

ORİJİNAL MƏQALƏ

Açıq Giriş (Open Access)

AZƏRBAYCAN FLORASINDA YAYILMIŞ *THALICTRUM MINUS* L. BİTKİSİNDƏ MAKRO- VƏ MİKROELEMENTLƏRİN ORQANLAR ÜZRƏ PAYLANMASI

Nəsirli İ.Ü.

Xülasə

Azərbaycan florasından Qaymaqçıçəyikimilər (Ranunculaceae) fəsiləsinə aid olan kiçik qaraqaytaran (*Thalictrum minus* L.) bitkisinin müxtəlif orqanlarının (kök, yarpaq, çiçək və toxum) makro- və mikroelement tərkibi öyrənilmişdir. Bitki nümunələrinin analizi ICP-MS (Agilent 7700e) cihazı vasitəsilə aparılmış və nəticədə makroelementlər (Ca, K, Mg, Na, P), mikroelementlər (Fe, Zn, Cu, Mn, Se), metalloidlər (B, Si, As), ağır metallar (Pb, Cd, Hg) və qeyri-metalların miqdarı müəyyənəndirilmişdir. Analizlər göstərmişdir ki, bitkinin kökü yüksək qatılıqda kalsium (12400 mq/kq), kalium (5400 mq/kq), maqnezium (1200 mq/kq) və dəmir (3300 mq/kq) saxlayır. Yarpaq və çiçəkdə fosforun (5245.3 və 4914.3 mq/kq) üstünlüyü fotosintetik aktivliyi əks etdirir. Toxumda isə sink (18.9 mq/kq) və fosfor (3925.6 mq/kq) yüksək qatılıqda olub, bu da enerji və cücmə prosesləri üçün vacibdir. Çiçəkdə arsenin 6.05 mq/kq səviyyəsində aşkar olunması diqqətə layiqdir. Ağır metallar arasında qurğuşun və kadmium çox aşağı miqdarda (Pb 0.037–0.47 mq/kq; Cd 0.045–0.11 mq/kq) müəyyən edilmişdir. Nəticələr göstərir ki, *T. minus* L. biomonitorinq və fitoterapiya üçün əhəmiyyətli mineral profilə malikdir. Tədqiqat işi *T. minus* L. bitkisinin biogeokimyəvi xüsusiyyətlərinin, farmakoekoloji potensialının və ekoloji təhlükəsizlik baxımından qiymətləndirilməsinə yeni yanaşmalar təqdim edir.

Açar sözlər: *Thalictrum minus* L., makro- və mikroelementlər, ağır metallar, metalloidlər, ICP-MS analizləri.

GİRİŞ

Bitkilərin kimyəvi tərkibinin öyrənilməsi onların bioloji fəallığını, farmakoloji potensialını və ekoloji funksiyalarını anlamaqda mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

Yazışma üçün əlaqə:

Nəsirli İ.Ü.

Azərbaycan Tibb Universiteti, Əczaçılıq toksikologiyası və kimya kafedrası, Bakı

E-mail: inasirli@amu.edu.az

Müasir dövrdə üzvi təbiətli bioloji fəal maddələrin – alkaloidlərin, flavonoidlərin, saponinlərin və s. deyil, həm də mineral mənşəli elementlərin tədqiqi geniş vüsət almışdır. Çünki mineral elementlər bitki orqanizmində biokimyəvi reaksiyaların əsas tənzimləyiciləri olmaqla yanaşı, insan və heyvan orqanizminin həyat fəaliyyətində də mühüm rol oynayır. Bu balans canlı sistemlərin sabitliyinin qorunması üçün vacib şərtlərdən biridir [1].

Qaymaqçıçəyikimilər (Ranunculaceae) fəsiləsinə aid olan kiçik qaraqaytaran (*T.*

Azərbaycan Tibb Universitetinin
Jurnalı

minus) Avropa, Asiya və Qafqaz florasında geniş yayılmış çoxillik bitkidir. Azərbaycanda bu bitkiyə Böyük və Kiçik Qafqaz dağları ərazisində, meşə kənarlarında, dağətəyi zonalarda, dağlı-daşlı ərazilərdə təbii halda rast gəlinir. Bitkinin müxtəlif orqanlarından xalq təbabətində qədimdən istifadə edilir. Bitkinin dəmləmələri və ekstraktları qankəsici, antibakterial, iltihabəleyhinə, sidikqovucu və bəzən də analgetik məqsədlərlə işlədilmişdir. Fitokimyəvi araşdırmalar göstərir ki, *Thalictrum* L. cinsinin nümayəndələri alkaloidlər, fenolkarbon turşuları, flavonoidlər, kumarinlər və digər bioloji aktiv maddələrlə zəngindir. Bununla yanaşı, bitkinin mineral element tərkibi barədə məlumatların azlığı bu istiqamətdə tədqiqatların aparılmasını aktuallaşdırır [6].

