TƏBİƏT ELMLƏRİ
NATURAL SCIENCES

DOI: https://doi.org/10.36719/2789-6919/53/125-130

Zeynəb Novruzova
Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universiteti
https://orcid.org/0000-0001-6185-792X
zeynab.novruzova@azmiu.edu.az

Xəzər dənizinin külək və dalğa rejiminin təhlili

Xülasə

Dünyanın ən böyük qapalı daxili su hövzəsi olan Xəzər dənizi, hidrodinamik proseslərində mühüm rol oynayan mürəkkəb külək və dalğa rejimlərinə malikdir. Küləklə idarə olunan dalğalar sahil dinamikasına, çöküntü daşınmasına, dəniz infrastrukturunun sabitliyinə və ekoloji şəraitə əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərir. Xəzər dənizi üzərindəki külək modellərinin məkan və zaman dəyişkənliyi regional atmosfer dövranı, mövsümi iqlim amilləri və hövzənin uzanan həndəsəsi ilə idarə olunur və nəticədə şimal, orta və cənub alt hövzələrində fərqli dalğa xüsusiyyətləri yaranır. Bu tədqiqatda dominant külək istiqamətlərini, dalğa hündürlüklərini və mövsümi dəyişkənliyi müəyyən etmək üçün meteoroloji və okeanoqrafik məlumatlardan istifadə edərək Xəzər dənizinin külək və dalğa rejimləri təhlil edilir. Dalğaların inkişafına uzunluq, su dərinliyi və batimetrik şəraitin təsirinə xüsusi diqqət yetirilir.

Açar sözlər: *Xəzər dənizi, iqlim dəyişikliyi, səth küləyi, dalğa rejimi, hidrodinamik proseslər*

Zeynab Novruzova
Azerbaijan University of Architecture and Construction
https://orcid.org/0000-0001-6185-792X
zeynab.novruzova@azmiu.edu.az

Analysis of the Wind and Wave Regime of the Caspian Sea

Abstract

The Caspian Sea, the world's largest enclosed inland water body, is characterized by complex wind and wave regimes that play a significant role in its hydrodynamic processes. Wind-driven waves significantly influence coastal dynamics, sediment transport, the stability of offshore infrastructure, and environmental conditions. Spatial and temporal variability of wind regimes over the Caspian Sea is determined by regional atmospheric circulation, seasonal climatic factors, and the elongated geometry of the basin, resulting in different wave characteristics in the northern, central, and southern sub-basins. This study analyzes the wind and wave regimes of the Caspian Sea using meteorological and oceanographic data to determine prevailing wind directions, wave heights, and seasonal variability. Particular attention is given to the influence of longitude, water depth, and bathymetric conditions on wave development.

Keywords: *Caspian Sea, climate change, surface wind, wave regime, hydrodynamic processes*

Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

Giriş

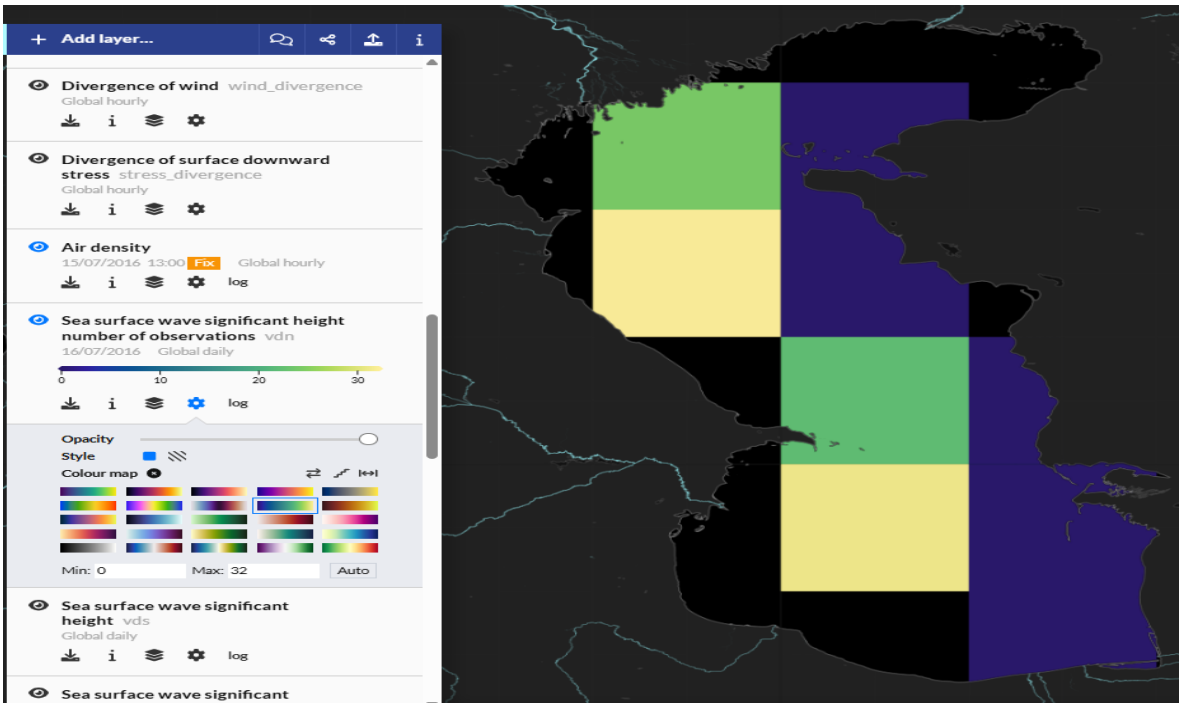
Xəzər dənizi şimaldan mülayim, cənubdan isə subtropik iqlim qurşaqlarında yerləşən qapalı su hövzəsidir. Dəniz və quru səthləri arasında temperatur fərqləri yerli əhəmiyyətli küləkləri yaradır. Dalğanın hündürlüyünə təsir edən amillər əsasən aşağıdakılardır:

Küləyin sürəti, küləyin əsmə müddəti, küləyin əsdiyi məsafə, suyun dərinliyi. İqlim və relyefdən asılı olaraq külək rejiminə təsir edən iki əsas amil mövcuddur;

1. Böyük Qafqaz və Orta Asiyadan əsən küləklər;
2. Qərb və cənub-qərbdən axan hava kütlələrinin Xəzər üzərində paylanması.

Tədqiqat

Mövsümü olaraq qışda yer üzərində soyumuş hava kütlələri nisbətən isti dəniz hava kütlələri ilə mübadilə edir və bu da küləyin intensivliyini artırır. Mövsümü olaraq ələ aldıqda noyabr - mart ayları arasında şimal-şərq və şərq (Sibir antisiklonları) küləkləri əsir, küləyin orta sürəti 8-12 m/s, maksimum sürəti isə 20-25 m/s təşkil edir (Safarov və başqaları, 2018). Bu zaman dalğaların hündürlüyü 4-6 m təşkil edir (Şəkil 1). Oktyabr-aprel aylarında İran yaylasından qərb və cənub-qərb küləkləri isti-quru hava axınları gətirir. Bu zaman 5-8 m/s sürətlə əsən külək 1-3 m arası dalğaları əmələ gətirir.



Şəkil 1. Dəniz səthində dalğa hündürlüklərinin lokal xarakterizəsi

Şimali Xəzərdə orta dərinliyin 5m olması əsən küləklərin xüsusi ilə qışda dəniz səthindəki buzları qıraraq kəsilmələr ilə yayılır. Orta və cənubi Xəzərdə dərinlik daha yüksəkdir və güclü əsən küləklər dalğaların dərinliyini 10 m-lərə qədər endirir (Safarov və başqaları, 2017). Cənubda Elbrus dağları dalğanın bir istiqamət boyu yayılmasına təsir edir. Burada küləklər daha ekstremal nəticələr yaradır.

