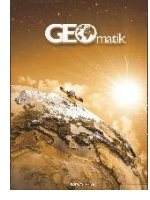




GEOMATİK

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/geomatik>

e-ISSN 2564-6761



QZSS uyduları ve sinyal yapıları

Atınç Pırtı¹ , Zeynep Örs Gündoğan¹ , Merve Şimşek¹ 

¹Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Anahtar Kelimeler

QZSS
GNSS
Navigasyon sinyalleri
Birlikte çalışabilirlik

ÖZ

Hassas konumlama sistemleri, kullanım amacına göre küresel ya da bölgesel olarak tasarlanmaktadır. GPS (Global Positioning System), GLONASS (Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema) ve Galileo gibi küresel sistemlerin yanı sıra yerel ihtiyaçlara çözüm üretebilmek amacıyla QZSS (Quasi-Zenith Satellite System) ve NavIC (Navigation with Indian Constellation) gibi bölgesel sistemler de mevcuttur. Quasi-Zenith uydu sistemi, Asya Pasifik bölgesi için tasarlanmış bölgesel bir uydu navigasyon sistemidir. Asya-Pasifik bölgesinde GPS'in servis kabiliyetini geliştirmesi hedeflenmektedir. İlk uydu 2010 yılında fırlatılmış ve farklı zamanlarda üç uydu daha fırlatılmıştır. QZSS (Quasi-Zenith Satellite System) mevcut durumda 4 uydu ile hizmet vermekte olup, 2024 yılına kadar 7 uydunun fırlatılmış olması planlanmaktadır. QZSS, GPS ile bütünleşmiş bir şekilde çalışması planlandığından GPS ile uyumlu olarak tasarlanmıştır. Bu çalışmada, Quasi-Zenith uydu sisteminin genel özellikleri, sinyal yapısı, kullanım amacı ve benzeri diğer sistemler ile arasındaki farklılıklar hakkında bilgi verilmektedir.

QZSS satellites and signal structures

Keywords

QZSS
GNSS
Navigation signals
Interoperability

ABSTRACT

Precise positioning systems are designed globally or regionally according to the intended use. In addition to global systems such as GPS, GLONASS and Galileo, regional systems such as QZSS and NavIC are also available to provide solutions to local needs. The Quasi-Zenith satellite system is a regional satellite navigation system designed for the Asia Pacific region. It is aimed to improve the service capability of GPS in the Asia-Pacific region. The first satellite was launched in 2010 and three more were launched at different times. The QZS system is currently in service with 4 satellites, and it is planned to launch seven satellites by 2024. QZSS is designed to be compatible with GPS as it is planned to work in an integrated manner with GPS. In this study, information is given about the general characteristics of the Quasi-Zenith satellite system, its signal structure, purpose of use and the differences between it and other similar systems.

1. Giriş

Günümüzde hassas konum bilgisi üretilmesi amacıyla tüm dünyayı kapsayacak şekilde tasarlanmış 4 (dört) küresel ve yerel ihtiyaçları karşılamaya yönelik planlanmış 2 (iki) bölgesel konumlama sistemi bulunmaktadır. Küresel konumlama sistemleri GPS, GLONASS, GALİLEO, BeiDou ve yerel konumlama sistemleri ise Quasi-Zenith uydu sistemi ve NavIC olarak adlandırılmaktadır. Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (GNSS), konumlama ve zamanlama verilerini GNSS alıcılarına ileten ve uzaydan sinyaller sağlayan uydulardan oluşan sistemi ifade etmektedir. Sistemin temel bileşenleri konum bilgilerini yayınlayan Dünya yörüngesindeki uydu sistemleri, yer kontrol istasyon ağları ve yer konumlarını hesaplayan alıcılardır. Küresel bir kapsama alanı sağlayan GNSS, karada, denizde ve havada bulunan sabit veya hareketli nesnelere konumlarını, hassas zaman bilgisi ve uzay geriden kestirme tekniğine dayalı olarak belirlemektedir (Gökalp & Boz, 2006). Bu sistemler başlangıçta askeri amaçlı olarak tasarlanmış ancak zaman içerisinde sivil ve ticari kullanıma evrilmiştir.

Uluslararası GNSS servisi (International GNSS Service- IGS) istasyon koordinat serileri, diğer uydu jeodezi tekniklerinin VLBI (Very Long Baseline Interferometry), SLR/LLR (Satellite/Lunar Laser Ranging) ve DORIS (Doppler Orbitography and Radio positioning Integrated by Satellite) karşılık gelen sonuçlarıyla birlikte ITRF'yi (International Terrestrial Reference Frame), gerçekleştirmek için IERS (International Earth Rotation Service) tarafından kullanılmaktadır. Jeodezi ve haritacılıkta neredeyse tüm ulusal birinci dereceden ağlar ITRF'yi referans almaktadır ve bunu IGS ürünlerini kullanarak gerçekleştirmektedir. Yer, atmosfer ve okyanus bilimleri ile meteoroloji ve klimatoloji gibi sayısız alanda gerçekleştirilen uygulamalar için GNSS temel verileri sağlamaktadır (Plag & Pearlman, 2007). Küresel navigasyon uydu sistemi, konumlama, navigasyon ve zamanlama verilerini yayınlayan uydu sistemleri herhangi biri için kullanılan genel bir terimdir. Günümüz itibarıyla sistemde dört küresel ve iki bölgesel sistem bulunmaktadır. GNSS sistemlerine ilişkin temel bilgiler Tablo 1'de yer almaktadır.

