

<http://doi.org/10.58225/sw.2025.1-94-98>

YÜKSƏK SƏVİYYƏLİ SİNTEZ (HLS) MƏLUMATLARINA ƏSASƏN SÜRÜŞMƏYƏ MEYİLLİ YAMACLARIN RƏQƏMSAL YÜKSƏKLİK MODELİNİN (DEM) DƏQİQLİYİNİN QIYMƏTLƏNDİRİLMƏSİ TEXNOLOGİYASI

Qəniyeva Saçlı Abdulxaq- t.e.n., dosent, Geomatika kafedrası, AzMİU,
s.ganiyeva@hotmail.com

Mehdiyev Cavid Teymur oğlu- baş müəllim, Geomatika kafedrası, AzMİU
cavidmehdi1977@gmail.com

Xülasə. Məqalədə sürüşməyə meyilli ərazilərin rayonlaşdırılması məqsədilə 1:2000 miqyaslı rəqəmsal topoqrafik xəritələrin və hava lazer skanının (HLS) məlumatlarından əldə edilən rəqəmsal yüksəklik modelinin (DEM) istifadəsi üçün əsas müddəalar təqdim olunmuşdur. Tədqiqatın əsas istiqaməti sürüşməyə meyilli yamacların relyefinin rəqəmsal modelini yaratmaq üçün istifadə olunan lazer əksətmə nöqtələrinin kifayət qədər sıxlığı müəyyən edilmişdir. Bu prosedur xarakterik ərazilərdə yaradılmış modelə əlavə nəzarət olmadan havadakı lazer skan nöqtələrinin buludundan rəqəmsal relyef modelinin yaradılması prosesini avtomatlaşdırmaq üçün lazımdır. Bu, öz növbəsində, modelin keyfiyyətini və etibarlılığını itirmədən sürüşməyə meyilli ərazilərin rəqəmsal relyef modelinin yaradılması üçün sərf olunan vəsaiti azaldacaq.

Açar sözlər: CİS, rəqəmsal yüksəklik modeli, havadan lazer skan edilməsi, sürüşmə prosesləri, dəqiqlik.

TECHNOLOGY FOR ASSESSING THE ACCURACY OF THE DIGITAL ELEVATION MODEL (DEM) OF LANDSLIDE-PRONE SLOPES BASED ON HIGH-LEVEL SYNTHESIS (HLS) DATA

Ganiyeva Sachli Abdulkhag- PhD in tech. sc., ass. prof., department of Geomatics, AzUAC,
s.ganiyeva@hotmail.com

Mehdiyev Javid Teymur- senior lecturer, department of Geomatics, AzUAC,
cavidmehdi1977@gmail.com

Abstract. This paper presents the main provisions for using digital elevation models (DEMs) derived from 1:2000 scale digital topographic maps and airborne laser scanning (ALS) data for the purpose of zoning landslide-prone areas. The primary focus of the study was to determine a sufficient density of laser reflection points to be used to create a digital elevation model of landslide-prone slopes. This procedure is necessary to automate the process of creating a digital terrain model from a cloud of airborne laser scanning points and does not require additional control of the created model in feature areas. This reduces the cost of creating digital terrain models in landslide-prone areas without compromising model quality and reliability.

Keywords: GIS, digital elevation model, airborne laser scanning, landslide process, accuracy

Giriş. Əhalinin artması və dağlıq ərazilərdə yaşayış məntəqələrinin genişlənməsi sürüşmə kimi təbii fəlakətlərin təsirini xeyli artırmışdır. Buna görə də sürüşmə təhlükəsi zonalarını dəqiq proqnozlaşdırma bilən modellərin işlənilib hazırlanması vacibdir. Bu illər ərzində sürüşmə təhlükəsi zonalarını proqnozlaşdırmaq üçün müxtəlif texnika və modellər işlənilib hazırlanmışdır. Bu yazının məqsədi sürüşmə proqnozu modellərinin dəqiqliyinə nail olmaqdır. Metodologiya tədqiqat sahəsinin seçilməsini, məlumatların əldə edilməsini, məlumatların işlənməsini və modelin işlənməsini, həmçinin məlumatların təhlilini əhatə edir. Sürüşmə əmələgəlmə amillərinin kompleks təhlili və regional səviyyədə sürüşmə təhlükəsi olan ərazilərin müəyyən edilməsi CİS əsasında aparılır, bunun üçün

rəqəmsal topoqrafik plan və ya geniş ərazilər üçün müfəssəl rəqəmsal relyef modeli olmalıdır. Bu halda, əldə edilən modelin tamlığı rayonlaşdırmanın keyfiyyətinə birbaşa təsir edəcəkdir [1].

