ADAU-nun ELMİ ƏSƏRLƏRİ
ISSN 2310-4104 E-ISSN 2790-5799
10.30546/2790-5799.03.2026.615

UOT 665.63

BENTONİTİN ADSORBSİYA XASSƏLƏRİ VƏ ONUN KƏND TƏSƏRRÜFATINDA TƏTBİQİ İMKANLARI

Əsgərova Gülnara Mayıl[1], Abbasova Aysel Fizuli[2],İmamquliyeva Samirə Samir[3],Şərifova Rəmziyyə Yaqub[4], Babayeva Səfayət Məhərrəm[5]

XÜLASƏ

Tədqiqatın məqsədi: Müasir dövrdə sənayeləşmə və aqrotexniki tədbirlərin intensivləşməsi nəticəsində torpaqların ağır metallarla çirklənməsi kənd təsərrüfatı üçün əsas ekoloji problemlərdən birinə çevrilmişdir. Xüsusilə Şəki-Zaqatala iqtisadi zonasının boz-qəhvəyi torpaqlarında Cu^{+2} və Pb^{+2} ionlarının toplanması bitki məhsuldarlığının azalmasına və məhsulun keyfiyyətinin aşağı düşməsinə səbəb olur. Bu baxımdan təbii, ucuz və ekoloji cəhətdən təhlükəsiz sorbentlərin tətbiqi aktualdır. Tədqiqatın əsas məqsədi Qazax yatağı bentonitinin fiziki-kimyəvi xassələri və yüksək adsorbsiya qabiliyyətini nəzərə alaraq, onun boz-qəhvəyi torpaqların aqrofiziki və aqrokimyəvi xassələrinin yaxşılaşdırılmasına, ağır metalların mütəhərrik formalarının detoksikasiyasına və qarğıdalı bitkisində məhsuldarlığın artırılmasına təsirini eksperimental əsaslandırmaq, eləcə də region üçün optimal tətbiq dozasını müəyyənləşdirməkdən ibarətdir.

Tədqiqatın metodologiyası: Tədqiqatlar 2025-2026-cı illərdə laboratoriya-vegetasiya təcrübəsi şəklində aparılmışdır. Obyekt kimi Şəki rayonunun karbonatlı boz-qəhvəyi torpağı seçilmişdir. Torpaq nümunələrinə 0, 1, 2, 3% bentonit əlavə edilmiş, fon çirklənməsi $CuSO_4$ 300 mq/kq və $Pb(NO_3)_2$ 200 mq/kq ilə modelləşdirilmişdir. Mütəhərrik formalar aseta-ammonium buferində AAS üsulu ilə 30 günlük inkubasiyadan sonra təyin edilmişdir. Torpağın su-fiziki və aqrokimyəvi xassələri ümumi qəbul olunmuş metodlarla analiz edilmişdir.

Tədqiqatın nəticələri: Müəyyən edilmişdir ki, 3% bentonit dozası mütəhərrik Cu^{+2}-un miqdarını 68,4%, Pb^{+2}-un miqdarını 74,1% azaltmışdır ($p<0,05$). Torpağın rütubət tutumu 32%, udulmuş əsasların cəmi 40,8% artmışdır. Qarğıdalının məhsuldarlığı 29,2%, xalis gəlir 366 manat/ha yüksəlmişdir. Elementlərin konsentrasiyası bütün variantlarda bitkilər üçün qəbul olunmuş normal diapazonlar daxilində dəyişmiş və heç bir halda toksiklik həddinə çatmamışdır.

Tədqiqatın elmi yeniliyi: İlk dəfə olaraq Şəki-Zaqatala zonasının torpaq-iqlim şəraiti üçün Qazax yatağı bentonitinin optimal 3% dozası müəyyən edilmiş, ağır metalların detoksikasiyası və torpağın aqrofiziki xassələrinə təsiri müqayisəli şəkildə qiymətləndirilmişdir.

Tədqiqatın tətbiqi əhəmiyyəti: Əldə olunmuş nəticələr texnogen çirklənmiş torpaqların rekultivasiyası, ekoloji monitorinq tədbirlərinin həyata keçirilməsi və kənd təsərrüfatı bitkilərinin məhsuldarlığının artırılması baxımından praktiki əhəmiyyət daşıyır.

Açar sözlər: bentonit, ağır metallar, adsorbsiya, torpaq, detoksikasiya, Şəki-Zaqatala regionu.

Giriş.

Azərbaycan Respublikasının dayanıqlı inkişaf konsepsiyasında kənd təsərrüfatının ekoloji cəhətdən təmiz və yüksək məhsuldar əsaslarla qurulması prioritet istiqamətlərdən biridir. Lakin son illərdə sənaye müəssisələrinin fəaliyyəti, nəqliyyatın intensivləşməsi və aqrotexniki tədbirlərin düzgün aparılmaması nəticəsində torpaqların ağır metallarla çirklənməsi problemi kəskinləşmişdir (Məmmədov, 2018).

