

**AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI**

*Əlyazması hüququnda*

**QARĞIDALI BİTKİSİNİN (*ZEA MAYS L.*) MEZOFİL VƏ  
ÖRTÜKTOPA XLOROPLASTLARININ NORMAL VƏ DUZ  
STRESİ ŞƏRAİTİNDƏ BİOKİMYƏVİ VƏ  
ULTRASTRUKTUR XÜSUSİYYƏTLƏRİ**

İxtisas: 2406.02 – Biokimya

Elm sahəsi: Biologiya

İddiaçı: **Nahidə Xanqulu qızı Əliyeva**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün  
təqdim edilmiş dissertasiyanın

**AVTOREFERATI**

**BAKİ – 2022**

Dissertasiya işi Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi Molekulyar Biologiya və Biotexnologiyalar İnstitutunun Hüceyrənin membran sistemləri laboratoriyasında yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbər: **biologiya elmləri doktoru, professor  
Səftər Yusif oğlu Süleymanov**

Rəsmi opponetlər: **biologiya elmləri doktoru, professor  
Ziyəddin Mahmud oğlu Məmmədov**

**biologiya elmləri doktoru, professor  
Elimxan Süleyman oğlu Cəfərov**

**biologiya üzrə fəlsəfə doktoru, dosent  
Vüsal Məhərrəm oğlu Orucov**

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi Molekulyar Biologiya və Biotexnologiyalar İnstitutunun nəzdində fəaliyyət göstərən ED 1.25 Dissertasiya şurası.

Dissertasiya şurasının sədri: **biologiya elmləri doktoru, professor,  
AMEA-nın həqiqi üzvü  
İradə Məmməd qızı Hüseynova**

Dissertasiya şurasının elmi katibi: **biologiya üzrə fəlsəfə doktoru, dosent  
Ulduzə Əhməd qızı Qurbanova**

Elmi seminarın sədri: **biologiya elmləri doktoru, dosent  
Səhriyar Mirayıl oğlu Bayramov**



## İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

**Mövzunun aktuallığı.** Fotosintez yer üzərində bütün bioloji prosesləri enerji və oksigenlə təmin edən fundamental prosesdir. İşıq enerjisinin fotosintetik çevrilməsi bir sıra oksidləşdirici–reduksiyaedici reaksiyalardan ibarət olub, karbohidratların sintezi üçün atmosferdən CO<sub>2</sub>-nin udulmasına və molekulyar oksigenin (O<sub>2</sub>) atmosfərə verilməsinə səbəb olur<sup>1</sup>. Bitkilərin böyüməsi və inkişafı müxtəlif fizioloji, biokimyəvi və molekulyar proseslər tərəfindən idarə olunur və fotosintez bu prosesdə həlledici rol oynayır<sup>2, 3</sup>. Dünya əhalisinin sürətlə artması, biomüxtəlifliyin azalması, kənd təsərrüfatına yararlı torpaqların məhdudlaşması insanların qidaya və ərzaq məhsullarına olan tələbatını artırır. Dünyada şoranlaşma səbəbindən hər il 40 min hektara yaxın torpaq sahəsi istifadəyə yararsız hala düşür. Azərbaycan ərazisinin 50%-dən çoxu quraq və şoran torpaqlardan ibarət olduğundan bu problem respublikamız üçün də aktualdır<sup>4</sup>. Duz stresi bitki hüceyrələrində xlorofilin və ümumi zülalların miqdarını azaltmaqla, ağızcıqların bağlanması və hüceyrədə oksigenin fəal formalarının induksiyası hesabına oksidləşdirici stresə səbəb olur ki, bu da son mərhələdə məhsuldarlığın azalmasına gətirib çıxarır<sup>5</sup>. Na<sup>+</sup> və Cl<sup>-</sup> kimi zərərli ionların hüceyrədə artıq miqdarda toplanması bitkiyə toksiki təsir göstərir, osmotik, oksidləşdirici və ion homeostazını pozur. Bu səbəbdən, hüceyrədə K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup> nisbətinin saxlanması duz stresi şəraitində bitkilərin böyüməsi və inkişafı üçün vacibdir<sup>6</sup>.

---

<sup>1</sup> Gao, J. Structure and function of the photosystem supercomplexes / J.Gao, H.Wang, Q.Yuan [et al.] / *Frontiers in Plant Science*, - 2018. 9, - p. 357

<sup>2</sup> Aliyev, J.A. Photosynthesis, photorespiration and productivity of wheat and soybean genotypes. *Proceedings of ANAS (Biological Sciences)*, - 2010. 65 (5/6), -p. 7-48.

<sup>3</sup> Ashraf, M.H., Harris, P.J. Photosynthesis under stressful environments: an overview / *Photosynthetica*, - 2013. 5 (2), - p. 163-90.

<sup>4</sup> Məmmədov, Q. Torpaqşünaslıq və torpaqların coğrafiyasının əsasları // *Bakı: Elm*, - 2007. - s. 664.

<sup>5</sup> Hasegawa, P.M. Plant cellular and molecular responses to high salinity / P.M.Hasegawa, R.A.Bressan, J.K.Zhu [et al.] // *Annual Review of Plant Biology*, - 2000. 51 (1), - p. 463-499.

<sup>6</sup> Jabeen Z. Sodium nitroprusside application improves morphological and

NaCl-un bitki metabolizminə təsiri və yüksək duzluluğa tolerantlıq göstəriciləri hələlik kifayət qədər aydınlaşdırılmayıb. FSII kompleksi fotosintetik aparatın ən həssas hissəsi olduğundan abiotik streslərin təsiri zamanı FSI kompleksi ilə müqayisədə daha çox təsirə məruz qalır<sup>7</sup>. Abiotik stres amillərin canlı orqanizmlərə təsiri zamanı hüceyrədə oksigenin fəal formaları (OFF) ( $O_2^-$ ,  $OH^-$ ,  $^1O_2$ ,  $H_2O_2$  və s.) əmələ gəlir. OFF bitkilərdə oksidləşdirici stressə səbəb olmaqla, hüceyrənin həyat əhəmiyyətli makromolekullarının zədələnməsinə gətirib çıxarır. Bitki hüceyrələrində OFF-nın eliminasiyasını həyata keçirən antioksidant müdafiə sistemləri mövcuddur<sup>8</sup>.

C<sub>4</sub> bitkilərin fotosintetik aparatı anatomik və biokimyəvi cəhətdən fərqlənən iki hüceyrə tipinə bölünür: mezofil (MH) və örtüktopu (ÖTH) hüceyrələri. C<sub>4</sub> bitkilər C<sub>3</sub> bitkilərlə müqayisədə daha yüksək məhsuldarlığa və səmərəli biokütlə əmələ gətirmək qabiliyyətinə malikdirlər. C<sub>4</sub> fotosintez yoluna malik olan bitkilər CO<sub>2</sub>-nin assimilyasiyasının yüksək effektivliyi və yüksək ixtisaslaşmış fotosintetik aparata malik olmaları ilə fərqlənilir<sup>9</sup>. Lakin, C<sub>4</sub> bitkilərin MH və ÖTH hüceyrələrinin xloroplastlarında stresin təsirindən baş verən struktur-funksional dəyişikliklər kifayət qədər öyrənilməmişdir. Bu baxımdan, fotosintezin C<sub>4</sub> metabolizminə aid qarğıdalı bitkisinə duz stresinin təsiri zamanı mezofil və örtüktopu xloroplastlarının tilakoid membranlarının funksional komponentlərinin və ultrastrukturunun tədqiqi mühüm elmi-nəzəri və praktiki əhəmiyyət kəsb edir.

**Tədqiqatın obyektı və predmeti.** Tədqiqat obyektı kimi, C<sub>4</sub> - bitkilərin NADF-malik enzim yarım tipinə aid olan qarğıdalı bitkisinin Zaqatala-420 sortundan istifadə edilmişdir. Tədqiqatlar

---

physiological attributes of soybean (*Glycine max* L.) under salinity stress / Jabeen Z, Fayyaz HA, Irshad F, [et al.] // Plos one – 2021, 16(4), - p.1-15.

<sup>7</sup> Stefanov, M.A. Different sensitivity levels of the photosynthetic apparatus in *Zea mays* L. and *Sorghum bicolor* L. under salt stress / M.A.Stefanov, G.D.Rashkov, E.K.Yotsova [et al.] // Plants, - 2021, 10(7), - p. 1469 (1-17).

<sup>8</sup> Kolupaev, I.E., Karpets, I.V. Reactive oxygen species and stress signaling in plants // Ukrainian biochemical journal, - 2014, 86(4), - p. 18-35.

<sup>9</sup> Romanowska, E. Differences in photosynthetic responses of NADP-ME type C<sub>4</sub> species to high light / E.Romanowska, A.Buczyńska, W.Wasilewska [et al.] // Planta, - 2017, - 245(3), - p. 641-657.

zamanı normal şəraitdə və duz stresinin təsirindən qarğıdalı bitkisinin mezofil və örtüktopu hüceyrələrinin xloroplastları ayrılmış, biokimyəvi və ultrastruktur xüsusiyyətləri müqayisəli öyrənilmişdir.

**Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri.** Tədqiqat işinin əsas məqsədi-normal şəraitdə və duz stresinin təsirinə məruz qalmış qarğıdalı bitkisinin (*Zea mays* L.) mezofil və örtüktopu hüceyrələri xloroplastlarının biokimyəvi xüsusiyyətlərini və ultrastrukturunu müqayisəli tədqiq etməkdən ibarətdir. Bu məqsədə nail olmaq üçün aşağıdakı vəzifələr qarşıya qoyulmuşdur:

Normal və duz stresi şəraitində becərilən qarğıdalı bitkisinin:

- Morfofizioloji əlamətlərində baş verən dəyişikliklərin öyrənilməsi;
- MH və ÖTH xloroplastlarında fotosintetik pıqmentlərin miqdarının təyini;
- MH və ÖTH xloroplastlarının tilakoid membranlarının zülal tərkibinin analizi;
- MH və ÖTH xloroplastlarının spektral xassələrinin öyrənilməsi;
- MH və ÖTH xloroplastlarında FSI və FSII–nin funksional fəallığının öyrənilməsi;
- MH və ÖTH xloroplastlarının ultrastrukturunda baş verən dəyişikliklərin analizi;
- MH və ÖTH xloroplastlarında antioksidant fermentlərin fəallığının və izoferment tərkibinin tədqiqi.

**Müdafiyyə çıxarılan əsas müddəalar:**

- Qarğıdalı bitkisinin MH və ÖTH xloroplastları biokimyəvi parametrlərinə, ultrastrukturuna və duz stresinə tolerantlığına görə əhəmiyyətli dərəcədə fərqlənirlər;
- Duzun yüksək qatılığı mezofil xloroplastlarının qranal quruluşunun dağılmasına, ÖTH xloroplastlarının işə lamelyar quruluşdan qismən qranal quruluşa keçməsinə səbəb olur;
- Bitkilər antioksidant fermentlərin aktivliyini və izoenzim tərkibini tənzimləməklə duz stresinə cavab verirlər;
- Qarğıdalının ÖTH xloroplastları mezofil hüceyrələrinə nisbətən duz stresinə daha yüksək davamlılıq göstərirlər.

**İşin elmi yenilikləri:** İlk dəfə olaraq, C<sub>4</sub> bitkisi olan qarğıdalının mezofil və örtüktopu hüceyrələrinin xloroplastları normal şəraitdə və

duz stresinin təsirindən kompleks şəkildə müqayisəli tədqiq edilmişdir. Aşkar edilmişdir ki, FSII-nin nüvə antenasına və işıqtoplayan kompleksə aid polipeptidlər (28-24 kDa) hər iki tip membranda mövcuddur, lakin ÖTH tilakoidlərində onların intensivliyi zəifdir. Duzun yuxarı qatılıqlarında (2% və 3% NaCl) MH xloroplastlarının tilakoid membranında FSI-in nüvəsinə aid apozülal (68 kDa) və ATF-sintaza kompleksinin katalitik CF1 domeninin  $\alpha$ - və  $\beta$ - subvahidlərinin sintezi inhibirləşir. ÖTH tilakoidlərinin membran sistemində isə nəzərəçarpan dəyişiklik baş vermir. MH və ÖTH xloroplastlarının flüoressensiya spektrində (77 K) LHCI, FSII və FSI komplekslərinə aid xlorofilin 686 nm, 695 nm və 735 nm dalğa uzunluqlarında flüoressensiya maksimumları təyin edilmişdir; ÖTH xloroplastlarında 695 nm maksimumun intensivliyi zəif olmuşdur. Normal şəraitdə FSII-nin fotokimyəvi fəallığı MH xloroplastları ilə müqayisədə ÖTH-da təqribən 5 dəfə aşağı olmuşdur. FSI-in ən yüksək fəallığı ÖTH xloroplastlarında müşahidə edilmiş və MH-a nisbətən 2.7 dəfə çox olmuşdur. Duzun yüksək qatılıqlarında MH xloroplastlarının qranal quruluşu dağılır, ÖTH xloroplastlarında isə struktur dəyişikliyi baş vermir və hətta lamelyar quruluşdan qismən qranal quruluşa çevrilir.

Stres zamanı hüceyrələrdə  $H_2O_2$ -nin utilizasiyasını həyata keçirən askorbat peroksidaza (APO) və katalaza (KAT) fermentlərinin fəallıqları arasında əks korrelyasiya müşahidə olunmuşdur. Antioksidant fermentlərin izoenzim tərkibinin analizi nəticəsində APO-nun MH-da 5, ÖTH-da 1, SOD-un MH-da 3, ÖTH-da 1, KAT-ın ÖTH-da 1 izoformasına aşkar edilmişdir. Mezofil hüceyrələrdən fərqli olaraq, ÖTH-da izoformaların intensivliyinin duzun qatılığından asılı olaraq artdığı müəyyən edilmişdir ki, bu da ÖTH xloroplastlarının duz stresinə daha davamlı olmasını göstərir.

**İşin nəzəri və praktiki əhəmiyyəti.** Müasir dövrdə quraqlıq və şoranlıq səbəbindən kənd təsərrüfatına yararlı torpaqların məhdudlaşması insanların qidaya və ərzaq məhsullarına olan tələbatını artırır. Bu problem respublikamız üçün də vacib və aktual olduğundan bu istiqamətdə tədqiqatların aparılması çox önəmlidir. Tədqiqat obyektini olaraq götürülən qarğıdalı əsas ərzaq bitkisi kimi, dünyada istehsalına və satışına görə düyü və buğdadan sonra üçüncü yerdə durur. Tədqiqat işində alınan nəticələr ilk növbədə fundamental

xarakter daşıyır və yüksək duz qatılığının qarğıdalı bitkisinə təsiri zamanı iki tip hüceyrədə baş verən fizioloji-biokimyəvi proseslərin daha dərindən dərk edilməsinə imkan verir. Duz stressi zamanı bitkinin morfofizioloji əlamətlərində, biokimyəvi xüsusiyyətlərində və ultrastrukturunda baş verən dəyişikliklərin öyrənilməsi stressə adaptasiya mexanizmlərinin aydınlaşdırılmasında əhəmiyyətlidir və duzadavamlı qarğıdalı sortlarının yaradılmasında istifadə oluna bilər.

**İşin aprobasiyası.** Dissertasiya işində aparılan tədqiqatlar zamanı alınan nəticələr “Müasir biologiyanın innovasiya problemləri” VII Beynəlxalq elmi konfransı (Bakı, 2017), “Davamlı İnkişaf üçün Fotosintez və Hidrogen Enerjisinin Tədqiqi” VIII Beynəlxalq Konfransı (Hindistan, Heydərabad, 2017), Gəncə Dövlət Universitetində keçirilən gənc alimlərin “Müasir Təbiət Elmlərinin Aktual Problemləri” Beynəlxalq konfransı (2017), “Qlobal Çağırışların həlli üçün Biologiya və Kənd Təsərrüfatında İnnovasiyalar” Gənc Alim və Tələbələrin Konfransı (Azərbaycan, Bakı, 2018), “Davamlı İnkişaf üçün Fotosintez və Hidrogen Enerjisinin Tədqiqi” X Beynəlxalq Konfransı (Rusiya, Sankt Peterburq, 2019), “Dəyişən Həyat Texnologiyaları” Beynəlxalq Konfransı (Pakistan, 2019), “Fundamental və tətbiqi elmlərin müasir problemlərinin həllində multidissiplinar yanaşmalar” Gənc Alim və Mütəxəssislərin II Beynəlxalq Elmi Konfransı (Bakı, 2020), Tələbə və Gənc Tədqiqatçıların “Kimya və kimya texnologiyası sahəsində davamlı inkişaf” mövzusunda I Beynəlxalq Elmi Konfransı (Bakı, 2020), “II Qarabağ Beynəlxalq Sosial və Bəşəri Elmlərdə Müasir Araşdırmalar” Beynəlxalq Konfransı (Bakı 2021), həmçinin Molekulyar Biologiya və Biotexnologiyalar İnstitutunun laboratoriya və seminarlarında təqdim edilərək müzakirə olunmuşdur.

**Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilat.** Dissertasiya Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi Molekulyar Biologiya və Biotexnologiyalar İnstitutunun Hüceyrənin membran sistemləri laboratoriyasında yerinə yetirilmişdir.

**Nəşrlər.** Dissertasiya materialları üzrə yerli və xarici nəşrlərdə 10 məqalə və 9 tezis olmaqla, ümumilikdə 19 əsər çap edilmişdir.

