



UOT: 528.21

<https://doi.org/10.59849/2409-4838.2025.1.100>

KVAZİGEOİD MODELİNİN QURULMASI ZAMANI İSTİFADƏ EDİLƏN YÜKSƏKLİK SİSTEMLƏRİ

Zahid Zakir oğlu İdriszadə 

Bakı Mühəndislik Universiteti, Xırdalan, Azərbaycan
zahid.idriszade@gmail.com

Yerin forması dedikdə səthin bərk və maye kütləsi ilə atmosfer arasındakı sərhəd başa düşülür. Bərk hissələr girintilər və çıxıntılar səbəbindən hamar səth deyil və bu relyefi müəyyən edir. Yüksəklik normaları qravitasiya sahəsi ilə müəyyən edilə bilər. Ağırlyq qüvvəsinin istiqaməti praktikiada şaqul xəttinə uyğun gəlir. Ölçmələrdə şaqul xəttinin rolu çox vacibdir. Ölçmə alətlərinin ağırlyq səthləri şaqul xəttinə görə nizamlanır.

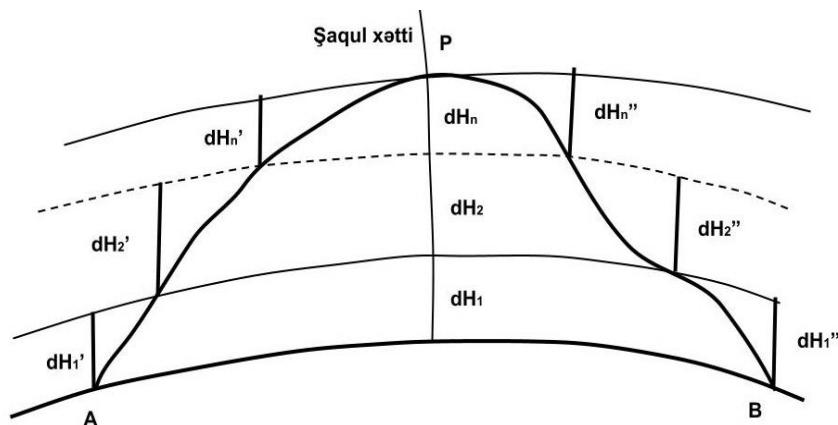
Yer səthindəki nöqtələrin yüksəkliklərini müəyyən etmək üçün başlanğıc səthi və bu səthə perpendikulyar istiqamətlər müəyyən edilməlidir. Yer səthində ən asanlıqla müəyyən edilən istiqamətlər şaqul xəttinə nəzərən edilən istiqamətlərdir. Məlum olduğu kimi səviyyə səthi şaqul xəttinə perpendikulyardır. Dünya okeanın sakit vəziyyətdəki səthinin və onun qitələr üzərində davamına uyğun olan ağırlyq qüvvəsi potensialının bərabər qiymətlərinin yaratdığı mürəkkəb həndəsi səth isə Geoid səthidir. Geoid Yerin fiqurunu müəyyən edir, onun dağlardan və dəniz hövzələrindən təşkil olunmuş fiziki səthindən əhəmiyyətli dərəcədə fərqlənir. Geoid vəziyyəti hər yerdə ayrı-ayrılıqda Yerin süni peyklərinin hərəkətini müşahidə etməklə, geodezi-astronomik və qravimetrik məlumatlara əsasən tapılır. Müvafiq olaraq yüksəkliklər şaqul xətti istiqamətində səviyyə səthinə yəni geoidə qədər olan məsafədir.