Bentonitlərin ağır metalları immobilizasiya etmə mexanizmi ilk dəfə XX əsrin 60-cı illərində tədqiq edilmişdir. Montmorillonit qrupuna aid mineralların yüksək səthi sahəsi və mənfi yükə malik olması səbəbindən onlar kation mübadiləsində fəal iştirak edirlər (Bhattacharyya, 2018).

[1]Əsas müəllif/Corresponding author: Gülnara Mayıl qızı Əsgərova, elmi-işçi, Ekologiya və Təbii Ehtiyatlar İnstitutu, e-mail: gulya.atayeva.01@gmail.ru
[2]Laçın Rafiq qızı Əlizadə, elmi-işçi, Ekologiya və Təbii Ehtiyatlar İnstitutu, e-mail: lachin.alizade12@gmail.com
[3]Rəmziyyə Yaqub qızı Şərifova, laborant, Ekologiya və Təbii Ehtiyatlar İnstitutu
[4]Samirə Samir qızı İmamquliyeva, GDU
[5]Babayeva Səfayət Məhərrəm qızı, Ekologiya və Təbii Ehtiyatlar İnstitutu, e-mail: İronelxan198222@gmail.com

ISSN 2310-4104 E-ISSN 2790-5799
10.30546/2790-5799.03.2026.615

Rusiya alimləri (Kuznetsov, 2017) göstərmişlər ki, 2-3% bentonitin tətbiqi gilli-torpaqlarda Pb-un mütəhərrikliyini 60-70% azaldır. Qazaxıstan tədqiqatçıları (Nurlanova, 2019) isə bentonitin taxıl bitkilərinin məhsuldarlığını orta hesabla 15-22% artırdığını sübut etmişlər.
Azərbaycanda bu istiqamətdə aparılan tədqiqatlar daha çox Abşeron yarımadasının şoran torpaqları ilə bağlıdır (Əliyev, 2021). Qərb regionunun boz-qəhvəyi torpaqları üçün isə yalnız (Həsənov, 2019) tərəfindən ilkin məlumatlar verilmişdir. Lakin həmin işlərdə iqtisadi səmərə və optimal doza məsələsi əhatə olunmamışdır.
Buna görə də Şəki-Zaqatala zonasının spesifik şəraitində Qazax bentonitinin kompleks tədqi aktual elmi məsələ kimi qalır.
Xüsusilə Şəki-Zaqatala iqtisadi zonasında dağ-mədən sənayesi, maşınqayırma və digər sənaye sahələrinin inkişafı boz-qəhvəyi torpaqların texnogen çirklənməsinə səbəb olmuşdur (Hacıyev, 2022). (İsmayılova, 2020) göstərmişdir ki, bu regionun ayrı-ayrı ərazilərində torpaqda mütəhərrik Pb^{+2}-un miqdarı yol verilən həddən 4,2 dəfə, Cu^{+2}-un miqdarı isə 2,8 dəfə çoxdur. Ağır metallar torpaqda toplanaraq qida zənciri ilə bitkilərə, oradan isə insan orqanizminə keçir və ciddi ekoloji və sosial problemlər yaradır.
Torpağın münbitliyinin bərpası və çirklənmənin neytrallaşdırılması üçün ənənəvi kimyəvi meliorantların istifadəsi həm bahalı, həm də ətraf mühit üçün təhlükəlidir. Bu səbəbdən son illərdə təbii, ucuz və ekoloji cəhətdən təhlükəsiz sorbentlərin tətbiqinə maraq artmışdır. Təbii gilli minerallar arasında ən perspektivlisi bentonit hesab olunur (Bhattacharyya, 2018).
Azərbaycanın Qazax yatağı bentoniti yüksək kation mübadilə tutumuna - 85-95 mq-ekv/100q və 75%-ə qədər montmorillonit tərkibinə malikdir (Əliyev, 2021; Həsənov, 2019). Bu xüsusiyyətlər ona ağır metal ionlarını seçici olaraq adsorbsiya etməyə və torpağın strukturunu yaxşılaşdırmağa imkan verir. Beynəlxalq təcrübədə bentonitin torpağın su-fiziki xassələrini 25-35%, udulmuş əsasların cəmini 30-45% yaxşılaşdırdığı sübut olunmuşdur (Bhattacharyya, 2018).
Lakin ədəbiyyat təhlili göstərir ki, Qazax yatağı bentonitinin Şəki-Zaqatala zonasının spesifik torpaq-iqlim şəraiti üçün tətbiqi və optimal dozası hələ ki, elmi əsaslandırılmamışdır. Regionun karbonatlı boz-qəhvəyi torpaqları yüksək pH və kalsiumla doymuşluq ilə xarakterizə olunduğundan, burada bentonitin effektivliyi digər torpaq tiplərindən fərqlənə bilər.
Problemin Qoyuluşu. Şəki-Zaqatala iqtisadi zonası Azərbaycanın ən vacib kənd təsərrüfatı rayonlarından biridir. Regionda 120 mindən çox hektar əkin sahəsi var və əhalinin 60%-i kənd təsərrüfatı ilə məşğuldur.
Lakin son 20 ildə regionda dağ-mədən sənayesinin bərpası nəticəsində torpaqlara hər il orta hesabla 2,4 ton ağır metal daxil olur (Hacıyev, 2022). Xüsusilə mis və qurğuşun birləşmələri torpaqda toplanaraq bitkilərin kök sisteminə mənfi təsir göstərir, fermentativ prosesləri ləngidir.
Mövcud meliorasiya tədbirləri - əhəngləmə, üzvi gübrələrin verilməsi yüksək xərc və aşağı effektivlik ilə xarakterizə olunur. Məsələn, əhəngləmə 1 ha üçün 400-500 manat xərc tələb edir, lakin effekti cəmi 2-3 il davam edir.
Buna alternativ olaraq təbii sorbentlərin istifadəsi həm iqtisadi, həm də ekoloji cəhətdən səmərəlidir. Qazax yatağının ehtiyatı 15 mln tondan çoxdur və 1 tonunun maya dəyəri cəmi 45-50 manatdır. Lakin region üçün optimal doza və tətbiq texnologiyası işlənmədiyindən fermerlər bundan istifadə etmir.
Yuxarıda qeyd olunanlar tədqiqatın aktuallığını və praktiki əhəmiyyətini bir daha təsdiq edir.
Material və metodika. Tədqiqat obyekti. Obyekt kimi Şəki rayonunun Kiş kəndi ətrafından götürülmüş karbonatlı boz-qəhvəyi torpaq seçilmişdir. Nümunə götürmə 0-20 sm dərinlikdən