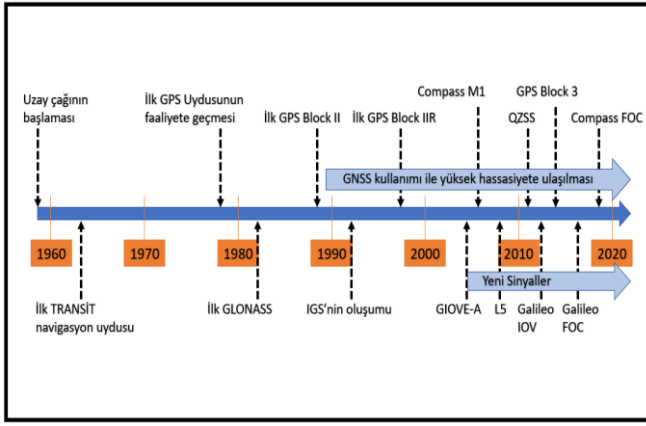
Tablo 1. Küresel Konumlama Sistemlerinin karşılaştırması

	Kurucu	Kapsam	Rakım (m)	Uydu Sayısı
GPS	ABD Uzay Kuvvetleri	Küresel	20.180	32
GLONASS	Roskosmos	Küresel	19.130	24
Galileo	GSA ve ESA	Küresel	23.222	30
BeiDou	CNSA	Küresel	21.528 35.786	35
QZSS	JAXA	Bölgesel	32.000 40.000	4
IRNSS/NavIC	ISRO	Bölgesel	36.000	8 (7 tanesi yörüngede)

Küresel konumlama sistemlerinin ilki olan GPS, ekvator düzlemi ile 60° açıyla ayrılan, altı yörünge düzlemine eşit olarak dağıtılmış 32 uydudan oluşmaktadır (Plag & Pearlman, 2007). GLONASS ise Rusya Uzay Savunma Güçleri Komutanlığı tarafından işletilen küresel ölçekli bir konumlama sistemidir. Gerçek zamanlı uydu verileri ile noktaların konumunu hızlı ve güvenilir bir şekilde belirlemek amacıyla tasarlanmıştır. 1982 yılında Cosmos adı verilen ilk GLONASS uydusu uzaya fırlatılmıştır. GLONASS 19100 km yükseklikte bulunan 24 adet uydudan oluşmaktadır. Avrupa Birliği ve Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından sivil kullanım için tasarlanan GALİLEO sistemi adını ünlü İtalyan astronom Galileo Galilei'den almaktadır. GALİLEO sistemi 3 adet yörünge üzerinde yer alan 30 adet uydudan oluşmaktadır. Bu uydular 23.222 km yüksekte konumlandırılmıştır. Her bir yörüngede 8 işlevsel ve 2 adet yedek uydu bulunmaktadır. GALİLEO küresel uydu sistemi, GPS, GLONASS ve BeiDou sistemlerinin askeri odaklı özelliklerinin aksine, sivil

kullanım amacı düşünülerek tasarlanmıştır. 2015 yılında Çin, küresel kapsama için üçüncü nesil BeiDou sistemi olan BeiDou-3'ü piyasaya sürmüştür. BeiDou sisteminin ilk uydusu 30 Mart 2015'te uzaya fırlatılmıştır. 2018 yılında BeiDou Navigasyon Uydu Sistemi küresel hizmetler sunmaya başlamıştır. Uydu konumlama sistemlerinin tarihsel gelişimi Şekil 1'de gösterilmiştir.

Quasi-Zenith uydu sistemi, Japonya Havacılık ve Uzay Araştırma Ajansı (JAXA) tarafından, Asya-Pasifik ve çevre bölgesindeki kullanıcılara hizmet verme amacıyla oluşturulmuş bölgesel bir sistemdir. Japonya'da, uydu konumlama için geçmişte ve günümüzde yaygın olarak Amerika Birleşik Devletleri'nin geliştirdiği küresel konumlama sistemi (GPS) kullanılmıştır. Bölgedeki GPS uydularının sayısının yetersiz olması nedeniyle istenilen doğruluk ve hassasiyetle konum bilgisinin üretilmemesi bölgesel bazda uydu konumlama sistemi tasarımını gerekli kılmıştır.