Sürüşmə potensialına görə əmək intensivliyi, hava şəraitindən asılılıq, mövsümlilik və istənilən ərazinin (davamlı bitki örtüyü olan ərazilər, yaşayış məntəqələri və s. daxil olmaqla) tədqiqi üçün istifadə imkanlarına uyğun olaraq rayonlaşdırma məqsədi ilə rəqəmsal relyef modelinin alınması üçün optimal üsul hava lazer skan edilməsi ola bilər [2]. Bu gün Azərbaycan ərazisində havada lazer skan etmə texnologiyasının istifadəsi ilə bağlı yalnız sənaye üçün xüsusi təlimatlar mövcuddur, lakin yüksək dəqiqlik yaratmağa yönəlmiş mühəndis-geoloji tədqiqatların bir hissəsi kimi hava lazer skan etmə üsullarının istifadəsi üçün (DEM-lər, topoqrafik plan və xəritələrin yenilənməsi və s. iş növləri) zəruri vahid tənzimləmə bazası yoxdur [3]. Buna görə də, sürüşmə təhlükəsi dərəcəsinə uyğun olaraq ərazilərin rayonlaşdırılması üçün lazer yerləşdirmə nöqtələrinin buludundan əldə edilmiş DEM-dən istifadənin mümkünliyünü müəyyən edəcək havada lazer skanının nəticələrinin keyfiyyətini öyrənmək lazımdır.

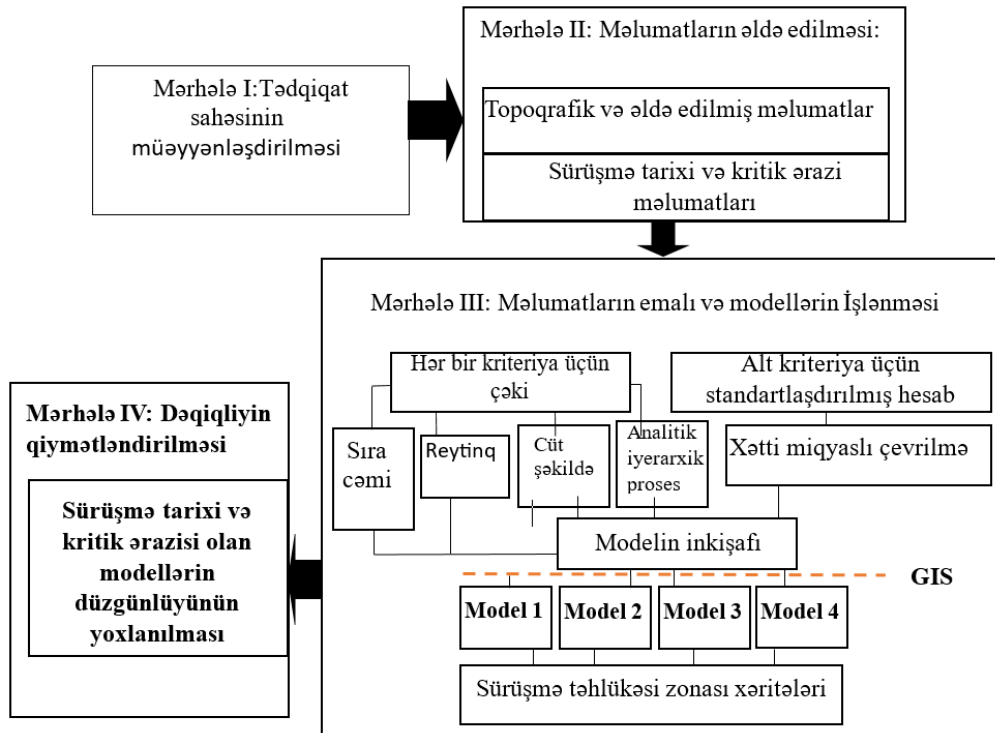
Metodologiya. Normativ sənədlərə [4,5,6] uyğun olaraq sürüşmə sahələrinin 1:2000 miqyaslı topoqrafik planının DEM-i 2,0 m kəsmə yüksəkliyində relyef modelinə uyğun olmalıdır, yaşayış məntəqələri üçün isə kəsmə yüksəkliyi 1,0 m olan relyefdən istifadə etmək mümkündür. Bu halda orta kvadrat xəta 1:2000 miqyaslı relyef modellərində 2 m kəsmə yüksəkliyində: meşə ilə örtülməyən ərazilər üçün 0,66 m və meşəlik ərazilər üçün 0,99 m-dən artıq olmamalıdır. 1,4 əmsalından istifadə etməklə, 2 m-lik kəsmə yüksəkliyində relyefin ölçülməsinin orta kvadrat xətası 0,92 m-dən və meşə sahələri üçün 1,38 m-dən çox olmamalıdır. Bu ənənəvi ərazi tədqiqatının dəqiqlik parametrləri havadan lazer skanından əldə edilən DEM-in düzgünlüyünü qiymətləndirmək üçün istifadə edilmişdir.