Dəniz dibinin hündürlüyü və əsən küləklərin sürəti və intensivliyi Xəzərdə dalğa yaranmasının əsas səbəblərindəndir (Safarov və başqaları, 2018). Bildiyimiz kimi, Xəzər bir çox səbəbdən üç hissəyə bölünür. Əlbəttə, dalğaların hündürlüyü, intensivliyi və yayılma imkanları bu üç Xəzər hövzəsində fərqliliklə izlənir. Şimali Xəzərdə dayazlıq və səthi buz dalğaları tez-tez qırır.

Hövzədə əsən küləklərin sürəti və istiqaməti ilin dövrlərindən asılı olaraq sutkalıq, mövsümlük, illik olaraq dəyişir. Şərq küləkləri əsasən Sibir, Orta Asiya Antisiklonlarının və soyuq Arktik havanın qarışması ilə yaranır. Qərb küləkləri Avropanın cənubundan, Qara dənizdən, Azor maksi-

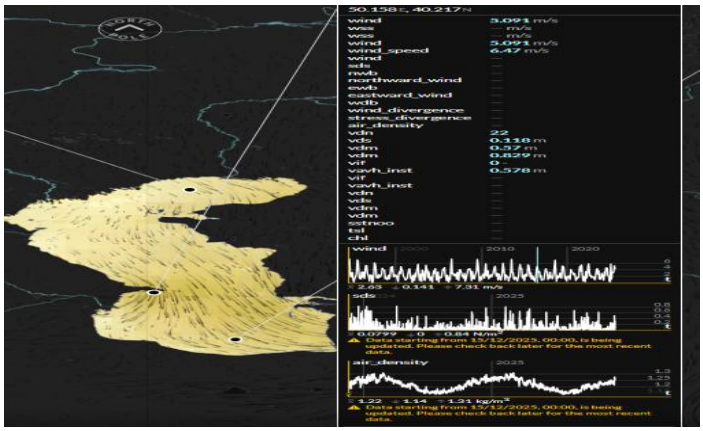
mumundan (yüksək təzyiq) keçir. Bu qərb küləklərinin orta illik təkrarlanma rejimi 76 gün davam edir. Şərq küləklərinin orta illik təkrarlanma rejimi isə 61 gündən ibarətdir. Əlavə olaraq qeyd etmək olar ki, mövsümlə əlaqədar olaraq şimal-qərb küləkləri 43 gün, cənub-qərb küləkləri isə 28 gün təkrarlanır (Gholami və başqaları, 2010). Məlumdur ki, küləyin istiqaməti və sürəti fəsillərdən asılı olaraq dəyişiklik göstərir. Qış aylarında qərb və şimal-qərb küləkləri, yay aylarında isə şərq, qərb, cənub-qərb, şimal-qərb küləklərinin təkrarlanması səciyyəvidir.

Sutka ərzində əsən küləyin sürəti saat 12-20 radələrində daha intensiv, axşam və səhər isə minimum sürətdə əsdiyi izlənmişdir (Mammadov və başqaları, 2009). Tədqiqatlar göstərir ki, il boyu küləksiz günlərin sayı təqribi 44 gün təşkil edir. Mövsüm üzrə küləyin paylanması qeyri-bərabərdir. Noyabr ayında küləksiz günlərin sayı 6 gün təşkil edir. Qərb küləklərinin təkrarlanması 159 gün təşkil edir. Ümumən bu cür təkrarlanan küləklərin tədqiqi göstərmişdir ki, gecə saatlarında qərb küləkləri, 12-19 radələrində isə şərq küləklərinin təkrarlanması üstünlük təşkil edir. Əsasən küləyin davamlılığı 6-60 saat, axım sürəti isə 2-25 m/s arasında dəyişir (Levyant və başqaları, 1994).

