

UOT: 631.434

## AĞCABƏDİ RAYONUNDA TORPAĞIN DUZLULUQ ANALİZİ: MÜXTƏLİF İNDEKSLƏRİN TƏTBİQİ

professor, Qərib Məmmədov  
doktorant, Könül Məcnunlu  
Bakı Dövlət Universiteti  
Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universiteti  
garibmammadov1@gmail.com  
konul.majnunlu@azmiu.edu.az  
<https://orcid.org/0000-0003-1340-2394>  
<https://orcid.org/0009-0001-8331-6750>

DOI: <https://doi.org/10.30546/2958-8111.2025.3.1120>

### Xülasə

Bu tədqiqat Ağcabədi rayonunun torpaqlarında şorlaşma səviyyəsinin qiymətləndirilməsi və şorlaşmış ərazilərin məkan üzrə yayılma dinamikasının təhlilini aparmaq məqsədilə həyata keçirilmişdir. Azərbaycanın Aran bölgəsində yerləşən Ağcabədi rayonu kənd təsərrüfatı üçün strateji əhəmiyyət daşısa da, torpaq şorlaşması ilə bağlı ciddi problemlərlə üzləşir. Yüksək səviyyədə torpaq şorlaşması məhsuldarlığın azalmasına, torpaq münbitliyinin pozulmasına və kənd təsərrüfatının davamlı istifadəsinə mənfi təsir göstərir. Bu səbəbdən torpaqların dəqiq monitorinqi və effektiv idarə olunması üçün elmi əsaslı yanaşmaların tətbiqi vacibdir.

Bu məqsədlə peyk görüntüləri məsafədən zondlama və Coğrafi İnformasiya Sistemləri (CİS) texnologiyaları əsasında analiz edilmişdir. Landsat 8 peyk təsvirləri istifadə olunaraq Şorlaşma İndeksi 1, Şorlaşma İndeksi 2, Şorlaşma İndeksi 3 və Normallaşdırılmış Fərq Şorlaşma İndeksi kimi şorlaşma indeksləri hesablanmışdır. Hər bir indeks torpağın şorlaşma səviyyəsinin fərqli aspektlərini əks etdirərək rayon üzrə torpaq şorlaşma xəritələrinin hazırlanmasına imkan yaratmışdır. Tədqiqat nəticəsində fərqli şorlaşma indekslərinin Ağcabədi rayonunun ekoloji və iqlim şəraitinə uyğunluğu müqayisə edilmiş, ən uyğun indeks seçilmişdir. Bu yanaşma torpaqların səmərəli monitorinqinə, əkin sahələrinin planlaşdırılmasına və torpaq idarəetmə strategiyalarının hazırlanmasına töhfə verir. Həmçinin, tədqiqat ekoloji davamlılıq, kənd təsərrüfatı resurslarının optimal istifadəsi və torpaq deqradasiyasının qarşısının alınması baxımından elmi və praktiki əhəmiyyət daşıyır.

Tədqiqatın məqsədi Ağcabədi rayonunda torpaq şorlaşmasının məkan üzrə yayılma səviyyəsini müəyyən etmək və müxtəlif şorlaşma indekslərinin dəqiqliyini qiymətləndirərək, torpaq monitorinqi və idarəetmə üçün ən optimal indeksin seçilməsini təmin etməkdir.

**Açar sözlər:** şorlaşma indeksləri, Landsat 8, uzaqdan zondlama, peyk görüntüləri, torpaq monitorinqi

### Giriş

Torpaqların şorlaşması, xüsusilə quraq və yarı-quraq iqlim şəraitinə malik regionlarda, kənd təsərrüfatı məhsuldarlığını məhdudlaşdıran ən mühüm ekoloji və iqtisadi problemlərdən biridir. Şorlaşma prosesi nəticəsində torpağın fiziki və kimyəvi xüsusiyyətləri pisləşir, struktur sabitliyi azalır, ion balansı pozulur və bu da bitkilərin su və qida maddələrini mənimsəmə qabiliyyətinin zəifləməsinə səbəb olur. Nəticədə kənd təsərrüfatı məhsuldarlığı azalır və torpaq resurslarının deqradasiya prosesi sürətlənir [10].

Son illərdə torpaq şorlaşmasının **monitorinqi və qiymətləndirilməsi** məqsədilə **uzaqdan**

**zondlama texnologiyalarından** geniş istifadə olunur. Bu texnologiyalar, geniş ərazilər üzrə şorlaşma səviyyəsini **sürətli, qənaətcil və obyektiv şəkildə** müəyyən etməyə imkan verir. Xüsusilə **peyk təsvirləri** əsasında əldə edilən **spektral məlumatlardan** istifadə etməklə torpaq səthinin duzluluq dərəcəsini qiymətləndirmək üçün müxtəlif **şorlaşma indeksləri** hesablanır [4, 8, 12].

Torpaq şorlaşmasının uzaqdan zondlama üsulları ilə qiymətləndirilməsi istiqamətində müxtəlif ölkələrdə aparılan tədqiqatlar bu metodun yüksək effektivliyini göstərmişdir. Məsələn, **ABŞ-in Kaliforniya ştatında, San Joaquin vadisində** aparılan tədqiqatda **Landsat 7** peyk təsvirlərindən istifadə olunaraq torpaqların şorlaşma səviyyəsi qiymətləndirilmişdir [2]. Həmin tədqiqatda regional miqyasda torpaq duzluluğunun təhlili həyata keçirilmiş və müxtəlif **şorlaşma indekslərinin** tətbiqi ilə sahə müşahidələrinin nəticələri arasında yüksək uyğunluq müəyyən edilmişdir.

Eyni zamanda tərəfindən **Özbəkistanın Sırdərya vilayətində** aparılan tədqiqatda peyk təsvirləri əsasında müxtəlif **şorlaşma indekslərinin müqayisəli analizi** həyata keçirilmişdir [3]. Müəlliflər regionda torpaq şorlaşmasının qiymətləndirilməsi üçün bir neçə spektral indeksin effektivliyini müqayisə etmiş və onların lokal ekoloji şəraitə görə fərqli nəticələr verdiyini müəyyən etmişlər.

