



## Gəmi sürücülüynün təhlükəsizliyinin təmin olunmasında peyk naviqasiya sistemlərinin (PNS) rolu

Elnur Abbasov<sup>1\*</sup> , Aytac Rüstəmli<sup>2</sup>

**Xülasə.** Müasir dəniz nəqliyyatı sektorunda gəmi sürücülüynün təhlükəsizliyinin təmin edilməsi əsas prioritetlərdən biridir. Qlobal ticarətin genişlənməsi və gəmi hərəkətinin intensivləşməsi naviqasiya proseslərinin daha dəqiq və etibarlı həyata keçirilməsini tələb edir. Bu baxımdan peyk naviqasiya sistemləri (PNS) gəmiçilik sənayesində mühüm rol oynayır. Məqalədə GPS, GLONASS, Galileo və BeiDou sistemlərinin gəmi sürücülüynündə tətbiqi, onların təhlükəsizliyə təsiri, üstünlükləri və məhdudiyyətləri təhlil edilmişdir. Diferensial düzəliş sistemləri, AIS və ECDIS ilə integrasiya imkanları araşdırılmış, Beynəlxalq Dənizçilik Təşkilatı tələbləri əsasında PNS-lərin qəza risklərinin azaldılmasındakı rolu qiymətləndirilmişdir. Eyni zamanda, marşrut optimallaşdırılması və yanacaq sərfiyyatının azaldılması kimi iqtisadi və ekoloji üstünlüklər nəzərdən keçirilmişdir. Tədqiqat göstərir ki, PNS-lərin integrasiyalı istifadəsi insan faktorundan qaynaqlanan riskləri azaltmaqla təhlükəsizliyi əhəmiyyətli dərəcədə artırır. Bununla yanaşı, signal müdaxiləsi, kibertəhlükəsizlik və texniki nasazlıqlar kimi problemlər aktual olaraq qalır. Məqalədə bu risklərin azaldılması üçün alternativ naviqasiya texnologiyalarının və çoxsensorlu ehtiyat sistemlərinin tətbiqi zərurəti əsaslandırılmışdır.

**Açar sözlər:** peyk naviqasiya sistemləri, gəmi sürücülüynü, dəniz təhlükəsizliyi, GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou, diferensial naviqasiya, AIS, ECDIS

<sup>1</sup> Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası, texnika üzrə fəlsəfə doktoru, Bakı, Azərbaycan

<sup>2</sup> Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası, magistrant, Bakı, Azərbaycan

\* Məsul müəllif. E-poçt: [abbasovelnur1980@mail.ru](mailto:abbasovelnur1980@mail.ru)

Daxil oldu: 1 Fevral 2026; Qəbul edildi: 5 May 2026; Onlayn dərc edildi: 30 May 2026

© Müəllif(lər) 2026. Bu, Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 Beynəlxalq Lisenziyası (CC BY-NC 4.0) şərtləri altında paylanan açıq girişli məqalədir.

## The Role of Satellite Navigation Systems (SNS) in Ensuring the Safety of Ship Navigation

Elnur Abbasov<sup>1\*</sup> , Aytaj Rustəmli<sup>2</sup>

**Abstract.** Ensuring the safety of ship navigation remains a key priority in the modern maritime transport sector. The expansion of global trade and increasing vessel traffic intensity require navigation processes to be performed with higher accuracy and reliability. In this context, satellite navigation systems (SNS) play a critical role in maritime operations. This study analyzes the application of global satellite navigation systems, including GPS, GLONASS, Galileo, and BeiDou, in ship navigation, focusing on their contribution to safety, advantages, and limitations.

