

UDC 004.89

DOI 10.52171/herald268

Mapping of Landslide Risk Areas of Sabail Region of the Republic of Azerbaijan Based on Space Images

N.F. Hasanova¹, E.F. Fatiyeva²

¹ *Azerbaijan State Pedagogical University (Baku, Azerbaijan)*

² *Scientific and Research Institute of Aerospace Informatics, Head of the Department of Space Image Processing and Electronic Mapping (Baku, Azerbaijan)*

For correspondence:

Fatiyeva Elnura / e-mail: elnure.fatiyeva@mail.ru

Abstract

Landslide sensitivity analysis was carried out for the areas of the Sabail region using the FR method in the research work. In the sensitivity analysis (Digital Elevation Model (DEM), Inclination (Slope), Topographic Wetness Index (TWI), Normalized Differential Vegetation Index (NDVI), Elevation (Aspect), Hillshade criteria were used. Based on the prepared parameter maps and the risk classification of the area, it is observed that 21.570% (489,589 km²) of the researched region is classified as "Risky," while 12.578% (285,496 km²) is categorized as "Very High Risk" zones. These zones are primarily located in the northern and western parts of the area. Additionally, 8.503% (192,982 km²) of the examined region is classified as risk-free areas. These data could be valuable for managing risks and implementing appropriate measures in the region.

Keywords: remote sensing, Landslide Susceptibility Index (LSI), classification, Landsat TM, GIS, frequency ratio (FR), spatial analysis.

Submitted 4 September 2024

Published 23 June 2025

For citation:

N.F. Hasanova, E.F. Fatiyeva

[Mapping of Landslide Risk Areas of Sabail Region of the Republic of Azerbaijan Based on Space Images]

Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, 2025, vol. 17 (2), pp. 120-130

Kosmik təsvirlər əsasında Azərbaycan Respublikasının Səbail rayonunun sürüşmə riskli ərazilərinin xəritələşdirilməsi

N.F. Həsənova¹, E.F. Fətiyeva²

¹Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti (Bakı, Azərbaycan)

²MAKA-nın Elmi-Tədqiqat Aerokosmik İnformatika İnstitutu, Kosmik təsvirlərin emalı və elektron xəritələşmə şöbəsinin rəisi (Bakı, Azərbaycan)

Xülasə

Tədqiqat işində FR metodu ilə Səbail rayonunun əraziləri üçün sürüşmə həssaslıq analizi aparılmışdır. Həssaslıq analizində (Rəqəmsal Yüksəklik Modeli (DEM), Meyillilik (Yamac), Topoqrafik Nəmlik İndeksi (TWI), Normallaşdırılmış Differensial Vegetasiya İndeksi (NDVI), Baxarlılıq (Aspekt) və Hillshade kimi meyarlardan istifadə edilmişdir. Hazırlanmış parametrlər xəritələri və ərazinin risk təsnifatına əsaslanaraq görürük ki, tədqiq olunan ərazinin 21,570 %-i (489,589 km²) "Riskli", 12,578 %-i (285,496 km²) "Çox yüksək riskli" həssaslıq zonaları kimi qiymətləndirilmişdir. Bu zonalar əsasən ərazinin şimal və qərb hissələrində yerləşir. Risksiz ərazilər isə tədqiq olunan ərazinin 8.503 %-ni (192,982 km²) təşkil edir. Bu məlumatlar bölgədə risklərin idarə olunması və müvafiq tədbirlərin görülməsi üçün faydalı ola bilər.

Açar sözlər: məsafədən zondlama, sürüşməyə həssaslıq indeksi (LSI), təsnifat, Landsat TM, CİS, tezlik nisbəti (FR), məkan təhlili.

Картирование оползнеопасных зон Сабайльского района Азербайджанской Республики на основе космических снимков

Н.Ф. Гасанова¹, Э.Ф. Фатиева²

¹ Азербайджанский государственный педагогический университет (Баку, Азербайджан)

² НИИ Аэрокосмической информатики НАКА (Баку, Азербайджан)

Аннотация

В ходе исследовательской работы был проведен анализ оползнеопасности территорий Сабайльского района методом FR. В анализе чувствительности использовались такие критерии, как цифровая модель рельефа (DEM), наклон (наклон), топографический индекс влажности (TWI), нормализованный дифференциальный индекс растительности (NDVI), экспозиция и отмывка холмов. На основе подготовленных карт параметров и классификации риска территории мы видим, что 21 570% (489 589 км²) исследуемой территории были оценены как зоны чувствительности «Риска», а 12 578% (285 496 км²) как зоны чувствительности «Очень высокого риска». Эти зоны расположены в основном в северной и западной частях территории. Безрисковые территории составляют 8503% (192982 км²) исследуемой территории. Эти данные могут быть полезны для управления рисками и принятия соответствующих мер в регионе.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, индекс чувствительности к скольжению (LSI), классификация, Landsat TM, ГИС, отношение частот (FR), пространственный анализ.