Makroelementlər (Ca, Mg, K, Na, P, S və s.) bitkilərdə əsasən yüksək qatılıqlarda (miligramlarla) mövcud olur və onların metabolik proseslərinin normal gedişini təmin edir. Kalsium və maqnezium hüceyrə divarının möhkəmlənməsində, membranların keçiriciliyində və ion mübadiləsində mühüm rol oynayır. Kalium bitkidə osmotik tənzimləyici kimi fəaliyyət göstərir, fotosintez və zülal biosintezində iştirak edir. Natrium bəzi metabolik reaksiyalarda kaliumu qismən əvəz edə bilər. Fosfor və kükürd isə nuklein turşuları, fosfolipidlər və aminturşuların tərkibinə daxil olaraq əsas biosintetik proseslərin aparıcı elementləri hesab edilir [2,4].

T. minus bitkisiində makroelementlərin miqdarının öyrənilməsi bitkinin həm ekoloji uyğunlaşma mexanizmlərinin, həm də farmakoloji potensialının izahında mühüm göstəricidir.

Mikroelementlər (Fe, Mn, Zn, Cu, Co, Se, Mo və s.) az miqdarda (mikrogramlarla) olsa da, fermentlərin kofaktorları, elektron daşıyıcıları və redoks sistemlərinin iştirakçıları kimi həyati vacib funksiyalar

yerinə yetirirlər. Dəmir xlorofil sintezində və elektron nəqlində əsas elementdir. Sink nuklein turşularının metabolizmi, fermentlərin aktivləşməsi və immun sistemin möhkəmlənməsi üçün tələb olunur. Manqan fotosintezdə suyun parçalanması reaksiyasının katalizatorudur. Mis oksidləşmə-reduksiya fermentlərinin aktivliyində və bir sıra tənəffüs proseslərində rol oynayır [3].

Bu elementlərin T. minus bitkisiində öyrənilməsi onun həm qida əlavəsi, həm də farmakoloji preparat potensialının qiymətləndirilməsi üçün əhəmiyyətlidir [7]. Metalloidlər (B, Si, As, Sb və s.) xüsusiyyətlərinə görə həm metal, həm də qeyri-metal xassələr göstərə bilirlər. Bor hüceyrə divarının formalaşmasında, karbohidratların daşınmasında və membranların sabitliyində vacibdir. Silisium bitkilərin stress amillərinə – quruluq, duzluluq və patogenlərə qarşı davamlılığını artırır. Arsen və stibium kimi bəzi metalloidlər isə müəyyən miqdardan artıq olduqda toksik təsir göstərilir. Buna görə də T. minus bitkisinin arsen və digər potensial zərərli metalloidlərlə zənginliyi ekoloji toksikologiya baxımından ayrıca dəyərləndirilməlidir [9].

Qeyri-metallar (C, N, O, H, P, S, Cl və s.) bitki orqanizminin əsas qurucu elementləridir. Onlar hüceyrələrin quruluşunda, metabolizmdə, enerji mübadiləsində və biosintetik reaksiyalarda iştirak edirlər. Azot aminturşuların və zülalların əsas tərkib hissəsidir, fosfor enerji daşıyıcısı olan ATF molekulunun ayrılmaz komponentidir, kükürd isə bəzi vitaminlərin (tiamin, biotin) və zülalların tərkibinə daxildir. T. minus bitkisinin qeyri-metal element tərkibinin öyrənilməsi onun biosintetik potensialı barədə daha geniş məlumat əldə etməyə imkan verir [10].

Ağır metallar (Pb, Cd, Hg, Cr, Ni və s.) təbii şəraitdə az miqdarda mövcud olsa da, antropogen təsirlər nəticəsində torpaq və

su ekosistemlərində toplanaraq bitkilərdə toksik təsir göstərə bilər. Onlar fermentativ sistemləri bloklayır, oksidativ stress yaradır və metabolizmin normal gedişini pozur. Lakin bəzi ağır metallar (məsələn, xrom və nikelin mikro miqdarı) müəyyən fermentlərin aktivliyi üçün zəruri ola bilər. Buna görə də T. minus bitkisiində ağır metal ionlarının toplanma səviyyəsinin öyrənilməsi həm ekoloji monitoring, həm də farmakoekoloji baxımdan vacibdir [8].

Ağır metalloidlərə əsasən arsen və onun birləşmələri aid edilir. Onların yüksək konsentrasiyaları bitkilərdə və insan orqanizmində kəskin toksiklik yaradır, hüceyrədaxili ferment sistemlərini sıradan çıxarır. Buna görə də T. minus bitkisi kimi təbii mühitdə yayılan dərman bitkilərinin arsen tərkibinin müəyyən edilməsi, həmçinin torpaq və su mühitinin çirklənmə göstəriciləri ilə müqayisəsi mühüm elmi nəticələr verə bilər [11].