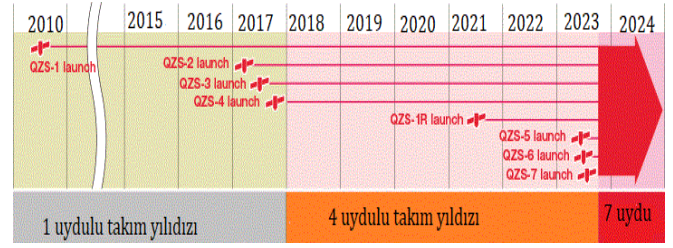


Şekil 1. Uydu Konumlama Sistemlerinin Tarihsel Gelişimi (Yozgatlı, 2016)

Bu sebeple, Japonya ve çevre bölgesinde etkili bölgesel bir uydu konumlama sistemi olarak Quasi-Zenith Uydu Sistemi tasarlanmıştır (Karasawa et al., 2019). Japon hükümeti Quasi-Zenith Uydu Sistemini geliştirmenin ilk aşamasını üstlenmiştir. Yeni uydular, kentsel kanyonlarda ve dağlık arazilerde bile Japonya'daki kullanıcılara kesintisiz konumlama ve navigasyon hizmeti verecek şekilde eğimli, eliptik bir jeosenkron yörünge üzerinde konuşlandırılmıştır. İlk aşamada QZSS, yeni nesil uydu iletişimi ve navigasyon gibi çoklu misyonlara yönelik ortak bir sistem olarak tasarlanmıştır. 2006 yılındaki revizyon ile QZSS, navigasyon hizmetine özel bir sistem olarak yeniden tasarlanmıştır (Inaba et al., 2009).

QZSS, endüstriyel küresel rekabet gücünü güçlendirmek, günlük yaşamı ve kamu yönetimini daha verimli hale getirmek amacıyla gündeme alınmıştır. Japonya-ABD ortaklığının güçlendirilmesi ve doğal afetlere müdahale kapasitesinin geliştirilmesi de dâhil olmak üzere geniş bir alana katkıda bulunması hedeflenmektedir. Diğer ülkelerin hâlihazırda navigasyon uydu sistemleri geliştirdiği gerçeği göz önüne alındığında, Japon Hükümeti operasyonel QZSS'nin dağıtımını mümkün olduğunca hızlı bir şekilde tamamlamaya çalışmaktadır. Bu kapsamda; 2010'ların sonunda dört uydu sistemi ve gelecekte, sürdürülebilir konumlamayı sağlamak için, yedi uydu sistemi olacak şekilde tasarlanmıştır. Kabine Ofisi, bu projeyi geliştirme, dağıtım, işletme, kullanım ve küresel yayılımın her aşamasında teşvik etmek için ilgili bakanlıklar ve ajanslar ile koordineli olarak çalışmaktadır. Bakanlar Kurulu'nun görevi, sürecin planlanan zamanda yerine getirebilmesi için yasal değişikliklerin yapılmasıdır (URL-1, 2021).

Michibiki olarak isimlendirilen ilk uydu QZS-1, 2010 yılında fırlatılmıştır. Yol gösteren anlamına gelen Michibiki, hassas konum bilgisi üreterek, Japonya'da yeni nesil uydu konumlama teknolojisi ile fütürist bir topluma dönüşme misyonunu ifade etmektedir. 2017 yılında üç QZSS uydusu daha fırlatılmıştır. Quasi-Zenith Uydu Sistemi 2018 yılından itibaren dört uydu sistemi ile hizmet vermektedir. QZSS başlangıçta 4 uydunun olduğu bir sistem olarak tasarlanmıştır ve ikinci aşamada 2024 yılında 7 uydulu bir sisteme dönüştürülmesi planlanmıştır (Şekil 2)(Zhang ve diğerleri, 2018).



Şekil 2. QZSS uydu dağıtım planı (URL-2)

Uydu sinyalleri, yoğun kentleşme nedeniyle inşa edilen yüksek yapı binalar, ormanlık bölgelerde ağaçlar ve diğer nesnelere tarafından engellenmektedir. GPS uydularının yetersizliği bazı durumlarda Japonya ve çevre bölgesinde istikrarlı konumlama bilgisinin alınmasını zorlaştırmaktadır. QZSS, GPS'in Asya-Pasifik bölgesinde, özellikle de Japonya'daki dağlık arazi ve yüksek yapı binalar nedeniyle sinyal yetersizliği olan kentsel alanlar için servis kapasitesini geliştirmek amacıyla tasarlanmıştır (Hong ve diğerleri, 2020). QZSS sisteminin hızla genişlemesi ile gelecekteki Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (GNSS) daha geniş bir alana hitap edecektir (Zhang ve diğerleri, 2018). QZSS'nin tasarım içeriği, GPS ve Galileo sistemlerinden büyük ölçüde farklıdır. Çünkü konumlama sistemlerinin gereksinimleri hizmet, hizmet alanı ve daha da önemlisi bunların altında yatan ulusal alan geliştirme politikası ile ilişkilidir (Inaba ve diğerleri, 2009). GPS ölçekli sistemlere kıyasla, QZSS ölçekli sistemler çok daha düşük maliyetler ile tesis edilmektedir. QZSS'nin temel amacı, modern yaşam alanındaki birçok uygulama için ülke çapında kullanılmak üzere hassas ve güvenli konum bilgisinin üretilmesinin sağlanmasıdır.