Giriş

Müasir dövrdə bütün dünyada olduğu kimi, Azərbaycan Respublikası ərazisində də təbii fəlakətlərin təkrarlanması, onun əhali məskunlaşmasına və təsərrüfata ziyan vurmaları geniş xarakter almışdır. Bu təbii fəlakətlər içərisində son illərdə sürüşmə hadisəsinin intensivləşməsi ölkədə və onun ayrı-ayrı regionlarında təsərrüfatın ərazi təşkilində böyük sosial-iqtisadi problemlər yaradır və hazırda respublika ərazisində əhalisi 500 min nəfərdən çox olan 312 yaşayış məntəqəsi sürüşmə təhlükəsi altında fəaliyyət göstərir. 2012-ci ili isə əhatə dairəsinə və respublika iqtisadiyyatına vurduğu zərərlərə görə sürüşmələrlə mübarizə ilə adlandırmaq olar. Bu problemin səmərəli həll edilməsində Azərbaycan Respublikası regionlarının sosial-iqtisadi inkişafı haqqında qəbul edilmiş Dövlət Proqramlarının (2004-2008 və 2009-2013-cü illər) və bir sıra dövlət əhəmiyyətli layihə və sənədlərin rolu böyükdür.

Hazırkı yüksək elmi – texniki tərəqqi dövründə sürüşmələrin bir proses kimi mənşəyi və inkişaf xüsusiyyətləri təbii və antropogen

xarakterli olduğundan onun baş verəcəyinin iqtisadi-coğrafi aspektdə öyrənilməsi, proqnozlaşdırılması və zərərsizləşdirilməsi olduqca aktual və həlli gözlənilən problemlərdən biridir.

İşin məqsədi

Aerokosmik verilənlər əsasında ArcGIS proqram təminatı vasitəsilə Səbail rayonunun bir sıra torpaq sürüşməsi təhlükəsi olan ərazilərin tədqiq edilməsi və onların vəziyyətini əks etdirən sürüşmə risk xəritələrinin yaradılması.

Məsələnin qoyuluşu

Sürüşmənin əmələ gəlməsində təsirli olan faktorlar, ümumiyyətlə, ətraf mühit faktorları və tətikləyici faktorlar olaraq iki yerə bölünür (şəkl.1) [1]. Bütün ətraf mühit faktorları təbii faktorlar olsa da, sürüşmələrə səbəb olan faktorlara nəzər saldıqda insan faktoru da önə çıxır. Bəzi sürüşmə hadisələrinin baş verməsində qeyri-təbii amillər təbii amillərdən daha təsirli olur.



Şəkil 1 – Sürüşmənin əmələ gəlməsinə təsir edən ətraf mühit və tətikləyici faktorlar sxemi

Figure 1 – Schematic of environmental and triggering factors affecting landslide formation

Tədqiqat ərazisi olaraq ölkənin ən təhlükəli sürüşmə zonası olan Səbail rayonu əraziləri seçilmişdir (şək. 2).

Tədqiqat işinin məqsədi aerokosmik verilənlər əsasında ArcGIS proqram təminatı vasitəsilə Səbail rayonunda bir sıra torpaq sürüşməsi təhlükəsi olan ərazilərin vəziyyətini əks etdirən sürüşmə risk xəritələrinin yaradılmasıdır.

Səbail rayonu Bakı şəhərinin Xəzər dənizi sahili boyu yerləşən mərkəzi rayonudur. Paytaxtın Nəsimi, Yasamal, Qaradağ rayonları ilə həmsərhəddir.

Ən təhlükəli sürüşmə zonası olan Bayıl yamacının yuxarı hissəsindəki məskunlaşma ərazisində kanalizasiya sistemi mövcud deyil.



Şəkil 2 – Tədqiqat ərazisi olan Səbail rayonunun ərazisi xətlərlə qeyd olunmuşdur

Figure 2 – The territory of Sabail region, which is the research area, is marked with lines

Yaşayış massivində hamı çirkabı quyulara axıdır ki, həmin quyulardan süzülən su sukeçirməyən lay üzərində yığılır. Gilli torpaqların həmin su yığıntısı üzərində sürüşməyə meyilliliyi artır. Kiçik təkanlar və azacıq yüklənmə sürüşməyə səbəb olur. Yekun olaraq vurğulamaq yerinə düşər ki, Abşeron yarımadasında sürüşmələrin aktivləşməsinin əsas səbəbi kortəbii məskunlaşmadır.

Məlumdur ki, sürüşmə daha çox sıldırım yamaclarda cazibə qüvvəsi səbəbindən baş verir. Sürüşmənin əmələ gəlməsi və yamacın mailliyi birbaşa əlaqəli olduğundan, sürüşmə həssaslıq analizlərində ən çox istifadə edilən ən mühüm topoqrafik faktorlardan biridir. Ədəbiyyatlarda aparılan tədqiqatlarda istifadə edilən parametrlər arasında yamacın ən çox istifadə edilən effektiv parametrlərdən biri və sürüşmələrə meyillilik yaradan amillərdən biri olduğu qəbul edilmişdir. Ağırliq qüvvəsi səbəbindən hərəkətlər nəticəsində materialın daşınması tamamilə yamacdan asılıdır.

Yüksək yamaclarda yerləşən materialların möhkəmlilik parametrlərinin geoloji vaxt ərzində azalması və iqlim şəraitinin dəyişməsi nəticəsində qeyri-sabitlik baş verir. Bununla belə, mümkün nasazlıqlar və məsamə suyundakı dəyişikliklər də qeyri-sabitliyi artırır. Parametrlər kimi istifadə edilən yamacdan əlavə, təbəqənin mövqeləri, istiqaməti və s. faktorlar da sürüşmənin əmələ gəlməsində mühümdür, lakin geniş ərazi tədqiqatlarında belə ətraflı məlumat toplamaq mümkün deyil.