**Dissertasiyanın quruluşu və həcmi.** Dissertasiya işi giriş və 5 fəsil olmaqla, tədqiqat işlərinin yekun təhlilindən, nəticələrdən,

ədəbiyyat siyahısından və ixtisarlarmın siyahısından ibarətdir. Dissertasiya işinə 32 şəkil, 6 diaqram, 1 sxem və 9 cədvəl daxildir, Dissertasiyanın strukturunda giriş 6 səhifə olub 10037 işarədən, birinci fəsil 52 səhifə olub 81068 işarədən, ikinci fəsil 20 səhifə olub 18775 işarədən, üçüncü fəsil 15 səhifə olub 13309 işarədən, dördüncü fəsil 18 səhifə olub 16041 işarədən, beşinci fəsil 18 səhifə olub 19849 işarədən, yekun, nəticələr 6 səhifə olub 4987 işarədən və istifadə edilmiş 295 sayda ədəbiyyat siyahısı 30 səhifə 51936 işarədən ibarətdir. Dissertasiya 148 səhifə kömpüter yazısından ibarət olmaqla, ümumi həcmi 216002 işarə təşkil edir. Dissertasiyanın ümumi mətn hissəsi (ədəbiyyat siyahısı istisna olmaqla) isə 135 səhifə kömpüter yazısı və ya 164066 işarə təşkil edir.

## **İŞİN ƏSAS MƏZMUNU**

### **I FƏSİL. ƏDƏBİYYAT İCMALI**

Bu fəsildə dünyada qlobal problemlərdən olan duz stresinin bitkilərə təsiri və bu zaman fotosintetik aparatın struktur-funksional komponentləri olan piqment-zülal komplekslərində baş verən dəyişikliklər, eləcə də bitkilərin duz stresindən müdafiəsində antioksidant müdafiə sisteminin rolu geniş təhlil edilmişdir. Tədqiqat obyektı olan qarğıdalı (*Zea mays* L.) bitkisi haqqında ətraflı məlumat verilmişdir. Eyni zamanda, C<sub>4</sub> metabolizmə aid bitkilərin C<sub>3</sub> bitkilərlə müqayisədə fərqli və üstün cəhətləri ətraflı təhlil edilmişdir.

### **II FƏSİL. TƏDQIQATIN OBYEKTİ VƏ METODLARI**

Tədqiqat obyektı kimi, C<sub>4</sub> - bitkilərin NADF-malik enzim yarım tipinə aid olan qarğıdalı bitkisinin (*Zea mays* L.) Zaqatala-420 sortundan istifadə edilmişdir. Qarğıdalı bitkisi fitotron şəraitində torpaqla doldurulmuş plastik qablarda və hidroponika mühitində Knop məhlulunda becərilmişdir. Fotoperiod - 14 saat / 10 saat, temperatur - 26°C, işığın intensivliyi - 600 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, nisbi rütubət 60-70% olmuşdur. Cücərtildə ikinci yarpaq tam inkişaf etdikdən sonra 5 gün



ərzində eyni saatlarda müxtəlif qatılıqlarda (0, 1, 2, 3%-li NaCl məhlulu) duz stresi verilmişdir. Hidroponika mühitində toxumlar, əvvəlcə 2,5% KMnO<sub>4</sub> məhlulunda 15 dəq sterilizə edildikdən sonra rulon halında bükülmüş filtr kağızına köçürülmüş və müvafiq duz qatılığı olan qida mühitində 12 saat fotoperiodla 25<sup>0</sup>C temperaturda böyüdülmüşdür.

Qarğıdalı bitkisinin yarpaqlarından mezofil və örtüktopu subhüceyrə fraksiyaları Gardeström və Edwards<sup>10</sup> tərəfindən təklif olunan mexaniki metodla ayrılmışdır. Təcrübələrdə yüksək ayırıcı qabiliyyətə malik poliakrilamid geli (PAAG) üzərində qradient elektroforez (10-25%) metodundan istifadə edilmişdir. Elektroforez “Jencons” (Böyük Britaniya) firmasının hazırladığı V20- CDC aparatında vertikal sistemdə aparılmışdır. Nümunələrin zülal tərkibi Lemmli metodu ilə təyin edilmişdir<sup>11</sup>. Gelin densitoqramı ULTROSAN-2202 Lazer densitometri (LKB, İsveç) vasitəsilə çəkilmişdir. Elektroforezdən sonra alınan gellər xüsusi cihazda - Slab gel dryer-2003 (LKB, İsveç) qurudulmuşdur. Zülalların molekul kütləsi Weber və Osborna görə təyin edilmişdir<sup>12</sup>. Xlorofilin maye azot temperaturunda (77 K) fluoressensiya (F) emissiya spektrləri Hitachi-850 (Yaponiya) spektrofluorimetri vasitəsilə ölçülmüşdür<sup>13</sup>. Nümunələrdə piqmentlərin miqdarı 80%-li aseton ekstraktında spektrofotometrik metodla həyata keçirilmişdir<sup>14</sup>. FSI və FSII-nin funksional fəallığı Klark tipli qapalı platin elektrodu vasitəsilə

---

<sup>10</sup>Gardeström, P., Edwards, G.E. Isolation of mitochondria from leaf tissue of *Panicum miliaceum*, a NAD-malic enzyme type C4 plant // *Plant Physiology*, - 1983, 71(1), - p. 24-29.

<sup>11</sup>Laemmli, V.K. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4 // *Nature*, - 1970. 227 (5259), - p. 680-685.

<sup>12</sup>Weber, K., Osborn, M. The reliability of molecular weight determinations by dodecyl sulfate-polyacrylamide gel electrophoresis // *Journal of Biological Chemistry*, - 1969. 244 (16), - p. 4406-4412.

<sup>13</sup>Huseynova, I.M. Structural-functional state of thylakoid membranes of wheat genotypes under water stress/ Suleymanov S.Y., Aliyev J.A// *Biochimica et Biophysica Acta*, - 2007. 1767, -p. 869-875

<sup>14</sup>Porra, R.J. The chequered history of the development and use of simultaneous equations for the accurate determination of chlorophylls *a* and *b* // *Photosynthesis Research*, - 2002. 73 (1), - p. 149-56.

amperometrik cihazda polyaroqrafik metodla oksigenin ( $O_2$ ) udulması və ya ayrılmasına görə təyin edilmişdir. Nümunələrin ultrastrukturu transmission elektron mikroskopu (JEM-1400, Yaponiya) vasitəsilə ölçülmüşdür. Antioksidant fermentlərin aktivlikləri müvafiq reaksiyalarla spektrofotometrik yolla təyin edilmişdir; izoferment tərkibinin təyini nativ PAAG elektroforez metodundan istifadə etməklə 3 saat ərzində sabit elektrik cərəyanında (30 mA) həyata keçirilmişdir.

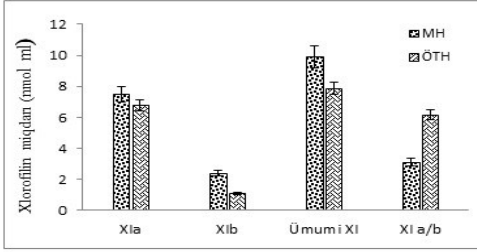
**Statistik analizlər.** Dissertasiya işində bütün təcrübələr 3 bioloji təkrarda aparılmış, Student's t – test proqramı vasitəsi ilə statistik analizlər və xətlər müəyyən edilmişdir.  $P < 0,01$  və  $0,05$  orta qiymətlərin arasında yaranan fərqlər qənaətbəxş qəbul edilmişdir.

### III FƏSİL. NƏTİCƏLƏR VƏ ONLARIN MÜZAKİRƏSİ

#### 3. Qarğıdalı bitkisinin (*Zea mays* L.) mezofil və örtüktopaxloroplastlarının biokimyəvi xüsusiyyətləri və ultrastrukturu

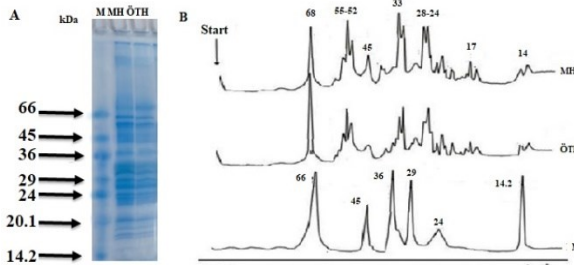
##### 3.1. Qarğıdalı yarpaqlarından ayrılmış mezofil və örtüktopaxloroplastlarının zülal tərkibi, spektral xassələri, funksional fəallığı və ultrastrukturu

MH və ÖTH xloroplastlarının tilakoid membranlarının piqment tərkibi onlarda xlorofilin miqdarını ölçməklə xarakterizə edilmişdir. Tədqiqatın nəticələrinə əsasən, qarğıdalı yarpaqlarından ayrılmış MH və ÖTH xloroplastlarında fotosintetik piqmentlərin miqdarının uyğun olaraq, 56 % və 44 % təşkil etdiyi müəyyən edilmişdir. Mezofil xloroplastlarında Xl *b*-nin miqdarı təxminən 2 dəfə çox, xlorofil *a/b* nisbətinin isə ÖTH hüceyrələrində əhəmiyyətli dərəcədə yüksək olması aşkar edilmişdir. Alınan nəticələrə görə, Xl*a/b* nisbəti mezofil xloroplastlarında 3,12, ÖTH xloroplastlarında isə 6,15 təşkil edir (Şəkil 1).