2. QZSS ana bölümleri

QZSS, uzay, kontrol ve kullanıcı bölümlerinden oluşmaktadır. Uzay bölümünde Quasi Zenith uyduları yer almaktadır. Sistemin yer kontrol bölümü ise bir ana kontrol istasyonu, bir izleme istasyonu, izleme kontrol istasyonları ve diğer ulusal araştırma enstitülerinin sistemlerinin entegrasyonundan oluşmaktadır (Inaba ve diğerleri, 2009).

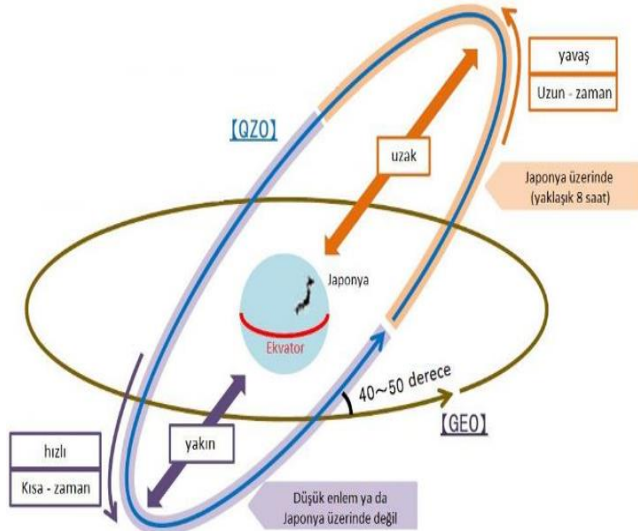
2.1. Uzay bölümü

Uzay bölümü, ekvator düzleminde yer yüzeyinden 36.000 kilometre yukarıda yörüngede dönen QZSS sistemlerini tanımlamaktadır. Sistemde yer alan bu uydular, hangi uydunun yayın yaptığını, zamanını, yörüngesini ve durumunu tanımlayan sinyaller yayınlamaktadır.

2.1.1. QZSS yörüngeleri

Japonya ve çevre bölgesinden geçen uyduların yörünge bilgilerine ait doğruluğun artırılması amacıyla tasarlanan sistemde uydu yörüngeleri eğimli bir elipstir. Sekiz şekline benzer yer izleri ile Quasi-Zenith uyduları, aynı bölgeden geçen 8 saatlik bir periyotla Japonya'nın üzerinde dolaşmaktadır (Teunissen ve Montenbruck, 2017). Quasi-Zenith uydu yörünge rotası Şekil 4'te yer almaktadır.

QZSS, 3 adet Quasi-Zenith yörüngeli uydu ve bir adet jeosenkron uydudan oluşmaktadır. Jeosenkron uydu ekvator düzleminde yer küre ile eş zamanlı dairesel bir yörünge izlemektedir. Quasi-Zenith yörüngeli uydular jeosenkron yörüngeye göre 40-50° arasında eğik ekliptik yörüngelerde konumlandırılmıştır (Shozaki 2018, İçen 2018). QZSS yörüngeleri Şekil 3, 4 ve 5'te gösterilmektedir.



Şekil 3. QZSS yörüngeleri (Shozaki 2018, İçen 2018)

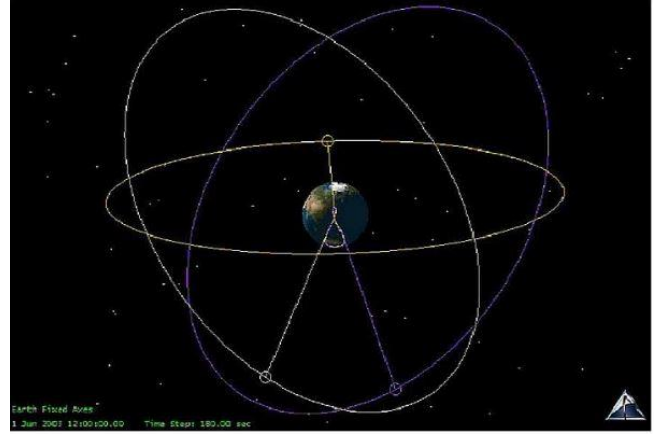
Quasi-Zenith Uydu Sistemi için benimsenen yörünge rotası, sistem uydu yayın hizmetleri için kullanıldığında, uydudan uyduya kolayca bağlantı değiştirebilme avantajına sahiptir. Bu yörünge rotası ile bir uydunun Japonya üzerinde daha uzun süre kalması hedeflenmiştir.



Şekil 4. Quasi-Zenith uydu yörünge rotası (JAXA)

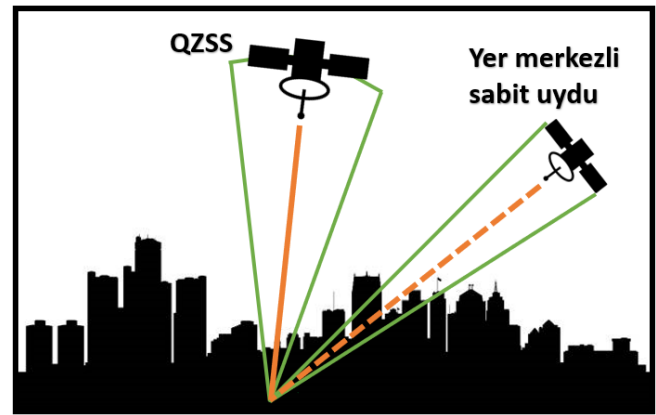
QZSS uyduları jeosenkron yörünge ile uçtuğundan, uydulara etki eden kuvvetler esas olarak Dünya'nın yerçekimi, ay-güneş çekimi ve güneş radyasyon basıncı ve diğer etkilere bağlıdır (Murata, 2004). Uydu yörünge tasarımı ile hedeflenen bölgede uydu aracılığıyla konum bilgisinin üretilebilmesi için dört veya daha fazla uydunun yer alması gerekmektedir. QZSS sistem düzlemleri birbirine göre 120° eğimli, eliptik jeosenkron