Bir çox tədqiqatçılar yamacın mailliyi artdıqca sürüşmə tezliyinin artdığını, yəni düz mütənasibliyin olduğunu iddia etsə də, bəziləri aşağı meyilliyə malik yamaclarda sürüşmə tezliyinin də daha çox ola biləcəyini iddia edirlər. Fərqli perspektivdən baxdıqda, dik və

demək olar ki, şaquli yamaclar ümumiyyətlə daha davamlı qruplarla örtülür və aşağı yamaclı topoqrafiyada deqradasiyaya uğramış torpaq sahələrinin görünmə ehtimalı daha yüksəkdir, ona görə də aydın birbaşa nisbət qeyd edilə bilməz. Başqa sözlə, litoloji xüsusiyyət böyük əhəmiyyət kəsb edir. Bəziləri bu parametrdən səmərəli istifadə etmirlər, çünki yamac qrupları bir-birinə yaxındır.

Həm formalaşma mərhələsində, həm də geoloji dövrdə qiymətləndirildikdə, meyilliliyi 35° -dən yüksək olan yamaclarda dayanıqlılıq aşağıdır. Bu vəziyyəti nəzərə alaraq çöl tədqiqatları zamanı inventar yaradılarkən yamacın sıldırım və mailliyi $20-35^\circ$ -dən çox olan ərazilərdə sürüşmənin daha çox olacağı nəzərə alınaraq tədqiqatlar davam etdirilməlidir.

Sürüşməyə həssaslıq tədqiqatlarında yamac göstəriciləri təsnif edilir və sürüşmənin intensivliyi baxımından hansı diapazonda daha çox artıb azaldığı müəyyən edilir. Ümumi götürdükdə, yamac bucağının artdığı yerlərdə sürüşməyə həssaslığın yüksək, azaldığı yerlərdə isə aşağı olduğu qəbul edilir. Lakin məlumdur ki, bu fərziyyə tədqiqat sahəsinin digər parametrlər qiymətlərindən və sürüşmə xüsusiyyətlərindən asılı olaraq dəyişir.

Meyillilik göstəriciləri 6 sinfə ayrılaraq cədvəl və histqram şəklində təqdim edilmişdir. (cədv.1, şək. 3).

ArgGIS 10.8 proqram təminatından istifadə etməklə ərazinin 1:40 000 miqyasında DEM (Rəqəmsal Yüksəklik Modeli) faylı əsasında tədqiqat ərazisi olan Səbail rayonunun yamac meyilliliyi xəritəsi hazırlanmışdır (şək. 4).

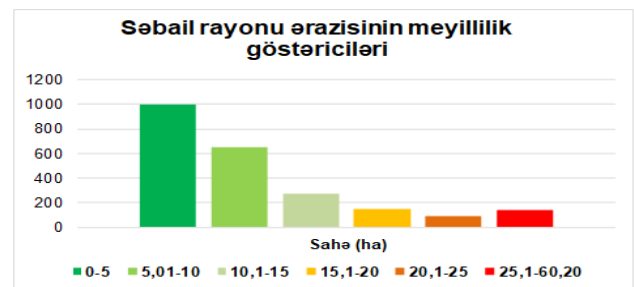
Meyilliliyin sahə daxilində paylanması 0- 5° arasında 43,3%, 5- 10° arasında 28,35%, 10- 15° arasında 11,81%, 15- 20° ara-

sında 6,49%, 20- 25° arasında 4,01%, 25- 60° arasında isə 6,045% kimi dəyişdiyi görünür.

Cədvəl 1 – Səbail rayonu ərazisinin meyilliliyi üçün sahə və faiz göstəriciləri

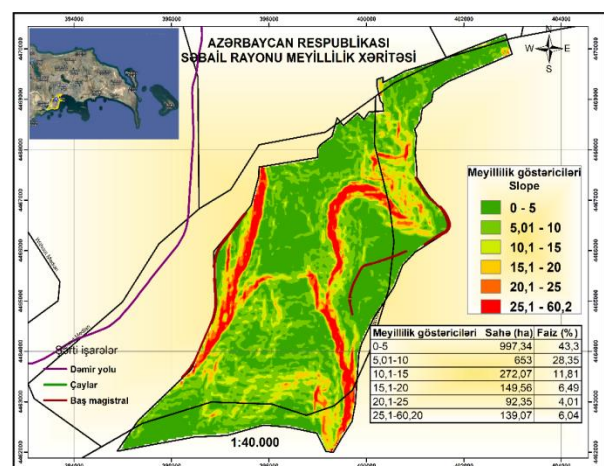
Table 1 – Area and percentage indicators for the slope of Sabail region territory

Meyillilik göstəriciləri (dərəcə)	Sahə (ha)	Faiz (%)
0-5	997,34	43,3
5,01-10	653	28,35
10,1-15	272,07	11,81
15,1-20	149,56	6,49
20,1-25	92,35	4,01
25,1-60,20	139,07	6,04



Şəkil 3 – Tədqiqat sahəsinin meyillilik göstəriciləri

Figure 3 – Propensity indicators of the research area



Şəkil 4 – Tədqiqat sahəsinə aid meyillilik (slope) xəritəsi

Figure 4 – Slope map of the study area

Cənuba və ya şimala doğru yamacın mövqeyini təyin edən və görünüş istiqaməti kimi tanınan aspekt (baxarlılıq), yamac oriyentasiyası kimi də müəyyən edilir. Bu həm də şimalla 0-360° arasında olan bucağın azimut dəyəridir. Aspekt bitki örtüyü, külək, günəş işığına məruz qalma, drenaj və yağıntı kimi amillərə aid olan parametrdir. Müxtəlif istiqamətlərə baxan yamaclar atmosfer şəraitindən fərqli şəkildə təsirləndiyi üçün sürüşməyə həssaslıqda bu parametr vacibdir.