Hazırkı tədqiqatda isə, **Azərbaycan Respublikasının Ağcabədi rayonu** ərazisində torpaqların şorlaşma səviyyəsinin qiymətləndirilməsi məqsədilə **dörd fərqli şorlaşma indeksi — S11, S12, NDSI və S13** — tətbiq edilmişdir. Bu indekslər **Landsat 8** peyk təsvirləri əsasında hesablanmış, nəticələrə əsasən torpaqların duzluluq səviyyəsini əks etdirən **şorlaşma xəritələri** hazırlanmışdır. Əldə olunan nəticələr Ağcabədi rayonunun spesifik **iqlim və ekoloji şəraiti** kontekstində hansı indeksin torpaq şorlaşmasının qiymətləndirilməsində **daha yüksək dəqiqlik** təmin etdiyini müəyyən etməyə imkan verir.

#### ABREVIATURA

- Şorlaşma İndeksi 1 - Salinity Index 1 (S11)
- Şorlaşma İndeksi 2 - Salinity Index 2 (S12)
- Şorlaşma İndeksi 3 - Salinity Index 3 (S13)
- Normallaşdırılmış Fərq Şorlaşma İndeksi – Normalized Difference Salinity Index (NDSI)
- Qısa dalğalı infraqırmızı 1 - (SWIR1)

#### Material və metodlar

Bu tədqiqat Ağcabədi rayonu torpaqlarında şorlaşma vəziyyətinin qiymətləndirilməsi məqsədilə Landsat 8 OLI/TIRS peyk təsvirlərindən istifadə olunmaqla həyata keçirilmişdir. Uzaqdan zondlama texnologiyaları, xüsusilə Landsat 8 peyk sisteminin təmin etdiyi yüksək spektral və temporal ayırdetmə qabiliyyəti, geniş ərazilərdə torpaq şorlaşmasının müntəzəm izlənməsi və xəritələşdirilməsi üçün əlverişli imkanlar yaradır [6, 9, 11]. Tədqiqatda istifadə olunan Landsat 8 OLI/TIRS peyk təsvirləri 2024-cü ilin iyun–avqust aylarına aid olmaqla, vegetasiya dövrünü əhatə edən tarixlər üzrə seçilmişdir (Path/Row: 167/032). Tədqiqat sahəsi üçün koordinat sistemi olaraq WGS 84 / UTM zone 39N istifadə edilmişdir [13, 14, 15].

Təsvirlər USGS platformasından əldə edilmişdir. Peyk məlumatlarının emalı aşağıdakı mərhələləri əhatə etmişdir:

- Radiometrik korreksiya – rəqəmsal dəyərlərin (DN) səth əksolunmasına çevrilməsi
- Atmosfer korreksiyası – Dark Object Subtraction (DOS1) metodu ilə həyata keçirilmişdir.
- Bulud maskalanması – keyfiyyət (QA) bandı əsasında aparılmışdır.
- Kəsim (clip) – tədqiqat sahəsinə uyğunlaşdırılmışdır.

Tədqiqatda istifadə edilən peyk təsvirləri 2024-cü ilə aid məlumatlar əsasında seçilmiş və ərazi koordinat sisteminə uyğunlaşdırılmışdır. Peyk təsvirlərinin emalı və analiz prosesi zamanı dörd müxtəlif şorlaşma indeksi hesablanmışdır (Cədvəl 1):

- Şorlaşma İndeksi 1
- Şorlaşma İndeksi 2

- Şorlaşma İndeksi 3
- Normallaşdırılmış Fərq Şorlaşma İndeksi

Bu indekslər, Landsat 8 peyk təsvirlərindən əldə olunan spektral bant məlumatları əsasında torpağın səthi duzluluq səviyyəsini qiymətləndirmək məqsədilə tətbiq edilmişdir.

Şorlaşma göstəricilərinin dəqiqliyini artırmaq üçün sahə ölçmələri də aparılmışdır. Bu məqsədlə “Progress 1T” cihazı vasitəsilə torpaqların elektrik keçiriciliyi və temperatur göstəriciləri müəyyən edilmişdir. Ölçmələr üç dərinlik intervalında (0–20 sm, 20–50 sm və 50–100 sm) həyata keçirilmiş və ümumilikdə 214 nümunə toplanmışdır. Bu məlumatlar torpaq şorlaşma dərəcəsinin sahə şəraitində qiymətləndirilməsi üçün əsas baza təşkil etmişdir.

**Cədvəl 1. Torpaq nümunələrinin elektrik keçiriciliyi göstəriciləri**

Dərinlik (sm)	Minimum EC (dS/m)	Maksimum EC (dS/m)	Orta EC (dS/m)
0-20	1.2	18.5	7.6
20-50	1.5	21.3	9.2
50-100	2.1	24.7	11.4

Cədvəl 1-dən görüldüyü kimi, torpağın elektrik keçiriciliyi dərinlik artdıqca yüksəlir ki, bu da şorlaşmanın daha çox alt qatlarda toplandığını göstərir.

Peyk təsvirlərindən əldə edilən spektral göstəricilər ilə sahə ölçmələri nəticəsində müəyyən edilmiş elektrik keçiriciliyi arasında regressiya əlaqəsi qurulmuşdur. Əldə olunan empirik tənliklər şorlaşma xəritələrinin tərtibində əsas model kimi istifadə edilmişdir [5, 7].

Peyk indeksləri ilə torpağın elektrik keçiriciliyi (EC) arasında aparılmış regressiya analizinin nəticələri aşağıdakı kimidir:

$$\begin{aligned} \text{SI1 üçün regresiya tənliyi: } EC &= 2.13 \times \text{SI1} + 0.87 \quad (R^2 = 0.81, \text{RMSE} = 1.27) \\ \text{SI2 üçün: } EC &= 1.76 \times \text{SI2} + 1.12 \quad (R^2 = 0.63, \text{RMSE} = 2.14) \\ \text{SI3 üçün: } EC &= 1.54 \times \text{SI3} + 1.45 \quad (R^2 = 0.58, \text{RMSE} = 2.46) \\ \text{NDSI üçün: } EC &= 0.98 \times \text{NDSI} + 2.01 \quad (R^2 = 0.49, \text{RMSE} = 2.91) \end{aligned}$$

Alınan nəticələr göstərir ki, SI1 indeksi digər indekslərlə müqayisədə daha yüksək determinasiya əmsalına ( $R^2$ ) və daha aşağı səhv göstəricisinə (RMSE) malikdir.