*The integration of SNS with differential correction systems, AIS, and ECDIS is examined, and their role in reducing maritime accidents is evaluated in accordance with International Maritime Organization requirements. In addition, the study highlights the role of SNS in route optimization and their economic and environmental benefits through reduced fuel consumption. The findings indicate that the integrated use of SNS significantly enhances navigation safety by minimizing human-related risks. However, challenges such as signal interference, cybersecurity threats, and technical failures remain relevant. The study proposes the development of alternative navigation technologies and multi-sensor backup systems, particularly in the context of the transition toward autonomous shipping.*

**Keywords:** satellite navigation systems, ship navigation, maritime safety, GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou, differential navigation, AIS, ECDIS

---

<sup>1</sup> Azerbaijan State Maritime Academy, Doctor of Philosophy in Engineering, Baku, Azerbaijan

<sup>2</sup> Azerbaijan State Maritime Academy, Master's student, Baku, Azerbaijan

\* Corresponding author. E-mail: abbasovelnur1980@mail.ru

Received: 1 February 2026; Accepted: 5 May 2026; Published online: 30 May 2026

© Author(s) 2026. This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0).

## Giriş

Dəniz nəqliyyatı tarix boyu sivilizasiyaların inkişafında mühüm rol oynamışdır. Müasir dövrdə texnoloji tərəqqiyə baxmayaraq, gəmi sürücülüyü hələ də müəyyən risklərlə müşayiət olunur. Hər il dünya okeanlarında baş verən qəzalar ciddi insan tələfatına və iqtisadi itkilərə səbəb olur. Beynəlxalq Dənizçilik Təşkilatı məlumatlarına görə, bu qəzaların əhəmiyyətli hissəsi naviqasiya xətalari ilə bağlıdır (IMO, 2019). Bu baxımdan peyk naviqasiya sistemlərinin (PNS) tətbiqi xüsusi aktuallıq kəsb edir. PNS Yer orbitində yerləşən peyklər vasitəsilə mövqenin, sürətin və vaxtın dəqiq müəyyən edilməsini təmin edən texnoloji sistemlərdir. XX əsrin ikinci yarısında hərbi məqsədlərlə inkişaf etdirilən bu sistemlər sonradan mülki sahədə, xüsusən dəniz nəqliyyatında geniş tətbiq olunmuşdur (Kaplan & Hegarty, 2017). Hazırda GPS, GLONASS, Galileo və BeiDou kimi qlobal sistemlər müasir gəmi sürücülüyünün əsas texnoloji bazasını təşkil edir. Naviqasiya dəqiqliyi birbaşa təhlükəsizliklə əlaqədardır. Xüsusilə dar boğazlarda, liman akvatoriyalarında və mürəkkəb hidrometeoroloji şəraitdə gəminin mövqeyinin dəqiq müəyyən edilməsi həyati əhəmiyyət daşıyır. Ənənəvi naviqasiya vasitələri müəyyən məhdudiyyətlərə malik olduğu halda, PNS fasiləsiz və yüksək dəqiqlikli mövqe məlumatı təqdim etməklə naviqasiya prosesini əhəmiyyətli dərəcədə təkmilləşdirir (Bowditch, 2019).

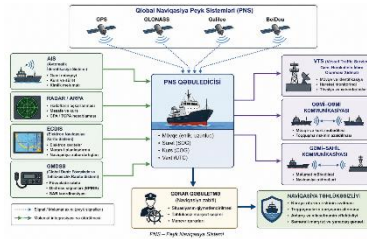
Mövzunun aktuallığı qlobal dəniz ticarətinin artması, gəmi hərəkətinin intensivləşməsi və naviqasiya texnologiyalarının sürətli inkişafı ilə şərtlənir. Bu amillər təhlükəsiz və səmərəli gəmi sürücülüyü üçün PNS-lərin rolunu daha da artırır.