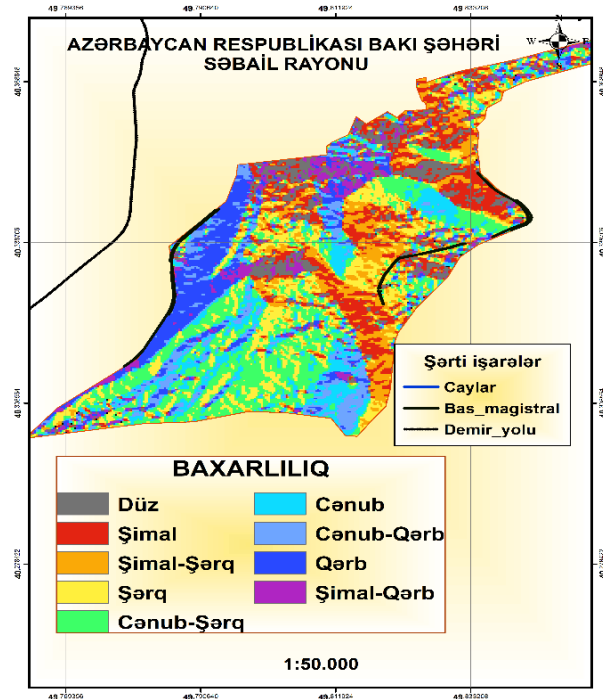
Ədəbiyyat araşdırmalarına baxdığımızda son 30 ildə aparılan araşdırmalarda ən çox istifadə edilən üç parametrdən biri olduğu görünür. Bir çox tədqiqatçılar tərəfindən müəyyən edilmişdir ki, sürüşmələr ümumi morfoloji meyildən, günəş şüalarından və yağıntılardan asılı olaraq müəyyən oriyentasiyalı yamaclarda cəmləşmişdir. Məsələn, daha çox yağış alan yamaclarda suyun doyma səviyyəsinə daha tez çatır və məsəmə suyunun təzyiqi artdıqca yamac oriyentasiyası üstünlük təşkil edən yamaclarda sürüşmələrə qarşı həssaslıq artır. Bu səbəbdən, aspekt parametrindən istifadə edildikdə, güclü yağışlı yamaclar sürüşməyə daha həssas olaraq təyin olunur.

Eynilə, yamacda yığılıb qalan qar miqdarının da təsirli olduğu söylənilə bilər. Lakin tədqiqatçılar sürüşməyə həssaslıq analizlərində istifadə edilən bu parametrlə bağlı da fikir ayrılığına düşmüşlər. Bəziləri aspektin daha əvvəl qeyd olunduğu kimi birbaşa sürüşmə əmələ gəlməsi ilə əlaqəli olduğunu iddia edərkən, digərləri isə yamacın oriyentasiyasının bərabər istiqamətdə olmasına görə sürüşmənin əmələ gəlməsinə heç bir təsiri olmayacağını iddia edir. Yenə də öz araşdırmalarına əsaslanaraq, bir çox tədqiqatçı sürüşmələrin müəy-

yən istiqamətlərə malik yamaclarda cəmləşdiyini müəyyən etmişdir.

Tədqiqat sahəsinin 1:50 000 miqyasında Aspekt (meyillilik oriyentasiyası, baxarlılıq) xəritəsi Digital Elevation Modelindən (DEM) ArgGIS 10.8 proqramından istifadə etməklə hazırlanmışdır (şəkl. 5).

Baxarlılıq (aspekt) xəritəsinin hazırlanmasında 45° bucaqlı kateqoriyalı strukturdan ibarət əsas istiqamətlər və düz sahələr aspektdən asılı olmayaraq nəzərə alınmış və 8 sinfə bölünmüşdür.



Şəkil 5 – Tədqiqat sahəsinin baxarlılıq (aspekt) xəritəsi

Figure 5 – Aspect map of the study area

Tədqiqat sahəsindəki ümumi sürüşmə sahələrində aspekt siniflərinə baxdığımızda ən yüksək piksel sıxlığına malik yamacların şimala baxan yamaclar olduğu görünür.

Topoqrafik Nəmlik İndeksi (TWI) topoqrafiyanın hidroloji şərtlərini müəyyən etmək üçün istifadə olunur və su ilə doymuş sa-

hələri göstərir. Topoqrafiyanın hidroloji proseslərə təsirini modelləşdirmək və kəmiyyət hesablaması üçün nəzərdə tutulmuşdur. İlk dəfə Beven və Kirkby (1979) tərəfindən irəli sürülən yanaşma Barling (1992) tərəfindən aşağıdakı tənliklə ifadə edilmişdir [2].