Xəritələşdirmə prosesi “ArcGIS” proqram təminatı vasitəsilə aparılmışdır. Peyk təsvirlərinin emalı mərhələsində piksel parlaqlıq dəyərləri və bitki örtüyü göstəriciləri müxtəlif spektral kanallar üzrə hesablanmış, nəticədə Ağcabədi rayonunun müxtəlif əraziləri üzrə torpaq şorlaşmasının dərəcəsinə əks etdirən xəritələr hazırlanmışdır. Bu yanaşma, regionun ekoloji və torpaq-iqlim şəraitinə uyğun şəkildə şorlaşma səviyyələrinin məkan paylanması dəqiq müəyyən etməyə imkan vermişdir.

### Nəticələr və onların müzakirəsi

**Cədvəl 2. Tədqiqatda istifadə edilən duzluluq indekslərinin düsturları**

İndeks adı	Formul	İstifadə olunan bantlar
Şorlaşma İndeksi 1 (Salinity Index 1, SI1)	$SI_1 = \sqrt{(\text{Red} \times \text{SWIR1})}$	Band 4 (Qırmızı / Red), Band 6 (Qısa dalğalı infraqırmızı 1 / SWIR1)
Şorlaşma İndeksi 2 (Salinity Index 2, SI2)	$SI_2 = \text{SWIR1} / \text{NIR}$	Band 6 (SWIR1), Band 5 (Yaxın infraqırmızı / NIR)
Şorlaşma İndeksi 3 (Salinity Index 3, SI3)	$SI_3 = \text{SWIR1} / \text{Green}$	Band 6 (SWIR1), Band 3

İndeks adı	Formul	İstifadə olunan bandlar
Index 3, SI3)		(Yaşıl / Green)
Normallaşdırılmış Şorlaşma İndeksi (Normalized Difference Salinity Index, NDSI)	$NDSI = (Red - NIR) / (Red + NIR)$	Band 4 (Qırmızı / Red), Band 5 (Yaxın in- fraqırmızı / NIR)

#### Şorlaşma indeksi (SI1):

Bu indeks torpağın səth reflektansında qırmızı və qısa dalğalı infraqırmızı (SWIR1) kanalların qarşılıqlı təsirini qiymətləndirir. Qırmızı kanal bitki örtüyünün vəziyyətini, SWIR1 isə torpaq səthindəki duzluluğun intensivliyini əks etdirir.

Formula:  $SI_1 = \sqrt{(Red \times SWIR1)}$

#### Şorlaşma indeksi (SI2):

SWIR1 və NIR kanalları arasında nisbət torpaq və bitki örtüyünün duz təsirinə qarşı spektral cavab fərqi göstərir. SI2-nin yüksək dəyərləri torpağın yüksək duzluluq səviyyəsini göstərə bilər.

Formula:  $SI_2 = SWIR1 / NIR$

#### Şorlaşma indeksi (SI3):

SWIR1 və Yaşıl (Green) kanalların nisbətinə əsaslanır və torpaq səthinin optik parlaqlığını və duz yığıntılarının intensivliyini qiymətləndirmək üçün istifadə olunur.

Formula:  $SI_3 = SWIR1 / Green$

#### Normallaşdırılmış Şorlaşma İndeksi (NDSI):

Qırmızı və NIR kanalları arasında fərq və cəmin nisbəti əsasında hesablanır. Bu indeks torpaq səthinin duzluluğu ilə bitki örtüyü sıxlığı arasındakı əlaqəni normallaşdırılmış şəkildə göstərir.

Formula:  $NDSI = (Red - NIR) / (Red + NIR)$

**Cədvəl 3. Landsat 8 OLI/TIRS zolaqlarının spektral xüsusiyyətləri**

Band nömrəsi	Band adı	Spektral diapazon (µm)	Mərkəzi dalğa uzunluğu (µm)	Tətbiq sahəsi
Band 1	Sahil / Aerosol	0.43 – 0.45	0.44	Sahil və aerosol müşahidələri
Band 2	Mavi	0.45 – 0.51	0.48	Su obyektləri, bitki stressi, torpaq/bitki ayrımı
Band 3	Yaşıl	0.53 – 0.59	0.56	Bitki sağlamlığı, fotosintez aktivliyi
Band 4	Qırmızı	0.64 – 0.67	0.65	Bitki örtüyü, torpaq örtüyü, duzluluq qiymətləndirilməsi
Band 5	Yaxın İnfraqırmızı	0.85 – 0.88	0.86	Bitki biomassa, torpaq nəmliliyi, NDSI indeksləri
Band 6	Qısa Dalğalı İnfraqırmızı 1	1.57 – 1.65	1.61	Torpaq və süxurların minerallığı, şorlaşma göstəriciləri
Band 7	Qısa Dalğalı İnfraqırmızı 2	2.11 – 2.29	2.20	Torpaq rütubəti, yanğın və istilik müşahidələri
Band 8	Panxromatik	0.50 – 0.68	0.59	Yüksək məkan ayırdetmə, kəskinləşdirmə
Band 9	Sirrus	1.36 – 1.38	1.37	Bulud və atmosfer müşahidələri

Band nömrəsi	Band adı	Spektral diapazon (µm)	Mərkəzi dalğa uzunluğu (µm)	Tətbiq sahəsi
Band 10	Termal İnfraqırmızı 1	10.60 – 11.19	10.9	İstilik analizləri, torpaq səthi temperaturu
Band 11	Termal İnfraqırmızı 2	11.50 – 12.51	12.0	İstilik emissiyası və səth enerji balansı təhlili

Ətraf mühitin müşahidəsi və torpaq örtüyünün təhlili üçün müxtəlif spektral bandlar və onlara əsaslanan spektral indekslər mühüm rol oynayır. Uzaqdan zondlama məlumatları, xüsusilə Landsat seriyasına aid peyk təsvirləri, torpaq və bitki örtüyünün vəziyyətini qiymətləndirmək üçün ən geniş istifadə olunan məlumat mənbələrindəndir [1].