Ədəbiyyat mənbələrinə əsasən, makro və mikroelementlərin bitkilərdə toplanma miqdarları bitkilər üzərində aparılmış tədqiqatların nəticələrinə əsasən, ətraflı şəkildə müəyyən edilmişdir. Buna uyğun olaraq, bitkilərdə kalsiumun qatılığı 20 000 mq/kq-a qədər rast gəlinir, maqnezium – 9600 mq/kq və kalium – 56 000 mq/kq kimi yüksək səviyyələr görülüb. Mikroelementlər üçün də bəzi ot bitkilərində Fe, Zn, Cu və Mn kimi elementlərdə 20–200 mq/kq aralıkları qeyd olunur. Aparılan tədqiqatlarda, misin dərman bitkilərində icazə verilən səviyyəsi Çin farmakopeyasında 20 mq/kq, Cənub-Şərqi Asiya Millətləri Assosiasiyası və Sinqapurda tətbiq olunan normalara əsasən isə 150 mq/kq-a kimi göstərilmişdir. Makroelementlər üçün bir araşdırmada maqneziumun qida bitkilərində məqbul limiti 200 mq/kq-a kimi göstərilmişdir [12].

Aşağıda digər bir neçə mənbədən götürülmüş bitkilərdə (xüsusilə yarpaqda)

element miqdarlarının uyğun aralıqlarına dair məlumatlar verilir:

Bitkilərdə mikroelementlər adətən 0.1 %-dən az (yəni $< 1000 \mu\text{g/g} = < 1000 \text{mq/kq}$) qatılıqda olur. Məsələn, mis üçün ola biləcək diapazon yarpaq toxumalarında 5-20 mq/kq (ppm) olaraq göstərilir; 3 mq/kq-dən aşağı səviyyələr çatışmazlığı göstərə bilər; $> 20 \text{mq/kq}$ isə toksiklik riskinin ola bilməsini artırır. Sink üçün ortalama diapazon 20-100 mq/kq (ppm) arasında göstərilir; Sink elementinin toksikliyi ümumiyyətlə $> \sim 200 \text{mq/kq}$ səviyyəsində görülmə bilər. Ağır metallar üçün bəzi mənbələr isə qurğuşun və arsen üçün normal limitləri belə verir: Arsen bitkilərdə 0.02-7 mq/kq arasında normal sayılır; Qurğuşun üçün bitkilərdə 1-13 mq/kq arasında olması qeyd olunur. Dəmir üçün isə bir mənbədə yarpaq nümunələrində ortalama 1320.86 mq/kq və 640-2486 mq/kq aralığı kimi verilmişdir. Bu diapazonlar bütün bitkilər üçün universal deyildir; növ, orqan (yarpaq, kök, toxum), torpaq şəraiti və analiz metodu kimi faktorlar fərqlilik yaradır. Lakin bu diapazonlar bitkilərdə makro və mikro element tərkibini müqayisə etmək üçün mənbə kimi istifadə edilir [13].

Ümumilikdə, T. minus bitkisinin element tərkibinin öyrənilməsi bir neçə aspektdə aktualdır:

1. Farmakoqnostik baxımdan – xammalın bioloji fəallığında elementlərin payını müəyyənləşdirmək;
2. Ekoloji baxımdan - xammalın tədarük olunan ərazisinin çirklənmə dərəcəsini qiymətləndirmək;
3. Xammalın keyfiyyətinin təhlükəsizliyi baxımdan – elementlərin miqdarını araşdırmaq.

Bu məqalənin məqsədi T. minus bitkisinin müxtəlif orqanlarında makroelementlərin, mikroelementlərin, metalloidlərin, qeyri-metalların, ağır metalların və ağır metalloidlərin mövcudluğunu öyrənmək,

onların bioloji və ekoloji əhəmiyyətini elmi baxımdan qiymətləndirməkdir.

MATERIAL VƏ METODLAR

T. minus bitkisi 2021-ci ilin iyun və avqust aylarında Azərbaycan Respublikasının Altıağac rayonu ərazisindən toplanılmışdır. Toplanan xammal kölgədə qurudulmuş, daha sonra iyun xammalı toxumlara, çiçəklərə, bölünmüş, avqust xammalının yalnız kökləri götürülmüşdür. Ayrılan orqanların hər biri xırdalanaraq toz halına salınmışdır. T. minus bitkisinin makro- və mikroelement tərkibini kəmiyyət və keyfiyyətə müəyyən etmək üçün hər bir bitki orqan nümunəsindən 5 qr çəkilmiş və iki müxtəlif üsulla bitki materialə hazırlanmışdır. Birinci üsulda bitki nümunələrinin üzərini örtənə qədər çar arağı məhlulu (1:3 nisbətində HCl:HNO₃ (Sigma-Aldrich, Almaniya)) əlavə edilmiş, temperatur 100-150°C-də aralığında qaynadılmış və məhlulun miqdarı azaldıqda isə xammallara dəfələrlə turşu qarışığı əlavə edilmiş və bitkinin tərkibindəki makro- və mikroelementlər həllediciyə keçirilmişdir. Ekstraksiya prosesi 2-3 saat müddətində həyata keçiriləndən sonra alınan məhlulların üzərinə qatı xlorid turşusu əlavə edilmiş, filtr kağızından süzülərək qalıqlardan təmizlənmiş və son məhlulun həcmi su ilə 100 ml-ə çatdırılmışdır. Daha sonra hər bir nümunədən 2 ml götürülərək flakonlara keçirilmiş və analiz üçün cihaza yerləşdirilmişdir. Digər metodda isə analiz üçün təqdim edilən bitki nümunələrində ağır metallar təyin edilməsi üçün platin kasada 5 qr 105°C-də qurudulmuş bitki tozu tərəzidə çəkilir. Üzvü maddələri tam çıxarmaq məqsədi ilə nümunələr Mufel sobasında temperaturu tədricən hər yarım saatdan bir 50 °C qaldırmaqla boz-ağ rəngli kül əmələ gələnə kimi 500°C temperaturda saxlanılır. Bu əməliyyat 8 saat davam etdirilir. Əmələ