Fəsil	**Əsas küləklər**	**Səbəbi**
Qış	Şimal, Ş-Şərq (25 m/s-ə kimi)	Sibir antisiklonu, İran siklonu
Payız - Yaz	Qərb, Cənub-Qərb	İran yaylası təsiri, isti hava axınları
Yay	Nisbətən zəif küləklər	Temperatur sabitliyi, dəniz brizləri

Soyuq hava kütlələri Qara dənizdən Xəzər hövzəsinə güclü küləklərlə müşahidə edilir. Güclü küləklərin sayı il ərzində təqribən 26 gün davam edir (Mammadov və başqaları, 2009). Soyuq atmosfer cəbhəsi Qərbi Gürcüstana daxil olarkən şimal-qərbi Xəzərdə atmosfer təzyiqini aşağı düşürür (Chen və başqaları, 2017). Bu zaman soyuq cəbhənin arxasındakı atmosfer təzyiqi sürətlə artaraq barik qradiyenti artırır.

Bəzən anidən və qısa müddət ərzində çıxan şərq küləklərinin sinoptik səbəbi Abşeron yarımadasında aşağı qradientli barik sahənin, şimali Xəzər üzərində üzərində yüksək atmosfer təzyiqinin, Qara dəniz üzərində isə alçaq təzyiq zonalarının olmasıdır. Küləklərin sürəti Xəzər hövzəsində illik 3- 40 m/s arasında dəyişir (Panin və başqaları, 2015). Ən güclü küləklər şimal və şimal-qərb istiqamətində əsir. Küləklərin aktiv olma müddəti bir neçə sutka davam edə bilər. Bir çox hallarda Xəzər dənizi üzərində şimal istiqamətindən ≈ 25 m/s küləklər əsir. Bu zaman Xəzər dənizində dalğaların hündürlüyü 10 m-ə çatır. Burada nəzərə alınmalıdır ki, dənizin dərinliyi artdıqca dalğa hündürlüyü də artır. Bu isə dalğa rejimində də regional fərqlərin yaranmasına səbəb olur.



Şəkil 2. Abşeron sahilində küləyin orta aylıq/illik göstəriciləri

Xəzər dənizində müxtəlif sürətlə yerli küləklərin əmələ gəlməsinin əsas səbəbləri hövzənin relyefi, coğrafi yeri, səth örtüyünün isinməsi, dəniz hövzəsinin yeri və oroqrafiyadır. Xəzər dənizində istilik konveksiyası ekosistemin öyrənilməsi üçün çox vacibdir. Bu prosesin öyrənilməsi regional ekoloji tarazlıqda mühüm rol oynayır.

Termal konveksiya temperatur fərqləri nəticəsində maye və qazların şaquli hərəkəti səbəbindən baş verir. Bu, soyudulmuş səth sularının batmasına və isti suların qalxmasına səbəb olur. Termal konveksiya sayəsində soyudulmuş və ağır su hövzənin dərinliklərini oksigenlə doyurur ki, bu da dib ekosisteminə müsbət təsir göstərir. Qışda baş verən konveksiya dərin sularda oksigen səviyyəsinin intensiv saxlanmasına kömək edir. Bu, balıqçılıq üçün vacib amildir. Yayda zəifləyən konveksiya hövzənin dərin təbəqələrində çirkləndirici maddələrin toplanmasına səbəb olur (Lyubushin və başqaları, 2004).

Külək və buxar şəraitinin Xəzər dənizinə digər təsiri atmosfer çöküntüləridir. Atmosfer yağıntıları küləyin daşıdığı və Xəzər dənizində çökən hissəciklərdən ibarətdir. Bu hissəciklər iki mənbədən qaynaqlanır: təbii və antropogen. Təbii mənbələrə Qaraqum və Qızılqum kimi səhralardan gələn toz hissəcikləri, vulkanik kül, bitki tozu və Xəzər dənizi ətrafındakı quraq bölgələrdən daşınan digər aerozollar daxildir. Antropogen mənbələrə sənaye tullantıları, kənd təsərrüfatı pestisidləri və mikroplastikləri, ağır metallar, şəhər tullantıları və s. daxildir. Bunlar Xəzər dənizinin biogen quruluşuna təsir göstərir, məhsuldarlığı azaldır, dəniz suyunun keyfiyyətini pisləşdirir və təbii mühiti təhdid edir.