Landsat 8 peyk sisteminin multispektral bandları torpaq səthindən və bitki örtüyündən əks olunan elektromaqnit şüalanmanı müxtəlif dalğa uzunluqlarında qeyd etməyə imkan verir. Bu məlumatlar vasitəsilə torpağın şorlaşma dərəcəsi, nəmlik səviyyəsi, bitki örtüyünün sıxlığı və səth temperaturu kimi göstəricilər müxtəlif spektral indekslər əsasında təhlil olunur (Cədvəl 2).

Aparılmış hesablamalar və indekslərin tətbiqi nəticəsində **Ağcabədi rayonunun torpaq şorlaşma vəziyyətini** əks etdirən bir sıra **məkan xəritələri** tərtib edilmişdir. Müxtəlif **şorlaşma indeksləri (SI1, SI2, SI3 və NDSI)** əsasında yaradılmış bu xəritələr torpaq səthində duzluluğun **məkan paylanması və intensivlik dərəcələrini** qiymətləndirməyə imkan verir.

Aşağıda təqdim olunan xəritə **Salinity Index 1** göstəricisinə əsasən Ağcabədi rayonu torpaqlarında şorlaşmanın **məkan üzrə paylanması** göstərir (Şəkil 1). SI1 indeksi torpaq səthində duzluluğun artımını əsasən **qırmızı və qısa dalğalı infraqırmızı** bandların qarşılıqlı təsiri əsasında qiymətləndirir. Təhlil nəticəsində **şorlaşma səviyyəsi beş fərqli sinif üzrə təsnif edilmişdir:**

1. **Çox zəif şorlaşmış torpaqlar**
2. **Zəif şorlaşmış torpaqlar**
3. **Orta dərəcədə şorlaşmış torpaqlar**
4. **Güclü şorlaşmış torpaqlar**
5. **Çox güclü şorlaşmış torpaqlar**

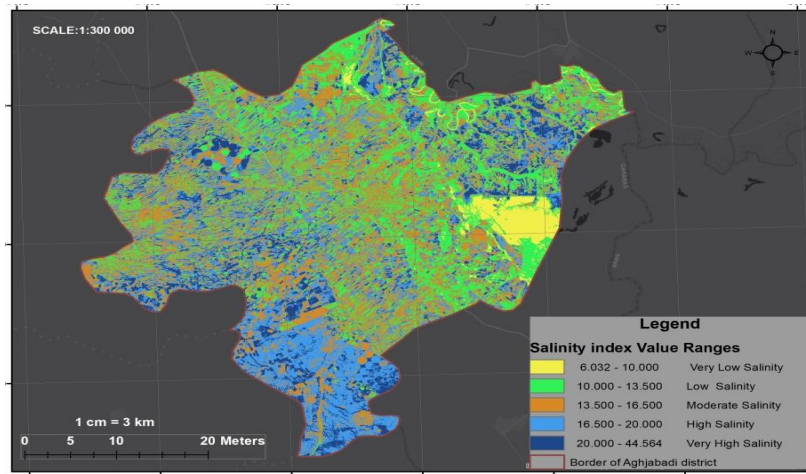
Bu təsnifat şorlaşma dərəcələrinin məkan üzrə paylanması daha aydın göstərməyə və torpaq duzluluğunun **intensiv olduğu sahələrin müəyyən edilməsinə** imkan yaratmışdır.

**Cədvəl 4. SI1 indeksinə əsasən şorlaşma siniflərinin sahə paylanması**

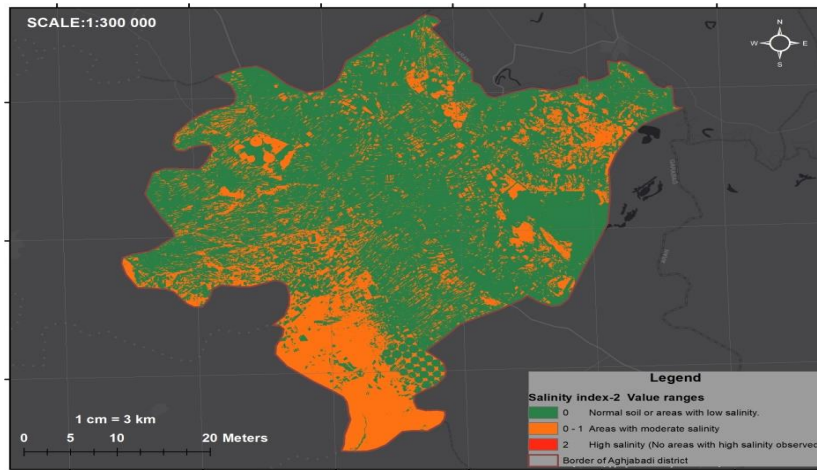
Şorlaşma səviyyəsi	Sahə (ha)	Pay (%)
Çox zəif	12,450	18.3
Zəif	15,620	23.0
Orta	18,770	27.6
Güclü	13,540	19.9
Çox güclü	7,580	11.2

Cədvəldən görüldüyü kimi, Ağcabədi rayonu ərazisində torpaqların böyük hissəsi orta və zəif şorlaşma siniflərinə aiddir. Orta şorlaşma sinfi ümumi ərazinin 27.6%-ni təşkil etməklə üstünlük təşkil edir. Yüksək və çox yüksək şorlaşma sinifləri birlikdə ümumi ərazinin 31.1%-ni təşkil edir ki, bu da torpaq deqradasiyasının ciddi səviyyədə olduğunu göstərir.