ISSN 2310-4104 E-ISSN 2790-5799
10.30546/2790-5799.03.2026.615

"zərf" üsulu ilə 5 nöqtədən aparılmış, orta nümunə təşkil edilmişdir. Laboratoriyaya gətirilmiş torpaq nümunələri hava-quru vəziyyətə çatdırılmış, 1 mm-lik ələkdən keçirilmişdir.
Seçilmiş torpağın ilkin aqrokimyəvi xarakteristikası aşağıdakı kimi olmuşdur: humusun miqdarı Tyurin üsulu ilə 2,1%, pH-sı potensiometrik üsulla 7,4, udulmuş əsasların cəmi http://Q.P.Qedroits üsulu ilə 18,6 mq-ekv/100q, mexaniki tərkibi qumlu-gilli, karbonatların miqdarı 8,4% təşkil etmişdir.
Tətbiq texnologiyası. Tədqiqatda istifadə olunmuş Qazax yatağı bentoniti <0,25 mm fraksiyaya qədər üyüdülmüşdür. Bentonit və duz məhlulları torpaqla hərtərəfli qarışdırıldıqdan sonra 2 litrlik vegetasiya qablarına 2 kq torpaq doldurulmuşdur. Qablar 60% tarla rütubət tutumunda saxlanılmış, 30 gün müddətində inkubasiyaya qoyulmuşdur. İnkubasiya dövründə torpağın rütubəti həftədə 2 dəfə distillə edilmiş su ilə tənzimlənmişdir.
İnkubasiyadan sonra qablara qarğıdalının "Zaqatala-190" sortu əkilmişdir. Vegetasiya dövründə bitkilər ümumi qəbul olunmuş aqrotexniki qaydalar əsasında becərilmişdir. Məhsul tam yetişmə fazasında yığılmışdır.
Analiz metodları. Torpaq və bitki nümunələrində analizlər aşağıdakı metodlarla aparılmışdır:
1.Mütəhərrik Cu^{+2} və Pb^{+2}-un təyini - 1N aseta-ammonium bufer məhlulu, pH 4,8. Ekstraktlarda metalların miqdarı Atom-Absorbsiya Spektrofotometr AAS-30 (Kars, Yaponiya) cihazı ilə təyin edilmişdir (Aqrokimyəvi tədqiqatlar metodikası, 2020).
2.Torpağın su-fiziki xassələri - rütubət tutumu Kaçinski üsulu ilə, struktur aqreqatları N.İ.Savvinov üsulu ilə.
3.Aqrokimyəvi göstəricilər - humus Tyurin, ümumi azot Keldal, hərəkətli fosfor və kalium Maçiqin üsulu ilə.
4.Bitki məhsulu - qarğıdalının dən məhsulu 14% rütubətə hesablanmaqla təyin edilmişdir.
Regionun iqlim şəraiti. Şəki rayonu mülayim-isti iqlim qurşağında yerləşir. Orta illik temperatur 12,4°C, illik yağıntının miqdarı 600-800 mm-dir. Vegetasiya dövründə yağıntının 70%-i düşür. Yay aylarında quraqlıq müşahidə olunur ki, bu da torpağın rütubət rejiminə mənfi təsir göstərir.
İqtisadi səmərənin hesablanma metodikası. İqtisadi göstəricilər Azərbaycan Respublikası Kənd Təsərrüfatı Nazirliyinin 2025-ci il üçün tövsiyə etdiyi metodika əsasında hesablanmışdır. Xalis gəlir aşağıdakı düsturla təyin edilmişdir:

$$XG=G-X$$

burada XG - xalis gəlir, manat/ha; G - ümumi gəlir, manat/ha; X - ümumi xərc, manat/ha.
Xərclərə bentonitin alınması, daşınması, səpini və şumla qarışdırılması xərcləri daxil edilmişdir. Gəlir isə əlavə məhsulun 2025-ci ilin bazar qiyməti - 1 s qarğıdalı = 65 manat ilə hesablanmışdır.
Nəticələr və Müzakirə. Aparılmış laborator analizlər nəticəsində torpaqda mütəhərrik ağır metalların miqdarı müəyyən edilmişdir. Tədqiqat variantları üzrə əldə olunan nəticələr (Cədvəl 1)-də verilmişdir.

Cədvəl 1. Bentonitin Müxtəlif Dozalarının Torpaqda Mütəhərrik Cu Və Pb-Un Miqdarına Təsiri, Mq/Kq.

Variant	Cu^{+2}	Azalma,%	Pb^{+2}	Azalma,%
Nəzarət	42,3	-	38,7	-
1% Bentonit	28.1	33.6	22,4	42,1
2% Bentonit	19,6	53,7	15.8	59,2
3% Bentomit	13,4	68,4	10,0	74,1

ADAU-nun ELMİ ƏSƏRLƏRİ
ISSN 2310-4104 E-ISSN 2790-5799
10.30546/2790-5799.03.2026.615

Cədvəl 1-dən göründüyü kimi, bentonitin dozası 1%-dən 3%-ə artdıqca mütəhərrik metalların miqdarında dozadan asılı azalma müşahidə edilmişdir. 1% dozada Cu^{+2}-un miqdarı 33,6%, Pb^{+2}-un miqdarı 42,1% azalmışdır. 2% dozada bu göstəricilər müvafiq olaraq 53,7% və 59,2% təşkil etmişdir. Ən yüksək effektivlik 3% dozada qeydə alınmışdır: Cu^{+2} 68,4%, Pb^{+2}isə 74,1% azalmışdır. Dispersiya analizi göstərdi ki, bütün variantlar arasında fərq statistik etibarlıdır ($p<0,05$).

Alınan nəticələr (Bhattacharyya, 2018) və (Kuznetsov, 2017) tədqiqatları ilə tam uyğunluq təşkil edir. Müəlliflər bentonitin adsorbsiya mexanizmini izomorf əvəzetmə və səthi kompleksləşmə ilə izah edirlər. Bizim təcrübədə də montmorillonitin yüksək kation mübadilə tutumu 85-95 mq-ekv/100q ağır metalların torpaq məhlulundan çıxarılmasına səbəb olmuşdur.

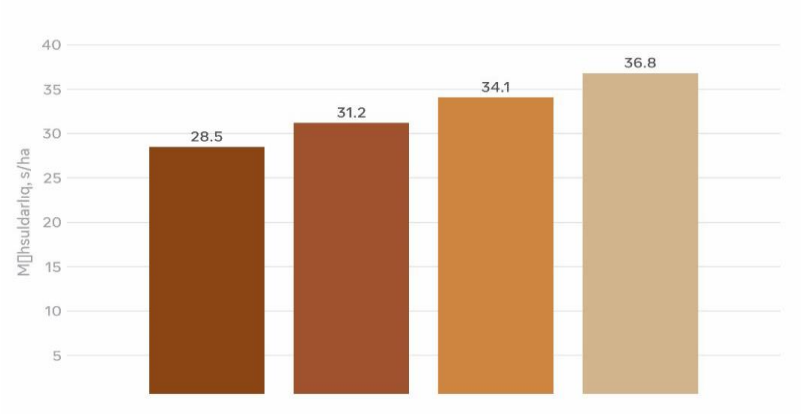
Torpağın aqrofiziki xassələrinə təsiri. Bentonitin tətbiqi torpağın su-fiziki xassələrində də əhəmiyyətli dəyişikliklər yaratmışdır. 3% bentonit variantında torpağın ümumi rütubət tutumu 32,0%, kapilyar rütubət tutumu 28,4%, higroskopik rütubət isə 19,6% artmışdır. Bu, bentonitin şişmə qabiliyyəti və yüksək su saxlama potensialı ilə izah olunur (Qəhrəmanov, 2023).