## Tədqiqat

*PNS-nin ümumi xarakteristikası və işləmə prinsipləri.* PNS trilaterasiya prinsipinə əsaslanır, yəni üç və daha çox peykdən qəbul olunan siqnallar əsasında qəbuledicinin mövqeyi hesablanır. Peyklər orbital mövqe və dəqiq vaxt məlumatlarını radio siqnalları vasitəsilə ötürür, qəbuledici isə siqnalın yayılma müddətinə əsasən məsafəni müəyyən edir. Ən azı dörd peykdən siqnal qəbul edildikdə üçölçülü mövqe və dəqiq vaxt müəyyən olunur (Kaplan və Hegarty, 2017). GPS (ABŞ) ən geniş istifadə olunan qlobal naviqasiya sistemidir və minimum 24 peykdən ibarət konstellyasiya vasitəsilə qlobal əhatə təmin edir. Mülki istifadə üçün orta mövqe dəqiqliyi təxminən 3–5 metr təşkil edir (El-

Rabbany, 2002). GLONASS (Rusiya) GPS-ə alternativ sistem olmaqla 24 peykdən ibarətdir və texniki baxımdan fərqli siqnal strukturu (FDMA) istifadə edir. Xüsusilə yüksək enliklərdə daha stabil nəticələr göstərir (Hofmann-Wellenhof və b., 2008). Galileo (Avropa İttifaqı) mülki idarəetmə altında fəaliyyət göstərən sistemdir və yüksək etibarlılığı ilə seçilir. Sistem, həmçinin, axtarış və xilasetmə (SAR) xidmətlərini dəstəkləyir (European GNSS Agency, 2021). BeiDou (Çin) 2020-ci ildən etibarən qlobal əhatəyə malikdir və xüsusilə Asiya-Sakit okean regionunda geniş tətbiq olunur (Yang və b., 2020).

Bu sistemlərin paralel istifadəsi “çoxsistemli naviqasiya” yanasmasını formalaşdırmışdır. Müasir qəbuledicilər eyni vaxtda bir neçə sistemdən siqnal qəbul etməklə dəqiqliyi və etibarlılığı artırır, həmçinin, siqnal itkisi hallarında ehtiyat mənbə təmin edir. Gəmi sürücülüyündə PNS-lərin tətbiqi müxtəlif aspektləri əhatə edir və bu Peyk naviqasiya sistemləri (PNS) gəmi sürücülüyünün bütün mərhələlərində — açıq dənizdən liman akvatoriyasına qədər — geniş tətbiq olunur. Gəminin cari mövqeyinin dəqiq müəyyən edilməsi naviqasiyanın əsas şərtidir. Ənənəvi üsullarla müqayisədə PNS bu prosesi real vaxt rejimində və yüksək dəqiqliklə həyata keçirir. GPS əsaslı sistemlər açıq dənizdə təxminən 3–5 metr dəqiqlik təmin edir ki, bu da təhlükəsiz naviqasiya üçün kifayətdir (Bowditch, 2019). Dar sularda və liman yaxınlığında isə daha yüksək dəqiqlik tələb olunur.



**Şəkil.1**  
PNS-in gəmi sürücülüyünə integrasiya modeli

Diferensial GPS texnologiyası mövqe dəqiqliyini artırmaq üçün istifadə olunur. Bu sistemdə sahil stansiyası GPS siqnalını analiz edərək düzəliş məlumatını gəmilərə ötürür və nəticədə mövqe xətası minimuma endirilir. DGPS vasitəsilə dəqiqlik 1–3 metrə qədər artır (El-Rabbany, 2002). Bu sistemlərin inkişafı və tətbiqində Beynəlxalq Mayak Rəhbərləri Assosiasiyası mühüm rol oynayır. Müasir gəmiçilikdə PNS digər naviqasiya vasitələri ilə integrasiyada istifadə olunur və bunun əsas nümunəsi ECDIS-dir. Bu sistem rəqəmsal dəniz xəritələri üzərində gəminin mövqeyini real vaxt rejimində vizuallaşdıraraq marşrutun izlənməsini və potensial təhlükələrin (dayaz sahələr, maneələr və s.) qabaqcadan müəyyən edilməsini təmin edir (Weintrit, 2009). Beynəlxalq Dənizçilik Təşkilatı tərəfindən SOLAS Konvensiyası çərçivəsində ECDIS-in gəmilərdə tətbiqi mərhələli şəkildə məcburi edilmişdir.

