaraq Abşeron yarımadası üçün xarakterik bitki nümunələrinə radioaktiv çirklənmənin təsirinin EPR üsulu ilə tədqiqi zamanı maqnit sahəsinin geniş intervalında (0-5500 Qs) geniş EPR siqnalı ($g=2,32$; $\Delta H=320$ Qs) müşahidə edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, radiasiya fonunun yüksəlməsi bu siqnalın intensivliyinin artmasına səbəb olur. Ətraf mühitin ekoloji vəziyyətinin öyrənilməsi və monitorinqində bu EPR siqnallarının davranışı çox əhəmiyyətlidir və biondikasiya parametrləri kimi istifadə oluna bilərlər.

2. *In vivo* və *in vitro* tədqiqatları nəticəsində məlum olmuşdur ki, stres zamanı canlı sistemlərdə yaranan xarakterik geniş EPR siqnalı ($g\approx 2,2-2,4$; $\Delta H\approx 320-450$ Qs) dəmir oksidi maqnit nanohissəciklərini xarakterizə edir. Müəyyən edilmişdir ki, sintetik maqnit nanohissəciklərinin spektrlərinin qeydiyyat temperaturunun otaq temperaturundan 80 K - ə enməsi bu siqnalın amplitudunun kəskin azalmasına və eninin nəzərəçarpan genişlənməsinə səbəb olur. Sintetik maqnit nanohissəciklərinin EPR siqnallarının temperaturdan asılı olaraq dəyişmə xüsusiyyətləri bitki nümunələrinin geniş EPR siqnallarının temperaturdan asılı olaraq dəyişməsi ilə identik olmuşdur.

3. *In vitro* tədqiqatları zamanı aşkar edilmişdir ki, tilakoid membranlarının zədələnməsi nəticəsində ENZ-nin müəyyən lokuslarında Fe^{3+} ionları reduksiya olunaraq maqnit nanohissəciklərinə çevrilir. Bu da xarakterik EPR siqnallarının ($g=2,4$; $\Delta H=320$ Qs) əmələ gəlməsi ilə müşahidə olunur. Alınan nəticələr KEM metodu ilə mikroskopik tədqiqatlarda öz təsdiqini tapmışdır.

4. Əncir (*Ficus carica* L.) yarpaqlarının EPR spektrlərinin temperaturdan asılılığının (260K - 60K) öyrənilməsi göstərdi ki, paramaqnit rezonans siqnalının amplitudu və eni parametrlərinin davranışında 120-125 K temperaturda superparamaqnit nanohissəciklər üçün xarakterik Vervey faza keçidi yaranır. Belə ki, bu temperaturda siqnalın amplitudu maksimum, eni isə minimum qiymət alır.

5. İlk dəfə olaraq nar (*Punica granatum*) ekstraktının reduksiyaedici xüsusiyyətləri EPR üsulu ilə müəyyən edilmişdir və göstərilmişdir ki, müəyyən qatılıqlarda Fe^{3+} ionları nar şirəsində nanofazalı dəmir oksidi hissəciklərinin generasiyasına səbəb olur.

6. Stres amillərinin fotosintezin C3 və C4 tipinə aid bitkilərin morfoloji xüsusiyyətlərinə və paramaqnit mərkəzlərinə təsiri öyrənilmişdir. Məlum olmuşdur ki, stres amillər müəyyən dozaya qədər C3 bitkilərinin və onlarda yaranan paramaqnit mərkəzlərin böyüməsinə stimullaşdırıcı, C4 bitkilərinə isə ləngidici təsir göstərir. Müəyyən edilmişdir ki, alınan qanunauyğunluq C3 bitkilərində OFF-nın yaranmasının qarşısını alaraq müdafiə funksiyasını yerinə yetirən fototənəffüs prosesinin işə düşməsi ilə əlaqəli ola bilər.

7. Müxtəlif növ çay yarpaqlarında paramaqnit mərkəzlərin tədqiqi onların yüksək antioksidant aktivliyə malik olduğunu göstərdi. Çay yarpaqlarından alınan EPR spektrlərinə əsasən aşkar edilmişdir ki, antioksidant aktivlik təzə çay yarpağı nümunələri ilə müqayisədə qablaşdırılmış çay nümunələrində daha azdır. Əlavə olaraq antioksidant aktivliyin bitkinin gövdəsinin aşağı hissələrində bitən yarpaqlarda, yəni daha yaşlı yarpaqlarda daha yüksək olması müəyyən edilmişdir.

8. Çanaqlı üzüm ilbizlərinə qamma radiasiyanın və UB-şüalanmanın təsirinin öyrənilməsi zamanı müəyyən edilmişdir ki, radiasiya dozası artdıqca onların çanaq və bədənlərində sərbəst radikal siqnallarının intensivliyi xətti artır. Dəmir oksidi maqnit nanohissəciklərini xarakterizə edən EPR siqnallarının qamma radiasiyanın dozasından asılı olaraq qeyri-monoton dəyişməsi, UB radiasiyanın dozasından asılı olaraq isə xətti dəyişməsi aşkar edilmişdir.