Açar sözlər: Geopotensial, ortometrik, dinamik, ellipsoid, qravitasiya

GİRİŞ

Azərbaycanın geodeziya təminatının müasir sisteminin quruluşunda kvazigeoid yüksəkliyi modeli xüsusi yer tutur. Kvazigeoid yüksəkliyi yerüstü geodeziya ölçmələrinin nəticələrinin keçirilmə səthinə reduksiya edilməsi zamanı əhəmiyyətli olur. Ən mühümü isə odur ki, bu gün geodeziya ölçmələrinin ənənəvi plan ölçmələrinə və yüksəklik ölçmələrinə bölünməsinin və 3-ölçülü adlanan geodeziya elementlərinin geodeziya praktikasına tətbiqinin qarşısının alınmasında kvazigeoid yüksəkliyi modelinə əsas yer verilir. Bu zaman plan koordinatları, geodeziya yüksəklikləri və normal yüksəkliklər eyni geodeziya ölçmələrindən alınır [5]. Dünya yüksəklik sistemlərinin referans səthi olaraq geoid yerüstü ölçmələr və peyk texnologiyaları ilə əldə edilən koordinatlar arasında bir əlaqə kimi böyük əhəmiyyətə malikdir. Beynəlxalq miqyasda yüksəklik sistemlərinin integrasiyası üzrə işlər Beynəlxalq Geodeziya Birliyi (International Association of Geodesy - IAG) çərçivəsində Beynəlxalq Qravimetrik Büro (International Gravimetric Bureau - BGI) və Beynəlxalq Geoid Xidməti (International Geoid Service - IGeS) tərəfindən həyata keçirilir [6].

Orta dəniz səviyyəsindən hesablanan yüksəklik mütləq yüksəklik adlanır. İki nöqtə arasındakı yüksəklik fərqi isə nisbi yüksəklik deyilir. Bir nöqtənin digər nöqtəyə nisbətən yüksəkliyini hesablamaq üçün bu nöqtələrin mütləq yüksəkliklərinin fərqi tapmaq lazımdır. Hər hansı bir nöqtənin yüksəkliyi dedikdə yer səthindəki nöqtənin dəniz səviyyəsindən olan məsafəsi nəzərdə tutulur. Yəni nöqtədən keçən bərabər potensiallı səthin (nivelir səthinin) başlanğıc səthinə nə qədər uzaqda olduğu başa düşülür. Bu, müxtəlif yüksəklik sistemlərində fərqli üsullarla təyin edilə bilər. Yüksəklik sistemləri bir nöqtənin yer səthindəki mövqeyini daha dəqiq təyin etmək üçün istifadə olunur [12].



Şəkil 1. Nivelir ölçmələri

MATERIAL VƏ METODLAR

Nöqtə yüksəklikləri nivelir ölçmələri ilə müəyyən olunur. Nivelir ölçmələri əsasən relyefdən asılıdır. Nivelir ölçmələrini həyata keçirən zaman fərqli gediş yolları istifadə edildiyində eyni nöqtə üçün fərqli yüksəkliklər əldə edilir. Məsələn şəkil 1-də bir başlanğıc səthi üzərindəki A və B-dən ayrı-ayrı P nöqtəsinə nivelir gedişi edilmiş olsun. Nivelir səthləri paralel olmadığı üçün

$$\sum dH'_i \neq \sum dH''_i \neq \sum dH_i \quad (1)$$

çıxar. Yəni A-dan və B-dən P nöqtəsi üçün fərqli yüksəklik dəyərləri tapılır. Geometrik nivelir gedişini sərbəst şəkildə həyata keçirməyin yolu bərabər potensiallı gedişlər arasındakı fərqi, yəni dW -ni almaqdır.

$$dW = -g dH$$

olduğu üçün, nivelir ölçmələri zamanı əldə edilən nəticələr ilə g qravitasiyasının da hesablanması gərəkdir. Bu vəziyyətdə, yəni nivelirlə əldə edilən yüksəklik fərqi və g vasitəsi ilə tapılan potensial fərqi hesablanması zamanı hər dəfə tək gedişli nəticə alınır. Məsələn, şəkil 1-dəki A-P və B-P nivelir gedişləri üçün (1) bərabərsizliyi qüvvəsini itirir və nəticə olaraq

$$\sum g_i dH'_i = \sum g_i dH''_i = \sum g_i dH_i \quad (2)$$

bərabərliyi alınır [9].

Yüksəklik problemlərinin həlli üçün geodeziyada müxtəlif yüksəklik sistemləri qeyd olunmuşdur.