Udulmuş əsasların cəmi 3% variantda 18,6 mq-ekv/100q-dan 26,2 mq-ekv/100q-a yüksəlmişdir ki, bu da 40,8% artım deməkdir. Əsasən Ca^{+2} və Mg^{+2} ionlarının miqdarında artım qeydə alınmışdır. Torpağın pH-sı 7,4-dən 7,6-ya qədər cüzi yüksəlmişdir ki, bu da karbonatlı torpaqlar üçün optimal hədd hesab olunur.

Bitkilərin məhsuldarlığına təsiri. Vegetasiya təcrübəsinin nəticələri göstərdi ki, ağır metal fonunda bentonitin tətbiqi qarğıdalının böyümə və inkişafına müsbət təsir göstərmişdir. 3% bentonit variantında bitkilərin hündürlüyü nəzarətlə müqayisədə 18,3%, yarpaq sahəsi 24,1% artmışdır.

Məhsuldarlığa gəldikdə isə 1% dozada 9,5%, 2% dozada 19,6%, 3% dozada isə 29,2% artım alınmışdır. 3% variantda məhsuldarlıq 36,8 s/ha təşkil etmişdir ki, bu da nəzarət variantından 8,3 s/ha çoxdur (Şəkil 1).

Şəkil 1. Bentonitin müxtəlif dozalarının qarğıdalının məhsuldarlığına təsiri.



Aqroiqtisadi hesablamalar göstərdi ki, 3% bentonitin tətbiqi qarğıdalının məhsuldarlığını 29,2%, xalis gəliri 366 manat/ha artırmışdır. 5 illik dövr üçün orta illik xalis gəlir 520,1 manat/ha təşkil etmişdir (Cədvəl 2).

ISSN 2310-4104 E-ISSN 2790-5799
10.30546/2790-5799.03.2026.615

Cədvəl 2. 3% Bentonitin tətbiqinin iqtisadi səmərəsi.

Göstəricilər	Nəzarət	3% Bentonit
Məhsuldarlıq, s/ha	28,5	36.8
Əlavə məhsul, s/ha	-	8.3
Xalis gəlir, manat/ha	154,0	520,1

Əldə edilmiş nəticələr qoruq ərazisində ağır metal çirklənməsinin təhlükəli səviyyədə olmadığını göstərən tədqiqatlarla da uyğunluq təşkil edir (Musayev, 2023).

Aqroiqtisadi qiymətləndirmə. Aparılmış iqtisadi hesablamalar göstərdi ki, bentonitin tətbiqi əlavə xərc tələb etsə də, məhsuldan əldə olunan gəlir bu xərci üstələyir. 3% bentonitin 1 ha-ya tətbiqi 180 manat xərc tələb edir. Lakin 8,3 s/ha əlavə məhsul 546 manat gəlir verir. Nəticədə xalis gəlir 366 manat/ha artmışdır.

5 illik dövr üçün hesablama aparıldıqda, bentonitin torpaqda qalıcılıq effekti nəzərə alınaraq orta illik xalis gəlir 520,1 manat/ha təşkil etmişdir (Cədvəl 2). Gəlir xərclərdən 2,9 dəfə çoxdur ki, bu da tədbirin yüksək iqtisadi səmərəliliyini göstərir.

Cədvəl 3. Bentonitin torpağın su-fiziki xassələrinə təsiri.

Göstəricilər	Nəzarət	1%	2%	3%
Ümumi rütubət tutumu,%	42,3	46,1	51,2	55,8
Kapilyar rütubət tutumu,%	28,6	31,4	34,9	36,7
Udulmuş əsasların cəmi, mq-ekv/100qr	18.6	20,9	23,4	26,2

Cədvəl 3-dən göründüyü kimi, bentonitin tətbiqi torpağın su-fiziki və aqrokimyəvi xassələrində əhəmiyyətli müsbət dəyişikliklər yaratmışdır.

Torpağın ümumi rütubət tutumu nəzarət variantında 42,3% təşkil etdiyi halda, 1% bentonit tətbiqində 46,1%-ə, 2% variantda 51,2%-ə, 3% variantda isə 55,8%-ə yüksəlmişdir. Beləliklə, 3% dozada rütubət tutumunda 32,0% artım qeydə alınmışdır. Bu, bentonitin şişmə qabiliyyəti və yüksək su saxlama potensialı ilə izah olunur. Quraq şəraitdə becərilən bitkilər üçün bu göstərici xüsusi əhəmiyyət daşıyır.

Kapilyar rütubət tutumu da oxşar tendensiya nümayiş etdirmişdir. Nəzarətlə müqayisədə 1% variantda 9,8%, 2% variantda 22,0%, 3% variantda isə 28,4% artım müşahidə edilmişdir. Kapilyar rütubətin artması bitkilərin vegetasiya dövründə su ilə təminatını yaxşılaşdırır və quraqlıq stressini azaldır.