Səthin topoqrafiyasını təmsil etmək üçün tələb olunan nöqtələrin sayı ilə modeli qiymətləndirməyin ən effektiv yolu çarpaz doğrulama üsuludur. Onlardan bəziləri əsas nöqtə toplusundan çıxarılır və qalan nöqtələrdən DEM yaradılır. Bundan sonra, orijinal DEM-in yüksəklikləri ilə azaldılmış nöqtələr toplusundan yaradılmış DEM arasındakı fərq (səhv) hesablanır. İncəlmə prosesi normal nöqtələr şəbəkəsi yaratmaq və istinad DEM-dən şəbəkə qovşaqlarında yüksəklikləri hesablamaqla mümkündür. Nöqtələrin sıxlığı şəbəkənin tərəflərinin ölçüsündən asılı olaraq dəyişir. Sonra, əldə edilən səhvlərin statistik təhlili aparılır. Bu texnika sürüşməyə meyilli yamacın relyef elementlərinin görünməsinin məqsədəuyğunluğunu itirmədən DEM-in qurulması üçün nə qədər nöqtə lazım olduğunu təxmin etməyə imkan verir.

Yekun fikirlər.. Ümumiyyətlə, tədqiqat metodologiyası 4 mərhələdən ibarətdir: tədqiqat sahəsinin müəyyənləşdirilməsi, məlumatların əldə edilməsi, məlumatların emalı və modelin işlənməsi və hazırlanmış modellərin düzgünlüyünün qiymətləndirilməsi (Şəkil 1.). Hazırkı işdə sürüşmə təhlükəsi zonasını həyata keçirmək üçün çox kriteriyalı qərar təhlili və GIS üsullarından istifadə olunur.

Cədvəl 1. İstifadə olunan sürüşmə meyarları və vahidləri

Faktorlar	Vahid
Yamac	dərəcə
Torpaq Xüsusiyyətləri	Növü
Torpaqdan İstifadə	Növü
Litologiya	Növü
Geomorfologiya	Növü
Axın yığılması	piksel
Aspekt	dərəcə
Çayının yaxınlığı	metr
Yola yaxınlıq	metr



Şəkil 1. Tədqiqat Metodologiyası

Məlumatların alınmasında müxtəlif dövlət idarələrinin və sürüşmə ilə əlaqədar qurumların ekspertləri ilə aparılan müzakirələrə əsasən, müxtəlif səbəblərdən; yamac, aspekt, litologiya, qruntun xüsusiyyətləri, geomorfologiya, torpaqdan istifadə və axın toplanması, çaya yaxınlıq və yola yaxınlıq (Cədvəl 1) istifadə olunur. Rəqəmsal topoqrafik xəritə tədqiqat sahəsində Leica ALS70-CP hava lazer skanerindən istifadə etməklə ölçmələr əsasında yaradıla bilər.