- Geopotensial yüksəklik
- Dinamik yüksəklik
- Ortometrik yüksəklik
- Normal yüksəklik
- Normal ortometrik yüksəklik
- Ellipsoid yüksəkliyi

Geopotensial yüksəklik. Bir P nöqtəsinin w_p qravitasiya potensialının başlanğıc səthinə nəzərən w_0 potensialından olan əyilməsinin əks işarəli qiymətinə o nöqtənin geopotensial yüksəkliyi deyilir.

$$C = w_0 - w_p = \int_0^p g dH \quad (3)$$

Geopotensial yüksəklik hər hansı bir uzunluq məsafəsinə malik deyil və ancaq yüksəkliklər üçün istifadə edilən təbii bir ölçü vahididir. Yüksəklik bunun bir G qravitasiya dəyərində nisbətində hesablanır.

$$\text{Yüksəklik} = \frac{C}{G} \quad (4)$$

Nivelirlə iki nöqtə arasında olan yüksəklik fərqi " $\Delta H_{\text{niv}} = \sum \Delta H_{\text{niv},i}$ " olsun. Ara nöqtələr boyunca əldə edilən orta qravitasiya $g_{\text{ort},i}$ olsa, geopotensial yüksəklik fərqi " $\Delta C = \sum g_{\text{ort},i} \Delta H_{\text{niv},i}$ " şəklində hesablanır. Ölkədə nivelir gedişi nöqtələrinin geopotensial yüksəklikləri bu fərqlərin alınmasıyla tapılır. Bununla da istənilən yüksəklik sisteminə (4) bərabərliyi ilə keçilir.

Nivelirlə əldə edilən yüksəklik fərqləri hər hansı bir yüksəklik sisteminə nəzərən hesablanmır. Bu məqsədlə ya qeyd 1-də deyildiyi kimi geopotensial yüksəkliklərə keçilərək bir-biri ilə əlaqəli yüksəkliklər hesablanır, ya da nivelirlə əldə edilən yüksəklik fərqlərinə qravitasiyanın bir funksiyası olan düzəltmələr gətirilərək müəyyən yüksəklik sisteminə yüksəklik fərqləri (məsələn ortometrik yüksəklik fərqləri) yolu ilə nöqtələrin istənilən yüksəklikləri tapılır [10].

Dinamik yüksəklik. Geopotensial yüksəkliyin normal qravitasiya dəyərində γ_0 nisbəti ilə tapılan yüksəkliyə dinamik yüksəklik deyilir.

$$H^D = \frac{C}{\gamma_0} \quad (5)$$

γ_0 dəyəri ümumiyyətlə 45° enliyində sabit bir normal qravitasiya dəyəri olaraq alınır. Hər nə qədər (5) bərabərliyi ilə geopotensial yüksəklikdən uzunluğa keçib dəqiq bir yüksəklik sistemi alınsa da, nivelir yüksəklik fərqlərinə gətiriləcək dinamik düzəltmə dəyərlərinin böyük olması səbəbi ilə dinamik yüksəklik ölçmələrdə istifadə edilə bilməz [14].

Dinamik düzəltmə. A və B kimi iki nöqtə arasında dinamik yüksəklik fərqi ΔH^D olsun. (3) və (5) bərabərliklərinə görə bu fərq,

$$\Delta H^D = \frac{1}{\gamma_0} (C_B - C_A) = \frac{1}{\gamma_0} \int_A^B g dH = \frac{1}{\gamma_0} \int_A^B (g - \gamma_0 + \gamma_0) dH = \int_A^B dH + \int_A^B \frac{(g - \gamma_0)}{\gamma_0} dH \quad (6)$$

şəklində əldə edilir [3]. İki integral,

$$\int_A^B dH \approx \Delta H_{\text{niv}} = \sum \Delta H_{\text{niv},i} \rightarrow \text{nivelir ilə əldə edilən yüksəklik fərqi}$$

$$\int_A^B \frac{(g - \gamma_0)}{\gamma_0} dH \approx \delta = \sum \frac{(g_{\text{ort},i} - \gamma_0)}{\gamma_0} \Delta H_{\text{niv},i} \rightarrow \text{Dinamik düzəltmə şəklində alına bilər.}$$