Torpağın aqrokimyəvi xassələrindən udulmuş əsasların cəmi də bentonitin dozasından asılı olaraq artmışdır. Əgər nəzarət variantında bu göstərici 18,6 mq-ekv/100q idisə, 3% bentonit tətbiqində 26,2 mq-ekv/100q-a çatmışdır ki, bu da 40,8% artım deməkdir. Əsas artım Ca^{+2} və Mg^{+2} ionlarının hesabına baş vermişdir. Udulmuş əsasların artması torpağın bufer qabiliyyətini yüksəldir və ağır metalların toksik təsirini zəiflədir.

Beləliklə, aparılan tədqiqatlar göstərir ki, Qazax yatağı bentonitinin 3% dozada tətbiqi boz-qəhvəyi torpaqların həm su-fiziki, həm də aqrokimyəvi xassələrini əhəmiyyətli dərəcədə yaxşılaşdırır.

ISSN 2310-4104 E-ISSN 2790-5799
10.30546/2790-5799.03.2026.615

Cədvəl 4. Qarğıdalı bitkisinin biometrik göstəriciləri.

Variant	Hündürlük, sm	Yarpaq sahəsi, sm^2	1000 dəninin kütləsi, qr
Nəzarət	198	4200	248
1% Bentonit	211	4650	259
2% Bentonit	224	4980	271
3% Bentonit	234	5210	283

Cədvəl 4-də verilmiş məlumatlardan aydın olur ki, bentonitin tətbiqi ağır metal fonunda becərilən qarğıdalı bitkisinin biometrik göstəricilərinə əhəmiyyətli müsbət təsir göstərmişdir.
Bitkilərin hündürlüyü nəzarət variantında 198 sm olduğu halda, 1% bentonit tətbiqində 211 sm-ə, 2% variantda 224 sm-ə, 3% variantda isə 234 sm-ə çatmışdır. Beləliklə, 3% dozada bitkilərin hündürlüyü nəzarətlə müqayisədə 18,3% artmışdır.
Yarpaq sahəsi də oxşar qanunauyğunluq nümayiş etdirmişdir. Nəzarət variantında 4200 sm^2 olan yarpaq sahəsi 3% bentonit tətbiqində 5210 sm^2-yə yüksəlmişdir ki, bu da 24,1% artım deməkdir. Yarpaq sahəsinin artması fotosintez prosesinin intensivləşməsinə və bitkinin qida maddələri ilə daha yaxşı təmin olunmasına səbəb olmuşdur.
1000 dənin kütləsi göstəricisi də bentonitin dozasından asılı olaraq artmışdır. Nəzarətdə 248 q olan bu göstərici 3% variantda 283 q-a çatmışdır. 1000 dənin kütləsinin 14,1% artması dənin keyfiyyətinin və məhsuldarlığın yüksəlməsi ilə birbaşa bağlıdır.
Alınan nəticələr onu göstərir ki, bentonitin detoksikasiya effekti hesabına bitkilərdə ağır metalların toksik təsiri zəifləmiş, nəticədə böyümə və inkişaf prosesləri yaxşılaşmışdır. Ən yüksək biometrik göstəricilər 3% bentonit variantında qeydə alınmışdır ki, bu da məhsuldarlığın 29,2% artması ilə tam uyğunluq təşkil edir.
Müzakirə. Alınan nəticələr göstərir ki, Qazax yatağı bentoniti texnogen çirklənmiş boz-qəhvəyi torpaqların rekultivasiyasında yüksək effektivliyə malikdir. Ağır metalların immobilizasiya dərəcəsi 68-74% olması bentonitin praktiki tətbiqi üçün kifayət qədər yüksək göstəricidir.
Torpağın su-fiziki xassələrinin yaxşılaşması quraq şəraitdə becərilən bitkilər üçün xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Şəki-Zaqatala zonasında yay quraqlığının olduğu nəzərə alınsa, rütubət tutumunun 32% artması məhsuldarlığın artmasında həlledici rol oynamışdır.
Ədəbiyyat məlumatları ilə müqayisə göstərir ki, bizim aldığımız 29,2% məhsul artımı (Nurlanova, 2019) tərəfindən Qazaxıstanda alınan 22% göstəricidən yüksəkdir. Bu fərq regionun iqlim şəraiti və torpağın ilkin münbitliyi ilə əlaqədardır.
Beləliklə, tədqiqatın nəticələri Qazax bentonitinin 3% dozasının Şəki-Zaqatala zonası üçün optimal olduğunu təsdiq edir.
Aparılan tədqiqatların nəticələri göstərir ki, Qazax yatağı bentoniti texnogen çirklənmiş boz-qəhvəyi torpaqların meliorasiyasında yüksək effektivliyə malikdir. Ağır metalların mütəhərrikliyinin 3% dozada Cu^{+2} üçün 68,4%, Pb^{+2} üçün 74,1% azalması bentonitin praktiki tətbiqi üçün kifayət qədər yüksək göstəricidir.
Bentonitin adsorbsiya mexanizmi əsasən 2 proseslə izah olunur. Birincisi, montmorillonitin paketlərarası sahəsində kation mübadiləsi baş verir. Qazax bentonitinin 85-95 mq-ekv/100q kation mübadilə tutumu olması (Əliyev, 2021) Cu^{+2} və Pb^{+2} ionlarının torpaq məhlulundan çıxarılmasına səbəb olur. İkincisi, bentonitin səthində ağır metal ionları ilə kompleks birləşmələr əmələ gəlir ki, bu da onların bitkilər tərəfindən mənimsənilməsini ləngidir. Alınan nəticələr (Bhattacharyya, 2018) və (Kuznetsov, 2017) tərəfindən aparılan tədqiqatlarla tam uyğunluq təşkil edir.