9. Laboratoriya siçovulları ilə aparılan EPR tədqiqatları göstərdi ki, ionlaşdırıcı qamma radiasiya onların qaraciyər orqanlarında dəmir oksidi maqnit nanohissəciklərini xarakterizə edən siqnalın ($g=2,32$; $\Delta H=320$ Qs) yaranmasına səbəb olur. Alınan nəticələr KEM ilə təcrübələrdə sübut edilmiş, müxtəlif dozalarda (6 Qr, 8 Qr) qamma radiasiya ilə şüalanmış siçovulların qaraciyər orqanının struktur elementlərində (hepatosit, sinusoid və s.)

nanohissəciklərin (maqnetit – Fe_3O_4) bioakkumulyasiyası vizual olaraq izlənilmiş, onların çalarlıq dərəcəsinin 5200-5400, ölçülərinin isə 10-12 nm olduğu müəyyən edilmişdir.

10. Stres təsir zamanı bitki və heyvan orqanizmlərində aşkar etdiyimiz dəmir oksidi maqnit nanohissəcikləri Abşeron yarımadası üçün xarakterik biogen mənşəli neft nümunələrində də aşkar edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, maqnit sahəsinin neftin texnoloji mühüm fiziki-kimyəvi xüsusiyyətlərinə təsiri biominerallaşma hadisəsi nəticəsində generasiya olunan maqnit nanohissəciklərinin iştirakı ilə baş verir və həmin yataqlarda neftin fasiləsiz nəqlini təmin etmək, hasilatı artırmaq məqsədi ilə neftçıxarma və neft nəqli proseslərinə maqnit sahəsi ilə təsir etmək olar.

11. Apardığımız tədqiqatlar zamanı alınan nəticələri ümumiləşdirərək ilk dəfə olaraq göstəririk ki, stres amillərin təsiri zamanı canlı sistemlərdə biominerallaşma hadisəsi nəticəsində biogen kristallik dəmir oksidi maqnit nanohissəcikləri və maqnit xassələri yaranır. Kristallik maqnit nanohissəcikləri canlı sistemin özündə stres təsir zamanı generasiya olunur. Bu hadisənin başvermə mexanizminin mahiyyəti stres zamanı canlı sistemlərdə yaranan dəmir ionlarının və reduksiyaedici sistemin köməyi ilə dəmir oksidi maqnit nanohissəciklərinə generasiya olunması ilə əlaqədardır. Bu hadisə orqanizmin özünümüdafiə rolunu oynayır.

TÖVSIYƏLƏR

1. Stres amillərinin təsiri ilə canlı sistemlərdə maqnit xassələrinin yaranması hadisəsi biofiziki, ekoloji, nanobiotexnoloji tədqiqatlarda, biotibb sahəsində tətbiq olunaraq fundamental nəticələrə gətirə bilər.

2. EPR metodu ilə bitkilərdə qeydə alınan dəmir oksidi maqnit nanohissəciklərini xarakterizə edən siqnalların və sərbəst radikal siqnallarının parametrlərinin radiasiya dozəsindən asılı olaraq qanunauyğun dəyişməsi onlardan ətraf mühitin ekoloji vəziyyətinin qiymətləndirilməsində və biomonitorinqində istifadə üçün tətbiq oluna bilər.

3. Müxtəlif dozalarda qamma radiasiyaya məruz qalan çanaqlı üzüm ilbizlərinin bədən və çanaq hissələrindən alınan EPR spektrlərinin parametrləri bioindikasiya göstəricisi kimi istifadə oluna bilər.

4. Laboratoriya şıçovulları ilə aparılan tədqiqatlar göstərdi ki, stresə məruz qalmış şıçovulların qaraciyər orqanlarında biogen dəmir oksidi maqnit nanohissəcikləri generasiya olunur. Maqnit nanohissəcikləri müasir tibdə diaqnostika və terapiya sahəsində populyar obyekt olduqları üçün alınan nəticə biotibdə tətbiq baxımından çox əhəmiyyətlidir.

5. Biogen mənşəli neft nümunələrində maqnit nanohissəciklərinin aşkar olunması quyuların neft hasilatını artırmaq, boru kəmərləri ilə neftin fasiləsiz nəqlini təmin etmək, həmçinin xarici maqnit sahəsindən istifadə etməklə neft emalı üçün iqtisadi cəhətdən effektiv və ekoloji təhlükəsiz texnologiyaların yaradılmasının elmi-texniki problemlərinin həllinə kömək edə bilər.

DİSSERTASIYANIN ƏSAS NƏTİCƏLƏRİ ÜZRƏ ÇAP OLUNMUŞ ELMİ İŞLƏRİN SİYAHISI

1. Халилов Р.И., Насибова А.Н. Эндогенные ЭПР-детектируемые железосодержащие наночастицы в растительных объектах. // BDU, Xəbərlər, 2010, № 3, s. 35-40.
2. Nəsimova A.N., Xəlilov R.İ. İlin müxtəlif fəsillərində radiasiyadan asılı olaraq bitkilərdə maqnit nanohissəciklərin sintezi. / Nüvə enerjisinin dinc məqsədlərlə istifadəsi perspektivləri. RPİ, Beynəlx. konfrans. Bakı, 2010, s. 109.
3. Халилов Р.И., Насибова А.Н. Накопление наночастиц магнетита в растениях. / AkademiK A.Qarayevin 100 illik yubileyinə həsr olunmuş” XXI əsrdə Biologiyanın aktual problemləri” mövzusunda Respublika Elmi Konfransı, BDU, Bakı-2010, s, 313-314.
4. Məmmədov Ə.Ç., Xudaverdiyeva S.R., Nəsimova A.N., Səmədov A.N., Xəlilov R.İ. Xroniki qamma şüalanmaya