Adətən Topoqrafik Nəmlik İndeksindən (TWI) hidroloji proseslərdə topoqrafik nəzarətin kəmiyyətinin müəyyənəndirilməsində istifadə olunur. İndeks həm yamacın, həm də axın istiqamətinə ortoqonal olan vahid eninə düşən sahənin yuxarı axınının funksiyasıdır. İndeks dağ yamacları üçün nəzərdə tutulmuşdur.

Topoqrafik Nəmlik İndeksi (TWI) aşağıdakı kimi müəyyən edilir [3].:

$$TWI = \ln \frac{a}{\tan b}$$

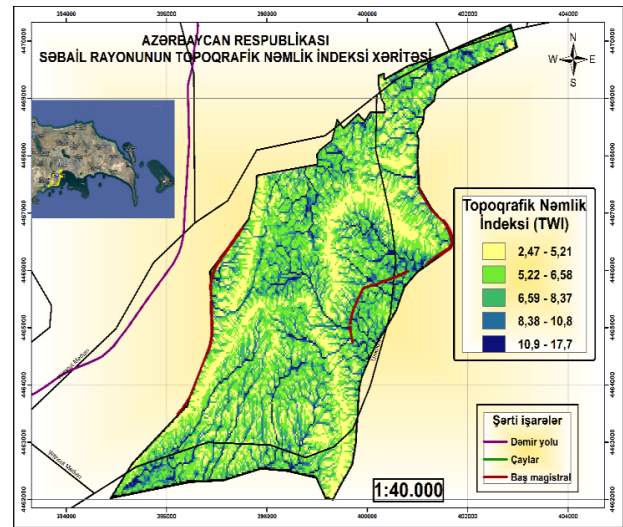
burada, a - vahid kontur uzunluğu üçün müəyyən bir nöqtədən drenaj edən yerli ümumi yamac sahəsidir. $\tan b$ - radianla yerli meyillilikdir.

Topoqrafik Nəmlik İndeksi (TWI) xəritəsinin hesablama şəkli ArcGIS 10.8 proqram təminatında şəkil 6- da verilmişdir.

Tədqiqat sahəsinin 1:40 000 miqyasında Topoqrafik Nəmlik İndeksi (TWI) xəritəsi Digital Elevation Modelindən (DEM) ArcGIS 10.8 proqramından istifadə etməklə hazırlanmışdır (şək. 6).

Meyillilik, Baxarlılıq və Topoqrafik Nəmlik İndeksi (TWI) xəritələri üçün ASTER GDEM v3 (1 arc – second Resolution) DEM fayllarından istifadə olunmuşdur.

Digital Elevation Model (DEM) Yer səthinin Rəqəmsal Yüksəklik Modelidir. Bu, planetin 3D xəritəsinə bənzəyir ki, onda yüksəkliklər, çökəkliklər və onlar arasında konturlar əks olunur. DEM-lər peyk şəkilləri, LiDAR və aéroşəkillər daxil olmaqla müxtəlif məlumat mənbələrindən istifadə etməklə yaradılır.



Şəkil 6 – Tədqiqat sahəsinin Topoqrafik Nəmlik İndeksi (TWI) xəritəsi

Figure 6 – Topographic Wetness Index (TWI) map of the study area

DEM-lərdən torpaqdan istifadənin planlaşdırılması, ətraf mühitin qiymətləndirilməsi, yamac təhlili, aspekt hesablanması, hidroloji modelləşdirmə, su axınının simulyasiyası ilə daşqın təhlükəsi olan ərazilərin proqnozlaşdırılması, fəlakətlərin idarə edilməsi, şəhərsalma planlaşdırılması və arxeologiya sahəsində istifadə edilir.

Ən əhəmiyyətli və ilk yaradılacaq sürüşmə həssaslıq analizi Parametrlərindən biri olan Rəqəmsal Yüksəklik Modeli (DEM) topoqrafiyanın bitki örtüyünü, binaları, meşə və s. təfərrüatları ehtiva etməyən digital yəni, rəqəmsal təqdimat kimi ifadə edilir və digər adıyla Rəqəmsal Ərazi Modelləri (RƏM) kimi tanınır.

Ədəbiyyat araşdırmalarında topoqrafik hündürlüyün artıb azaldığı hallarda sürüşmə əmələgəlmə tezliyinin dəyişməsi arasındakı əlaqə qeyri-müəyyənliyi ehtiva edir. Məsələn, bəzi tədqiqatçılar topoqrafik yüksəkliyin çox olduğu ərazilərdə sürüşmə tezliyinin intensiv olduğunu bildirsələr də, digərləri aşağı

topoqrafik yüksəkliklərdə sürüşmələrin daha intensiv olduğunu bildiriblər. Buna görə də, yalnız bu parametrdən deyil, daha çox litologiya, yamac və meyillilik, aspekt, topoqrafik nəmlik indeksi kimi faktorlarla qiymətləndirmək daha düzgün olardı. Əksər tədqiqatçılar topoqrafik hündürlüyü aşağı olan ərazilərdə sürüşmə sıxlığının daha çox olduğunu düşünsələr də, tədqiqat aparılan ərazidə bunun tam olaraq belə olmadığı müşahidə edilmişdir.