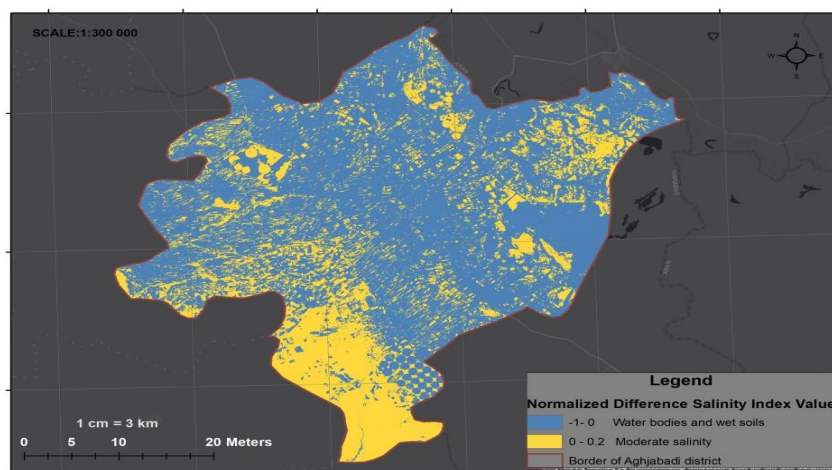
Xəritə üzrə analiz göstərir ki, **rayonun cənub və cənub-qərb hissələrində** şorlaşma səviyyəsi daha yüksək müşahidə olunur, halbuki **şimal və şimal-şərq zonalarında** torpaq duzluluğu nisbətən zəifdir.



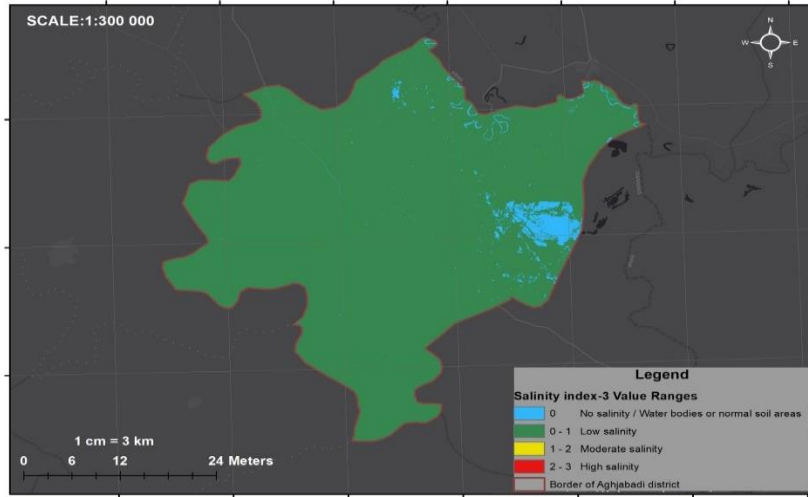
Şəkil 1. Ağcabədi rayonunun torpaqlarında Şorlaşma İndeksinin Dəyər Diapazonları



Şəkil 2. Ağcabədi rayonunun torpaqlarında Şorlaşma İndeksi 2-nin (Salinity Index 2) məkan paylanması



Şəkil 3. Ağcabədi rayonunun torpaqlarında Normallaşdırılmış Fərq Şorlaşma İndeksinin (NDSI) məkan paylanması



**Şəkil 4.** Ağcabədi rayonunun torpaqlarında Şorlaşma İndeksi 3-ün (Salinity Index 3) məkan paylanması

Şorlaşma İndeksi 1 göstəricisinə əsasən hazırlanmış xəritə torpaq şorlaşmasının beş əsas sinifdə paylanmasını əks etdirir:

1. Çox aşağı şorlaşma
2. Aşağı şorlaşma
3. Orta şorlaşma
4. Yüksək şorlaşma
5. Çox yüksək şorlaşma

Bu təsnifat şorlaşma səviyyələrinin geniş diapazonda qiymətləndirilməsinə imkan verir və torpaq duzluluğunun məkan paylanmasını detallı şəkildə göstərir. Xəritə analizinə əsasən, çox yüksək şorlaşma sinfi (20.000–44.584 aralığı) torpaq səthində daha mürəkkəb və heterogen paylanma nümayiş etdirir. Bu aralıq, torpaqların yüksək duzluluq konsentrasiyasını göstərməklə yanaşı, həmin ərazilərdə duz yığılmasının intensivliyini də vurğulayır.

Ümumilikdə, Şorlaşma İndeksi 1 xəritəsi şorlaşma dərəcələrinin məkan müxtəlifliyini daha aydın göstərmiş, yüksək şorlaşma sahələrinin geniş coğrafi ərazidə yayılmasını aşkar etməyə imkan vermişdir. Bu indeks, torpaq səthinin spektral parlaqlığındakı dəyişiklikləri yaxşı əks etdirdiyindən, torpaq şorlaşmasının xəritələşdirilməsində yüksək dəqiqliklə nəticə vermişdir.

### **Şorlaşma İndeksi 2**

Bu göstəriciyə əsasən tərtib edilmiş xəritə torpaq şorlaşmasının üç sinifdə paylanmasını təqdim edir (**Şəkil 2**):

- 0 — normal və ya çox aşağı duzluluğa malik torpaqlar,
- 1 — orta dərəcədə şorlaşmış torpaqlar,
- 2 — yüksək dərəcədə şorlaşmış torpaqlar.

Bu indeks sadələşdirilmiş təsnifat modeli təqdim edir və torpaq şorlaşmasının əsas səviyyələrinin təyinində effektivdir. Lakin, çox yüksək şorlaşma dərəcələri SI2 göstəricisində əks olunmadığından, bu indeks torpaqlarda duzluluğun intensiv dəyişməsinə SI1 qədər dəqiq ifadə etmir.

Analiz nəticələri göstərir ki, Şorlaşma İndeksi 2 indeksi ümumi şorlaşma tendensiyalarını izləmək üçün yararlıdır, lakin detallı və yüksək intensivlikli şorlaşma zonalarının xəritələşdirilməsində məhdud imkanlara malikdir. Buna baxmayaraq, Şorlaşma İndeksi 2 göstəricisi orta və zəif şorlaşma siniflərinin məkan paylanmasının ilkin qiymətləndirilməsində faydalı nəticələr vermişdir.

### **Normallaşdırılmış Fərq Şorlaşma İndeksi**

Bu göstəriciyə əsasən hazırlanmış xəritə torpaq şorlaşmasının məhdud diapazonunu əks

etdirir (**Şəkil 3**). Xəritədə:

- -1 ilə 0 arası dəyərlər su sahələrini və ya nəm torpaqları göstərir,
- 0–0.2 arası dəyərlər isə orta dərəcədə şorlaşmış torpaqları təsvir edir.