yörüngelerde yer alan üç adet uydudan oluşmaktadır (Şekil 5). Uyduların yer izleri Şekil 4'te gösterilmektedir. Yörünge konfigürasyonu, her bir uydunun diğerini şeklinin yer izinde 8 saat aralıkla takip edecek şekilde tasarlanmıştır (Inaba ve diğerleri, 2009).



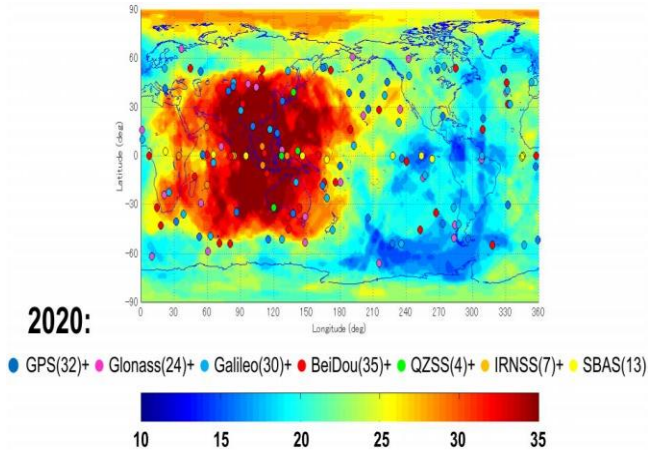
Şekil 5. Quasi-Zenith uydularının yörüngesi (JAXA)

Yüksek doğrulukta konum bilgisi, uydu sayısının yanı sıra uyduların yörünge bilgilerine de bağlıdır. Mevcut tüm uydular bir tarafa yoğunlaşırsa, PDOP değeri büyür ve konum doğruluğu azalır. Bu nedenle uyduların en iyi geometrik yerleşimi, zirvede bir uydu ve ufukta geniş bir şekilde dağılmış üç uydudan elde edilmektedir. Quasi-Zenith uydu sistemi tasarımı ile en üst noktaya en az bir uydu yerleşmekte ve ideal geometri dağılımının oluşması amaçlanmaktadır. Sonuç olarak, konum doğruluğunu iyileştirmek için uyduların geometrik yerleşimi de önemlidir. Quasi-Zenith uydu yörünge bilgileri, uydu geometrisi açısından da iyileştirilme imkânına katkıda bulunmaktadır (Şekil 6).



Şekil 6. Quasi-Zenith uydu konumu (JAXA)

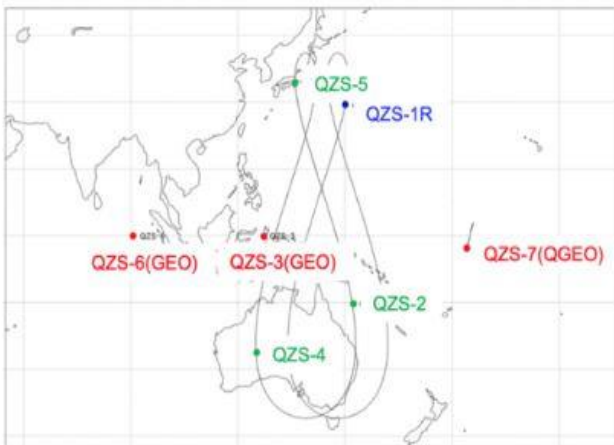
Quasi-Zenith uydu sisteminin ilk uydusu Michibiki'nin yörüngesi, merkezi Japonya ve Avustralya üzerindeki ekvatorda olan sekiz (8) şeklindedir. Bu nedenle uydu sinyalleri sadece Japonya'da değil, Güney Kore, Avustralya ve Güneydoğu Asya ülkelerinde de alınabilmektedir. Navigasyon uydularının dünya genelindeki ortalama sayısı Şekil 7'de gösterilmektedir.



Şekil 7. Görülen uydu sayısının dağılımı (JAXA)

Bölgede yoğun şekilde yaşanan deprem ve tsunami gibi doğal afetlerin kriz yönetiminin sağlanmasına yönelik bilgilerin Quasi-Zenith Uyduları aracılığıyla temin edilmesi amaçlanmaktadır. Bölgedeki doğal tehlikeler hakkında zamanında bilgi sağlanması hedefiyle 2023 yılına kadar uzaya fırlatılacak olan üç uydu ile, Asya-Okyanusya bölgesinde hizmetin güvenilir olmasını sağlanırken, kapsama alanı doğuya ve batıya doğru genişletilmektedir. Mevcut ve planlanan QZSS uydularının Asya Okyanusya bölgesindeki dağılımı Şekil 8'de gösterilmektedir. Deprem veya tsunami gibi bir felaket meydana geldiğinde oluşan bilgiler ve kuruluşlar tarafından afet önleme için yayınlanan kriz yönetimi bilgileri Quasi-Zenith uyduları aracılığıyla iletilmektedir.