- məruz qalmış *Scirpus Lacustris* və *Foeniculum Vulgare* bitkilərində DNT strukturunda, gecikmiş fluoressensiya parametrlərində və sərbəst radikal proseslərində baş verən dəyişikliklər. // АМЕА Xəbərləri, Biologiya elmləri seriyası, 2010, № 3-4. s.72-78.
5. Халилов Р.И., Насибова А.Н., Сереженков В.А., Рамазанов М.А., Керимов М.К., Гарибов А.А., Ванин А.Ф. Накопление наночастиц магнетита в растениях выросших на почвах Апшеронского полуострова. // Биофизика, Москва, 2011, т.56, №2, с. 364-371.
 6. Khalilov R.I., Nasibova A.N., Serezhenkov V.A., Ramazanov M.A., Kerimov M.K., Garibov A.A., Vanin A.F. Accumulation of Magnetic Nanoparticles in Plants Grown on Soils of Apsheron Peninsula. // J. Biophysics, 2011, vol.56, N2, pp.316-322.
 7. Халилов Р.И., Насибова А.Н., Касумов Р.Д. Магнитные наночастицы в растениях: ЭПР исследования. // Bakı Universitetinin Xəbərləri, Təbiət elmləri seriyası, N4, 2011, s.56-62.
 8. Khalilov R.I., Nasibova A.N. The role of photosynthesis processes in the synthesis of plant-based magnetic nanoparticles. International conference. / Photosynthesis Research for Sustainability. Baku, Azerbaijan, 2011, p.155.
 9. Nəşibova A.N., Axundzadə A.İ., Xəlilov R.İ. Bitki mənşəli maqnit nanohissəciklərin sintezində bioloji proseslərin rolu. / Nüvə enerjisinin dinc məqsədlərlə istifadəsi perspektivləri. IV Bey-nəlxalq konfrans. RPİ. 2011. s.93-94.
 10. Xəlilov R.İ., Nəşibova A.N. Radioekoloji problemlər. // Tətbiqi ekologiyanın problemləri. BDU, I Respublika elmi konfransının materialları, 2011, s.9-12.
 11. Насибова А.Н., Халилов Р.И. Магнитные наночастицы и растения. / Международная Конференция РАН, Радиобиологическое общество. «Медико-биологические проблемы действия радиации», Москва, 2012, стр. 64.
 12. Ахунд-заде А.И., Халилов Р.И., Насибова А.Н., Асадова Н.З. Цитогенетические эффекты и формирование

- наночастиц магнетита в семенах и листьях растений в условиях радиоактивного загрязнения (на примере *Zygophyllum fabago L.*) // Journal of Qafqaz University, №34, 2012, С. 41-45.
13. Nasibova A.N., Qasimov U.M., Fridunbekov İ.Y., Khalilov R.I. Impact of radioactive pollution on paramagnetic centers of soil-plant systems. / The V International conference. Perspectives of Peaceful Use of Nuclear Energy. ANAS, IRP, Baku-2012. P.82.
 14. Khalilov R.I., Nasibova A.N. Formation of nanoparticles in plants. / International Conference «Nuclear Science and its Application» Samarkand – 2012, P.377-378.
 15. Nasibova A.N., Faradjev M.F., Khalilov R.I. The use of higher water plants in treatment of polluted water basins. / Биодиагностика в экологической оценке почв и сопредельных сред. Межд. Конфер., Москва, 2013, p.152.
 16. Nəşibova A.N., İsmayılova S.M., Ü.M.Qasimov., Fridunbəyov İ.Y., Xəlilov R.İ. Bəzi tərəvəz bitkilərində gümüş və dəmir nanohissəciklərinin sintezinin tədqiqi. / “Radiasiya tədqiqatları və onların praktiki aspektləri” 8-ci konfrans. Akademik M.K.Kərimovun 65 illik yubileyinə həsr olunur. AMEA RPİ, 2013, səh.132-133.
 17. Насибова А.Н., Халилов Р.И., Трубицин Б.В., Гарибов А.А., Тихонов А.Н. Магнитные наночастицы оксида железа в растениях, произрастающих на радиоактивно загрязненных территориях Апшеронского полуострова. / Доклады Академии Наук Азербайджана.2013, L XIX, №2, стр.31- 39.
 18. Nəşibova A.N., Xəlilov R.İ. Bitkilərin yarpaq və toxumlarında endogen paramaqnit mərkəzlərə radioaktiv çirklənmənin təsiri. // Bakı Universitetinin Xəbərləri. № 3, səh.66-72, 2013.
 19. Xəlilov R.İ., Nəşibova A.N. Nanohissəciklərin biotibbi tətbiqi. // İnsan Hüquqları İnstitutunun tərəfdaşları. 15 illik yubiley. Məqalələr toplusu. Bakı-2013, s.281-295.
 20. Xəlilov R.İ., Nəşibova A.N., İsmayılova S.M., Fridunbəyov