**Şəkil 1.** Qarğıdalı yarpaqlarının MH və ÖTH xloroplastlarında xlorofilin miqdarı və xlorofil *a/b* nisbəti.

MH və ÖTH xloroplastlarının tilakoid membranlarının polipeptid tərkibi anion detergenti SDS ilə denaturasiya olunan şəraitdə poliakrilamid gel-elektroforez (SDS-PAGE) metodu ilə analiz edilmişdir (Şəkil 2). Göründüyü kimi, hər iki tip xloroplastların fotosintetik membranlarının zülal tərkibi əsasən, keyfiyyət cəhətdən bir-birindən fərqlənirlər. Molekul kütləsi 68kDa olan FSI-in nüvəsinə aid apozülalın miqdarı ÖTH tilakoidlərində MH xloroplastlarına nisbətən daha yüksəkdir. FSII-nin nüvə antenasına aid polipeptidlər

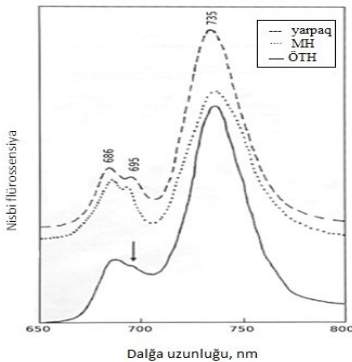


**Şəkil 2. A.** Qarğıdalı bitkisinin MH və ÖTH xloroplastlarının tilakoid membranının 10-25% gradient PAAG-da 0,1% -li SDS iştirakı ilə elektroforeqramı. **B.** MH və ÖTH xloroplastlarının tilakoid membranının 10-25% gradient PAAG-da elektroforezini densitoqramı. MH-mezofil tilakoidləri, ÖTH-örtüktopa tilakoidləri, M - zülal markerlər.

hər iki tip membranda aşkar edilmişdir, lakin 45 kDa polipeptid mezofil tilakoidlərində daha intensivdir. ATF-aza kompleksinin katalitik CF1 domeninin molekul kütləsi 55 kDa və 52 kDa olan  $\alpha$ -

və  $\beta$ -subvahidləri hər iki tip subhüceyrə fraksiyalarında vardır. FSII-nin işıqtoplayan kompleksinin (LHCII) 28-24 kDa polipeptidlərinin də hər iki tip membranda mövcudluğu göstərilmişdir, lakin ÖTH tilakoidlərində onların intensivliyi zəifdir. ÖTH tilakoidlərində LHCII-nin səviyyəsinin mezofil tilakoidləri ilə müqayisədə az olması, onlarda FSII-nin fotokimyəvi effektivliyinin aşağı olması ilə əlaqələndirilir. ÖTH membranlarında lokalizasiya olunan FSII kompleksində elektron nəqli və oksigenin ayrılması ilə əlaqəli polipeptidlər iştirak etsə də, praktiki olaraq, fəaliyyət göstərmirlər. Bundan əlavə, oksigen ayıran kompleksin (OAK) tərkibinə daxil olan 33, 24 və 17 kDa zülallar həm MH, həm də ÖTH xloroplastlarında aşkar edilmişdir, lakin ÖTH tilakoidlərində onların miqdarının az olduğu göstərilir.

Qarğıdalı yarpaqlarından ayrılmış mezofil və örtüktopu xloroplastlarının spektral xassələri maye azot temperaturunda (77K) fluoressensiya metodu ilə tədqiq edilmişdir (Şəkil 3). Qarğıdalı yarpaqlarında və MH xloroplastlarında FSII-nin işıqtoplayan kompleksinə, FSII və FSI komplekslərinə aid xlorofilin 686 nm,



**Şəkil 3.** Qarğıdalı bitkisinin yarpaq, mezofil və örtüktopu xloroplastlarının aşağı temperaturda (77K) fluoressensiya emissiya spektrləri (620–800 nm). Həyacanlanmış işıqın dalğa uzunluğu 440 nm olmuşdur.

695 nm və 735 nm dalğa uzunluğunda yerləşən fluoressensiya maksimumları müəyyən edilmişdir. Göstərilmişdir ki, qeyd edilən maksimumlar ÖTH xloroplastlarında da vardır, lakin aqranal plastidlərin fluoressensiya spektrində 695 nm sahədə zolağın intensivliyi zəifdir. Spektrlərdə maksimumların nisbətində müəyyən fərqlər olmasına baxmayaraq, bütün hallarda ÖTH xloroplastlarında F735/F686 nisbəti MH xloroplastlarına nisbətən 3-4 dəfə çox olmuşdur. Bununla yanaşı, şəkildən görüldüyü kimi, xlorofilin 686

nm-də maksimumunun olması, ÖTH xloroplastlarında zəif birləşmiş LHCII kompleksinin mövcudluğunu göstərir.

Qarğıdalının MH və ÖTH xloroplastlarında FSI və FSII-nin fotokimyəvi fəallığı polyarografiya metodla oksigenin udulması və ya ayrılmasına görə təyin edilmişdir. Alınan nəticələr cədvəl 1-də verilmişdir. Örtüktopu xloroplastlarında FSII-nin fəallığının MH xloroplastlarına nisbətən təqribən 5 dəfə az olduğu göstərilmişdir

### Cədvəl 1

Qarğıdalı yarpaqlarından ayrılmış MH və ÖTH xloroplastlarında FSI və FSII-nin elektron nəqli fəallığı ( $100\mu\text{q}\cdot\text{mL}^{-1}$  xlorofilə bərabər xloroplastlardan istifadə edilmişdir)

Fəallıq ( $\mu\text{mol O}_2\cdot\text{mq}^{-1}\cdot\text{xl s}^{-1}$ )			
Nümunələr	FSI	FSII	FSI/FSII
	(DCPIP·H→MV)	$\text{H}_2\text{O}\rightarrow\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$	
MH	227±12	78±4	3.0
ÖTH	613±19	14±2	43

(MH-da  $78\mu\text{molO}_2\cdot\text{mq}^{-1}\cdot\text{xl s}^{-1}$ , ÖTH da  $14\mu\text{molO}_2\cdot\text{mq}^{-1}\cdot\text{xl s}^{-1}$ ). FSI-in ən yüksək fəallığı ÖTH xloroplastlarında müşahidə edilmişdir və MH xloroplastlarına nisbətən ~2,7 dəfə çox olmuşdur. Cədvəldən görüldüyü kimi, ÖTH xloroplastları FSI ilə daha zəngindir.

Tədqiqatlar zamanı qarğıdalı bitkisi xloroplastlarının ultrastrukturunu elektron mikroskopu vasitəsilə analiz edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, mezofil xloroplastları yüksək səviyyədə təşkil olunmuş tilakoidlərdən ibarət qranlara və az miqdarda nişasta dənəciklərinə malikdirlər. Örtüktopu xloroplastlarının tipik NADP-ME quruluşu vardır,  $\text{C}_4$  bitkilərdə olduğu kimi, lamelyar quruluşa malikdir və stromada lipid dənələri müşahidə edilir.

## 4. Qarğıdalı bitkisinin morfofizioloji əlamətlərində, biokimyəvi xüsusiyyətlərində və ultrastrukturunda duzla induksiya olunan dəyişikliklər

### 4.1. Duz stresinin qarğıdalı bitkisinin morfofizioloji əlamətlərinə və fotosintetik piqmentlərin miqdarına təsiri

Duzun müxtəlif qatılıqlarına məruz qalan bitkilər üzərində aparılan tədqiqatlar zamanı morfofizioloji parametrlərdə (kök və bitkinin uzunluğu, quru və yaş çəki, quru biokütlə, yarpaq sahəsi, duza tolerantlıq indeksi, nisbi su tutumu (NST), kökün fitotoksikliyi və s.) baş verən dəyişikliklər analiz edilmişdir. Göstərilmişdir ki, NaCl duzunun təsiri zamanı bitkinin vegetativ orqanlarının böyümə və inkişafı ləngiyir; duzun qatılığının artması ilə NST-nin tədricən azalması müşahidə olunur. Müəyyən edilmişdir ki, kökün fitotoksikliyi mühidə duzluluq səviyyəsi artdıqca, artır. Stresə məruz qalmış qarğıdalı bitkisinin duza tolerantlıq indeksi duzun yüksək qatılıqlarında aşağı qiymətlər almışdır. Duzun qatılığı ilə bitkinin duza tolerantlıq indeksi arasında əks əlaqənin mövcudluğu aşkar edilmişdir.

Duz stresinin qarğıdalı bitkisinə təsiri zamanı fotosintetik piqmentlərin miqdarında nəzərə çarpan dəyişikliklər müşahidə edilmişdir (Cədvəl 2). Mezofil və örtüktopu xloroplastlarında *Xl a* və *Xl b*-nin miqdarı duzun təsirindən azalır və bu əlamət *Xl b*-yə nisbətən, *Xl a*-da daha aydın nəzərə çarpır. Eyni zamanda, *Xl a/b* nisbətində də azalma qeyd olunmuşdur. Piqmentlərin miqdarı və *Xl a/b* nisbəti həm MH, həm də ÖTH xloroplastlarında mühidə duzun qatılığı artdıqca azalmışdır.