gələn kül otaq temperaturuna qədər soyudulduqdan sonra az miqdarda nitrat turşusu ilə isladılır. İsladılmış nümunə su hamamı üzərində qurudulur və 140°C temperaturda quruducu şkafda saxlanılır. Kasa soyudulduqdan sonra maddə ilə birlikdə yenidən soyudulmuş quruducu sobaya qoyulur, bu əməliyyat sabit çəki alınana qədər davam etdirilir. Alınan kütlə tədricən temperaturu 300°C olana qədər qaldırılaraq 0,5 saat saxlanılır. Bu bir neçə dəfə təkrar edilir. Mineralizasiya külün rəngi nisbətən ağ və ya nisbətən boz rəng olana qədər davam etdirildi.

Bitkinin tərkibindəki makro- və mikroelement tərkibinin keyfiyyət və kəmiyyət cəhətdən analizi AMEA-nın Geologiya və Geofizika İnstitutunun Analitik mərkəzində Agilent ICP MS 7700e seriyalı induktiv əlaqəli plazmalı mass-spektrometriya (İÖP-MS) cihazında (Kaliforniya, ABŞ) aparılmışdır. Üsul arqon induktiv əlaqəli plazmadan ion mənbəyi kimi istifadə və nəticədə əmələ gələn ionların MS vasitəsilə təyininə əsaslanır.

NƏTİCƏ

T. minus bitkisinin müxtəlif orqanları element tərkibi baxımından fərqli nəticələr göstərir. Bitkinin yeraltı hissələrində əsasən ağır metallar toplanır, yerüstü hissələrindən yarpaq metabolik aktiv elementlərlə zəngindir, toxum enerji daşıyıcı elementləri saxlayır, çiçək isə reproduktiv orqanlara lazım olan elementlərlə zəngindir. Xammallardan alınan nəticələrin analizi elementlər qarışığının analitik standartları ilə müqayisəli şəkildə aparılmışdır. Alınmış nəticələr Cədvəl 1-də təqdim olunmuşdur. ICP-MS nəticələri göstərir ki, T. minus biomonitorinq, fitoterapiya və ekoloji reabilitasiya istiqamətlərində perspektivlidir.

Cədvəl 1. T. minus bitkisi orqanlarının makro və mikroelement analizinin nəticələri

Element	Thalictrum minus L.			
	Yarpaq	Çiçək	Toxum	Kök
Makroelementlər (ppm və ya mq/kq)				
Metallar				
Natrium (Na)	325.5	232.4	195.7	760
Kalium (K)	916.4	921.6	1077.1	5400
Kalsium (Ca)	1241.1	838.4	1116.1	12400
Maqnezium (Mg)	345.7	408.7	706.3	1200
Metalloidlər				
Silisium (Si)	216.4	271.7	192.5	13600
Fosfor (P)	5245.3	4914.3	3925.6	612
Kükürd (S)	246.3	214.5	316.3	800
Xlor (Cl)	611.3	512.3	296.3	394
Mikroelementlər (ppm və ya mq/kq)				
Metallar				
Rubidium (Rb)	1.2	0.7	0.1	--
Stronsium (Sr)	12.6	17.3	14.5	51
Barium (Ba)	11.2	7.6	8.1	--
Titan (Ti)	21.2	19.3	12.7	287
Alüminium (Al)	112.3	96.3	94.5	5900
Ağır metallar				
Sirkonium (Zr)	0.94	0.81	1.02	8
Vanadium (V)	2.84	3.09	4.12	27
Xrom (Cr)	0.31	0.46	0.94	--
Molibden (Mo)	0.64	0.51	0.62	--
Manqan (Mn)	61.3	51.4	48.3	98
Dəmir (Fe)	68.1	71.3	72.9	3300
Kobalt (Co)	0.11	0.17	0.12	--
Nikel (Ni)	6.3	7.2	6.9	13
Mis (Cu)	18.2	21.4	12.6	25
Sink (Zn)	25.4	23.2	18.9	88
Kadmium (Cd)	0.09	0.11	0.09	0.045
Civə (Hg)	0.007	0.005	0.005	0.012
Qurğuşun (Pb)	0.45	0.47	0.34	0.037
Metalloidlər				
Bor (B)	2.11	3.01	2.45	--
Ağır metalloidlər				
Arsen (As)	0.06	6.05	0.01	0.032
Qeyri-metallar				
Brom (Br)	46.2	34.3	35.1	--