- İ.Y., Ü.M.Qasimov. Buğda və qarğıdalı bitkilərində paramaqnit mərkəzlərə və onların morfoloji xüsusiyyətlərinə qamma-radiasiyanın təsiri. / “Radiasiya tədqiqatları və onların praktiki aspektləri” 8-ci konfrans. Akademik M.K.Kərimovun 65 illik yubileyinə həsr olunur. AMEA Radiasiya Problemləri İnstitutu, 2013, səh.134.
21. Khomutov G.B., Potapenkov K.V., Koksharov Y.A., Trubitsin B.V., Tikhonov A.N., Mamedov M.D., Nasibova A.N., İsmailova S.M., Khalilov R.I. Magnetic nanoparticles in biomimetic and biological systems: generation of iron oxide magnetic nanoparticles in DNA complexes, isolated chloroplasts and high plants. / XII International Conference on Nanostructured Materials (Nano-2014). 2014, Moscow, Russia.
 22. Насибова А.Н., Халилов Р.И. Эффекты действия радиационных факторов на генерацию магнитных наночастиц в растениях. / VII съезд по радиационным исследованиям. Москва-2014, с. 301.
 23. Халилов Р., Насибова А., Трубицин Б., Мамедов М., Кокшаров Ю., Исмаилова С., Тихонов А., Хомутов Г. Магнитные наночастицы оксидов железа в фотосинтезирующих системах. / VII Съезд Российского фотобиологического общества. Пущино-2014, с.93.
 24. Khalilov R.I., Nasibova A.N., Khomutov G.B. Magnetic iron oxide nanoparticles in photosynthetic systems. / The seventh Eurasian Conference Nuclear Science and its Application. Baku-Azerbaijan, 2014. P. 359-360.
 25. Nəşibova A.N., Fridunbəyov İ.Y. Bitki mənşəli dəmir oksidi maqnit nanohissəciklərinin generasiyasında fotosintezin rolu. / BDU-nun biologiya fakültəsinin 80 illik yubileyinə həsr olunmuş “Eksperimental biologiyanın inkişaf perspektivləri” mövzusunda Respublika Elmi Konfransı. Bakı-2014, s.23.
 26. Халилов Р.И., Насибова А.Н. Сигналы ЭПР растений –для биомониторинга окружающей среды. / The 22th International Conference. Mathematics. Computing.

- Education. Puschino, Russia. 2015, p.55.
27. Nasibova A.N., Trubitsin B.V., İsmailova S.M., Fridunbekov İ.Y., Qasimov U.M., Khalilov R.I. Impact of stress factors on the generation of nanoparticles in the biological structures. // АМЕА, Мəruzələr. N2, 2015, S. 35-41.
 28. Насибова А.Н., Халилов Р.И. Парамагнитные центры в фотосинтезирующих биологических системах. LAMBERT Academic Publishing. 2015. 175 С.
 29. Насибова А.Н., Халилов Р.И. Характерные сигналы ЭПР природных систем Апшеронского полуострова. / V Съезд Биофизиков России, 2015 г.
 30. Khalilov R.I., Nasibova A.N., Youssef N. The use of EPR signals of plants as bioindicative parameters in the study of environmental pollution. // International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences, Vol. 7. S.1. P.172-175. 2015.
 31. Kavetsky T., Khalilov R.I., Nasibova A.N., Serezhenkov V., Voloshanka S. EPR spectroscopy study of *Juniperus Communis* of Carpathian region of Ukraine. // Acta Carpathica 24. Ukraine. P.53-57. 2015.
 32. Xəlilov R.İ., Nəsibova A.N., Lesin V.İ., Xomutov G.B. Neftin fiziki-kimyəvi xassələrinin dəyişməsində nanohissəciklərin rolu. // FHN-nin 10 illik yubileyinə həsr olunmuş konfrans.
 33. Халилов Р.И., Насибова А.Н. Роль биогенных наночастиц в природных системах. / Математика, Компьютер, Образование. Биофизика сложных систем. Симпозиум с международным участием. Москва. 2016. С.132.
 34. Aygun Nasibova, Rovshan Khalilov, Uzeyir Qasimov, Boris Trubitsin, Alexander Tikhonov. EPR signals in plant systems and their informational content for environmental studies. // European Journal of Biotechnology and Bioscience. Volume 4; Issue 2; Page No. 43-47; 2016.
 35. Nasibova A.N., Khalilov R.I. Preliminary studies on generating metal nanoparticles in pomegranates (*Punica Granatum*) under stress. // International Journal of Development Research. 2016. Vol.6, Issue 03, pp. 7071-7078.
 36. Xəlilov R.İ., Nəsibova A.N., Əliyeva İ.M., Qasimov Ü.M.,