Nəticə olaraq iki nöqtə arasındakı ΔH^D dinamik yüksəklik fərqi, ΔH_{niv} nivelir yüksəklik fərqi δ dinamik düzəltməsi gətirilərək hesablanır,

$$\Delta H^D = \Delta H_{\text{niv}} + \delta \quad (7)$$

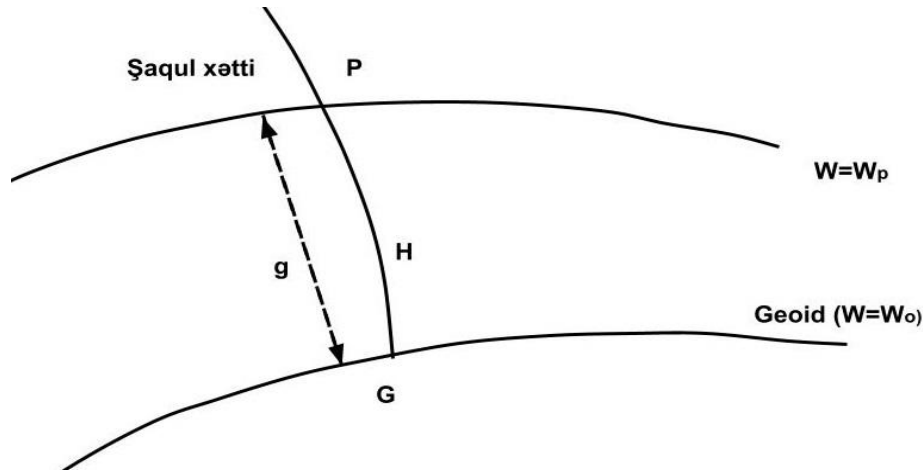
Ortometrik yüksəklik. P nöqtəsindən keçən əyrinin geoidi kəsdiyi G nöqtəsinə qədər olan uzunluğu, P nöqtəsinin ortometrik yüksəkliyi olaraq adlandırılır (şəkil 2). P nöqtəsinin C geopotensial yüksəkliyindən aşağıdakı şəkildə nəticə alınır;

$$H = \frac{C}{\bar{g}} \quad (8)$$

Burada, $\bar{g}$, geoidə qədər olan orta qravitasiya dəyəridir, praktikada P nöqtəsində ölçülən qravitasiya dəyəri g_p istifadə edilərək,

$$\bar{g} = g_p + 0,0424 \text{ (gal/km)} H \quad (9)$$

bərabərliyi ilə hesablanır.



Şəkil 2. Ortometrik yüksəklik və orta qravitasiya

Ortometrik düzəltmə. A və B kimi iki nöqtə arasındakı ortometrik yüksəklik fərqi aşağıdakı kimi yazılır;

$$\Delta H = H_B - H_A = H_B - H_A - H_B^D + H_A^D + (H_B^D - H_A^D) = \Delta H^D + (H_B - H_B^D) + (H_A - H_A^D) \quad (10)$$

Ortometrik və dinamik yüksəkliklər arasındakı fərqlər isə (6) düsturuna görə dinamik düzəltmə dəyərlərinin əks işarəlisinə bərabərdir;

$$(H_B - H_B^D) = - \frac{(\overline{g}_B - \gamma_0)}{\gamma_0} H_B \text{ və } (H_A - H_A^D) = - \frac{(\overline{g}_A - \gamma_0)}{\gamma_0} H_A \quad (11)$$

(7) və (11) bərabərlikləri (10)-da göz önünə alınarsa,

$$\Delta H = \Delta H_{niv} + \sum \frac{(\overline{g}_{ort,i} - \gamma_0)}{\gamma_0} \Delta H_{niv,i} - \frac{(\overline{g}_B - \gamma_0)}{\gamma_0} H_B + \frac{(\overline{g}_A - \gamma_0)}{\gamma_0} H_A \quad (12)$$

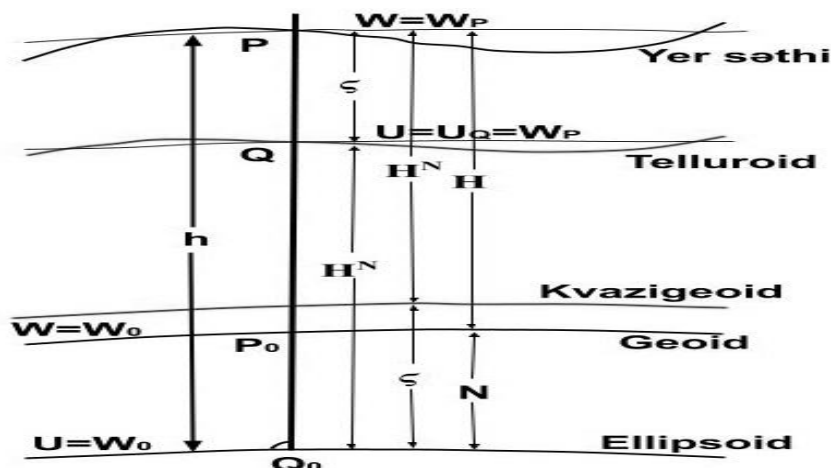
tapılar. Beləliklə, A və B nöqtələri arasında ortometrik yüksəklik fərqi üçün gedişləri nəticəsində əldə edilən ΔH_{niv} yüksəklik fərqi (12)-dəki ortometrik düzəltmə əlavə edilərək tapılacağı ortaya çıxar [13].