Xəzər dənizində atmosfer yağıntıları külək modellərindən, mənbələrdən və coğrafi mövqedən (səhralara, çay deltalarına, sənayeyə və şəhərlərə yaxınlıq) asılı olaraq qeyri-bərabər paylanır. Ən çox yağıntı miqdarı Xəzər dənizinin cənub-qərb hissəsindədir. Bu, təbii amillərlə bağlıdır. Bunlara İran yaylasından və Ərəbistan yarımadasından Gilavar küləkləri tərəfindən daşınan toz aerozolları, eləcə də bölgədəki iri sənaye şəhərləri tərəfindən yayılan zəhərli tullantılar (SO_2, NO_2, ağır metallar və s.) daxildir (Matishov və başqaları, 2014). Burada illik atmosfer yağıntısı təxminən 200-400 kq/ha təşkil edir. Şimali Xəzərdə Qazaxıstan və Özbəkistan səhralarından Xəzri küləkləri tərəfindən daşınan toz hissəcikləri atmosfer yağıntılarının əmələ gəlməsində mühüm rol oynayır. Burada çökən hissəciklərin miqdarı 150-300 kq/ha təşkil edir (Yaitskaya, 2016). Xəzər hövzəsinin şərq hissəsindəki neft və qaz hasilatı sahələrindən və Türkmənistan səhralarından qalxan toz və aerozol hissəciklərinin orta illik atmosfer yağıntısı 100-250 kq/ha təşkil edir (Yaitskaya, 2015).

Quru yaz və yay küləkləri toz çöküntüsünü artırır və onu daha geniş ərazilərə aparır. Burada ən əhəmiyyətli mənfi cəhət neft və qaz emalı zamanı əmələ gələn karbon hissəciklərinin daha da irəli aparılması və antropogen atmosfer çöküntüsünü artırmasıdır (Berdnikov, 2013). Ümumilikdə, küləyin Xəzər dənizinə həm mənfi, həm də müsbət təsir göstərdiyini demək olar. Tədqiq edilməli, öyrənilməli, azaldılmalı və zəruri hallarda dayandırılmalı olan bu mənfi cəhətləri aşağıdakı kimi ümumiləşdirmək olar:

- Sahil eroziyası – dənizdə 8-10 metr hündürlüyə çatan dalğalar sahil eroziyasına və torpaq eroziyasına səbəb olur. Hər il Azərbaycanın Xəzər dənizinin bəzi sahil ərazilərində təxminən 1-3 metr sahil eroziyası müşahidə olunur.
- Hövzənin şərq və şimal-şərq bölgələrindəki quraq ərazilərdən güclü küləklərin daşıdığı duz və toz hissəcikləri kənd təsərrüfatı üçün yararlı münbit torpaqları azaldır, küləyin daşıdığı duzlu su və toz isə torpağın şoranlaşmasına, bitki örtüyünün zəifləməsinə və əkin sahələrinin məhv olmasına səbəb olur.
- Güclü küləklərin yaratdığı dalğalar neft platformalarına və boru kəmərlərinə maddi ziyan vurur. Güclü küləklər zamanı Azəri-Çıraq-Günəşli kimi platformalarda işlər dayandırılır və bu da əhəmiyyətli maddi ziyana səbəb olur. Lakin külək neft məhsullarını sahil zonasına daşıyaraq sahil mühitinə də zərər verir.
- Xüsusilə Xəzər dənizinin şimal hissəsində güclü küləklər dayaz suların və kürütökmə yerlərinin eroziyasına səbəb olur. Eyni zamanda, güclü küləklər dəniz suyunun uzun müddət bulanıqlaşmasına səbəb olur ki, bu da suya çatan günəş işığının miqdarını azaldır və fotosintez prosesini ləngidir, bentik ekosferə mənfi təsir göstərir.