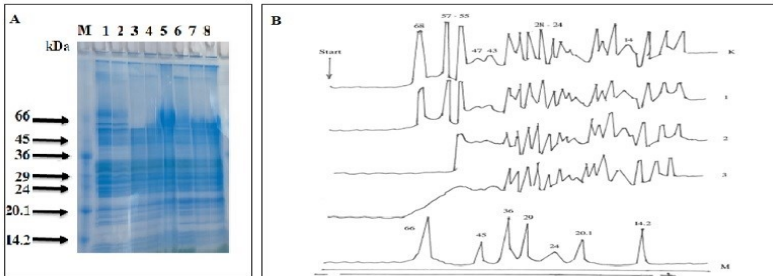
## Cədvəl 2

Qarğıdalı yarpaqlarının MH və ÖTH xloroplastlarında xlorofilin miqdarına və *Xl a/b* nisbətində duz stresinin təsiri.

Xlorofilin miqdarı <i>Xl</i> (nmol ml <sup>-1</sup> )				
NaCl	<i>Xl a</i>	<i>Xl b</i>	<i>Xl a+b</i>	<i>Xl a/b</i>
Mezofil xloroplastları				
0%	7.49±0.52	2.4 ±0.17	9.89±0.55	3.12
1%	6.12*±0.43	2.0*±0.14	8.69**±0.61	3.06
2%	4.40**±0.31	1.5**±0.11	6.30**±0.44	2.93
3%	2.80**±0.20	1.1**±0.10	4.20**±0.3	2.5
Örtüktopu xloroplastları				
0%	6.76**±0.47	1.2*±0.084	7.87*±0.5	5.63
1%	5.13**±0.36	1.0*±0.07	6.32*±0.44	5.13
2%	4.45**±0.31	0.9**±0.063	5.86**±0.41	4.94
3%	3.1**±0.22	0.7**±0.05	3.17**±0.22	4.42

## 4.2. Duz stresinin MH və ÖTH xloroplastlarının tilakoid membranlarının zülal tərkibinə təsiri

Duz stresinin təsirinə məruz qalmış qarğıdalı yarpaqlarından ayrılan MH və ÖTH xloroplastlarının tilakoid membranlarının zülal tərkibi yüksək ayırıcı qabiliyyətə malik vertikal qradient (10-25%) gel-elektroforez metodu ilə analiz edilmişdir. Elektroforeqram üzərində molekul kütləsi 68 kDa-dan 10 kDa-a qədər 25-ə yaxın polipeptid müşahidə edilmişdir (Şəkil 4A, B). Şəkildə elektroforeqram və gelin lazer densitometrində  $\lambda=633$  nm dalğa uzunluğunda çəkilən densitoqramı verilmişdir. Göründüyü kimi, duzun təsirindən ÖTH xloroplastlarının membran sistemində kontrolla müqayisədə nəzərə çarpan dəyişiklik baş vermir. Lakin mezofil xloroplastlarının tilakoid membranlarının zülal tərkibində kəmiyyət və keyfiyyət dəyişiklikləri aşkar edilmişdir. Duzun 1%-li qatılığında mezofil xloroplastlarında bəzi polipeptidlərin miqdarında kontrolla nəzərə alınmaz azalma müşahidə edilir. FSI-in nüvəsinə daxil olan 68 kDa zülalın intensivliyi, eləcə də FSII-nin nüvə antenasına aid 47 və 43 kDa zülalların intensivliyi kontrolla nəzərə alınmaz azalır. FSII-nin işıqtoplayan kompleksinin (LHCII) tərkibinə daxil olan 28-24 kDa polipeptidlərin intensivliyi də zəifləyir. Duzun yuxarı qatılıqlarında (2% və 3% NaCl) mezofil xloroplastlarının tilakoid membranlarının zülal tərkibində əhəmiyyətli dəyişikliklər müşahidə edilir: FSI-in nüvəsinə aid 68 kDa apozülal və ATF sintaza kompleksinin katalitik CF1 domeninin  $\alpha$ - və  $\beta$ - sub-vahidlərinin sintezi inhibirləşir və elektroforeqram üzərində müşahidə edilmir.



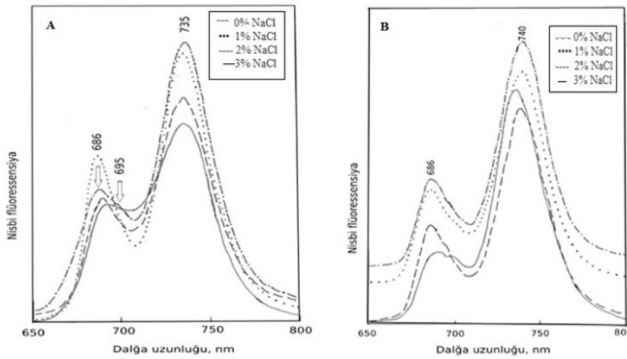
**Şəkil 4. A.** Duzun təsirinə məruz qalmış qarğıdalı bitkisinin MH və ÖTH xloroplastlarının 0.1% SDS iştirakı ilə 10-25% qradient PAAG üzərində elektroforezi. 1-MH kontrol, 2-MH+1% NaCl, 3 - MH+ 2% NaCl, 4 - MH+3%NaCl, 5 –ÖTH kontrol, 6 – ÖTH +1%NaCl, 7 – ÖTH+ 2% NaCl, 8 – ÖTH +3% NaCl. **B.** MH xloroplastlarının 10-25% qradient PAAG üzərində elektroforezinin densitoqramı. K-kontrol, M-zülal markerlər: 66 kDa (öküz zərdabı albumini), 45 kDa (ovalbumin), 36 kDa (qliseraldehid-3-fosfat dehidrogenaza), 29 kDa (karboanhidraza), 24 kDa (tripsinogen), 20.1 kDa (tripsin inhibitoru), 14.2 kDa ( $\alpha$ - laktalbumin).

### **4.3. Yüksək duz qatılığının qarğıdalı bitkisinin MH və ÖTH xloroplastlarının spektral xassələrinə təsiri**

NaCl duzunun yüksək qatılıqlarının qarğıdalı bitkisinə təsiri zamanı fotosintetik aparatda baş verən struktur-funksional dəyişikliklər analiz edilmişdir. Qarğıdalı yarpaqlarından ayrılmış mezofil və örtüktopu hüceyrələri xloroplastlarının spektral xassələri maye azot temperaturunda (77K) fluoressensiya metodu ilə öyrənilmişdir. MH xloroplastlarında xlorofilin fluoressensiya (F) spektrində işıq toplayan kompleksə, FSII və FSI komplekslərinə aid 686 nm, 695 nm və 735 nm dalğa uzunluğunda yerləşən fluoressensiya maksimumları müşahidə edilmişdir (Şəkil 5A). 1%-li NaCl-un təsirindən MH xloroplastlarının fluoressensiya spektrində maksimumların lokalizasiyasında sürüşmə müşahidə edilməmişdir, lakin 735 nm/686n m fluoressensiya nisbəti azalır. 2%-li duz stresinin təsirindən maksimumların intensivliyi zəifləyir, 3%-li duzun təsirindən isə spektrin FSII kompleksini xarakterizə edən qısa dalğalı hissəsində kəskin dəyişiklik baş verir və xlorofilin 686 nm və 695 nm sahədə yerləşən maksimumların yenidən paylanması müşahidə edilir. 1%-li və 2%-li NaCl-un təsirindən ÖTH xloroplastlarının fluoressensiya spektrlərinin xarakterində və piklərin lokalizasiyasında dəyişiklik müşahidə edilmir (Şəkil 5 B). 3%-li NaCl-un bitkilərə təsiri zamanı isə FSI-in antenna sisteminə aid olan və 740 nm-də lokalizasiya olunan fluoressensiya maksimumu 4-5 nm qısa dalğalı tərəfə sürüşür və spektrin FSII



kompleksini xarakterizə edən hissələrində fluoressensiyanın azalması baş verir.



**Şəkil 5.** Duz stresinin mezofil (A) və örtüktopa (B) xloroplastlarının fluoressensiya spektrlərinə (77K) təsiri

#### 4.4. Duz stresi zamanı mezofil və örtüktopa xloroplastlarında FSI və FSII-nin funksional fəallığı

Aparılan tədqiqatlar zamanı müəyyən olunmuşdur ki, normal şəraitdə FSII–nin fotokimyəvi fəallığı mezofil xloroplastlarında  $76 \mu\text{mol O}_2 \text{mq}^{-1} \text{xl s}^{-1}$ , örtüktopa hüceyrələrində isə  $14 \mu\text{mol O}_2 \text{mq}^{-1} \text{xl s}^{-1}$  təşkil edir (Cədvəl 3). Mezofil xloroplastlarında FSI-in fəallığı  $219 \mu\text{mol O}_2 \text{mq}^{-1} \text{xl s}^{-1}$ , örtüktopa xloroplastlarında isə  $617 \mu\text{mol O}_2 \text{mq}^{-1} \text{xl s}^{-1}$  təşkil etmişdir. Cədvəldən göründüyü kimi, duz stresi mezofil xloroplastlarında FSII-nin aktivliyinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərir. 1%-li NaCl-un təsirindən FSII-nin fəallığında nəzərə

#### Cədvəl 3

Qarğıdalı bitkisinin assimilyasiyaedici toxumalarından ayrılmış MH və ÖTH xloroplastlarında FSI və FSII-nin elektron nəqli aktivliyinə duz stresinin təsiri (xloroplastlarda xlorofil  $100 \mu\text{g mL}^{-1}$  olmuşdur).