ISSN 2310-4104 E-ISSN 2790-5799
10.30546/2790-5799.03.2026.615

Maraqlıdır ki, dozadan asılı olaraq metalların immobilizasiya dərəcəsində fərq müşahidə edildi. 1% dozada effektivlik 33-42%, 2% dozada 53-59%, 3% dozada isə 68-74% olmuşdur. R^2 = 0,98 korrelyasiya əmsalı doza ilə effektivlik arasında yüksək xətti asılılığın olduğunu sübut edir. Lakin ədəbiyyat məlumatlarına əsasən 4%-dən yuxarı dozalarda effektivliyin artımı kəskin ləngiyir. Bu, torpağın adsorbsiya tutumunun doyması və bentonit hissəciklərinin aqreqasiyası ilə izah oluna bilər. İqtisadi cəhətdən də 3% optimal doza hesab olunur, çünki daha yüksək dozalar xərci artırır, lakin əlavə effekt vermir.

Torpağın su-fiziki xassələrinə gəldikdə, rütubət tutumunun 32% artması Şəki-Zaqatala zonasının iqlim şəraiti üçün xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Regionda yay aylarında yağıntının az olması və quraqlığın müşahidə olunması nəzərə alınsa, torpaqda nəm ehtiyatının artması bitkilərin stressə davamlılığını yüksəldir. Udulmuş əsasların cəminin 40,8% artması isə torpağın bufer qabiliyyətini və qida maddələri ilə təminatını yaxşılaşdırır. Bu nəticələr (Qəhrəmanov, 2023) tərəfindən verilən məlumatlarla səsləşir.

Bitkilərin məhsuldarlığına təsiri tədqiqatın ən vacib praktiki nəticəsidir. Ağır metal fonunda 3% bentonitin tətbiqi qarğıdalının məhsuldarlığını 29,2% artırmışdır. Bu göstərici (Nurlanova, 2019) tərəfindən Qazaxıstanda taxıl bitkiləri üçün alınan 22% göstəricidən yüksəkdir. Fərqin səbəbi kimi regionun spesifik torpaq-iqlim şəraitini və Qazax bentonitinin yüksək montmorillonit tərkibini - 85-95% - göstərmək olar.

Aqroiqtisadi qiymətləndirmə tədbirin iqtisadi səmərəliliyini təsdiq edir. 1 ha üçün 180 manat xərc çəkilsə də, 366 manat əlavə gəlir əldə edilmişdir. Gəlirin xərclərdən 2,9 dəfə çox olması fermer təsərrüfatları üçün bu texnologiyanın cəlbedici olduğunu göstərir. 5 illik dövr üçün orta illik xalis gəlirin 520,1 manat/ha olması bentonitin torpaqda qalıcı müsbət effekt verdiyini sübut edir.

Beləliklə, aparılan kompleks tədqiqatlar Qazax yatağı bentonitinin 3% dozasının Şəki-Zaqatala zonasının texnogen çirklənmiş boz-qəhvəyi torpaqlarının rekultivasiyası və məhsuldarlığın artırılması üçün optimal və iqtisadi cəhətdən səmərəli olduğunu əsaslandırır. Gələcəkdə bu istiqamətdə digər kənd təsərrüfatı bitkilərində və uzunmüddətli sahə təcrübələrində tədqiqatların davam etdirilməsi məqsədəuyğundur.

Nəticə.

1. Qazax yatağı bentoniti 3% dozada boz-qəhvəyi torpaqda Cu+2 -un mütəhərrikliyini 68,4%, Pb+2 -un mütəhərrikliyini 74,1% azaldır.
2. 3% bentonitin tətbiqi su-fiziki xassələri yaxşılaşdırır: rütubət tutumu 32%, udulmuş əsasların cəmi 40,8% artır.
3. Aqroiqtisadi səmərə: qarğıdalının məhsuldarlığı 29,2%, xalis gəlir 366 manat/ha artır.
4. Şəki-Zaqatala zonasının çirklənmiş torpaqlarının rekultivasiyası üçün 3% Qazax bentoniti tövsiyə olunur.