Hava lazer skanerinin nəticələrinə və nəticələrin kameral emalına əsasən, hava lazer skanerinin nöqtələrinin plan-yüksəklik vəziyyətinin mövqeyinin düzgünlüyünü öyrənmək üçün “Yerin” lazerlə əks olunma nöqtələrini təsvir edən məlumat massivini əldə etmək olar. Nəzarət yamaclarında bu nöqtələr massivindən istifadə edərək DEM yaratmaq mümkündür.

DEM-in yüksəklik əsasının dəqiqlik dəyərlərinə görə, 1:2000 miqyaslı topoqrafik planda relyefin çəkilişində orta xəta təxminən 20°, sərt mailikli yamac üçün 2 m kəsmə yüksəkliyində yerdəyişmə 0,66 m-dən çox olmamalıdır. Bu dəyər həqiqi səthi təsvir edən orijinal DEM-in yüksəklikləri ilə onun əsasında seyrəkləşdirilmiş nöqtələr massivindən yaradılmış DEM-in yüksəklikləri arasındakı səhvləri müqayisə edərkən hədd kimi qəbul edilir.

Qeyd edilənləri nəzərə alaraq nəzarət sürüşmə sahəsi üçün sürüşmə yamacının relyefi maksimum dərəcədə əks etdirən istinad DEM-in yaradılması məqsəduyğundur. Bu məqsədlə ArcGIS-də tərəf ölçüsü 1 m (kvadrat tor) olan çoxbucaqlı şəbəkə yaradılmalıdır. Torpaq qovşaqlarında sürüşmə yamacına xas olan yüksəkliklər təyin edilməli bir sıra əlavə nöqtələr yaradılmalıdır.

Müzakirə. Verilmiş hündürlükləri olan bu nöqtələr massivi əsasında piksel ölçüsü 1×1 m olan GRID səthi yaradılmalıdır.

200×250 m-lik bir sahə üçün istinad DEM yaratmaq üçün yüksəkliyi məlum olan nöqtələrin sayı 50.000 olmalıdır. Ərazinin sahəsi 5 hektar və ya 50.000 m²-dir. DEM qurmaq üçün nöqtələrin sıxlığı belədir

$$\frac{50000 \text{ nöqtə}}{50000 \text{ m}^2} = 1 \text{ nöqtə/m}^2 = 100 \text{ nöqtə/100 m}^2$$

1 m² piksel ölçüsü ilə müqayisə edilmiş GRID səthləri müxtəlif şəbəkə ölçüləri olan çoxbucaqlı poliqon qovşaqları əsasında yaradılmışdır - 2x2 m, 5x5 m, 10x10 m, 15x15 m, 20x20 m, onlar üçün yüksəkliklər istinad DEM ilə çıxarılmalıdır.

1 m²-də müxtəlif lazer əksətdirmə nöqtələrinin sıxlığı olan modellərin müqayisəsi ArcGIS proqramında mümkündür. Müxtəlif sıxlıqlı lazer əksətdirmə nöqtələri əsasında GRID səthləri yaradıla bilər, onların piksel ölçüsü 0,10 × 0,10 m (6°-yə qədər yamac bucaqları olan düz, təpəli, sərt relyef üçün), 0,05 × 0,05 m (dağlıq və dağətəyi ərazilər üçün) yamac bucaqları təxminən 6°). GRID modeli, mənbə məlumatlarını interpolasiya etməklə əldə edilən yüksəklik dəyərlərinin müntəzəm matrisidir. Hər bir matrisin hündürlüyü interpolasiya əsasında hesablanır. Əslində, bu, ölçüləri həll olunan konkret problemin dəqiqlik tələblərinə uyğun olaraq təyin olunan bir şəbəkədir. Yaradılmış modelləri səthin topoqrafiyasını göstərmək üçün lazım olan lazer əks etdirmə nöqtələrinin sayı ilə qiymətləndirmək üçün müqayisə edilən, seyrək DEM-lərin hündürlükləri istinad DEM-in yüksəkliklərindən çıxarılmışdır. Bu əməliyyat ArcGIS Spatial Analyst modulunun funksionallığından istifadə etməklə həyata keçirilə bilər. Hər bir müqayisə edilmiş DEM cütü üçün piksellərinə hündürlük fərqi dəyərləri təyin edilmiş GRID rasteri yaradıla bilər.