AIS gəmilər arasında və sahil stansiyaları ilə avtomatik məlumat mübadiləsini təmin edən sistemdir. PNS vasitəsilə müəyyən edilən mövqe, sürət və kurs məlumatları VHF kanalı ilə ötürülərək gəmi trafikinin operativ monitorinqini mümkün edir. Bu sistemin effektivliyi birbaşa PNS məlumatlarının dəqiqliyindən asılıdır və siqnal xətalari təhlükəsizlik riskləri yarada bilər (IMO, 2019). Gəmi trafikinin idarə olunması xidmətləri (VTS) radar, AIS və digər sensorlar vasitəsilə liman və dar su yollarında gəmi hərəkətini izləyir və tənzimləyir. PNS məlumatları VTS operatorlarına trafik vəziyyətini dəqiq qiymətləndirmək, toqquşma risklərini əvvəlcədən müəyyən etmək və operativ qərarlar qəbul etmək imkanı yaradır. PNS-nin tətbiqi dəniz sürücülüyündə təhlükəsizliyi əhəmiyyətli dərəcədə artırmışdır.

*Saya oturma qəzalarının azaldılması.* Saya oturma qəzaları çox vaxt naviqasiya xətalari ilə bağlıdır. Ənənəvi üsulların məhdudiyyətləri fonunda PNS istənilən hava şəraitində dəqiq mövqe müəyyən

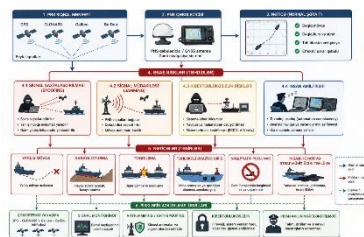
etməyə imkan verərək xüsusilə dar və dayaz sulara naviqasiyanın təhlükəsizliyini artırır (Norris, 2015). Statistik məlumatlara görə, PNS və elektron naviqasiya vasitələrinin tətbiqi bu tip qəzaları təxminən 30–40% azaltmışdır (EMSA, 2020).

*Toqquşmaların qarşısının alınması.* PNS-in AIS ilə integrasiyası gəmilərin qarşılıqlı izlənməsini təmin edir. Bu məlumatlar əsasında CPA və TCPA parametrləri hesablanaraq toqquşma riski erkən mərhələdə müəyyən edilir və qaçınma manevrləri vaxtında icra olunur. ARPA sistemləri ilə birlikdə bu yanaşma qərar qəbulətməni daha effektiv edir və beynəlxalq naviqasiya qaydalarının tətbiqini asanlaşdırır.

*Axtarış və xilasetmə əməliyyatları.* Fövqəladə hallarda PNS əsaslı sistemlər xilasetmə əməliyyatlarının effektivliyini artırır. GMDSS çərçivəsində EPIRB avadanlığı avtomatik aktivləşərək mövqe məlumatını xilasetmə mərkəzlərinə ötürür və operativ müdaxiləni təmin edir (IMO, 2019). Bundan əlavə, Galileo sisteminin SAR xidməti geri əlaqə funksiyası ilə xilasetmə prosesinin etibarlılığını artırır (European GNSS Agency, 2021).

*Marşrutun planlaşdırılması və optimallaşdırılması.* PNS meteoroloji və okeanoqrafik məlumatlarla birlikdə təhlükəsiz və iqtisadi marşrutların müəyyən edilməsinə imkan verir. Weather routing sistemləri fırtına zonalarından yayınma və əlverişli cərəyanlardan istifadə etməklə həm təhlükəsizliyi artırır, həm də yanacaq sərfiyyatını azaldır. PNS üstünlüklərinə baxmayaraq, onların tətbiqi bir sıra texniki və əməliyyat riskləri ilə müşayiət olunur. Bu risklərin düzgün qiymətləndirilməsi dəniz təhlükəsizliyinin təmin olunması baxımından vacibdir.