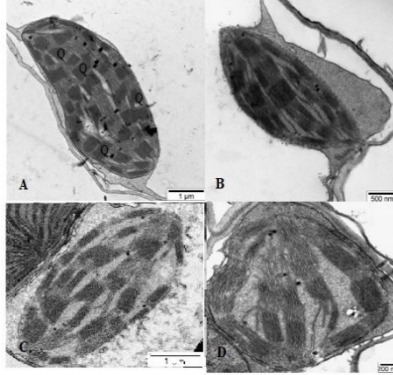
Nümunələr	Fəallıq ( $\mu\text{mol O}_2 \text{mq}^{-1} \text{Xl s}^{-1}$ )		
	FS II ( $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ )	FS I (DCPIP $\text{H} \rightarrow \text{MV}$ )	FS I/FS II
Mezofil xloroplastları			

0% NaCl	76±2.28	219±6.57	3
1% NaCl	64**±1.92	203**±6.1	3
2% NaCl	39**±1.17	168**±5	4
3% NaCl	14**±0.42	123**±3.7	9
Örtüktopa xloroplastları			
0% NaCl	14±0.42	617±18.5	44
1% NaCl	12**±0.36	573**±17	48
2% NaCl	7**±0.21	529**±16	76
3% NaCl	3**±0.1	457**±13.7	153

çarpan dəyişiklik baş verməsə də mühitdə duzun qatılığı artdıqca FSII-nin fotokimyəvi fəallığı azalır, FSI-in fəallığında isə kəskin azalma müşahidə edilmir. ÖTH xloroplastlarında da duz stressi, əsasən, FSII kompleksinin fotokimyəvi fəallığına təsir edir. FSI kompleksi duzun təsirinə qarşı davamlılıq göstərir və elektronların daşınma sürəti kontrollu müqayisədə azalsa da, kəskin fərq müşahidə edilmir.

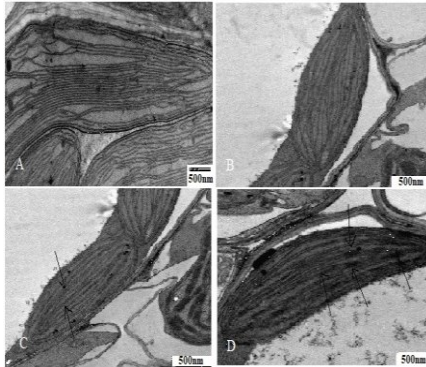
#### **4.5. Duz stresinin təsirindən qarğıdalı bitkisinin MH və ÖTH xloroplastlarının ultrastrukturunda baş verən dəyişikliklər**

Qarğıdalı bitkisinə NaCl duzu ilə təsir edərək, xloroplastların ultrastrukturunda baş verən dəyişikliklər elektron mikroskopu vasitəsilə analiz edilmişdir (Şəkil 6 A-D). Şəkildən görüldüyü kimi, normal şəraitdə yetişdirilən yarpaqların mezofil hüceyrələrinin xloroplastları yaxşı inkişaf etmiş qranal quruluşda olan tilakoid membranına və az miqdarda nişasta dənəciklərinə malikdir. Müəyyən edilmişdir ki, yüksək duz qatılığında (2% və 3% NaCl) mezofil xloroplastlarının quruluşu zədələnir, şişkinləşir və tilakoid membranlarının qranal quruluşunun dağılmasına səbəb olur. Duzun ÖTH xloroplastlarının ultrastrukturuna təsiri şəkil 7-də verilmişdir. Şəkildən görüldüyü kimi, qarğıdalı bitkisinin ÖTH xloroplastları C<sub>4</sub> bitkilərində olduğu kimi, tipik NADF-ME strukturuna malikdir, tilakoid membranlarının aqranal (lamelyar) quruluşu vardır və nişasta dənəcikləri ilə zəngindir. Duzun təsirindən ÖTH xloroplastlarının quruluşunda nəzərəçarpan struktur dəyişikliyi müşahidə edilmir.



**Şəkil 6.** Duz stresinin təsirindən qarğıdalı bitkisinin MH xloroplastlarının ultrastrukturunda baş verən dəyişikliklərin elektron mikroskopunda görünüşü. A. Normal bitkinin, B. 1% NaCl, C. 2% NaCl, D. 3% NaCl-un təsirinə məruz qalan bitkilərin xloroplastları.

Qeyd etmək maraqlıdır ki, duz stresi hətta örtüktopu xloroplastlarının aqranal quruluşdan qismən qranal quruluşa keçməsinə səbəb olur (Şəkil 7D).

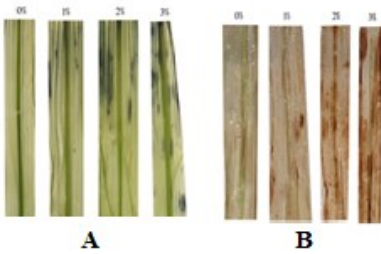


**Şəkil 7.** Duz stresinin təsirinə məruz qalmış qarğıdalı bitkisinin örtüktopu hüceyrələri xloroplastlarının ultrastrukturunun transmission elektron mikroskopu vasitəsilə analizi. A. Normal bitkinin, B. 1% NaCl, C. 2% NaCl, D. 3% NaCl-un təsirinə məruz qalan bitkilərin xloroplastları.

## 5. Duz stresinin qarğıdalı bitkisinin (*Zea mays L.*) MH və ÖTH xloroplastlarında antioksidant fermentlərin aktivliyinə və izoferment tərkibinə təsiri

### 5.1. Normal şəraitdə və stres zamanı yarpaqlarda baş verən dəyişikliklərin histokimyəvi analizi

Duz stresinin təsirinə məruz qalmış qarğıdalı bitkisinin yarpaqlarında aparılan histokimyəvi analizlər zamanı zədələnən hissələrdə oksigenin fəal formalarının (OFF) yığılması müşahidə olunmuşdur. Duzun qatılığı artdıqca yarpaqlarda superoksid anion radikalların toplanması əhəmiyyətli dərəcədə artmışdır (Şəkil 8A). Göründüyü kimi, 2% və 3%-li NaCl duzunun təsirinə məruz qalmış yarpaqlarda superoksid radikallarının yığılması 1%-li duza nisbətən daha çoxdur. Stresin əsas göstəricilərindən olan hidrogen peroksid ( $H_2O_2$ ) normal bitkinin yarpaqlarında aşkar edilməmişdir, lakin NaCl-un təsirindən  $H_2O_2$ -nin toplanması müşahidə edilmişdir. NaCl-un qatılığının artması ilə  $H_2O_2$ -nin miqdarının əhəmiyyətli dərəcədə artdığını şəkildən görmək olar (Şəkil 8B).



**Şəkil 8.** Duz stresinə (0, 1, 2, 3% NaCl) məruz qalmış qarğıdalı bitkisinin yarpaqlarında superoksid anion radikalların (A) və  $H_2O_2$ -nin (B) yığılması.

### 5.2. Duz stresinin təsiri zamanı qarğıdalı bitkisinin yarpaq və xloroplastlarında lipidlərin peroksidləşmə intensivliyi

Malondialdehid (MDA) fosfolipidlərin tərkibində doymamış yağ turşularının peroksidləşməsinin məhsuludur və lipidlərin peroksidləşmə səviyyəsi duz stressi zamanı sərbəst radikalların hüceyrə membranlarına zərərli təsirinin göstəricisidir. Tədqiqatlar zamanı qarğıdalı yarpaqlarında, mezofil və örtüktopu xloroplastlarında NaCl duzunun qatılığının artması ilə MDA-nın miqdarının da artdığı

müəyyən edilmişdir (Cədvəl 4). Cədvəldən görüldüyü kimi, malon dialdehidin miqdarı yarpaqlarda və subhüceyrə fraksiyalarında fərqli şəkildə paylanmışdır: normal bitkilərin mezofil hüceyrələri xloroplastlarında MDA-nın miqdarı örtüktopu xloroplastları ilə müqayisədə daha çox olmuşdur.

**Cədvəl 4.**

Duz stresinin qarğıdalının yarpaq və xloroplastlarında MDA-nın miqdarına təsiri.