- Küləyin turizmə və infrastruktura vurduğu ziyan sahil çimərliklərinin daralmasında özünü göstərir. Bu dalğa eroziyası Azərbaycan sahillərindəki Novxanı və Şüvəlan kimi turizm zonalarında azalmalara və itkilərə səbəb olub.

Bu mənfi təsirlər ətraf mühit, iqtisadi və sosial problemlərin həlli üçün düzgün idarəetmə və çoxsektorlu strategiyalar, ətraf mühitin bərpası planları və infrastrukturun uyğunlaşdırılmasını tələb edir. Xüsusilə sahil ərazilərində baş verən zərərin müvəqqəti və daimi nəticələri var. Küləyin təbii bir fenomen olduğunu nəzərə alsaq, onunla birlikdə yaşamaq və təsirini azaltmaq qabiliyyəti sahil ölkələri üçün əsas şərtlərdən biridir. Aşağıda bir neçə müvəqqəti və daimi həlli nəzərdən keçirək:

- Sahil ərazilərinin yaşıllaşdırılması və təbii maneə kimi güclü kök sistemlərinə malik bitki örtüyünün yaradılması eroziyadan qorunmanın ilk addımı hesab edilə bilər.
- Səhralarda və neft emalı platformalarında toz, duz hissəcikləri və neft məhsullarının ötürülməsinin qarşısını almaq üçün ağıllı eko-texnologiyalardan istifadə edilməlidir.
- İqlim risklərini nəzərə alaraq sahil ərazilərində böyük şəhərlərin, limanların və infrastrukturun planlaşdırılması.
- Təhlükəli hava və dalğa hadisələri barədə xəbərdarlıq üçün real vaxt rejimində meteoroloji məlumat proqnozlarının və informasiya sistemlərinin yaradılması.
- Dalğa və külək enerjisini azaltmaq üçün süni strukturların, riflərin və qum təpələrinin yaradılması.

Nəticə

Xəzər dənizi hövzəsində külək modellərini, yağıntıları, dalğa sürətlərini və mövsümi paylanmanı idarə etmək, eləcə də bu təbii hadisələrin səbəb ola biləcəyi fəlakətlərin qarşısını almaq elmi və texniki tədqiqatlar, mühəndislik həlləri, statistik və analitik məlumatlar, beynəlxalq əməkdaşlıq, monitorinq və proqnozlaşdırma yolu ilə mümkündür. Xəzər dənizi hövzəsində rifah və davamlı inkişaf şəraitində yaşamaq mümkündür. Bunun üçün elmi innovasiya, ekoloji tarazlığa və beynəlxalq əməkdaşlığa hörmət, proaktiv risklərin idarə edilməsi və məntiqi siyasi və iqtisadi idarəetmə tələb olunur. Yalnız belə bir idarəetmə modeli ilə dəniz ekosistemləri təkcə regionda deyil, həm də qlobal səviyyədə idarə oluna bilər. Nəticələr göstərir ki, xüsusilə hövzənin şimal və mərkəzi hissələrində daha güclü və daha davamlı külək hadisələri daha yüksək dalğa enerjisi yaradır və sahil eroziyası və hidrodinamik təhlükələr potensialını artırır. Nəticələr, xüsusən də davam edən iqlim dəyişkənliyi şəraitində Xəzər dənizində külək və dalğa şəraitinin davamlı monitorinqinin və inteqrasiya olunmuş təhlilinin vacibliyini vurğulayır. Bu tədqiqat regional dəniz dinamikasının daha yaxşı başa düşülməsinə töhfə verir və sahil idarəçiliyi, risklərin qiymətləndirilməsi və dəniz və sahil zonalarının davamlı inkişafı üçün elmi əsas təmin edir.