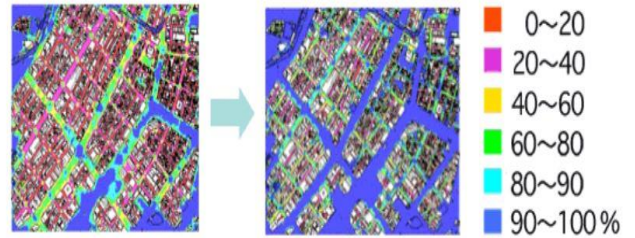
Afet anında alınan afetle ilgili bilgiler sesli ve görüntülü olarak dört saniyelik aralıklarla iletilmektedir. Telekomünikasyon ağlarının zayıf olduğu bölgeler (dağlık alanlar, kanyonlar gibi) ya da hasarlı zemin altyapısı nedeniyle telekomünikasyon ağının kesintiye uğraması durumunda afetle ilgili bilgilerin hızlı ve güvenilir şekilde iletilmesinin sağlanması hedeflenmektedir.



Şekil 8. QZSS uydularının Asya Okyanusya bölgesindeki dağılımı (JAXA)

Quasi-Zenith bölgesel navigasyon uydu sistemi sayesinde Asya-Pasifik ve çevre bölgesindeki yerlerden her zaman minimum üç uydu görülebilmektedir. QZSS'nin, kararlı ve yüksek hassasiyetli konumlama için yeterli sayıda uydu sağlayarak; GNSS ile bütünleşmiş bir

şekilde kullanılması hedeflenmektedir. Bu amaçla QZSS, GNSS ile uyumlu olarak tasarlanmıştır. Özellikle yoğun kentleşme alanlarında yetersiz GPS uydusu nedeniyle yaşanan sinyal gölgelemesi ve yansımından kaynaklı hataların azaltılması hedeflenmiştir. Uydu sayısının azlığı ve iyonosferik hatalar, uydu konumlama sisteminin temel iki hata kaynağı olarak sıralanmaktadır. Şekil 9'da yalnızca GPS uydularıyla elde edilen konumlama verisi ve GPS ile Quasi-Zenith uydu kombinasyonu ile elde edilen konumlama verisi gösterilmektedir.



Şekil 9. Yalnızca GPS uydularıyla (solda) ve QZSS eklendiğinde (sağda) konumlama (URL6)

Quasi-Zenith yörünge takımında yer alan uydulardan en az biri Japonya üzerinde bulunacağından yansıma ve atmosferik etki nedeniyle oluşan hata kaynakları elimine edilmekte ve konumlama hassasiyeti artırılmaktadır. Quasi-Zenith uyduları ile GPS performansının iyileştirilmesinin yanı sıra Asya Okyanusya bölgesinde GPS modernizasyonunun hızlandırılması sağlanmaktadır. Bölgedeki çoklu GNSS kullanımı ve uygulamalarına Quasi-Zenith uyduları katkı sunmaktadır.

Japonya Ulusal Uzay Politikası Sekreterliği ve Kabine Ofisi, Quasi-Zenith tarafından sağlanan Uydu Konumlama, Navigasyon ve Zamanlama Hizmeti (PNT), Metre Altı Seviye Artırma Hizmeti (SLAS) ve Santimetre Düzeyinde Artırma Hizmetinin (CLAS) aylık performans değerlendirme sonuçlarını altı aylık bir periyot dâhilinde yayınlamaktadır.

2.1.2. QZSS Uyduları

QZS uyduları, Mitsubishi Electric Corporation (MELCO) tarafından üretilmektedir. Uyduların tedarikçisi Japonya Hükümeti Kabine Ofisi, uydu tabanlı konumlama sisteminin oluşturulması ve işletilmesi amacıyla Quasi-Zenith Satellite Systems Services Inc. adında bir özel girişim şirketi kurmuştur (İçen, 2018).

Quasi-Zenith uydu takımı; yörüngede dönen 3 uydu ile 127° doğu boylamında bulunan bir adet yer-sabit yörüngeli uydudan oluşmaktadır. İlk QZS uydusu "Michibiki-1" 2010 yılında fırlatılmıştır, ikinci olarak QZS uydusu Haziran 2017'de, 3. Uydu Ağustos 2017'de ve 4. uydu ise Ekim 2017'de fırlatılmıştır (Takizawa, 2017).