*Signal müdaxiləsi və saxtalaşdırma.* PNS siqnalları elektromaqnit müdaxilələrinə həssasdır. Qəsdən edilən jamming signalın qəbulunu pozur, spoofing isə saxta siqnallar vasitəsilə yanlış mövqe məlumatı yaradır və gəmini təhlükəli ərazilərə yönləndirə bilər (Psiaki və Humphreys, 2016). Bu tip halların müxtəlif regionlarda qeydə alınması problemin aktuallığını artırır. Kibertəhlükəsizlik riskləri. Naviqasiya sistemlərinin rəqəmsallaşması kiberhücum risklərini artırır. PNS, ECDIS və AIS sistemlərinin integrasiyası onları xarici müdaxilələrə həssas edir. 2017-ci ildə Maersk şirkətinə qarşı NotPetya hücumu bu sahədə risklərin real olduğunu göstərmişdir. Beynəlxalq Dənizçilik Təşkilatı 2021-ci ildən kiber risklərin təhlükəsizlik idarəetmə sistemlərinə integrasiyasını tələb edir (IMO, 2017).



**Şəkil 2**  
PNS riskləri və təsirləri sxemi

*Texnoloji asılılıq və insan amili.* PNS-in geniş istifadəsi ənənəvi naviqasiya bacarıqlarının zəifləməsinə və “automation complacency” fenomeninin yaranmasına səbəb olur. Bu isə sistem nasazlığı və ya signal itkisi hallarında riskləri artırır (Lützhöft və Dekker, 2002).

*Atmosfer təsirləri və texniki məhdudiyyətlər.* İonosfer və troposfer şəraiti signalın yayılmasına təsir edərək mövqe xətalalarına səbəb olur. Multipath effekti də signalın əks olunması nəticəsində dəqiqliyi azalda bilər (Hofmann-Wellenhof və b., 2008).

*Hüquqi və geosiyasi amillər.* GPS və GLONASS sistemlərinin hərbi nəzarət altında olması mülki istifadə üçün potensial risk yaradır. Bu baxımdan Galileo kimi mülki sistemlərin rolu artsa da,

geosiyasi asılılıq tam aradan qalxmır və çoxsistemli naviqasiya yanaşması zəruri olur. Peyk naviqasiya texnologiyalarının sürətli inkişafı gəmi sürücülüyünün gələcəyinə mühüm təsir göstərir.

*PPP texnologiyası.* Precise Point Positioning (PPP) diferensial stansiyalara ehtiyac olmadan santimetr səviyyəsində dəqiqlik təmin edir və xüsusilə uzaq okean ərazilərində yüksək dəqiqlikli naviqasiya imkanları yaradır (Groves, 2013).

*Çoxsistemli və çoxtezlikli qəbuledicilər.* Müasir qəbuledicilər eyni vaxtda GPS, GLONASS, Galileo və BeiDou siqnallarını qəbul etməklə dəqiqliyi və etibarlılığı artırır. Bu yanaşma həm siqnal itkisinə qarşı davamlılığı yüksəldir, həm də ionosfer xətlərinin azaldılmasına imkan verir (Kaplan və Hegarty, 2017).

*e-Navigation konsepsiyası.* Beynəlxalq Dənizçilik Təşkilatı tərəfindən təşviq olunan e-Navigation elektron naviqasiya vasitələrinin integrasiyasını və məlumat mübadiləsini optimallaşdıraraq təhlükəsizliyi artırır (IMO, 2019). Bu sistemdə PNS əsas texnoloji komponentlərdən biridir.

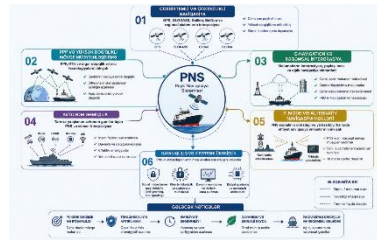
*Avtonom gəmiçilik.* Avtonom və yarı-avtonom gəmilərin inkişafı PNS və çoxsensorlu sistemlərə əsaslanır. Bu istiqamətdə dəqiqlik, etibarlılıq və ehtiyat naviqasiya həllərinin inkişafı həlledici əhəmiyyət daşıyır, eyni zamanda, hüquqi və etik məsələlər də aktuallığını qoruyur.