NƏTİCƏLƏR VƏ ONLARIN MÜZAKİRƏSİ

Normal yüksəklik. Şəkil 3-də göstərilirdiyi kimi Yer kürəsi qravitasiya sahəsinin normal qravitasiya sahəsi olduğu, yəni $W=U$, $g=\gamma$ və $T=O$ qəbul edilsin. Belə bir fərziyyəyə uyğun gələn ortometrik yüksəkliyə normal yüksəklik deyilir. Geopotensial yüksəkliyi C olan bir nöqtə üçün normal yüksəklik,

$$H^N = \frac{C}{\bar{\gamma}} \quad (13)$$

bərabərliyi ilə ifadə edilir. Burada $\bar{\gamma}$, uzanan əyri boyunca orta normal qravitasiya dəyəridir; riyazi olaraq yüksək dəqiqliklə hesablanır. Ortometrik yüksəklikdən keçən dəqiq orta qravitasiya dəyəri sıxlıq məlumatlarını özündə ehtiva edir. Buna görə də γ normal yüksəkliklər təcrübədə daha əhəmiyyətlidir [11].



Şəkil 3. Normal yüksəklik, yüksəklik anomaliyası, telluroid və kvazigeoid

Fiziki səthdən normal yüksəklik qədər aşağı məsafədə geoidə çox bənzəyən, dənizlərdə onunla bərabər olan, dağlıq bölgələrdə isə ondan ən çox 2 metr qədər fərqli olan bir səthlə qarşılaşılır. Bu səthə kvazigeoid deyilir. Kvazigeoid ilə ellipsoid arasındakı məsafəyə isə yüksəklik anomaliyası (ζ) adı verilir. Yer səthindəki bir nöqtədən yüksəklik anomaliyası qədər aşağı məsafədə isə fiziki səthə çox bənzəyən başqa bir səth meydana çıxır. Bu səthə də telluroid deyilir [1].

Normal ortometrik yüksəklik. Daha əvvəl iki nöqtə arasındakı geopotensial yüksəklik fərqi-nin “ $\Delta C = \sum_{\text{ort.i}} \Delta H_{\text{niv.i}}$ ” bərabərliyi ilə hesablandığını, buradan da nöqtələrin geopotensial yüksəklik-lərinə keçildiyindən söz edilmişdi. Qravitasiya dəyərlərini hər zaman əldə etmək mümkün deyil. Əgər bu potensial fərqi, orta normal qravitasiya dəyəri ilə

$$\Delta C' = \sum \gamma_{\text{ort.i}} \Delta H_{\text{niv.i}}$$

şəklində hesablanarsa, tapılacaq geopotensial yüksəkliyə normal geopotensial yüksəklik (C') adı ve-rilir. Bu geopotensial yüksəklikdən aşağıdakı şəkildə göstərilən yüksəkliyə isə normal ortometrik yüksəklik deyilir;

$$H^{N_0} = \frac{C'}{G}, \quad (G = \gamma - 0,3086(H^{N_0}/2)) \quad (14)$$

Ellipsoid yüksəkliyi. Daha öncə ifadə edildiyi kimi bir nöqtədən ellipsoid normalı boyunca ellipsoidə qədər olan məsafə ellipsoid yüksəkliyi olaraq adlandırılır. Ortometrik yüksəklik kimi fizi-ki bir əhəmiyyəti yoxdur. Ancaq hal-hazırda GPS ilə əldə edilən üçüncü koordinat məlumatı olma-sından ötrü praktikada əhəmiyyəti böyükdür [4].