- Zeynalova N.M. Punica Granatum bitkisinde metal nanohissəciklərin formalaşmasına stress amillərin təsiri. // BDU Xəbərlər. N1, 2016. S.84-93.
37. Xəlilov R.İ., Nəsimova A.N., Lesin V.İ., Xomutov G.B. Neftin fiziki-kimyəvi xassələrinin dəyişməsində nanohissəciklərin rolu. // AR FHN yaradılmasının 10 illiyinə həsr edilmiş "Fövqəladə hallar və təhlükəsiz həyat" Beynəlxalq elmi-praktik konfransın materialları. Bakı-2016. S. 249-252.
 38. Kavetsky T., Sausha O., Stepanov A., Voloshanska S., Serezhenkov V., Nasibova A.N., Khalilov R.I. Recent progress in investigation of polymer materials and biomaterials using positron annihilation spectroscopy and other characterization techniques. // Protection of biodiversity in the conditions of urbanization and industrialization Gandja-2016. P.139-142.
 39. Nasibova A.N., Fridunbekov İ.Y., Nabiyev N.N., Khalilov R.I. Influence of UV and GAMMA radiation on paramagnetic properties in fragments of photosystem 2. // International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Research. 2016. V.7, Issue 4, P. 24-32.
 40. Lida Ahmadkhani, Ali Baghban, Shahram Mohammadpoor, Rovshan Khalilov, Abolfazl Akbarzadeh, Taras Kavetsky, Siamak Saghfi Aygun N. Nasibova. Synthesis and Evaluation of a Triblock Copolymer/ ZnO Nanoparticles from Poly (ϵ -caprolactone) and Poly (Acrylic Acid) as a Potential Drug Delivery Carrier. // Drug research. 2017.
 41. Kavetsky T.S., Khalilov R.I., Nasibova A.N., Stepanov A.I. Radiation effects in materials: state of the art and outlook for glasses, polymers and biomaterials. / XXIV International Conference. Mathematics Computer Education. Pushino. 2017. P.148.
 42. Taras Kavetsky, Rovshan Khalilov, Abolfazl Akbarzadeh, Aygun Nasibova, Vladimir Serezhenkov, Nicolay Tkachev, Ondrej Šauša, Svitlana Voloshanska. Detection of superoxide dismutase with manganese and magnetic nanoparticles in *Juniperus Communis* based biomaterials by EPR

- spectroscopy. // *Advances in Biology and Earth Sciences*. 2017. V.3, I.3.P.167-175.
43. Arash Hasanzadeh, Rovshan Khalilov, Elham Abasi, Siamak Saghfi, Aygun Nasibova, Abolfazl Akbarzadeh. Development of doxorubicin – adsorbed magnetic nanoparticles modified with biocompatible copolymers for targeted drug delivery in lung cancer. // *Advances in Biology and Earth Sciences*. Vol 2, N1, 2017. P.5-21.
 44. Seyed Mehdi Aberoumandi, Rovshan Khalilov, Soodabeh Davaran, Aygun Nasibova, Elham Abbasi, Siamak Saghfi, Abolfazl Akbarzadeh. An update on clinical applications of nanoparticles in brain and retinal disease (CNS): a review. // *Advances in Biology and Earth Sciences*. 2017. V.2, N 2, P.125-142.
 45. Nasibova A.N., Fridunbayov I.Y., Khalilov R.I. Interaction of magnetite nanoparticles with plants. / *European Journal of Biotechnology and Bioscience*. 2017. Volume 5; Issue 3; P. 14-16.
 46. Rovshan Khalilov, Aygun Nasibova, Ismayil Fridunbayov, Nijat Nabiyeu, Uzeyir Qasumov. Magnetic nanoparticles in plants. / *International Conference Modern Trends in Physics*. BSU. Baku – 2017. P.31-32.
 47. Khalilov R.I., Nasibova A.N., Fridunbayov I.Y., Nabiyeu N.N., Qasumov U.M. Magnetic Nanoparticles in Plants. // *Modern trends in physics*. Baku – 2017. P.115-118.
 48. Khalilov R.I., Nasibova A.N., Kavetsky T.S., Fridunbayov I.Y., Nabiyeu N.N., Ramazanov Sh.J., Qasumov U.M. EPR signals in plant systems and their informative capacity for radioecological investigations. / *International Conference on Biological, Environmental Sciences Applications*. Luxor, Egypt. 2017.
 49. Khalilov R.I., Nasibova A.N., Kavetsky T.S. EPR signals in plant systems and their informative capacity for ecological research. / *Laser technologies. Lasers and their applications*. Scientific and technical conference. Ukraine, p.130-132. 2017.

50. Fridunbəyov I.Y., Nəsibova A.N., Xəlilov R.İ. Lənkəran ərazisində bitən bəzi bitkilərdə aparılan EPR tədqiqatları. // Bakı Universitetinin Xəbərləri. 2017.
51. Fridunbəyov İ.Y., Kazımlı L.T., Nəsibova A.N., Xəlilov R.İ. Sitrus bitkilərinin EPR siqnalları və onların temperaturdan asılılığı. / “Koordinasion Birləşmələrin Kimyası: Analitik Kimyanın Aktual Problemləri”. – Beynəlxalq elmi konfransı. (BDU). Bakı-2017. Səh.202.
52. Khalilov R.I., Kadirov F.A., Guliyev I.S., Nasibova A.N. Study of effects of physical factors on physical-chemical properties characteristics of petroleum. / “Koordinasion Birləşmələrin Kimyası: Analitik Kimyanın Aktual Problemləri”. – Beynəlxalq elmi konfransı. (BDU). Bakı-2017. Səh.210.
53. Mammadova L.N., Kocharli N.K., Nasibova A.N., Khalilov R.I. The influence of ultraviolet-B irradiation and temperature on bean seeds germination and on kinetic indicators of millisecond-delayed emission and EPR signals. // Advances in Biology & Earth Sciences. 2017, Vol.2, No.3, pp.306-314.
54. Kavetsky T.S., Khalilov R.I., O.O. Voloshanska, V.A. Serezhenkov, A. Nasibova A.N., Akbarzadeh, S.Ya. Voloshanska. Self-organized magnetic nanoparticles in plant systems: ESR detection and perspectives for biomedical applications. / NATO Advanced Study Institute (SPS. ASI 985310) on Advanced Technologies for Detection and Defence Against CBRN Agents. Sozopol, Bulgaria, P.52, 2017.
55. Abolfazl Akbarzadeh, Leila Kafshdooz, Zohre Razban, Ali Dastranj Tbrizi, Shadi Rasoulpour, Rovshan Khalilov, Taras Kavetsky, Siamak Saghfi, Aygun N. Nasibova, Sharif Kaamyabi Taiebeh Kafshdooz. An overview application of silver nanoparticles in inhibition of herpes simplex virus. // Artificial Cells, Nanomedicine, and Biotechnology, V.46, I.2, P.263-267, 2018.
56. Peyman Hassanpour, Yunes Panahi, Abbas Ebrahimi-Kalan, Abolfazl Akbarzadeh, Soodabeh Davaran, Aygun Nasibova,