*R-Mode texnologiyası.* PNS siqnalının kəsildiyi hallarda ehtiyat həll kimi R-Mode sahil radio infrastrukturunu vasitəsilə təxminən 10 metr dəqiqlik təmin edir və sahil sularında təhlükəsiz naviqasiyanı dəstəkləyir.

*IMO tənzimləmələri və PNS ilə bağlı beynəlxalq standartlar.* Beynəlxalq Dənizçilik Təşkilatı dəniz sürücülüyünün təhlükəsizliyini tənzimləyən əsas beynəlxalq qurumdur və onun konvensiya və qətnamələri PNS-nin tətbiqini birbaşa müəyyən edir. SOLAS-ın V fəsli gəmilərin naviqasiya avadanlıqlarına dair minimum tələbləri müəyyən edir və müəyyən tonajdan yuxarı gəmilərdə PNS qəbulediciləri, ECDIS, AIS və GMDSS sistemlərinin quraşdırılmasını məcburi edir. IMO tərəfindən qəbul edilmiş performans standartları naviqasiya avadanlıqlarının dəqiqlik, etibarlılıq və bütövlük göstəricilərini müəyyən edir. Xüsusilə MSC.112(73) qətnaməsi PNS qəbuledicilərinə dair texniki tələbləri əhatə edir.

*IMO Resolution A.1046(27).* Bu qətnamə global naviqasiya peyk sistemlərinin tanınma prosedurlarını müəyyən edir. Onun əsasında GPS və GLONASS dünya radio naviqasiya sistemi (WWRNS) kimi tanınmışdır, digər sistemlər isə bu statusu əldə etmə mərhələsindədir. Beynəlxalq Hidroqrafiya Təşkilatı tərəfindən qəbul edilmiş S-57 və S-100 standartları elektron naviqasiya xəritələrinin formatını müəyyən edir və ECDIS sistemində PNS məlumatlarının istifadəsini təmin edir. Xəritə məlumatlarının aktuallığı naviqasiya təhlükəsizliyinin əsas şərtlərindən biridir (Weintrit, 2009).

*Xəzər dənizində PNS tətbiqinin xüsusiyyətləri.* Azərbaycanın dəniz dövləti kimi Xəzər dənizində gəmiçilik fəaliyyəti PNS tətbiqinin regional xüsusiyyətlərini aktuallaşdırır. Qapalı su hövzəsi olmasına baxmayaraq, Xəzər dənizi tanker daşımaları, bərə əlaqələri və neft-qaz infrastrukturunu ilə əlaqədar intensiv gəmi hərəkəti ilə səciyyələnir. Bakı Beynəlxalq Dəniz Ticarət Limanı bu baxımdan PNS əsaslı naviqasiya sistemlərinin geniş tətbiq olunduğu mühüm mərkəzdir. Xəzər dənizinin nisbətən məhdud ölçüləri sahil DGPS stansiyalarının geniş əhatəsini təmin edərək naviqasiya dəqiqliyini artırır. Bununla yanaşı, regionda siqnal saxtalaşdırma (spoofing) riskləri və sistemlər arasında qeyri-bərabər istifadə səviyyəsi çoxsistemli naviqasiya yanaşmasının tətbiqini zəruri edir.



**Şəkil 3**  
PNS-nin inkişaf istiqamətləri xəritəsi

*Gələcək tədqiqat istiqamətləri.* Gələcək tədqiqatlar çoxsistemli PNS qəbuledicilərinin tətbiqinin genişləndirilməsinə və tək sistemdən asılılığın azaldılmasına yönəldilməlidir. Eyni zamanda, kibertəhlükəsizlik tədbirlərinin gəmi naviqasiya sistemlərinə inteqrasiyası və müntəzəm kiber risk qiymətləndirilməsinin aparılması prioritet istiqamətlərdən biri kimi nəzərdən keçirilməlidir.