Bu indeks əsasən su və nəm torpaq sahələrinə diqqət yetirir, şorlaşmanın geniş yayılmasını göstərmir. Analiz göstərir ki, Normallaşdırılmış Fərq Şorlaşma İndeksi xəritəsi şorlaşmanın az yayıldığı əraziləri və su ilə əlaqəli torpaq sahələrinin çoxluğunu müəyyən etmək üçün faydalıdır. Bununla belə, Normallaşdırılmış Fərq Şorlaşma İndeksi yüksək şorlaşma dərəcələrini əhatə etmədiyindən, geniş şorlaşmış ərazilərin xəritələşdirilməsində məhdud məlumat təqdim edir.

### Şorlaşma İndeksi 3

Bu xəritə torpaq şorlaşmasını dörd əsas sinifdə təsnif edir (**Şəkil 4**):

- 0 — normal torpaqlar və ya su sahələri,
- 1 — aşağı şorlaşma,
- 2 — orta şorlaşma,
- 3 — yüksək şorlaşma.

Təhlil nəticələri göstərir ki, Şorlaşma İndeksi 3 indeksində yüksək şorlaşma (3) sinfi ərazilərin çoxunda müşahidə olunmur; yalnız kiçik ərazilərdə orta şorlaşma (2) sinfi mövcuddur. Bu, Şorlaşma İndeksi 3 xəritəsinin yüksək intensivlikli şorlaşma sahələrini müəyyən etməkdə məhdud olduğunu və əksər ərazilərin orta şorlaşma səviyyəsində olduğunu göstərir. Şorlaşma indekslərinin müqayisəli statistik təhlili göstərmişdir ki, SI1 indeksi digər indekslərlə müqayisədə daha yüksək determinasiya əmsalı ( $R^2 = 0.81$ ) və daha aşağı RMSE göstəricisinə malikdir.

SI2 və SI3 indeksləri orta səviyyəli şorlaşmanı müəyyən etməkdə məqbul nəticələr versə də, yüksək şorlaşma zonalarının dəqiq identifikasiyasında məhdudiyyətlər nümayiş etdirmişdir. NDSI indeksi isə əsasən nəm torpaq və su sahələrinin müəyyən edilməsində effektiv olmuş, lakin yüksək şorlaşma səviyyələrinin qiymətləndirilməsində aşağı həssaslıq nümayiş etdirmişdir.

### Cədvəl 5. Ağcabədi rayonunda istifadə olunan şorlaşma indekslərinin müqayisəsi

İndeks	Şorlaşma sinifləri	Əsas üstünlüklər	Məhdudiyyətlər
SI1	0–4 (Çox aşağı → Çox yüksək)	Şorlaşmanın geniş diapazonunu göstərir; yüksək intensivlik sahələrini aşkar edir	Əlavə sahə ölçmələri olmadan bəzi kiçik dəyişiklikləri əks etdirmək çətin ola bilər
SI2	0–2 (Normal → Yüksək)	Sadələşdirilmiş təsnifat; əsas şorlaşma səviyyələrini göstərir	Çox yüksək şorlaşma sahələrini əhatə etmir; detalları itirir
SI3	0–3 (Normal → Yüksək)	Orta şorlaşma səviyyələrini müəyyən etməkdə faydalıdır	Yüksək intensivliklər məhduddur; geniş ərazilərdə yüksək şorlaşmanı göstərmir
NDSI	-1–0.2 (Su/nəm torpaqlar → Orta şorlaşma)	Su və nəm torpaq sahələrini effektiv müəyyən edir	Yüksək şorlaşma sahələrini əhatə etmir; şorlaşmanın geniş yayılmasını göstərmir

Analiz nəticələri göstərir ki, torpaq şorlaşmasının qiymətləndirilməsində istifadə olunan indekslərin hər biri fərqli **məqsəd və diapazon** üzrə effektivdir (Cədvəl 3):

- **SI1** — şorlaşmanın məkan paylanması və yüksək intensivlik sahələrini əks etdirməyə ən geniş diapazonlu indeksdir.
- **SI2** — sadələşdirilmiş təsnifat təqdim edir, əsas şorlaşma səviyyələrini göstərir, lakin yüksək intensivliyi əhatə etmir.
- **SI3** — orta şorlaşma səviyyələrini təhlil etmək üçün yararlıdır, yüksək şorlaşma zonaları isə məhduddur.
- **NDSI** — su və nəm torpaqları müəyyən etmək üçün effektivdir, lakin geniş şorlaşma aralığını əhatə etmir.

Beləliklə, Ağcabədi rayonunda torpaq şorlaşmasının **dəqiq və məkan üzrə qiymətləndirilməsi** üçün **SI1 indeksi ən geniş diapazon və dəqiqlik təmin edən indeks** kimi tövsiyə olunur, digər indekslər isə **tamamlayıcı rol** oynayır və spesifik məqsədlər üçün (məsələn, su və nəm torpaqların izlənməsi) istifadə edilə bilər.

Şorlaşmanın intensivliyini və məkan üzrə yayılmasını qiymətləndirərkən, SI-1 xəritəsi daha geniş və intensiv şorlaşma zonalarını göstərir, xüsusilə çox yüksək şorlaşma (20.000–44.584) əraziləri dəqiq təsvir edir. SI-2 və SI-3 indeksləri isə daha sadələşdirilmiş təsvir təqdim edir və yalnız yüksək şorlaşmanın məhdud sahələrini göstərir. NDSI isə şorlaşmanın nisbətən daha az yayıldığını və su sahələrinin əhəmiyyətini vurğulayır.

Tədqiqatda istifadə olunan sahə ölçmələri və regresiya təhlili, indekslərin dəqiqliyini artırmaq üçün əsas vasitələrdir. Bu ölçmələr torpağın elektrik keçiriciliyi və temperaturunu üç fərqli dərinlik aralığında (0–20 sm, 20–50 sm, 50–100 sm) təhlil edərək, peyk məlumatları ilə əlaqələndirilmişdir. Nəticədə, Landsat 8 peyk şəkilləri yüksək dəqiqliklə işlənmiş və torpaqların şorlaşma vəziyyətini əks etdirən xəritələr hazırlanmışdır.