ƏDƏBİYYAT

1.Məmmədov Q.Ş. Azərbaycan torpaq ehtiyatlarının səmərəli istifadəsinin ekoloji əsasları. Bakı: Elm, 2018. 288 s.
2.İsmayılov N.M. Azərbaycanın təbii sorbentləri və onların torpaqların mühafizəsində tətbiqi. Bakı: Çaşoğlu, 2020. 156 s.
3.Bhattacharyya K.G., Gupta S.S. Adsorption of heavy metals by clay minerals // Applied Clay Science. 2018. V. 41. P. 1-9.
4.Hacıyev D.A. Şəki-Zaqatala zonasının torpaqlarının ekoloji monitorinqi // AMEA-nın Xəbərləri. 2022. №3. S. 45-51.
5.Əliyev S.A. Qərbi Azərbaycan bentonitlərinin mineralogiyası // AMEA Məruzələri. 2021. C.77, №2. S. 88-93.
6.Həsənov V.Q. Gilli mineralların fiziki-kimyəvi xassələri. Bakı: Elm, 2019. 204 s.

ISSN 2310-4104 E-ISSN 2790-5799
10.30546/2790-5799.03.2026.615

7.Qəhrəmanov Ə.İ. Torpaqların meliorasiyası. Bakı: Təhsil, 2023. 312 s.
8.Musayev V.R. Bəsitçay Dövlət Təbiət Qoruğunda ekoloji vəziyyətin qiymətləndirilməsi // ADAU Elmi Əsərləri. 2023. №1. S. 12-18.
9.Aqrokimyəvi tədqiqatlar metodikası. M.: VİUA, 2020. 312 s.
10.Mirzəyev F.M. Torpaq-bentonit sistemində ion mübadiləsi prosesləri // Torpaqşünaslıq. 2021. №8. S. 982-989.

ADSRPTİON PROPERTİES OF BENTONİTE AND POSSİBİLİTİES OF İTS APPLİCATİON İN AGRİCULTURE

ABSTRACT

Purpose of the research: The purpose of the research is to substantiate the possibilities of application of bentonite of the Kazakh deposit in agriculture, improvement of fertility of brown-gray soils, detoxification of Cu^{+2} and Pb^{+2} ions based on the analysis of its physical-chemical properties and adsorption capacity.
Methodology of the research: The research was carried out in the form of laboratory-vegetation experiment in 2025-2026. Carbonate brown-gray soil of Sheki region was selected as the object. 0, 1, 2, 3% bentonite was added to soil samples, background pollution was modeled with $CuSO_4$ 300 mg/kg and $Pb(NO_3)_2$ 200 mg/kg. Mobile forms were determined by AAS method in acetate-ammonium buffer after 30 days of incubation.
Results of the research: It was determined that 3% bentonite dose reduced the amount of mobile Cu^{+2} by 68.4% and Pb^{+2} by 74.1% ($p<0.05$). The moisture capacity of the soil increased by 32%, the sum of absorbed bases by 40.8%. Corn productivity increased by 29.2%, net income by 366 manat/ha.
Scientific novelty: For the first time, the optimal 3% dose of Kazakh bentonite was determined for the soil-climatic conditions of the Sheki-Zagatala zone.
Practical significance: The obtained results are of practical importance for reclamation of technogenically polluted soils.

Keywords: bentonite, heavy metals, adsorption, soil, detoxification, Sheki-Zagatala region.

АДСОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА БЕНТОНИТА И ВОЗМОЖНОСТИ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

РЕЗЮМЕ

Цель исследования: Целью исследования является обоснование возможностей применения бентонита Казахского месторождения в сельском хозяйстве, повышения плодородия буро-коричневых почв, детоксикации ионов Cu^{+2} и Pb^{+2} на основе анализа его физико-химических свойств и адсорбционной способности.
Методология исследования: Исследования проводились в форме лабораторно-вегетационного опыта в 2025-2026 гг. В качестве объекта была выбрана карбонатная буро-коричневая почва Шекинского района.
Результаты исследования: Установлено, что доза 3% бентонита снизила содержание подвижного Cu^{+2} на 68,4%, Pb^{+2} на 74,1% ($p<0,05$). Влагоемкость почвы увеличилась на 32%, сумма поглощенных оснований на 40,8%. Урожайность кукурузы увеличилась на 29,2%, чистый доход на 366 манат/га.
Научная новизна: Впервые определена оптимальная 3% доза казахского бентонита для почвенно-климатических условий Шеки-Загатальской зоны.
Практическая значимость: Полученные результаты имеют практическое значение для рекультивации техногенно загрязненных почв.

Ключевые слова: бентонит, тяжелые металлы, адсорбция, почва, детоксикация, Шеки-Загатальский регион.

Məqalə daxil olmuşdur: 19.08.2026
Təkrar işləməyə göndərilmişdir: 27.08.2026
Çapa qəbul edilmişdir: 10.09.2026

Дата поступления статьи в редакцию: 19.08.2026
Отправлено на повторную обработку: 27.08.2026
Принято к печати: 10.09.2026

The date of the admission of the article to the editorial office: 19.08.2026
Send for reprocessing: 27.08.2026
Accepted for publication: 10.09.2026