Tədqiqat işində ASTER GDEM v3 (1arc – second Resolution) DEM fayllarından istifadə olunmuşdur.

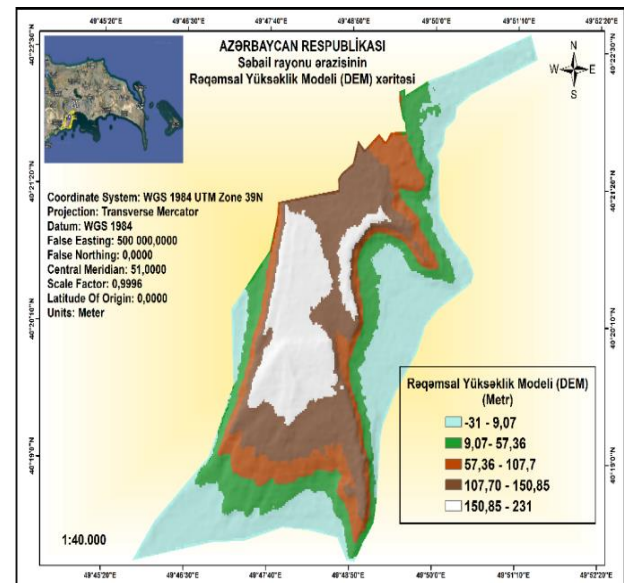
Alınan DEM məlumatlarından ArgGIS 10.5 proqramında məkan analizi (spatial analyst) alətindən istifadə etməklə, yamac, aspekt və yamac əyriliyi kimi parametrlər təyin edilmişdir.

Tədqiqat sahəsinin 1:40 000 miqyasında yüksəklik xəritəsi rəqəmsal yüksəklik modelindən hazırlanmış və 5 fərqli sinifə bölünmüşdür (şəkil 7). Daha sonra bu yüksəklik dəyərləri sürüşmə sahələri ilə üst-üstə düşmüş və hündürlüklə sürüşmə arasında əlaqə müəyyən edilmişdir.

Normallaşdırılmış Differensial Vegetasiya İndeksinin (NDVI) bitki örtüyünün yaşıllığını təyin edən indeksdir [4]. Bitki örtüyü olmayan və ya seyrək olan bölgələr sürüşməyə daha həssasdır. Bitki ilə örtülmüş ərazilərdə eroziya effekti azaldığı üçün sürüşməyə həssaslıq da azalır.

Earthexplorer saytıdan əldə edilən Landsat 8-9 OLI/TIRS peyk təsviri əsasında tədqiq olunan ərazidə bitki örtüyünün sıxlığını müəyyən etmək üçün NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) göstəriciləri ArcGIS 10.8 proqramında təsnif edilmiş və Map Algebra alətindən istifadə etməklə hazırlan-

mış, xəritə şəklində təqdim edilmişdir (şəkil 8). NDVI göstəriciləri -1 ilə +1 arasında dəyişir. Şəkil 9-da görünən mənfi dəyərlər, su, qar, qaya, torpaq örtüyü və bitki örtüyü olmayan əraziləri göstərir. Müsbət dəyərlər sıx bitki örtüyü olan əraziləri göstərir [4].



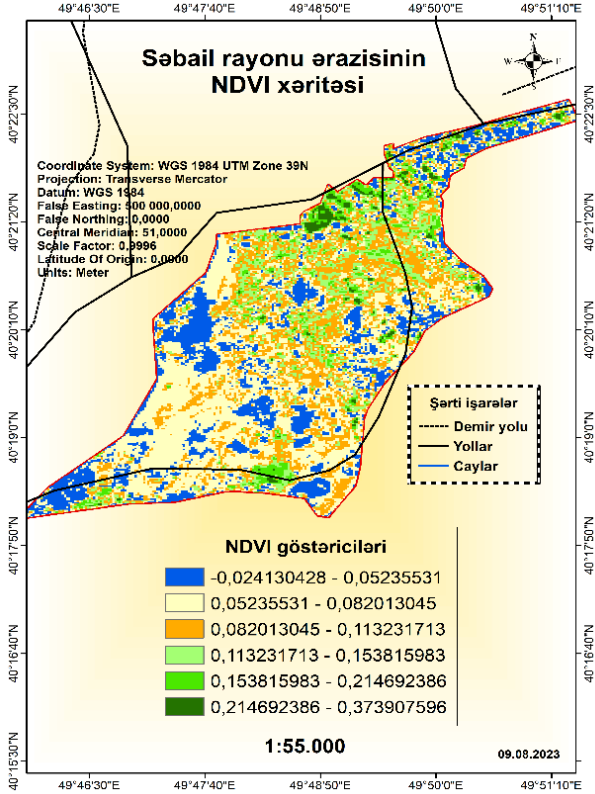
Şəkil 7 – Tədqiqat sahəsinin Rəqəmsal Yüksəklik Modeli (DEM) xəritəsi

Figure 7 – Digital Elevation Model (DEM) map of the study area

Sürüşmə həssaslığının qiymətləndirilməsi ilə bağlı aparılan tədqiqatlarda həssaslıq analizi zamanı bir çox fərqli üsuldan istifadə edilir. 1980-ci illərin əvvəllərindən başlayaraq texnologiyanın inkişafı və Coğrafi İnformasiya Sistemlərinin (CIS) inkişafı ilə paralel olaraq sürüşməyə həssaslığın qiymətləndirilməsində ədəbiyyatda geniş istifadə olunan əsas metodlar keyfiyyət və kəmiyyət metodlarıdır. Sürüşməyə həssaslıq xəritələrinin yaradılmasında istifadə olunan metodlar aşağıdakılardır:

1. Logistik Regressiya (LR)
2. Tezlik nisbəti (Frequency Rate (FR))

3. Analitik İerarxiya Prosesi (Analytical Hierarchy Process (AHP)).



Şəkil 8 – Tədqiqat sahəsinin Normallaşdırılmış Differensial Vegetasiya İndeksi (NDVI) xəritəsi
Figure 8 – Normalized Differential Vegetation Index (NDVI) map of the study area

Həssaslıq xəritələrinin yaradılmasında ədəbiyyatlarda ən çox istifadə edilən 3 metod arasında ikinci metod olan tezlik nisbəti (FR) metodundan istifadə edilir [5].

Tədqiqat işində tədqiqat ərazisi üzrə sürüşməyə həssaslıq xəritələrinin yaradılmasında Tezlik nisbəti metodundan (FR) istifadə edilmişdir.

Tezlik nisbəti bir vəziyyətin baş vermə ehtimalının baş verməməsi ehtimalına nisbətidir. Bu metodun geniş yayılması onun asan tətbiqi və başa düşülməsi ilə izah edilə bilər.

İlk növbədə ArcGIS 10.8 proqram təminatında parametr xəritələri (Rəqəmsal Yüksəklik Modeli (DEM), Meyillilik (Yamac), Topoqrafik Nəmlik İndeksi (TWI), Normallaşdırılmış Differensial Vegetasiya İndeksi (NDVI), Baxarlılıq (Aspekt), Hillshade xəritələri hazırlanır və intensivliyin hesablanması ilə tezlik nisbəti FR dəyəri hesablanır. Daha sonra parametr xəritələri yenidən təsnif edilir və toplama prosesi nəticəsində sürüşmə həssaslıq xəritəsi hazırlanır [5].

Tezlik nisbəti metodunun əsasını aşağıdakı tənlikdə verilmiş hər bir parametrin altkateqoriyaları üçün hesablanan a və b əmsalları təşkil edir. Buradakı proses hər bir parametrin və hər bir altqrupun piksel sayını və hər bir parametrin hər bir altqrupunda sürüşmə sahələri ilə üst-üstə düşən piksellərin sayını təyin etməklə FR dəyərini hesablamaqdır.

$$FR = a / b$$

Burada: FR - Tezlik nisbəti, a - parametr altqrupunda sürüşmə sahələrinin piksellərinin sayının ümumi sürüşmə sahələrinin piksellərinin sayına nisbəti; b - parametr altqrupunun nəzərdən keçirilən sahədəki piksellərin sayının öyrənilən sahədəki piksellərin ümumi sayına nisbətidir.

Göstərilən hər bir parametrin altqrupunun FR dəyəri tapılır, müvafiq məlumat bazasına ötürülür və CİS mühitində işə salınır. Sürüşməyə Həssaslıq İndeksi (LSI) dəyərini əldə etmək üçün ayrıca hesablanmış FR dəyərləri olan parametrlər ArcGIS 10.8 proqram təminatında toplanır.

$$LSI = \sum FR$$

burada: LSI sürüşmə həssaslığını ifadə edən, $\sum$ FR tədqiqat sahəsindəki hər piksel üçün hesablanan FR dəyərlərinin riyazi cəminə bərabərdir.

Ədədi üsullarla sürüşməyə həssaslıq xəritələri hazırlanarkən, ilk növbədə, yamacların dayanıqlığına nəzarət edən və ya sürüşməyə səbəb ola biləcək bir sıra parametrləri və onların çəki qiymətlərini (sürüşmələrə təsirini) müəyyən etmək lazımdır. Bu məqsədlə sürüşmələrin ərazi üzrə paylanması ilə sürüşmələrə səbəb ola biləcək amillər arasında əlaqələr müəyyən edilir.

Sürüşməyə təsir edən parametr xəritələri yaradaraq, onları yenidən təsnif etməklə, alt qruplara bölünmüş parametrlərin və onların altqruplarının piksel sayları müəyyən edilmişdir. Bu proses bütün parametr xəritələri üçün ayrıca aparılmışdır.

Yenə ArcGIS 10.8 proqram təminatının köməyi ilə müəyyən edilmiş parametrlər və alt qruplardakı piksel nömrələri Excel cədvəlinə daxil edilmiş və bütün parametrlər və alt qruplar üzrə tezlik təyini aparılmışdır. Bu məlumatlar sayəsində bütün parametr alt qruplarının a və b əmsalları tapılaraq FR dəyəri hesablanmışdır.