Ədəbiyyat

1. Berdnikov, S., Yaitskaya, N., Lychagina, Yu. (2013). The study of ice conditions of the Caspian Sea using satellite monitoring data (2008-2011). *Proceedings of the Fourth International Conference on Environmental Management, Engineering, Planning and Economics (CEMEPE 2013) and SECOTOX Conference*. Grafima Publications, 855-859.
2. Chen, J.L., Pekker, T., Wilson, C.R., Tapley, B.D., Kostianoy, A.G., Cretaux, J.-F., Safarov, E.S. (2017). Long-term Caspian Sea level change. *Geophys. Res. Lett*., 44.
3. Gholami, M., Ahmadi, F.G., Ghader, S. (2011). Role of sea surface temperature anomaly (SSTA) of the Caspian Sea on rainfall variations in the southern coastal region. *Proceedings of the International scientific conference «Climate and water balance changes in the Caspian region».* Astrakhan. Russian Federation, 19-20 October 2010, 168-173.
4. Levyant, S., Rabinovich, B., Rabinovich, A. (1994). Computation of seiche oscillations in seas of arbitrary configuration (exemplified by the Caspian Sea). *Okeanologiya (Engl. Transl.)*, 33(5), 588-598.

5. Lyubushin, V.F. Pisarenko, M.V. Bolgov, M.V. Rodkin, Rukavishnikova, T.A. (2004). Synchronous variations in the Caspian Sea level from coastal observations in 1977-1991. *Izv. Atmos. Ocean. Phys*., 40, 737-746.
6. Matishov, G.G., Berdnikov, S.V., Zhichkin, A.P., Makarevich, P.R., Dzhenyuk, S.L., Kulygin, V.V., et al. (2014). *Atlas of Climate Change in Large Marine Ecosystems of the Northern Hemisphere (1878-2013). Region 1. Eastern Arctic Seas. Region 2. Black, Azov, and Caspian Seas*. Publishing House of the Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences.
7. Mammadov, R.M., Safarov, S.H., Safarov, E.S. (2009). Current changes of the atmospheric precipitation regime on the territory of Azerbaijan. *Geography and Natural Resources. Elsevier*, 30 (4), 403-407.
8. Makhmudov, R.N. (2015). *Analiz gidrometeorologicheskogo sostoyaniya v Azerbaidzhane*. Elm.
9. Panin, G.R., Vyruchal'kina, T.YU., Solomonova, I.V. (2015). Vozdeistvie Severnoi Atlantiki na gidrologicheskii rezhim Basseina Kaspiiskogo morya. Vodnye resursy, 42(4), 442-452.
10. Safarov, S.H., Huseynov, J.S., Ibrahimova, I.V., Safarov, E.S. (2018). The main features of temperature changes, occurring over the territory of Caspian Sea in Azerbaijan. *Understanding the problems of inland waters: Case study for the Caspian basin (upcb),* 100-105.
11. Safarov, S.H., Nasibli, A.A., Huseynov, J.S., İbrahimova, İ.V. (2017). Influence of Climate Warming on Hail Events in the Western Part of Azerbaijan. *Proceedings of International Scientific Conference on Sustainable Development Goals 24–25 November 2017*, Baku, Azerbaijan, 83-89.
12. Yaitskaya, N.A. (2015). *Study of Extreme Manifestations of the Hydrological Regime of the Caspian Sea: Reanalysis and Forecast. Sustainable Development of Specially Protected Natural Areas. Vol. 2. Sochi: State Budgetary Institution of the Krasnodar Territory "Natural Ornithological Park in the Imeretinskaya Lowland"*. Donizdat.
13. Yaitskaya, N.A. (2016). *Digital model of the Caspian Sea bottom relief. Ecology. Economics. Geoinformation technologies and space monitoring*. Publishing house of the Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences.

Daxil oldu: 03.09.2025
Qəbul edildi: 14.12.2025