- Rovshan Khalilov, Taras Kavetsky. Biomedical applications of aluminum oxide nanoparticles. // J. Micro & Nano Letters. V.13, I.9, P. 1227-1231, 2018.
57. Akbarzadeh A., Khalilov R., Mostafavi E., Annabi N., Abasi, Kafshdooz T., Herizchi R., Kavetsky T., Saghfi S., Nasibova A., Davaran S. Role of dendrimers in advanced drug delivery and biomedical applications: a review. // Experimental oncology. 2018. 40, 3, P. 178–183.
 58. Khalilov R.I., Guliyev I., Kadirov F., Nasibova A.N., Seyidova K. Physicochemical properties of oil (petroleum) samples containing nanoparticles. // Journal of Radiation Researches. 2018. V.5, N2, P.342-346.
 59. Khalilov R.I., Kavetsky T., Serezhenkov V.A., Nasibova A.N., Akbarzadeh A, Davaran S., Moghaddam M.P., Saghfi S., Tkachev N.A., Milani M., Kouhi M., Sausa O., VoloshanskaYa. S. Detection of manganese-containing enzymes and magnetic nanoparticles in *Juniperus Communis* and related biomaterials by ESR spectroscopy. // Advances in Biology and Earth Sciences. 2018. V.3, N3, P. 167-175.
 60. Akbarzadeh A, Khalilov R.I., Nasibova A.N., Kaamyabi Sh. Preparation and characterization of magnetic-gold nanoparticles for medical diagnosis. / International Conference. Mathematics Computer Education. Pushino. P.148, 2018.
 61. Aliyeva I.M., Mammadova L.M., Nasibova A.N., Khalilov R.I. Influence of waste dust from Ganja aluminum plant on the development of wheat seeds (*triticum aestivum*). // Journal of Radiation Researches. V.5, N2. Institute of Radiation Problems. 2018. P.347-350.
 62. Khalilov R.I., Nasibova A.N. Emergence of magnetic properties in living systems. / International Conference on Biological, Environmental Sciences Applications. 2018, Luxor, Egypt.
 63. Khalilov R.I., Nasibova A.N., Seyidova K.K., Davaran S., Akbarzadeh A. Magnetic nanoparticles in biological systems. Moscow. / International Conference. Mathematics Computer

- Education. 2019. V.1, ĩ.26, P.106.
64. Nasibova A.N., Trubitsin B.V., Gumbatov F.Y., Saghfi S., Aliyeva I.B., Khalilov R.I. Investigation of generation of magnetic nanoparticles in plants by EPR spectroscopy. // European Journal of Biotechnology and Bioscience. 2019. V.7, ĩ.1, P.26-29.
 65. Elham Ahmadian, Aziz Eftekhari, Solmaz Maleki Dizaj, Simin Sharifi, Masumeh Mokhtarpour, Aygun Nasibova, Rovshan Khalilov, Mohammad Samiei. The effect of hyaluronic acid hydrogels on dental pulp stem cells behavior. // International journal of biological macromolecules. 2019. V.140. P.245-254.
 66. Kavetsky T., Zubrytska O., Pan'kiv L., Khalilov R., Akbarzadeh A., Pryima A., Voloshanska S. Use of magnetic susceptibility measurement for analysis of self-organized magnetic nanoparticles in biological systems. // NATO Advanced Study Institute. Nanoscience and Nanotechnology in Security and Protection Against CBRN Threats. Sozopol, Bulgaria, 2019. Book of Abstracts.
 67. Khalilov Rovshan, Nasibova Aygun. Anomalous magnetic properties of living systems under stress. / First Eurasian Conference on Nanotechnology. Nanotech Eurasia. Khazar University. 2019. P.54.
 68. Nasibova Aygun. The use of EPR signals of snails as bioindicative parameters in the study of environmental pollution. // Advances in Biology & Earth Sciences. 2019. Vol.4, No.3, pp.196-205.
 69. Nasibova A.N., Kazimli L.T., Gurbanova M.F., Khalilov R.I. Determination of environmental quality using EPR spectra of grape snails. / 26th International Conference "Mathematics. Computing. Education". 2020.
 70. Mortaza Hosainzadegan, Aziz Eftekhari, Rovshan Khalilov, Aygun Nasibova, Amir Hasanzadeh, Parviz Vahedi, Hasan Hosain zadegan. Are Microbial Infections and some antibiotics causes cancer? // Advances in Biology & Earth Sciences. 2020. V.5, ĩ.1, P.58-61.