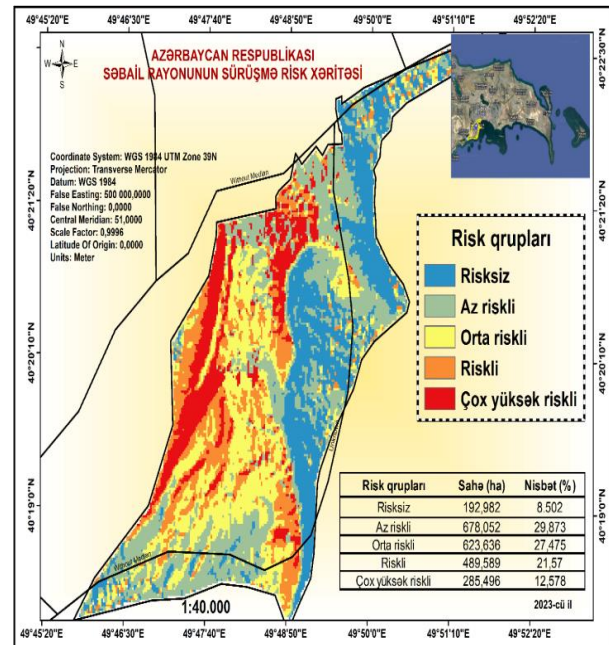
Ədəbiyyatlarda olan FR dəyərinə əsasən FR dəyərinin 1-dən böyük olması sürüşmə əmələ gəlməsində nisbətən daha təsirli olduğu, 1-dən kiçik FR dəyərinin sürüşmə əmələ gəlməsində daha az təsir göstərdiyi bildirilir.

Yuxarıda göstərilən Sürüşmə Həssaslıq İndeksi (LSI) dəyəri açıq şəkildə aşağıdakı kimi yazılır [6]:

$LSI = Fr (Meyillilik) + Fr (DEM) + Fr (NDVI) + Fr (Aspekt) + Fr (TWI) + Fr (Hills-hade)$

Tədqiqat işində sürüşməyə həssaslığın təhlili üçün sürüşmələrə təsir edən 6 parametr xəritəsindən istifadə edilmiş və tədqiqat ərazisi olan Səbail rayonunun Sürüşmə Həssaslıq İndeksi (LSI - Landslide Susceptibility Index)

xəritəsi ArcGIS 10.8 proqram versiyasında tərtib edilmiş, 1:40 000 miqyasında elektron xəritə şəklində təqdim olunmuşdur (şəkil 9).



Şəkil 9 – Səbail rayonunun sürüşməyə həssaslıq indeksi (LSI) xəritəsi

Figure 9 – Landslide susceptibility index (LSI) map of Sabail region area

Cədvəl 2 – FR metodu ilə Səbail rayonunun sürüşmə riskli ərazilərinin sahə və faiz göstəriciləri
Table 2 – Field and percentage indicators of landslide risk areas of Sabail region by FR method

Risk qrupları	Həssaslıq dərəcəsi	Sahə (ha)	Nisbət (%)
Risksiz	5	192,982	8.503
Az riskli	4	678,052	29,874
Orta riskli	3	623,636	27,475
Riskli	2	489,589	21,570
Çox yüksək riskli	1	285,496	12,578

Tədqiqat aparılan ərazinin sürüşməyə həssaslığını qiymətləndirmək üçün proqram təminatı vasitəsilə bərabər intervallara bölünərək risksiz, az riskli, orta riskli, riskli, çox yük-

sək riskli olaraq 5 sinifə ayrılmış, təsnifat göstəriciləri cədvəl həmçinin histqram şəklində təqdim olunmuşdur (cədv. 2).

Nəticə

Hazırlanmış parametr xəritələri və ərazinin risk təsnifatına əsaslanaraq görürük ki, tədqiq olunan ərazinin 21,570 %-i (489,589 km²) “Riskli”, 12,578 %-i (285,496 km²) “Çox yüksək riskli” həssaslıq zonaları kimi qiymətləndirilmişdir. Bu zonalar əsasən

ərazinin şimal və qərb hissələrində yerləşir. Risksiz ərazilər isə tədqiq olunan ərazinin 8.503 %-ni (192,982 km²) təşkil edir.

Bu məlumatlar bölgədə risklərin idarə olunması və müvafiq tədbirlərin görülməsi üçün faydalı ola bilər.

Maraqlar münaqişəsi

Müəlliflər bu məqalədə araşdırılması tələb olunan maraqlar münaqişəsinin olmadığını qeyd edirlər.

REFERENCES

1. **Yalçın A.**, (2007), Heyelan Duyarlılıq Haritalarının üretilmesinde Analitik Hiyerarşi Yönteminin ve CBS'nin Kullanımı, Selçuk Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 23(3), 1-14
2. **Wilson J.P. and Gallant J.C.** (2000) Digital Terrain Analysis. In: Wilson, J.P. and Gallant, J.C., Eds., Terrain Analysis: Principles and Applications, John Wiley & Sons, New York, 1-27
3. **Florinsky, I.V.** Digital Terrain Analysis in Soil Science and Geology, 2nd ed.; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2016
4. **Əsgərov K.Ə.** Müxtəlif zamanlı kosmik təsvirlər əsasında Ağdam rayonu ərazisinin təbii obyektlərinin vəziyyət parametrlərinin qiymətləndirilməsi / K.Ə. Əsgərov, E.F. Fətiyeva // Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri. – 2022. – Vol. 14, No. 1. – P. 125-130.
5. **Wilson, J.P.** Environmental Applications of Digital Terrain Modeling; Wiley Blackwell: Hoboken, NJ, USA, 2018
6. **Atkinson PM, Massari R.**, 2011. Autologistic modelling of susceptibility to landsliding in the central apennines, Italy, Geomorphology. doi: 10.1016/j.geomorph.2011.02.001