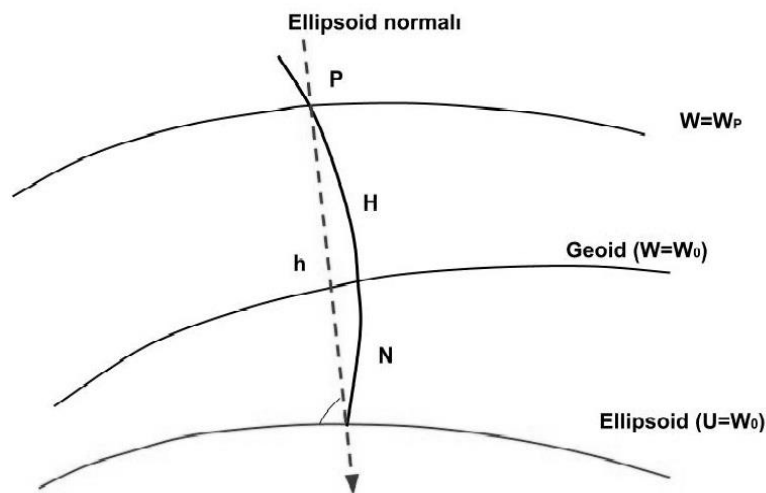
Şəkil 4-də də ifadə edildiyi kimi ellipsoid yüksəkliyinə, ortometrik yüksəklik (H) və geoid yüksəkliyinin (N) cəmi ilə əlaqə qurula bilər.

$$h = H + N \quad (15)$$

Bu bərabərlik, N bilinərkən, praktikada asan əldə edilən ellipsoid yüksəkliklərindən fiziki əhəmi-yəti olan ortometrik yüksəkliklərə necə keçiləcəyini (“ $H = h - N$ ” şəklində) göstərir [7].

Bundan əlavə, daha əvvəl ifadə edilən yüksəklik anomaliyası (kvazigeoid ilə ellipsoid və ya fiziki səth ilə telluroid arasındakı məsafə) ellipsoid yüksəkliyinin bir funksiyası olaraq aşağıdakı ki-mi ifadə edilir;

$$\zeta = h - H^N \quad (16)$$



Şəkil 4. Ellipsoid yüksəkliyi

YEKUN NƏTİCƏ

Yerin həqiqi forması, Geoid səthi bütün nöqtələrdə ağırlıq qüvvəsi istiqamətinə perpendikulyardır, okeanlarda suyun orta səviyyəsinə uyğun gəlir. Geoid səthi hər yerdə qabarıqdır və nəzəri sferoid səthindən ± 100 m-dən çox olmayaraq tərəddüd edir (materiklərdə sferoid səthindən yuxarı, okeanlarda isə aşağıdır). Geoid səthinə nəzərə aparılan ölçmələr nəticəsində yuxarıda qeyd olunan yüksəklik sistemləri müəyyən edilir. Bu yüksəklik sistemlərindən geoid səthindən dağlıq ərazilərdə fərqlənən kvazigeoid modelinin qurulmasında istifadə edilir [2, 8].

ƏDƏBİYYAT

1. Abbak, R.A. Effect of a high-resolution globalcrustal model on gravimetric geoid determination: A case study in a mountainous region // *StudiaGeophysica et Geodaetica*, – 2020, 64 (4), – p. 436-451.
2. Baillie, P., & Decker, J. Enigmatic Sulawesi: The tectonic collage // *Berita Sedimentologi*, – 2022, 48 (1), – p. 1-30.
3. Groten, E. Zur Genauigkeit im Südhessischen Teil des Deutschen Haupthöhennetzes // *ZfV*, Heft 10, – p. 431-443.
4. Heliani, L.S. Evaluation of global geopotential model and its application on local geoid modelling of Java Island, Indonesia // *AIP Conference Proceedings*, – 2016.
5. Kneissl, M. Die Bildung eines einheitlichen europäischen Nivellementsnetzes // *ZfV*. Nr. 9, – p. 278-297.
6. Peprah, M.S., Yevenyo Ziggah, Y., Yakubu, I. Performance evaluation of the Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008) – a case study // *South African Journal of Geomatics*, – 2017, 6 (1), – p. 47-72.
7. Pourali, S. “Topography Wetness Index Application in Flood-Risk-Based Land Use Planning,” / S. Pourali, C. Arrowsmith, N. Chrisman [et al.] // *Applied Spatial Analysis*, – 2016, 9, – p. 39-54.
8. Rosi, G. Precision measurement of the Newtonian gravitational constant using cold atoms / G. Rosi, F. Sorrentino, L. Cacciapuoti [et al.] // *Nature*, – 2014.