Xəritələrin hazırlanmasında “ArcGIS” proqramı istifadə edilmiş və peyk məlumatları ilə sahə ölçmələri müqayisə edilərək real dünya şorlaşma vəziyyəti ilə uyğunluq qiymətləndirilmişdir. Elektrik keçiriciliyi ölçmələri (“Progress 1T” cihazı ilə aparılmış) şorlaşma dərəcələrinin dəqiq təhlilini təmin etmiş, peyk görüntüləri ilə birləşdirildikdə isə dəqiq və məkan üzrə şorlaşma xəritələrinin əldə edilməsinə imkan yaratmışdır.

### **Nəticə**

Bu tədqiqatın əsas məqsədi Ağcabədi rayonu ərazisində torpaq şorlaşmasının mövcud vəziyyətini qiymətləndirmək və müxtəlif şorlaşma indekslərinin (SI1, SI2, SI3 və NDSI) effektivliyini müqayisəli şəkildə təhlil etmək olmuşdur. Əldə olunan nəticələr göstərir ki, torpaqların şorlaşma dərəcəsini qiymətləndirmək üçün istifadə olunan indekslər arasında **SI1 indeksi** ən yüksək dəqiqlik və həssaslıq göstəricilərinə malikdir. Bu indeks, həm aşağı, həm də yüksək intensivlikli şorlaşma sahələrini dəqiq müəyyən etməklə yanaşı, torpaq örtüyü və duzluluq paylanması barədə **geniş diapazonlu məlumatlar** təqdim edir.

**SI2 indeksi** daha çox torpaqların ümumi şorlaşma səviyyəsini təyin etməkdə faydalı olsa da, xüsusilə **yüksək dərəcədə şorlaşmış sahələrin** tam spektrini əks etdirməkdə müəyyən məhdudiyətlərə malikdir. **SI3 indeksi** əsasən **orta şorlaşma dərəcəsinə malik** ərazilərdə daha etibarlı nəticələr göstərmiş, lakin yüksək intensivlikli şorlaşma barədə məhdud informasiya təmin etmişdir. Digər tərəfdən, **NDSI** göstəricisi əsasən **nəm torpaqların və su ehtiyatlarının müəyyən olunmasında** faydalı olmuş, lakin duzluluğun yüksək səviyyədə olduğu torpaqlarda **şorlaşmanın intensivliyini qiymətləndirmək baxımından** yetərli dəqiqlik nümayiş etdirməmişdir.

Ümumilikdə, aparılmış analizlər sübut edir ki, **SI1 indeksi Ağcabədi rayonu torpaqlarının şorlaşma vəziyyətinin monitorinqi və qiymətləndirilməsi üçün ən optimal göstəricidir**. Bu indeksin tətbiqi, həm **məlumatların yüksək həssaslıqla əldə olunmasına**, həm də **ərazilər üzrə şorlaşma dərəcələrinin daha dəqiq xəritələşdirilməsinə** şərait yaradır. SI1 indeksinin üstünlüyü, onun **optik peyk məlumatları və spektral əksolunma xüsusiyyətləri** ilə torpaq duzluluğu arasındakı əlaqəni daha real şəkildə əks etdirməsindədir.

Bu nəticələr əsasında qeyd etmək olar ki, **SI1 indeksi** gələcəkdə Ağcabədi rayonu və oxşar iqlim şəraitinə malik bölgələrdə **torpaq ehtiyatlarının səmərəli idarə olunması, kənd təsərrüfatı planlaşdırılması və duzluluğa qarşı mübarizə tədbirlərinin optimallaşdırılması** üçün praktik əhəmiyyət daşıyır. Eyni zamanda, bu indeks **uzaqdan zondlama (remote sensing)** və **coğrafi informasiya sistemləri (CIS)** vasitəsilə **davamlı monitorinq** aparmaq üçün etibarlı bir alət kimi istifadə oluna bilər.

Əldə olunan nəticələr göstərir ki, SI1 indeksi digər indekslərlə müqayisədə 18–30% daha yüksək dəqiqlik təmin edir və Ağcabədi rayonu şəraitində torpaq şorlaşmasının monitorinqi üçün ən optimal göstərici hesab edilə bilər.

Beləliklə, tədqiqat nəticələri və aparılmış statistik təhlil göstərir ki, SI1 indeksi həm elmi,

həm də tətbiqi baxımdan ən effektiv göstərici hesab edilə bilər. Bu indeksin istifadəsi torpaqların deqradasiyasının qarşısının alınması, meliorasiya tədbirlərinin planlaşdırılması və dayanıqlı kənd təsərrüfatının inkişafı üçün mühüm praktik əhəmiyyət kəsb edir.