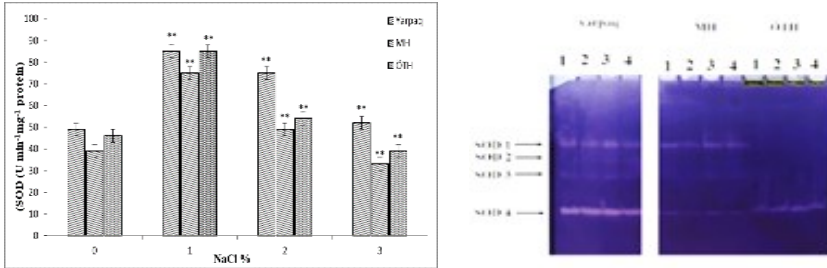
NaCl	MDA miqdarı (mM/q-yaş çəki)		
	Yarpaq	MH	ÖTH
0%	4,31**±0.34	4,5±0.36	2,6±0.21
1%	5,23 <sup>ns</sup> ±0.42	7,0**±0.56	6,5*±0.52
2%	8,44**±0.67	10,3**±0.8	11,5**±0.92
3%	11,91**±0.95	14,0**±1.12	15,5**±1.24

### 5.3. Qarğıdalı bitkisinin duz stresindən müdafiəsində antioksidant müdafiə sisteminin rolu

Müxtəlif qatılıqlı duz stresi zamanı qarğıdalı bitkisinin yarpaqlarında, mezofil və örtüktopu xloroplastlarında antioksidant fermentlərin aktivliyi və izoferment tərkibi analiz edilmişdir. Müəyyən olunmuşdur ki, 1%-li NaCl-un təsirindən həm yarpaq, həm də subhüceyrə fraksiyalarında SOD-un aktivliyi kontrola nəzərən stimullaşır, lakin duzun sonrakı artımı fermentin aktivliyini inhibirləşdirir (Şəkil 9). SOD fermentinin izoenzim tərkibinin elektroforetik analizi zamanı yarpaqlarda elektroforeqram üzərində 4 izoforma müşahidə olunmuşdur. Subhüceyrə fraksiyalarının elektroforetik spektrlərində MH xloroplastlarında fermentin 3 (SOD1, SOD3 və SOD4), ÖTH xloroplastlarında isə yalnız 1 izoforma aşkar edilmişdir. Şəkildən görüldüyü kimi, 1% və 2% -li NaCl-un təsirindən ÖTH-da olan izoformanın intensivliyinin artması müşahidə edilir.

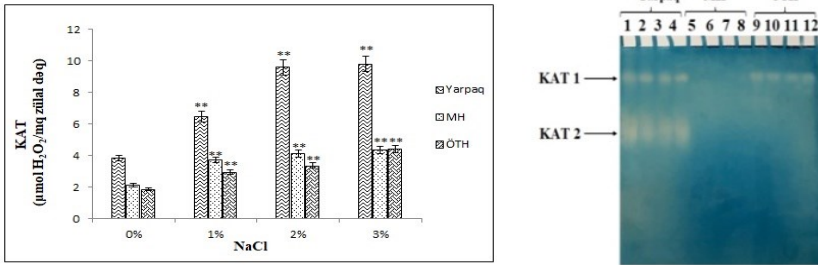
Eyni zamanda duz stresi şəraitində qarğıdalı bitkisinin yarpaq və xloroplastlarında katalaza fermentinin fəallığı və izoferment tərkibi öyrənilmişdir (Şəkil 10). 1%-li NaCl mühitində böyüdülmüş bitkilərin yarpaqlarında KAT-ın fəallığı kontrolla müqayisədə 1,7 dəfə, 2%-li NaCl mühitində 2,2 dəfə, 3%-li NaCl mühitində isə 2,5

dəfə artmışdır. Bununla yanaşı, NaCl-un qatılığının artması fonunda



**Şəkil 9.** Duz stresi şəraitində qarğıdalı bitkisinin yarpaq və xloroplastlarında SOD fermentinin fəallığı və izoenzim tərkibi.

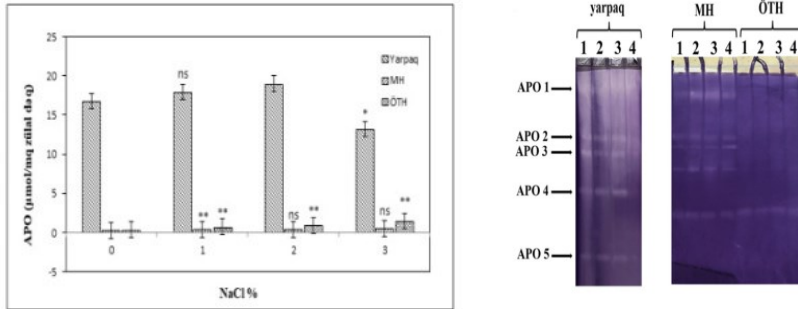
həm MH, həm də ÖTH subhüceyrə fraksiyalarında katalazanın fəallığının statistik cəhətdən əhəmiyyətli dərəcədə artması qeyd edilmişdir. Qarğıdalı bitkisinin yarpaqlarından ayrılmış ferment ekstraktında katalazanın 2, ÖTH xloroplastlarında isə yalnız 1 izoforma aşkar edilmişdir. Duzun qatılığından asılı olaraq, bu izoformaların intensivliyinin artması müşahidə olunur ki, bu da həmin izoformalara uyğun zülalın miqdarının artmasını göstərir.



**Şəkil 10.** NaCl duzunun müxtəlif qatılıqlarının qarğıdalı bitkisinin yarpaq və xloroplastlarında KAT aktivliyinə və izoenzim tərkibinə təsiri: 1.0% NaCl, 2-1% NaCl, 3-2% NaCl, 4-3% NaCl

Tədqiqatlar zamanı kontrol bitkilərdə APO-nun konstitutiv fəallığı kifayət qədər yüksək olmuşdur (16,58 mkmol/mq zülal dəq) (Şəkil 11). Yarpaqlardan ayrılmış ferment ekstraktında APO-nun fəaliyyəti duzun qatılıqlarından asılı olaraq artır, 3%-li NaCl mühitində becərilən bitkilərin yarpaqlarında isə

inhibirləşmə müşahidə olunur (13,19 mkmol/mq zülal dəq).



**Şəkil 11.** NaCl duzunun qarğıdalı bitkisinin yarpaq və xloroplastlarında APO-nun aktivliyinə və izoenzim tərkibinə təsiri: 1-0% NaCl, 2- 1% NaCl, 3- 2% NaCl, 4- 3% NaCl.

Askorbat peroksidaza fermentinin izoferment tərkibinin analizi zamanı yarpaq hüceyrələrində APO-nun mobilliyinə görə fərqlənən 5 izoformasını (APO1, APO2, APO3, APO4 və APO5), mezofil xloroplastlarında fermentin 5, ÖTH xloroplastlarında isə 1 izoformanın olduğu qeyd olunmuşdur.

## NƏTİCƏLƏR

1. Müəyyən edilmişdir ki, normal şəraitdə qarğıdalı bitkisinin mezofil (MH) və örtüktopu (ÖTH) hüceyrələri xloroplastlarında Xl (*a+b*)-nin miqdarı uyğun olaraq, 56% və 44% təşkil etmişdir. Xl *a/b* nisbəti mezofil xloroplastlarında 3,12, ÖTH xloroplastlarında isə 6,15 olmuşdur. Duz stresinin təsirindən MH və ÖTH xloroplastlarında xlorofilin sintezi zəifləmiş və Xl*b* ilə müqayisədə Xl*a*-nın miqdarında statistik əhəmiyyətli azalma müşahidə olunmuşdur [2, 11, 17, 18].
2. MH və ÖTH xloroplastlarının tilakoid membranının zülal tərkibinin analizi zamanı hər iki tip membranda FSII-nin nüvə antenasına (47 kDa və 43 kDa) və işıqtoplayan kompleksə aid polipeptidlər (28-24 kDa) aşkar edilmiş, lakin ÖTH tilakoidlərində onların intensivliyi zəif

olmuşdur. Duzun yüksək qatılıqlarında (2% və 3% NaCl) MH xloroplastlarının tilakoid membranında FSI-in nüvəsinə aid 68 kDa apozülal və ATF-sintaza kompleksinin katalitik CF1 domeninin  $\alpha$ - və  $\beta$ - subvahidlərinin sintezi inhibirləşir. ÖTH xloroplastlarının tilakoid membran sistemində nəzərə çarpan dəyişiklik aşkar edilməmişdir [6, 9, 17].

3. MH və ÖTH xloroplastlarının fluoressensiya spektrində (77K) işıqtoplayan kompleksə (LHCII), FSII və FSI komplekslərinə aid xlorofilin 686 nm, 695 nm və 735 nm-də yerləşən fluoressensiya maksimumları aşkar edilmişdir. ÖTH xloroplastlarında FSII-nin nüvə kompleksinə aid 695 nm-də yerləşən maksimumun intensivliyi zəif olmuşdur ki, bu əlamət LHCII kompleksinin miqdarının az olması, eləcə də stresin təsirindən anatomik quruluşunun pozulması ilə izah etmək olar [3, 7, 9].
4. Normal şəraitdə qarğıdalı bitkisinde FSII-nin fotokimyəvi fəallığı MH xloroplastları ilə müqayisədə ÖTH xloroplastlarında təqribən 5 dəfə aşağı olmuşdur (uyğun olaraq, MH-da  $76 \mu\text{mol O}_2 \text{mq}^{-1}\text{xl s}^{-1}$ , ÖTH-da  $14 \mu\text{mol O}_2 \text{mq}^{-1}\text{xl s}^{-1}$ ). FSI-in ən yüksək fəallığı ÖTH xloroplastlarında müşahidə edilmiş və mezofil xloroplastlarına nisbətən 2,7 dəfə yüksək fəallıq göstərmişdir. Duz stresinin təsirindən FSII-nin fotokimyəvi fəallığının azalması fonunda FSI-in fəallığında, kontrolla müqayisədə statistik əhəmiyyətli fərq müşahidə olunmur [1, 2, 14, 17, 19].
5. Duz stressi şəraitində qarğıdalı bitkisinin xloroplastlarının ultrastrukturu analiz edilmiş və göstərilmişdir ki, duzun yüksək qatılıqlarında (2% və 3% NaCl) MH xloroplastlarının qranal quruluşu dağınıq, ÖTH xloroplastlarında isə lamelyar quruluş qismən qranal quruluşa çevrilir. Bu dəyişikliklər ÖTH xloroplastlarında LHCII-nin miqdarının artması, eləcə də FSII və FSI arasında elektron-nəqliyyat dövriyyəsinin qismən bərpa olunması ilə izah olunur [8, 13, 14, 17].
6. Qarğıdalı bitkisinde antioksidant fermentlər olan APO ilə KAT-ın fəallığı arasında əks korrelyasiya müşahidə