Ənənəvi üsullardan-taxeometrik planalmadan istifadə etməklə DEM-in yaradılmasına dair təlimatda [4] planalma piketlərinin tələb olunan sayı onların arasındakı maksimum məsafə ilə müəyyən edilir. 1:2000 miqyasda və relyefin kəsiyi 2m üçün qiyməti 50 m-dir. Əgər adi şəbəkədə normativ tələblərə uyğun olaraq alınmış relyef modelinin istinad modeli ilə DEM yaradarkən bu dəyəri şərti olaraq piksel ölçüsü kimi götürsək, onda şərti olaraq uyğunluğunu qiymətləndirmək olar. Bu məqsədlə ayrı-ayrılıqda 50×50 m piksel ölçüsü olan çoxbucaqlı poliqon yaradılmışdır. Onun qovşaqlarına istinad DEM-dən çıxarılan yüksəkliklər təyin edilməlidir. Bu çoxbucaqlı şəbəkənin düyün nöqtələrindən istifadə edərək, piksel ölçüsü 1 m olan müqayisə edilmiş GRID səthi interpolasiya edilməlidir.

Beləliklə, modelləri səthin topoqrafiyasında tələb olunan nöqtələrin sayı ilə qiymətləndirmək üçün müqayisə edilən DEM-lərin yüksəklikləri istinad DEM-in yüksəkliklərindən çıxarılır.

Cədvəl 2-də birinci nəzarət yamacı üçün müxtəlif ölçülü müntəzəm şəbəkə qovşaqları əsasında əldə edilmiş istinad və müqayisə edilmiş DEM-lərin hündürlükləri arasında səhvlərin statistik təhlili məlumatları əks etdirilmişdir. Müqayisə zamanı orta xəta, xətanın aşağı həddi, xətanın yuxarı həddi və O.K.S. kimi statistik göstəricilər nəzərə alınır.

Cədvəl 2. İstinad hündürlükləri arasında səhvlərin statistik təhlili və birinci nəzarət yamacının müqayisəli rəqəmsal yüksəklik modelləri

Adi kvadrat şəbəkə ölçüsü	2m	5m	10m	15m	20m	50m
DEM yaratmaq üçün nöqtələrin sayı	12500	2000	500	208	120	20
100 m ² -də nöqtələrin orta sıxlığı	25	4	1	0.41	0.24	0.04
Orta səhv	0.04	-0.02	-0.04	-0.06	0.08	0.10
Aşağı xəta həddi	-0.19	-0.62	-0.89	-1.62	-3.13	-6.14
Yuxarı xəta həddi	0.13	0.61	0.78	1.50	3.44	6.31
O.K.S.	0.09	0.25	0.31	0.67	1.30	2.63

Nəticə. Nəzərə alınan sürüşmə yamaclarında mailliyi 15°-dən çox olan analizlər nəticəsində etibarlı DEM yaratmaq üçün lazım olan nöqtələrin minimum sıxlığı müəyyən edilmişdir. Yamacın dikliyinin artırılması onlardan DEM yaratmaq üçün minimum nöqtə sayına təsir göstərmir. Relyefin tədqiqi zamanı orta xətalara 5 sm-dən çox olmamalıdır. Əgər maksimum xətalara (istinadın hündürlüyündə maksimum fərqlər və seyrəkləşdirilmiş DEM) nəzərə alınmırsa, sürüşmə yamaclarının relyefini düzgün göstərmək üçün rəqəmsal model, nəzarət sahələrinin əlavə vizual təftişi tələb olunacaq, bu da öz növbəsində işin məhsuldarlığını azaldır və onları avtomatik olaraq yaratmağa imkan vermir. Nəzarət sürüşmə sahələri üçün əldə edilmiş nöqtə sıxlığı dəyərlərini təhlil edərək, onların konfigurasiyası və ümumi yamacın dikliyi ilə fərqlənən maksimum tədqiqat sahələrini nəzərə alaraq,