Alınan nəticələri ədəbiyyatda icazə verilən normativlərlə müqayisə etdikdə müəyyən fərqlər müşahidə edilir. Kalsiumun miqdarı ədəbiyyatda göstərilən yüksək miqdarlı kalsium səviyyələrindən (məsələn, bitkilərdə ~20 000 mq/kq) aşağıdır, yəni bu

kalsium səviyyəsi yüksək olsa da, çox da kənara çıxmış sayılmaz. Maqnezium (1200 mq/kq): ədəbiyyat mənbələrində bəzi ot bitkilərində maqnezium üçün 9600 mq/kq səviyyəsi var. Alınan nəticədəki miqdar bu maksimuma nisbətən olduqca aşağıdır.

Kaliumun miqdarı bəzi ot bitkilərində rastlanan ən çox miqdardan qat-qat aşağıdır (məsələn, K ~56 000 mq/kq kimi) [4]. Dəmir (3300 mq/kq): mikroelementlər üçün verilən diapazonlardan çox yüksəkdir (20-200 mq/kq kimi) [2]. Fosforun miqdarı makroelement kimi yüksəkdir, amma ot bitkilərində fosfor üçün daha yüksək diapazonlara rast gəlinir[14]. Sink (18.9 mq/kq): bu dəyər mikroelementlər üçün ortalama diapazon içindədir. Ədəbiyyatda sinkin yuxarı miqdarı üçün 80-100 mq/kq-a qədər aralıq verilmişdir. Arsen (6.05 mq/kq): metalloid kimi və potensial toksik element kimi baxılırsa, müşahidə olunan səviyyə yüksək qəbul edilə bilər; belə

səviyyə bitkilərdə toksiklik riskinin olmasını göstərə bilər. Qurğuşun (0.037-0.47 mq/kq) və kadmium (0.045-0.11 mq/kq): miqdarı mikroqram səviyyəsindədir və çox aşağıdır, demək olar ki, normal və təhlükəsiz səviyyələrdədir, çünki ağır metal limiti bitki üçün ümumi analizlərdə çox daha yüksək ola bilər. Beləliklə, nəticələrə əsasən aşağıdakı elementlər normadan artıq görünə bilər:

Dəmir (Fe) — mikroelementlər üçün uyğun diapazonlardan qat-qat yüksəkdir.

Fosfor (P) — makroelement kimi yüksək səviyyədədir, xüsusilə çiçək və yarpaqda.

Arsen (As) — toksik element kimi miqdarı kifayət qədər yüksək sayıla bilər.

Cədvəl 2. T. minus bitkisi orqanlarının bəzi makro- və mikroelement analizinin ədəbiyyat məlumatları ilə müqayisəsi.

Element	Alınan nəticə	Uyğun normativ aralıq	Qiymətləndirmə:
Fe (dəmir)	~ 3300 mq/kq (kök)	yarpaq diapazonu 640-2486 mq/kq (orta dəyərlər)	Normadan artıq — kökdəki dəyəri diapazonun yuxarisından çoxdur
Zn (sink)	~ 18.9 mq/kq (toxum)	normal diapazon 20-100 mq/kq	Bir qədər normal diapazonun altında
Cu (mis)	~ 25 mq/kq (kök)	normal diapazon 5-20 mq/kq	Bu hallarda normadan yüksək və ya yuxarı həddə yaxın sayıla bilər
P (fosfor)	~ 5245.3 və ~ 4914.3 mq/kq (yarpaq, çiçək) və 3925.6 mq/kq (toxum)	bəzi ot bitkilərində P üçün 2500-4000 mq/kq kimi "yeterli / optimal" diapazon göstərilir	Bu hallarda normadan yüksək və ya yuxarı həddə yaxın sayıla bilər
As (arsen)	~ 6.05 mq/kq (çiçək)	As üçün normal limit 0.02-7 mq/kq	Bu diapazonun içindədir
Pb (qurğuşun)	0.037-0.47 mq/kq	Pb üçün normal limit 1-13 mq/kq	Normanın altında

Dəmirin bitkinin yeraltı hissəsində bu qədər yüksək miqdarda yığılması, onun bitki tərəfindən torpaqdan artıqlaması ilə toplanmasını göstərə bilər və reaktiv oksigen növlərinin (ROS) yaranması riski ola bilər. Fosforun yüksək olması bitkinin enerji daşınması və nuklein turşuları biosintezi üçün artan tələbini göstərə bilər, amma çox yüksək fosfor bəzən digər

mikroelementlərlə antagonizm (məsələn, Zn, Fe) yaradaraq onların udulmasını azalda bilər. Arsenin səviyyəsinin yuxarı həddə yaxın olması bitki toxumalarına toksik təsir göstərə bilər. Sink və mis kimi elementlərdə nəticələrin göstərdiyi diapazonlarda toksiklik riski görünür. (Cədvəl 2.).