olunmuşdur. KAT-ın fəallığının həm yarpaq, həm də MH və ÖTH hüceyrələrində duzun qatılığından asılı olaraq artması fonunda 3%-li NaCl mühitində APO-nun fəallığı yarpaqlarda azalır. Bu fakt, APO-nun substratı olan  $H_2O_2$ -nin KAT tərəfindən utilizasiyası nəticəsində onun miqdarının azalması ilə izah oluna bilər [5, 10, 12, 15, 16].

7. MH və ÖTH hüceyrələrində antioksidant fermentlərin izoenzim tərkibinin analizi zamanı elektroforeqram üzərində APO-nun MH-da 5, ÖTH-da 1, SOD-un MH-da 3, ÖTH-da 1, KAT-ın ÖTH-da 1 izoformasını aşkar edilmişdir. Mezofil hüceyrələrindən fərqli olaraq ÖTH-da izoformaların intensivliyi duzun qatılığı artdıqca güclənmişdir ki, bu da MH hüceyrələrinin ÖTH-a nisbətən duz stresinə daha həssas olduğunu göstərir [8, 15].

## Dissertasiya işinə aid çap edilmiş elmi nəşrlərin siyahısı

1. Əliyeva, N.X., Qasimova, K.H. Qarğıdalı yarpaqlarının mezofil və örtüktopu xloroplastlarında FSII –nın fotokimyəvi fəallığının və zülalların miqdarının öyrənilməsi // “Müasir Biologiyanın İnnovasiya Problemləri” VII Beynəlxalq elmi konfransının materialları BDU, - 2017. - s. 22-23.
2. Əliyeva, N.X., Qasimova, K.H., Suleymanov, S.Y. Qarğıdalı bitkisinin mezofil və örtüktopu hüceyrələrinin xloroplastlarında fotosistemlərin fotokimyəvi fəallıqlarının və fotosintetik pigmentlərin tədqiqi // “Müasir təbiət elmlərinin aktual problemləri”, Gəncə Dövlət Universiteti, – 2017. - s.187-188.
3. Aliyeva, N., Gasimova, K.H., Suleymanov, S.Y. Study of photochemical activity of PSII and chlorophyll fluorescence emission spectra from corn mesophyll and bundle sheath cells // 8th International Conference “Photosynthesis and Hydrogen Energy Research for Sustainability” – Hyderabad, India, - 2017. - p. 187.
4. Aliyeva, N.Kh. Spectral and functional characteristics of chloroplasts isolated from mesophyll and bundle sheath cells of maize / N.Kh.Aliyeva., H.G. Gasimova., S.Y.Suleymanov // Transactions of the Institute of Molecular Biology & Biotechnologies, ANAS, - 2017. vol. 1, - p. 121-124.
5. Aliyeva, N.Kh. Superoxide dismutase activity in mezophyll and bundle sheath cells of maize under salt stress // Conference of Young Scientists and Students, “Innovations in Biology and Agriculture to Solve Global Challenges”. Baku, Azerbaijan, – 2018. - p. 65.
6. Aliyeva, N.Kh. Polypeptide pattern of mesophyll and bundle sheath thylakoids of maize chloroplasts / N.Kh.Aliyeva, K.H.Gasimova, S.Y.Suleymanov // Prosedings of ANAS (Biological and medical sciences), Special Issues, - 2018. 73 (2), - p. 53-57.
7. Əliyeva, N.X. Qarğıdalının mezofil və örtüktopu hüceyrələrindən ayrılmış xloroplastların spektral və

- funksional xassələri / N.X.Əliyeva, K.H.Qasımova, S.Y.Süleymanov [və b.] // ƏETİ-nin elmi əsərləri məcmuəsi, - 2018. 29, - s. 223-227.
8. Aliyeva, N.Kh. The effect of salt (NaCl) stress on the ultrastructure of mesophyll and bundle sheath cell chloroplasts and the activity of superoxide dismutase in maize plants (*Zea mays* L.) / N.Kh. Aliyeva. E.E.Gafarova, D.R.Aliyeva [et al.] // Journal of Life Sciences & Biomedicine, - 2019. - 1 (74), - p. 94-102
  9. Aliyeva, N.Kh., Gafarova, E.E., Aliyeva, D.R., Suleymanov, S.Y., Huseynova, I.M. Protein composition and spectral characteristics of thylakoid membranes of the maize mesophyll and bundle sheath chloroplasts // 10th International Conference "Photosynthesis and Hydrogen Energy Research for Sustainability", Russia, Saint Petersburg, - 2019. - p. 53.
  10. Aliyeva, N.Kh. Effect of salt stress on growth, lipid peroxidation and antioxidant enzymes in leaves and roots of maize (*Zea mays* L.) Transactions of the Institute of Molecular Biology & Biotechnologies, Special issue, ANAS, - 2019, 3, - p. 18-25.
  11. Əliyeva, N.X. Duz (NaCl) stresinin qarğidalı (*Zea mays* L.) bitkisinin inkişafına və xloroplast subhüceyrə fraksiyasında fotosintetik pigmentlərin miqdarına təsiri // AMEA Mərkəzi Nəbatat Bağının əsərləri, - 2019. XVII cild, s. 41-46.
  12. N.Kh.Aliyeva, E.E. Gafarova, D.R. Aliyeva, S.Y. Suleymanov Antioxidant defence systems of mesophyll and bundle sheath cells under salt stress. International Conference on Applied Biosciences (ICAB-2019), - 2019. - p. 53.
  13. Aliyeva, N.Kh., Ultrastructure of root, leaf and chloroplasts impacted by salinity stress // II International Scientific Conference of Young Scientists "Multidisciplinary approaches in solving modern problems of fundamental and applied sciences (Natural sciences)". Baku - 2020. - p. 53-54.
  14. Aliyeva. N.Kh. Study of photochemical activity and ultrastructure of mesophyll and bundle sheath chloroplasts of corn (*Zea mays* L.) under salt stress // I International

- Scientific Conference of Students and Young Researchers on "Sustainable Development in Chemistry and Chemical Engineering" Baku, Azerbaijan, BHOS - 2020. - p. 61-62.
15. Aliyeva, N.Kh. Biochemical characteristics of stress-exposed maize leaves at different concentrations of salt / *Gənc tədqiqatçı*, – 2020. 4 (2), p. 67-74.
  16. Aliyeva, N. Activities of antioxidant enzymes in mesophyll and bundle sheath cell chloroplasts of maize plants (*Zea mays* L.) exposed to salt stress // *Бюллетень науки и практики*, Moscow, Russia) – 2020. 6 (11), - p. 47-56.
  17. Aliyeva, N.Kh. Biochemical properties and ultrastructure of mesophyll and bundle sheath thylakoids from maize (*Zea mays* L.) chloroplasts / N.Kh.Aliyeva, D.R.Aliyeva, S.Y.Suleymanov [et al.] // *Functional Plant Biology*, – 2020. 47 (11), – p. 970-976.
  18. Aliyeva, N.Kh. The role of some non-enzymatic antioxidants in salt stressed maize leaves // *Transactions of the Institute of Molecular Biology and Biotechnologies*, ANAS – 2020. 4, - p. 24-28.
  19. Aliyeva, N., Hacıyeva, Z., Suleymanov, S. Effect of high salt concentration on functional characteristics of maize chloroplasts // *Karabakh, II International Congress of Applied Sciences*, ANAS, -2021. – p. 21.

Dissertasiyanın müdafiəsi 19 Oktyabr 2022-ci il tarixində saat 11<sup>00</sup>-da Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi Molekulyar Biologiya və Biotexnologiyalar İnstitutunun nəzdində fəaliyyət göstərən ED 1.25 Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: AZ1073, Bakı şəh., İzzət Nəbiyev küçəsi, 11.

Dissertasiya ilə Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi Molekulyar Biologiya və Biotexnologiyalar - İnstitutunun kitabxanasında tanış olmaq olar.

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyaları Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi Molekulyar Biologiya və Biotexnologiyalar İnstitutunun rəsmi internet saytında (<https://www.imbb.az/>) yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat 19 Sentyabr 2022-ci il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb:  
Kağızın formatı: A5  
Həcm: 33427  
Tiraj: 100