aşağıdakı nəticəyə gələ bilərik: sürüşmə yamaclarının DEM-ni yaratmaq üçün tələb olunan nöqtə sıxlığı, sürüşmə təhlükəsi olan ərazilərin müəyyən edilməsi məqsədi üçün ən azı 4 nöqtə /100 m² olmalıdır. Sürüşmənin dəqiq proqnozlaşdırılması modellərinin hazırlanması aidiyyəti dövlət qurumlarına gələcək inkişaf üçün risk sahələrini müəyyən etməkdə və yüksək riskli ərazidə işlənmə aparılacağı təqdirdə təsirin azaldılması tədbirlərinin hazırlanmasında kömək edə bilər.

Sürüşmə təhlükəsi zonası xəritələri ArcGIS proqramında yaradılan işlənmiş modellərdən alınır və bütün hazırlanmış modellər üçün ərazi faizi və təhlükə sinfi arasında müqayisə edilir. Modellərin düzgünlüyünün qiymətləndirilməsi hazırlanmış modellərin sürüşmə təhlükəsi sinfini sürüşmə tarixi məlumatları və ya sürüşmə izi ilə müqayisə etməklə müəyyən edilir. Sürüşmə təhlükəsi zonası xəritələri sürüşmə tarixi məlumatlarının və sürüşmə üçün kritik ərazinin yerini göstərir. Təhlildən istifadə ediləcək ən yaxşı və ya ən uyğun modeli müəyyən etmək üçün dəqiqlik faizi əldə edilir.

İstinadlar

1. Кузин, А. А. (2014). Геодезическое обеспечение зонирования территорий по степени опасности проявлений оползневых процессов на основе применения ГИС-технологий (Диссертация кандидата технических наук). Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург.
2. Wehr, A., & Lohr, U. (1999). Airborne laser scanning – an introduction and overview. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 54, 68–82.
3. РД-91.020.00-КТН-042-12. (2012). Инженерные изыскания для строительства магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов: Руководящий документ.
4. ГКИНП-02-033-82. (1985). Инструкция по топографической съемке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500. Москва: Недра.
5. ПНИИИС. (1984). Рекомендации по количественной оценке устойчивости оползневых склонов. Москва: Стройиздат.

References

- 1.Kuzin, A. A. (2014). Geodetic support for zoning territories by the degree of landslide hazard based on GIS technologies (Candidate of Technical Sciences dissertation). National Mineral Resources University "Mining", St. Petersburg, 133 p.
- 2.Wehr, A., & Lohr, U. (1999). Airborne laser scanning – an introduction and overview. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 54, 68–82.
- 3.РД-91.020.00-КТН-042-12. (2012). Guidance document: Engineering surveys for the construction of main oil and oil product pipelines.
- 4.ГКИНП-02-033-82. (1985). Instruction on topographic surveying at scales 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500. Moscow: Nedra, 151 p.
- 5.ПНИИИС. (1984). Recommendations for the quantitative assessment of landslide slope stability. Moscow: Stroyizdat, 80 p.
- 6.СП 11-104-97. (1997). Engineering and geodetic surveys for construction. Moscow: PNIIS, 91 p.

Məqaləyə istinad: Qəniyeva, S. A., Mehdiyev, C. T. (2025). Yüksək Səviyyəli Sintez (HLS) məlumatlarına əsasən sürüşməyə meyilli yamacların Rəqəmsal Yüksəklik Modelinin (DEM) dəqiqliyinin qiymətləndirilməsi texnologiyası. Elmi Əsərlər/Scientific Works, AzUAC, 94-98

For citation: Ganieva, S. A., Mehdiyev, J.T. Technology for Assessing the Accuracy of the Digital Elevation Model (DEM) of Landslide-Prone Slopes Based on High-Level Synthesis (HLS) Data. Elmi Əsərlər/Scientific Works, AzUAC, 1, 94-98

Redaksiyaya daxil olma/Received 18.09.2024

Çapa qəbul olunma/Accepted for publication 18.11.2024