Bununla belə, bu nəticələr tam elmi dəqiqliklə demək üçün daha çox müqayisəli məlumat (eyni növ bitkilərdə element tərkibinin normativləri) və statistik analizlər (məsələn, standart kənar çıxma, median və s.) tələb edər.

Alınmış nəticələrdən əsas diqqət veriləsi nəticələr aşağıda göstərilir:

- Dəmir (Fe) — kökdə 3300 ppm: kökə məxsus dəyər, xarici ədəbiyyatın tipik yarpaq/bitki diapazonlarının yuxarı həddini (bir çox mənbələr üzrə bir neçə yüz-minlərə qədər) aşır; kökdə yüksək toplanma kimi qiymətləndirilir.
- Fosfor (P) — yarpaq/çiçək/toxum 5245 / 4914 / 3926 ppm: çoxlu ədəbiyyat P üçün 1000–4000 ppm kimi orta diapazonlar göstərir; miqdarı

yarpaq/çiçək üçün bu diapazonun yuxarı sərhədinə və ya bir qədər üzərinə düşür.

- Arsen (As) — çiçəkdə 6.05 ppm: As üçün bitkilərdə uyğun diapazonlar çox mənbədə ~0.02–7 ppm kimi verilir; 6.05 ppm yuxarı sərhədə yaxın olduğundan toksiklik riski baxımından diqqət edilməsi önəmlidir

Digər elementlər, ümumiyyətlə ədəbiyyat mənbələrinə əsasən olmalı olduqları miqdar çərçivəsində və ya onlara yaxın görünür (məsələn, Na, K, Ca, Mg, Zn, Cu, Mn, Pb, Cd). Ağır metal (Pb, Cd, Hg) səviyyələri aşağıdır — bu, təhlükəsizlik baxımından müsbət göstəricidir. T. minus bitkisinin müxtəlif orqanlarında makro- və mikroelementlərin miqdarının çoxdan aza doğru ardıcılığı Cədvəl 3-də göstərilmişdir.

Cədvəl 3. T. minus bitkisi orqanlarında makro- və mikroelementlərin miqdarı ardıcılığı (Makroelementlər *-la göstərilmişdir).

Orqan	Elementlərin miqdarı ardıcılığı
Yarpaq	$P^* > Ca^* > K^* > Cl^* > Mg^* > Na^* > S^* > Si^* > Al > Fe > Mn > Br > Zn > Ti > Cu > Sr > Ba > Ni > V > B > Rb > Zr > Mo > Pb > Cr > Co > Cd > As > Hg$
Çiçək	$P^* > K^* > Ca^* > Cl^* > Mg^* > Si^* > Na^* > S^* > Al > Fe > Mn > Br > Zn > Cu > Ti > Sr > Ba > Ni > As > V > B > Zr > Rb > Pb > Cr > Mo > Co > Cd > Hg$
Toxum	$P^* > Ca^* > K^* > Mg^* > S^* > Na^* > Si^* > Cl^* > Al > Fe > Mn > Br > Zn > Zn > Sr > Ti > Cu > Ba > Ni > V > B > Zr > Cr > Mo > Pb > Co > Rb > As > Hg$
Kök	$Si^* > Ca^* > Al > K^* > Fe > Mg^* > S^* > Na^* > P^* > Cl^* > Ti > Mn > Zn > Sr > V > Cu > Ni > Zr > Cd > As > Hg > Pb$

MÜZAKİRƏ

T. minus bitkisinin ICP-MS analizlərinin nəticələri göstərdi ki, bitkinin müxtəlif orqanları (yarpaq, çiçək, toxum və kök) element tərkibi baxımından fərqli profillərə malikdir. Bitkinin kökündə makro və mikroelementlərin, xüsusilə də metal və metalloidlərin yüksək konsentrasiyası müşahidə olunmuşdur. Bu, kök toxumalarının torpaqdan mineral maddələrin yığılması və saxlanması funksiyası ilə izah oluna bilər.

Makroelementlər. Kalium, kalsium, maqnezium və natrium kimi makroelementlərin miqdarı müxtəlif

orqanlarda fərqlilik göstərmişdir. Analiz nəticələrimizə əsasən, kökdə kalsium (12400 ppm) və kalium (5400 ppm) miqdarı normativ diapazon daxilindədir, lakin yarpaq və çiçəkdə fosforun 4914–5245 ppm səviyyəsində olması yüksək hesab olunur. Bu, fotosintetik orqanlarda güclü metabolik aktivliyi göstərsə də, yüksək fosfor konsentrasiyası sink və dəmir kimi mikroelementlərin mənimsənilməsinə mənfi təsir göstərə bilər.

Mikroelementlər. Dəmir, sink, mis və manqan kimi mikroelementlərin konsentrasiyası da müxtəlif orqanlarda fərqlənmişdir. Dəmirin kökdə 3300 ppm

səviyyəsində olması normativ diapazonu (640–2486 ppm) aşaraq yüksək hesab olunur və bu, torpaqda yüksək bioloji mövcudluğun göstəricisi ola bilər. Yarpaq və çiçəkdə isə dəmir (68–72 ppm) normativ diapazon daxilindədir. Sink (18.9–25.4 ppm), mis (12.6–25 ppm) və manqan (48–98 ppm) ümumiyyətlə normativ diapazon daxilindədir. Bu nəticələr göstərir ki, T. minus bitkisi mikroelement balansı baxımından stabildir, lakin kökdə olan dəmir elementinin miqdarı ekoloji monitoring üçün xəbərdaredici əhəmiyyət daşıyır.