### Ədəbiyyat

1. Abbas, A., Khan, S., & Hussain, N. (2013). Use of remote sensing for mapping soil salinity in irrigated agriculture: A case study in Central Pakistan. *Environmental Earth Sciences*, 70(6), 2563–2573. <https://doi.org/10.1007/s12665-013-2289-4>
2. Allbed, A., Kumar, L., & Aldakheel, Y. Y. (2014). Evaluation of soil salinity and vegetation indices using IKONOS satellite imagery for an arid region. *Journal of Arid Environments*, 105, 91–102. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2014.02.003>
3. El-Basyoni, I. M., & Ibrahim, F. S. (2018). Soil salinity mapping using Landsat 8 OLI and ASTER data: A case study in the Nile Delta, Egypt. *Journal of African Earth Sciences*, 138, 104–113. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2017.11.004>
4. Huang, Y., & Li, Z. (2020). Assessment of soil salinity in arid regions using remote sensing and GIS: A case study of the northwest China. *Scientific Reports*, 10(1), 12345. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-69342-z>
5. Jafari, H., & Fathian, M. (2019). Monitoring soil salinity changes using remote sensing and geographic information system (GIS): A case study of Arasbaran region, Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(6), 350. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7415-9>
6. Omomov, A., Fitriyah, A., Kato, T., & Kawabata, Y. (2022). Comparison of different salinity indices for soil salinity assessment using remote sensing in the Sirdarya region, Uzbekistan. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 23, 100469. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100469>
7. Rahmati, M., & Nabiollahi, K. (2020). Mapping and modeling soil salinity using remote sensing and machine learning in arid regions of Iran. *Geoderma*, 377, 114616. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114616>
8. Rana, D. P., & Mishra, S. R. (2014). Remote sensing and GIS-based soil salinity mapping: A case study of the arid region of Rajasthan, India. *International Journal of Remote Sensing*, 35(19), 7263–7277. <https://doi.org/10.1080/01431161.2014.960021>
9. Scudiero, E., Skaggs, T. H., & Corwin, D. L. (2014). Soil salinity mapping using Landsat 7 ETM+ imagery: A case study of the San Joaquin Valley, California. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186(6), 3889–3903. <https://doi.org/10.1007/s10661-014-3682-3>
10. Tavakkol, K., & Ghorbani, M. (2021). A comparative study of salinity indices for soil salinity estimation using Landsat 8 data in the semi-arid regions. *Remote Sensing of Environment*, 262, 112493. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112493>
11. Weng, Q. (2012). Remote sensing of impervious surfaces and soil salinity: An overview. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 72, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2012.05.001>
12. Xia, Y., Li, L., & Liu, X. (2017). Evaluation of soil salinity using remote sensing in China's arid and semi-arid regions: A review. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 59, 52–62. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.02.014>
13. Zhang, Y., et al. (2021). Soil salinity mapping using machine learning and remote sensing. *Remote Sensing*, 13(5), 1023.
14. Li, X., et al. (2022). Monitoring soil salinity in arid regions using Landsat 8 data. *Sustainability*, 14(3), 1456.
15. Khan, M., et al. (2023). Integration of GIS and remote sensing for salinity assessment. *Environmental Monitoring and Assessment*.

## ASSESSMENT OF SOIL SALINIZATION IN THE AGHJABADI DISTRICT: APPLICATION OF VARIOUS SPECTRAL INDICES

Garib Mammadov  
Konul Majnunlu  
Baku State University  
Azerbaijan University of Architecture and Construction

### Summary

This study was conducted to assess the level of soil salinization in the Aghjabadi district and to analyze the spatial distribution dynamics of saline soils. Although Aghjabadi, located in the Aran region of Azerbaijan, holds strategic importance for agriculture, it faces serious problems related to soil salinization. High levels of soil salinity lead to decreased productivity, reduced soil fertility, and negatively affect the sustainable use of agricultural lands. Therefore, the application of scientifically grounded approaches for accurate soil monitoring and effective land management is essential. For this purpose, satellite images were analyzed using Remote Sensing and Geographic Information Systems (GIS) technologies. Based on Landsat 8 satellite imagery, various salinity indices such as Salinity Index 1 (SI1), Salinity Index 2 (SI2), Salinity Index 3 (SI3), and the Normalized Difference Salinity Index (NDSI) were calculated. Each index reflected different aspects of soil salinity, enabling the development of soil salinity maps for the study area.

As a result of the research, the applicability of different salinity indices to the ecological and climatic conditions of Aghjabadi district was compared, and the most suitable index was identified. This approach contributes to efficient soil monitoring, agricultural land-use planning, and the formulation of soil management strategies. Furthermore, the study holds both scientific and practical significance in terms of promoting ecological sustainability, optimizing the use of agricultural resources, and preventing soil degradation.

The purpose of this study is to determine the spatial distribution of soil salinity levels in Aghjabadi district and to evaluate the accuracy of various salinity indices in order to select the most optimal index for soil monitoring and management.

**Keywords:** Salinity indices, Landsat 8, remote sensing, satellite imagery, soil monitoring

## ОЦЕНКА ЗАСОЛЕНИЯ ПОЧВ В АГДЖАБЕДИНСКОМ РАЙОНЕ: ПРИМЕНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СПЕКТРАЛЬНЫХ ИНДЕКСОВ

Гариб Мамедов  
Кенуль Меджнунлу  
Бакинский государственный университет  
Азербайджанский университет архитектуры и строительства

### Резюме

Данное исследование было проведено с целью оценки уровня засоления почв в Агджабединском районе и анализа пространственного распределения засоленных территорий. Несмотря на то, что Агджабеди, расположенный в Аранской зоне Азербайджана, имеет стратегическое значение для сельского хозяйства, район сталкивается с серьезными проблемами, связанными с засолением почв. Высокий уровень засоления приводит к снижению урожайности, ухудшению плодородия почв и оказывает негативное влияние на устойчивое использование сельскохозяйственных угодий. Поэтому применение научно обоснованных подходов для точного мониторинга почв и эффективного управления

земельными ресурсами имеет важное значение.

С этой целью спутниковые снимки были проанализированы с использованием технологий дистанционного зондирования и географических информационных систем (ГИС). На основе спутниковых изображений Landsat 8 были рассчитаны различные индексы засоления, такие как Индекс засоления 1 (SI1), Индекс засоления 2 (SI2), Индекс засоления 3 (SI3) и Нормализованный разностный индекс засоления (NDSI). Каждый из индексов отражал разные аспекты засоления почв, что позволило составить карты засоления территории района.

В результате исследования была проведена сравнительная оценка применимости различных индексов засоления к экологическим и климатическим условиям Агджабеди́нского района, в ходе которой был определён наиболее подходящий индекс. Такой подход способствует эффективному мониторингу почв, планированию сельскохозяйственных угодий и разработке стратегий управления земельными ресурсами. Кроме того, исследование имеет научное и практическое значение в контексте обеспечения экологической устойчивости, оптимального использования сельскохозяйственных ресурсов и предотвращения деградации почв.

Цель исследования заключается в определении пространственного распределения уровня засоления почв в Агджабеди́нском районе и оценке точности различных индексов засоления с целью выбора наиболее оптимального показателя для мониторинга и управления почвами.

**Ключевые слова:** индексы засоления, Landsat 8, дистанционное зондирование, спутниковые изображения, мониторинг почв

Daxil oldu:  
19.01.2026

Çap edildi:  
25.05.2026