71. Nasibova A.N. Formation of magnetic properties in biological systems under stress factors // Journal of Radiation Researches. V.7, Ī.1, p.5-10. 2020.
72. Kavetskyy T., Zubrytska O., Pankiv L., Khalilov R., Nasibova A., Akbarzadeh A., Pryima A., Stebeletska N., Voloshanska S. Use of Magnetic Susceptibility Measurement for Analysis of Self-Organized Magnetic Nanoparticles in Biological Systems. // Nanoscience and Nanotechnology in Security and Protection against CBRN Threats. NATO Science for Peace and Security Series B: Physics and Biophysics book series (NAPSB). 2020. P.215-221.
73. Ahmadov I.S., Bandaliyeva A.A., Nasibova A.N., Hasanova F.V., Khalilov R.I. The synthesis of the silver nanodrugs in the medicinal plant Baikal skullcap (*Scutellaria Baicalensis* Georgi) and their antioxidant, antibacterial activity. // Advances in Biology & Earth Sciences. V.5, Ī.2, P.103-118. 2020.
74. Nasibova A.N. EPR study of plants under the influence of radiation factors. // European Journal of Biotechnology and Bioscience. V.8, I.6. P.40-42. 2020.
75. Nasibova A.N. Detection of copper EPR signals in the photosynthetic apparatus of the plants: *in vitro* investigations. // Journal of Radiation Researches. V.7, I.2, 2020. P.34-48.
76. Kavetskyy T., Zubrytska O., Pankiv L., Khalilov R., Nasibova A., Akbarzadeh A., Pryima A., Stebeletska N., Voloshanska S. Use of Magnetic Susceptibility Measurement for Analysis of Self-Organized Magnetic Nanoparticles in Biological Systems. // Nanoscience and Nanotechnology in Security and Protection against CBRN Threats. NATO Science for Peace and Security Series B: Physics and Biophysics book series (NAPSB). P.215-221.2020.
77. Nasibova A.N., Khalilov R.I., Bayramov M.A., Gasumov U.M. Reduction of the reaction centres of photosystem I of photosynthesis: EPR study. // Advances in Biology & Earth Sciences. 2020. V.5, I.3, P.169-175.
78. Nasibova A.N. Effect of stress factors on plants: EPR

- research. // Correlation interaction of science and practice in the new world: collection of scientific articles on the results of the international scientific and practical conference (St. Petersburg: Publishing House of SPbSUE). P.28-32. 2020.
79. Khalilov R.I., Nasibova A.N., Kasumov U.M., Bayramov M.A. Effect of radiation on wheat (*Triticum L.*) and corn (*Zea Mays L.*): EPR studies. / XXVIII International Conference. "Mathematics. Computing. Education." P.91, 2021.
 80. Aygun Nasibova, Rovshan Khalilov, Huseyn Abiyev, Boris Trubitsine, Aziz Eftekhari. Identification of the EPR signals of fig leaves (*Ficus carica L.*) // Eurasian Chemical Communications. V.3, P.193-199, 2021.
 81. Aygun Nasibova, Leyla Kazimli, Rovshan Khalilov. An EPR study of iron oxide magnetic nanoparticles in biological systems. / XIX International Scientific and Practical Conference- Applied and fundamental scientific research. Brussels, Belgium. P.31-32. 2021.
 82. Taras Kavetsky, Rovshan Khalilov, Aygun Nasibova. Highly sensitive amperometric enzyme biosensors based on novel polymer matrixes and nanocarriers for environmental applications. // 10-th international conference on Scientific Advances and Challenges in Biology. Baku State University. V.1, I.1, P.53-55. 2021.
 83. Roghayeh Khoeini, Hamed Nosrati, Abolfazl Akbarzadeh, Aziz Eftekhari, Taras Kavetsky, Rovshan Khalilov, Elham Ahmadian, Aygun Nasibova, Pallab Datta, Leila Roshangar, Dante C. Deluca, Soodabeh Davaran, Magali Cucchiarini, Ibrahim T. Ozbolat. Natural and Synthetic Biinks for 3D Bioprinting. // Advanced NanoBiomed Research. V.1, I.8. P.1-19.2021.
 84. Aygun Nasibova, Leyla Kazimli, Rovshan Khalilov. The effect of ionizing gamma radiation on yeasts. / International Scientific and Practical Conference "Problems of modern science and practice" Boston, USA. P.57-58. 2021.
 85. Solmaz Maleki Dizaj, Aziz Eftekhari, Shakar Mammadova, Elham Ahmadian, Mohammadreza Ardalan, Soodabeh