QZSS, 3 Quasi-Zenith yörüngeli (QZO) uydu ve Yer-Sabit yörüngeli (GEO) uydudan oluşur. GEO yörüngeli uydu, ekvator üzerinde yaklaşık 36000 km yükseklikte dairesel bir yörünge üzerinde hareket etmektedir. Yaklaşık 3 km/s sabit bir hıza sahiptir ve yörünge periyodu yaklaşık olarak 24 saattir. Yerküre ile eşzamanlı döndüğünden, yerden bakıldığında sabitmiş gibi görünmektedir. Bu yörünge tipi genelde haberleşme

ve meteoroloji uyduları gibi uydular tarafından kullanılmaktadır (Tablo 2).

Tablo 2. QZS yörünge parametreleri (JAXA)

Yarı büyük eksen	42.164 km (ortalama)
Eksantriklik	<0.099
Yörünge eğimi	45 ± 5 °
Perigee argümanı	270 ± 1 °
Yer yolunun merkezi boylamı	135 ° Doğu

QZS uyduları, “QZS-uydu numarası” şeklinde adlandırılmaktadır. Uydu numaraları fırlatma önceliğine göre belirlenmektedir (QZS-1, QZS-2, QZS-3, QZS-4). Dört uydu sistemlerin 3 adet uydusu eğimli jeosenkron (IGSO) ve bir tanesi yer sabit (GEO) yörünge tasarımına sahiptir. QZSS uydu takımının ilk uydusu olan QZS-1, Block IQ olarak adlandırılan ilk seri konfigürasyonuna sahiptir. QZS-1 uzay aracı konfigürasyonu Şekil 10’da gösterilmektedir. Birinci nesil Block IQ uydusu QZS-1 2010 yılında fırlatılırken, üç Block IIQ uydusu 2017 yılında sisteme katılmıştır. QZSS Block IQ ve Block IIQ uyduları arasındaki en belirgin görsel fark, güneş enerji paneli sayılarıdır. Block IIQ serisinde daha küçük ve yüksek verimli güneş pilleri kullanılmıştır. QZS-1’in yeterli elektrik enerjisi üretimi için güneş paneli kanatçıklarını güneşe dik olarak yönlendirmesi gerekmektedir.

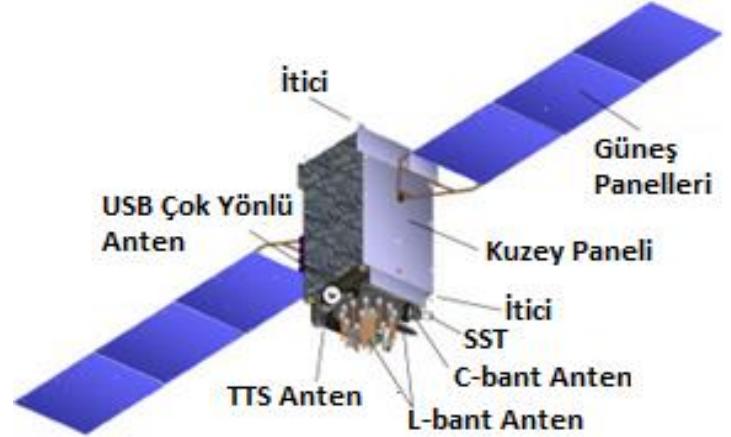
Tablo 3. QZSS uyduları ve ek bilgiler (JAXA)

Uydu	QZS-1	QZS-2	QZS-3	QZS-4
Sponsor:	Kabine Ofisi, Japonya Hükümeti			
Beklenen Ömür:	12 yıl	15 yıl	15 yıl	15 yıl
Birincil Uygulama	Uydu seyir sistemi			
Birincil SLR Uygulamaları:	GPS yörüngelerinin kalibrasyonu			
SIC Kodu:	1581	1582	1583	1584
Lansman tarihi:	11.09.2010	01.06.2017	19.08.2017	10.10.2017
NP Kutu Boyutu:	300 saniye			
RRA Çapı:	1,6"			
RRA Şekli:	Düzlemsel			
Rakım:	32.000-40.000 km	32.000-40.000 km	36.000 km	32.000-40.000 km
Eğim:	45 derece	45 derece	0 derece	45 derece
Yörünge:	Eliptik	Eliptik	Jeosenkronize	Eliptik
Eksantriklik:	0.075	0.075	0	0.075

QZS-3, 127 derece doğu boylamında yer almaktadır ve sistemin, tek yer-sabit yörüngeli uydusudur. Quasi-Zenith yörüngeli uydulardan farkı, üzerinde acil durumlarda güvenlik durumunun raporlanması için iki yönlü haberleşmeye imkân sağlayan bir S-bant anteni bulunmasıdır. Bu uyduda bulunan L1b sinyali sayesinde SBAS hizmeti verilmesi düşünülmektedir (Takizawa, 2017).