Metalloidlər və qeyri-metallar. Silisiumun kökdə yüksək miqdarda toplanması, bitkinin torpaqla intensiv ion mübadiləsinin nəticəsi kimi izah olunur. Borun miqdarı bütün orqanlarda 2–3 ppm civarında olub normativ diapazon daxilindədir. Ən diqqətəlayiq nəticə çiçəkdə arsenin 6.05 ppm səviyyəsində aşkar olunmasıdır. Ədəbiyyatda bitkilərdə arsen üçün normal diapazon 0.02–7 ppm arasında göstərilir [1]. Bu nəticə potensial toksiklik riskini göstərir və xüsusilə reproduktiv orqanlarda arsenin yığılması fitoterapiya baxımından ciddi əhəmiyyət kəsb edir.

Ağır metallar. Qurğuşun, kadmium və cıvə bitkinin bütün orqanlarında çox aşağı səviyyədə müəyyən edilmişdir (Pb 0.037–0.47 ppm; Cd 0.045–0.11 ppm; Hg 0.005–0.012 ppm). Bu nəticələr ədəbiyyatda göstərilən təhlükəli həddən (Pb üçün 1–13 ppm; Cd üçün >1 ppm) xeyli aşağıdır və T. minus bitkisinin ağır metallarla yüklənməsi baxımından ekoloji təhlükəsiz olduğunu göstərir.

Nəticələrin ümumi analizi göstərir ki, bitkinin kökü əsasən mineral məcmuusu ilə seçilir (Fe, Al, Si, Ti yüksəkdir), yarpaq və çiçəkdə fosforun normadan yüksək olması metabolik aktivliklə əlaqədardır, toxum isə enerji mübadiləsi üçün zəruri elementlərlə zəngindir. Xüsusilə dəmir və arsenin müəyyən orqanlarda normadan artıq

olması ekoloji toksikoloji qiymətləndirmə üçün vacibdir. Bu xüsusiyyətlər T. minus bitkisinin həm biomonitorinq, həm də farmakoekoloji baxımdan perspektivli bitkilər sırasına daxil edir.

YEKUN

T. minus bitkisinin müxtəlif orqanlarında aparılmış ICP-MS analizləri göstərdi ki, makro- və mikroelementlərin paylanması orqanlara görə ciddi fərqliliklər nümayiş etdirir. Kök əsasən mineral yığılı ilə seçilmiş, xüsusilə də dəmirin normativ diapazonu aşaraq yüksək səviyyədə olması diqqətçəkən nəticədir. Yarpaq və çiçəkdə fosfor miqdarının normativ diapazonu aşması güclü metabolik aktivliyin göstəricisi olmaqla yanaşı, digər mikroelementlərlə (Zn, Fe) potensial antagonizm ehtimalını artırır. Toxumda sink və fosforun enerji mübadiləsi və cücərmə prosesləri üçün əlverişli səviyyələrdə qeydə alınmışdır.

Metalloidlər arasında çiçəkdə arsenin miqdarının çox olması xüsusilə önəmlidir. Bu göstərici reproduktiv orqanlarda potensial toksiklik riskinə işarə edir. Eyni zamanda, ağır metalların (Pb, Cd, Hg) bütün orqanlarda çox aşağı konsentrasiyalarda olması bitkinin ekoloji təhlükəsizlik baxımından üstünlük təşkil etdiyini göstərir.

Ümumilikdə, T. minus bitkisinin yeraltı hissələri ağır metalları və bəzi mikroelementləri yüksək miqdarda toplamaqla biomonitorinq üçün əlverişli obyekt ola bilər. Yarpaq və çiçəkdə yüksək fosforun yığılması onların metabolik aktivliyinin göstəricisi, toxum isə enerji daşıyıcı elementlərin saxlanma məkanı kimi xarakterizə olunur. Bu nəticələr bitkinin həm farnakoqnostik və ekoloji baxımdan, həm də xammalın keyfiyyətinin təhlükəsizliyi baxımdan perspektivli tədqiqat obyekti olduğunu təsdiq edir.