- Davaran, Aygun Nasibova, Rovshan Khalilov, Mahbuba Valiyeva, Sevil Mehraliyeva, Ebrahim Mostafavi. Nanomaterials for Chronic Kidney Disease Detection. // Applied Sciences. 2021.V.11, İ.20, P.9656.
86. Naringul Heybatova, Aygun Nasibova. EPR studies of the effect of ionizing gamma radiation on Pelvic Grape Snails (*Helix pomatia*). / International scientific and practical onference «Topical tendencies of science and practice». Edmonton, Canada. P.80-81. 2021.
 87. Nasibova A.N., Khalilov R.I. Application of EPR spectroscopy in radioecological investigations. / International conference. Modern Problems of Nuclear Energetics and Nuclear Technologies. Tashkent, Uzbekistan. 2021. P. 268-269.
 88. Nasibova A.N., Khalilov R.İ. Magnetic properties in biological systems. / 7th International Conference “Modern Trends in Physics”. 2021. P.38-39.
 89. Nasibova A.N., Khalilov R.İ. Magnetic properties in biological systems. // 7 International Conference MTP-2021: Modern Trends in Physics. Proceedings. 2021. V.2, P.57-62.
 90. Khalilov R.İ., Ahmadov I.S., Nasibova A.N., Babanli S.T. Interaction of nanoparticles with plasma membrane of plants. // Advances in Biology & Earth Sciences Vol.6, I.3, 2021, pp.193-203.
 91. Nasibova A.N., Trubitsin B.V., Kavetsky T.S., Eftekhari A., Khalilov R.İ., Ahmadov I.S. Formation of magnetic nanoparticles in plants under stress factors. // Advances in Biology & Earth Sciences. V.6, İ.2, P.103-110. 2021.
 92. Aygun Nasibova, Rovshan Khalilov, Huseyn Abiyev, Taras Kavetsky, Boris Trubitsin, Cumali Keskin, Elham Ahmadian, Aziz Eftekhari. Study of Endogenous Paramagnetic Centers in Biological Systems from Different Areas. // Concepts in Magnetic Resonance Part B, Magnetic Resonance Engineering. Volume 2021. V.2021. P.1-5.
 93. Nasibova A.N., Khalilov R.I., Bayramov M.A., Bayramova M.F., Kazimli L.T., Qasimov R.C. Study of some biophysical

- and biochemical parameters in stress – exposed laboratory rats (*Wistar albino*). // Journal of Radiation Researches. 2021. V.8, I.2, P.42-51.
94. Nasibova A.N. UV-B radiation effects on electron-transport reactions in biomaterials. // Advances in Biology & Earth Sciences. 2022. V.7, I.1. P.13-18.
 95. Rovshan Khalilov, Aygun Nasibova. The EPR parameter's investigation of plants under the influence of radiation factors. J. Acta Botanica Caucasica. 2022. V.1, I.1. P.48-52.
 96. Mammadova Sh., Nasibova A., Khalilov R., Mehraliyeva S., Valiyeva M., Gojayev A., Zhdanov R., Efterkhari A. Nanomaterials application in air pollution remediation. // Eurasian Chemical Communications. 2022. V.4, I.2, P.160-166.
 97. Nasibova A. Kazimli L., Heybatova N. Effect of metal nanoparticles on Pelvic grape snails (*Helix pomatia*). / The XVIII International Scientific and Practical Conference “Advancing in Research, Practice and Education”. Florence, Italy. P.63-65. 2022.
 98. T.S. Kavetsky, V.N. Soloviev, R.I. Khalilov, V.A. Serezhenkov, L.I. Pan’kiv, I.S. Pan’kiv, A.N. Nasibova, V.I. Stakhiv, A.S. Ivasivka, M.K. Starchevskyy, Y.V. Pavlovskyy, Y.V. Bondaruk, D.A. Dyachok, L.V. Bodnar, S.Y. Voloshanska. EPR study of self-organized magnetic nanoparticles in biomaterials. // Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics. V. 25, No 2. P. 146-156. 2022.
 99. Aygun Nasibova, Rovshan Khalilov, Mahammad Bayramov, Islam Mustafayev, Aziz Eftekhari, Mirheydar Abbasov, Taras Kavetsky, Gvozden Rosic, Dragica Selakovic. Electron Paramagnetic Resonance Studies of Irradiated Grape Snails (*Helix pomatia*) and Investigation of Biophysical Parameters. Molecules. V.28, I.4, P.1872. 2023.
 100. Aygun Nasibova. Generation of nanoparticles in biological systems and their application prospects. Advances in Biology & Earth Sciences Vol.8, No.2, 2023, pp.140-146.

101. Naila Aliyeva, Aygun Nasibova, Ziyaddin Mammadov, Aziz eftekhari, Rovshan Khalilov. Individual and combinative effect of NaCl and γ -radiation on NADPH-generating enzymes activity in corn (*Zea mays* L.) sprouts. *Heliyon*. V.9, I.11, e22126. 2023.
102. Amrahov N.R., Allahverdiyev V.Y., Agharzayeva Y.I., Mammadova R.B., Omarova S.N., Khudayev F.A., Nasibova A.N., Shoaib M., Khalilov R.I., Mammadov Z.M.. Effect of *Verticillium* wilt on the antioxidant system and formation of iron nanoparticles in cotton genotypes. *JAPS: Journal of Animal & Plant Sciences*. V.33, I.6. 2023. P.1322-1332.



Dissertasiyanın müdafiəsi 15 May 2024-cü il tarixində saat 15⁰⁰ - da Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi Radiasiya Problemləri İnstitutunun nəzdində fəaliyyət göstərən BED 3.11 Birdəfəlik Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcəkdir.

Ünvan: AZ 1143, Bakı şəh., B.Vahabzadə küç. 9.

Dissertasiya işi ilə Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi, Radiasiya Problemləri İnstitutunun kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyaları Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi Radiasiya Problemləri İnstitutunun rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat 08 April 2024-cü il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 08.04.2024

Kağızın formatı: A5

Həcm: 79815

Tiraj: 100