### Nəticə

Aparılmış təhlil göstərir ki, PNS müasir gəmi sürücülüyündə təhlükəsizliyin təmin olunmasında həlledici rol oynayır. GPS, GLONASS, Galileo və BeiDou kimi qlobal sistemlər mövqenin dəqiq müəyyən edilməsindən tutmuş axtarış-xilasetmə əməliyyatlarının effektivliyinə qədər dəniz nəqliyyatının bütün əsas aspektlərinə təsir göstərir. Müəyyən edilmişdir ki, PNS-lər fasiləsiz və yüksək dəqiqlikli mövqe məlumatı təmin etməklə saya oturma və toqquşma kimi naviqasiya qəzalarının sayını əhəmiyyətli dərəcədə azaldır. Statistik məlumatlara əsasən, elektron naviqasiya vasitələrinin tətbiqi bu tip qəzaları təxminən 30–40% azaltmışdır. Çoxsistemli naviqasiya yanaşması sistemin etibarlılığını artıraraq signal itkisi hallarında fasiləsizliyi təmin edir. Bununla yanaşı, signal saxtalaşdırması, kibertəhlükəsizlik riskləri və texnoloji asılılıq kimi problemlər mövcud olaraq qalır və kompleks yanaşma tələb edir. Beləliklə, e-Navigation konsepsiyasının inkişafı, avtonom gəmiçilik və yeni texnologiyaların tətbiqi PNS-lərin gəmi sürücülüyündə rolunu daha da gücləndirəcəkdir.

### Ədəbiyyat

1. Bowditch, N. (2019). *The American Practical Navigator*. National Geospatial-Intelligence Agency.
2. Beynəlxalq Dənizçilik Təşkilatı. (2017). *Maritime cyber risk management in safety management systems (MSC-FAL.1/Circ.3)*. <https://www.imo.org/en/OurWork/Security/Pages/Cyber-security.aspx>
3. Beynəlxalq Dənizçilik Təşkilatı. (2019). *SOLAS consolidated edition 2020*.
4. El-Rabbany, A. (2002). *Introduction to GPS: The Global Positioning System*. Artech House.
5. European Maritime Safety Agency. (2020). *Annual overview of marine casualties and incidents 2020*. <https://www.emsa.europa.eu/accident-investigation-publications.html>
6. European Union Agency for the Space Programme. (2021). *GNSS market report (Issue 6)*. <https://www.euspa.europa.eu/european-space/euspace-market/gnss-market/gnss-market-report>
7. Groves, P. D. (2013). *Principles of GNSS, inertial, and multisensor integrated navigation systems*. Artech House.
8. Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., & Wasle, E. (2008). *GNSS: Global Navigation Satellite Systems (GPS, GLONASS, Galileo, and more)*. Springer.
9. Kaplan, E.D., & Hegarty, C.J. (2017). *Understanding GPS/GNSS: Principles and applications* (3rd ed.). Artech House.
10. Lützhöft, M.H., & Dekker, S.W. A. (2002). On your watch: Automation on the bridge. *Journal of Navigation*, 55(1), 83–96. <https://doi.org/10.1017/S0373463301001588>

11. Norris, A. (2015). *Integrated bridge systems* (Vol. 2: ECDIS and positioning). Nautical Institute.
12. Psiaki, M. L., & Humphreys, T. E. (2016). GNSS spoofing and detection. *Proceedings of the IEEE*, 104(6), 1258–1270. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2016.2526658>
13. Weintrit, A. (2009). *The electronic chart display and information system (ECDIS): An operational handbook*. CRC Press.
14. Yang, Y., Mao, Y., & Sun, B. (2020). Basic performance and future developments of BeiDou global navigation satellite system. *Satellite Navigation*, 1(1), 1–8. <https://doi.org/10.1186/s43020-019-0006-0>