9. Tsugawa, T., Kotake N., Otsuka Y., Saito A. Mediumscale traveling ionospheric disturbances observed by GPS receiver network in Japan: a short review // GPS Solution, – 2007, 11, – p. 139-144.
10. Vu D.T., Bruinsma, S., Bonvalot, S., High-resolution gravimetricquasigeoid model for Vietnam // Earth, Planets and Space, – 2019, 71 (1), – p. 65.
11. Yilmaz, M., Turgut, B., Gullu, M., Yilmaz, I. “Evaluation of recent globalgeopotential models by GNSS/levelling data”, internal Aegean region // International Journal of Engineering and Geosciences, – 2016, 1 (1), – p. 15-19.
12. <https://gcris.ktun.edu.tr/bitstream/20.500.13091/856/1/569121.pdf>
13. <https://www.harita.gov.tr/jeo/yukseklik.php>
14. <http://www.hgk.mil.tr>

ALTITUDE SYSTEMS USED DURING THE CONSTRUCTION OF THE QUASIGEOID MODEL

Z.Z. İdriszada

The shape of the earth means the boundary between the solid and liquid mass of the surface and the atmosphere. The solids are not smooth surfaces due to inclusions and dislocations, which defines the relief. In general, solid and liquid surfaces can be investigated using their norms. The altitude normals can be determined by the gravitational field. The direction of gravity corresponds to the vertical line in practice. The vertical line is vital in measurements. The gravity surfaces of measuring instruments are adjusted according to the vertical line.

The starting surface and directions perpendicular to this surface should be determined to identify the heights of points on the surface. The directions most easily identified on the earth's surface are those that are determined for the vertical line. As it is known, the level surface is perpendicular to the vertical line. The complex geometric surface created by equal prices of the ocean's calm state surface and its gravity potential corresponding to continuation over continents is the Geoid surface. A geoid defines the figure of the Earth and differs significantly from its physical surface, which is made up of mountains and sea basins. The geoid state is found everywhere by observing the movement of Earth's artificial satellites, based on geodesic and gravimetric data. Accordingly, the heights are the distance to the level surface i.e. the geoid in the direction of the vertical line.

Keywords: *Geopotential, orthometric, dynamic, ellipsoid, gravity*

СИСТЕМЫ ВЫСОТ ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ПОСТРОЕНИИ МОДЕЛИ КВАЗИГЕОИДА

З.З. Идрисзада

Форма земли означает границу между твердой и жидкой массой поверхности и атмосферой. Твердые тела не являются гладкими поверхностями из-за включений и дислокаций, которые определяют рельеф. В целом, твердые и жидкие поверхности могут быть исследованы с использованием их норм. Нормали высоты могут быть определены гравитационным полем. Направление силы тяжести на практике соответствует вертикальной линии. Вертикальная линия жизненно важна для измерений. Гравитационные поверхности измерительных приборов регулируются в соответствии с вертикальной линией.

Исходная поверхность и направления, перпендикулярные этой поверхности, должны быть определены для определения высот точек на поверхности. Направления, наиболее легко



идентифицируемые на поверхности Земли, являются теми, которые определяются для вертикальной линии. Как известно, поверхность уровня перпендикулярна вертикальной линии. Сложной геометрической поверхностью, созданной равными ценами поверхности спокойного состояния океана и ее гравитационного потенциала, соответствующего продолжению над континентами, является поверхность Геоида. Геоид определяет фигуру Земли и значительно отличается от её физической поверхности, которая состоит из гор и морских бассейнов. Геоидное состояние обнаруживается повсеместно путём наблюдения за движением искусственных спутников Земли, на основе геодезических и гравиметрических данных. Соответственно, высоты - это расстояние до поверхности уровня, то есть геоида в направлении вертикальной линии.

Ключевые слова: *Геопотенциальный, ортометрический, динамический, эллипсоидный, гравитационный*