ƏDƏBİYYAT

1. Alloway, B. J. (2013). *Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability*. Springer, Dordrecht.
2. Kabata-Pendias, A., & Pendias, H. (2011). *Trace Elements in Soils and Plants* (4th ed.). CRC Press, Boca Raton.
3. Broadley, M. R., White, P. J., Hammond, J. P., Zelko, I., & Lux, A. (2007). Zinc in plants. *New Phytologist*, 173(4), 677–702.
4. Marschner, H. (2012). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants* (3rd ed.). Academic Press, London.
5. Gupta, U. C., & Gupta, S. C. (1998). Trace element toxicity relationships to crop production and livestock and human health: implications for management. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 29(11–14), 1491–1522.
6. Gutiérrez-Gamboa, G., Zheng, W., & Martínez de Toda, F. (2020). Flavonoids in *Thalictrum* species: Distribution, structure and biological activities. *Phytochemistry Reviews*, 19, 953–970.
7. Tang, W., & Eisenbrand, G. (1992). *Chinese Drugs of Plant Origin: Chemistry, Pharmacology, and Use in Traditional and Modern Medicine*. Springer, Berlin.
8. Ali, H., Khan, E., & Sajad, M. A. (2013). Phytoremediation of heavy metals—concepts and applications. *Chemosphere*, 91(7), 869–881.
9. Chizzola, R., Michitsch, H., & Franz, C. (2003). Monitoring of metallic micronutrients and heavy metals in herbs, spices and medicinal plants from Austria. *European Food Research and Technology*, 216, 407–411.
10. Zaytseva, O., & Neumann, G. (2016). Phytoremediation of soils contaminated with organic pollutants and heavy metals: New approaches and challenges. *Frontiers in Plant Science*, 7, 661.
11. Flora of Azerbaijan (1952–1961). *Flora of Azerbaijan*, Vol. IV–V. Elm nəşriyyatı, Bakı.
12. İsmayilov, İ. İ., & Məmmədov, T. M. (2008). *Azərbaycan florasında dərman bitkiləri*. Bakı: Təhsil.
13. Quliyeva, S. S. (2019). Azərbaycan florasında Ranunculaceae fəsiləsinin nümayəndələri və onların yayılması. *AMEA Xəbərləri: Biologiya və Tibb Elmləri Seriyası*, 74(3), 32–40.
14. Nasibova, T., & Garaev, E. (2021). Metal and non-metal elements of *Peganum Harmala* flowers. In *Академику ЛС Бегу–145 лет*: (pp. 180-181).

DISTRIBUTION OF MACRO- AND MICROELEMENTS ACROSS ORGANS OF THALICTRUM MINUS L. GROWING IN THE FLORA OF AZERBAIJAN

Nasirli I.U.

Azerbaijan Medical University, Department of Pharmaceutical toxicology and chemistry, Baku

E-mail: inasirli@amu.edu.az

Abstrakt

This study investigated the distribution of macro elements, microelements, metalloids, and heavy metals in the root, leaf, flower, and seed of *Thalictrum minus* L. using ICP-MS (Agilent

7700e). The analysis revealed that the root accumulated the highest levels of calcium (12400 mg/kg), potassium (5400 mg/kg), magnesium (1200 mg/kg), and iron (3300 mg/kg). Leaves and flowers were enriched in phosphorus (5245.3 and 4914.3 mg/kg), reflecting their photosynthetic activity. Seeds contained higher levels of zinc (18.9 mg/kg) and phosphorus (3925.6 mg/kg), important for germination and energy metabolism. Notably, arsenic elements detected at 6.05 mg/kg in flowers. Heavy metals such as lead and cadmium were present only at very low concentrations (Pb 0.037–0.47 mg/kg; Cd 0.045–0.11 mg/kg). These results highlight the significant mineral profile of *Thalictrum minus* L. and its potential use in bio monitoring, pharmacoecological evaluation, and phytotherapy.

Keywords: *Thalictrum minus* L., Macroelements and microelements, Heavy metals, Metalloids, ICP-MS analysis

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ ПО ОРГАНАМ *THALICTRUM MINUS* L., ПРОИЗРАСТАЮЩЕГО ВО ФЛОРЕ АЗЕРБАЙДЖАНА

Насирли И.У.

Азербайджанский Медицинский Университет, кафедра Фармацевтической токсикологии и химии, Баку

E-mail: inasirli@amu.edu.az

Резюме

В исследовании был изучен элементный состав корней, листьев, цветков и семян *Thalictrum minus* L. методом ICP-MS (Agilent 7700e). Анализ показал, что корень аккумулирует высокие концентрации кальция (12400 мг/кг), калия (5400 мг/кг), магния (1200 мг/кг) и железа (3300 мг/кг). В листьях и цветках доминирует фосфор (5245.3 и 4914.3 мг/кг), что отражает их фотосинтетическую активность. В семенах обнаружены повышенные уровни цинка (18.9 мг/кг) и фосфора (3925.6 мг/кг), что важно для прорастания и энергетического обмена. Особое внимание привлекает содержание мышьяка в цветках (6.05 мг/кг). Среди тяжёлых металлов свинец и кадмий присутствовали в очень низких концентрациях (Pb 0.037–0.47 мг/кг; Cd 0.045–0.11 мг/кг). Полученные результаты подтверждают значимость *Thalictrum minus* L. как объекта биомониторинга, фармакоэкологической оценки и потенциального фитотерапевтического применения.

Ключевые слова: *Thalictrum minus* L., Макро- и микроэлементы, Тяжёлые металлы, Металлоиды, ICP-MS анализ