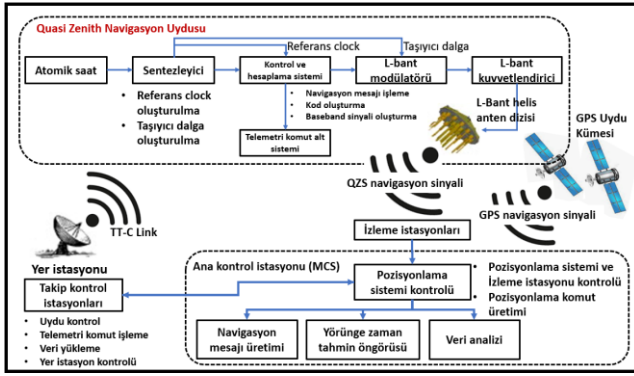
QZSS uyduları, dört taşıyıcı frekansta, altı CDMA navigasyon sinyali yayınlamaktadır. Taşıyıcı frekansları

Tüm QZSS uyduları, GPS ile uyumlu L1, L2 ve L5 bantlarında, L1 C/A, L1C, L2C ve L5 navigasyon sinyallerini iletmektedir. QZSS’yi özgü sinyaller L1, L5 ve L6 bantlarında iletilmektedir. Bu uyduların uç kısmında L bant yayınlayan anten yer almaktadır. Ham ağırlığı 1,8 ton, fırlatma ağırlığı ise 4,1 ton olan Block IQ serisinin beklenen görev ömrü 10 yılın üzerindedir. Block IIQ serisi uyduların ise kuru ağırlığı 1,6 ton, fırlatma ağırlığı 4,0 tondur. Uydu ömürlerinin 15 yıldan fazla olması beklenmektedir (İçen, 2018).



Şekil 100. QZS-1 Uydu yapısı

1575.42 MHz (GPS L1 ve Galileo E1 ile ortak), 1278.75 MHz (Galileo E6 ile ortak), 1227.6 MHz (GPS L2 ile ortak) ve 1176.45 MHz (GPS L5 ile ortak) olarak sıralanmaktadır (Christopher & Hegarty, 2013). Tablo 3’te QZSS uydu sinyallerinin yörünge yapıları ve sinyal bilgileri yer almaktadır. Quasi Zenith Uydu Sistemi bileşenlerine ilişkin tasarım şeması Şekil 11’de gösterilmiştir.



Şekil 11. Quasi Zenith Uydusu Sistemi (Inaba et al., 2009)

2.1.3. QZSS Sinyalleri

QZS, dört frekansta altı sinyal iletmektedir. Bu sinyaller GPS birlikte çalışabilir niteliktedir. L1-bandında L1C, L1-C/A ve L1-SAIF sinyalleri, L2-bandında L2C sinyali, L5-bandında L5 sinyali ve E6 bandındaki LEX sinyali iletilmektedir. QZS'nin GPS birlikte çalışabilir sinyallerini kullanan yatay konumlama doğruluğu özellikleri, GPS'inkilere eşdeğerdir. L1-SAIF'in hedef doğruluğu, kullanıcı yatay konumlama doğruluğu için yaklaşık 1 m'dir (rms). LEX için bir başvuru adayı, birkaç santimetre hassasiyete sahip bir ölçme uygulamasıdır. QZSS uydusu takımında yer alan uyduların yeryüzüne aktardığı/aktaracağı sinyaller ve bu sinyaller sayesinde sunulan hizmetler Tablo 3 ve Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. QZSS uydusu sinyalleri (JAXA)

Uydusu	Başlangıç Tarihi	Yörünge	Sinyal
QZS-1	2010/9/11	QZO	L1C/A, L1C, L2C, L5, L1S, L6
QZS-2	2017/6/1	QZO	L1C/A, L1C, L2C, L5, L1S, L5S, L6
QZS-3	2017/8/19	GEO	L1C/A, L1C, L2C, L5, L1S, L5S, L1Sb, L6, Sr/Sf
QZS-4	2017/10/9	QZO	L1C/A, L1C, L2C, L5, L1S, L5S, L6

QZS, dört frekansta altı sinyal iletmektedir. Bu sinyaller GPS birlikte çalışabilme ve GPS büyütme özelliklerine sahiptir. L1-bandında L1C, L1-C/A ve L1-SAIF sinyalleri, L2-bandında L2C sinyali, L5-bandında L5 sinyali ve E6 bandındaki LEX (L deneysel) sinyali ile hizmet vermektedir. L1C, L1-C/A, L2C ve L5 sinyalleri GPS ile birlikte çalışabilmektedir. L1-SAIF ve LEX sinyalleri ise GPS büyütme sinyalleridir. L1-SAIF sinyali, GPS-SBAS ile tam uyumluluğa sahiptir ve GPS (WDGPS) düzeltme verilerini iletmektedir. LEX, diğer SBAS sinyallerine göre daha yüksek hızda veri aktarımı sağlamaktadır. E6-CS sinyali Galileo ile uyumludur (URL-3).

QZSS uyduları, GPS sinyalleri gönderebildiği için QZSS ve GPS'i tek bir uydusu sistemi gibi kullanabilme olanağı

mevcuttur. Farklı konumlama sistemlerinin bu entegrasyonu gökyüzünde aynı anda bulunan ve konumlama sinyali gönderen GPS uydusu sayısının artmasına neden olmakta ve böylece konum doğruluğu ve hassasiyeti artmaktadır.

Konumlama hizmeti verme amacıyla aktarılan L1C/A, L1C, L2C ve L5 sinyalleri; GPS sinyallerini destekler ve GPS'i tamamlar (Şekil 6). Tablo 4'de QZSS sinyallerine ilişkin temel bilgiler yer almaktadır.

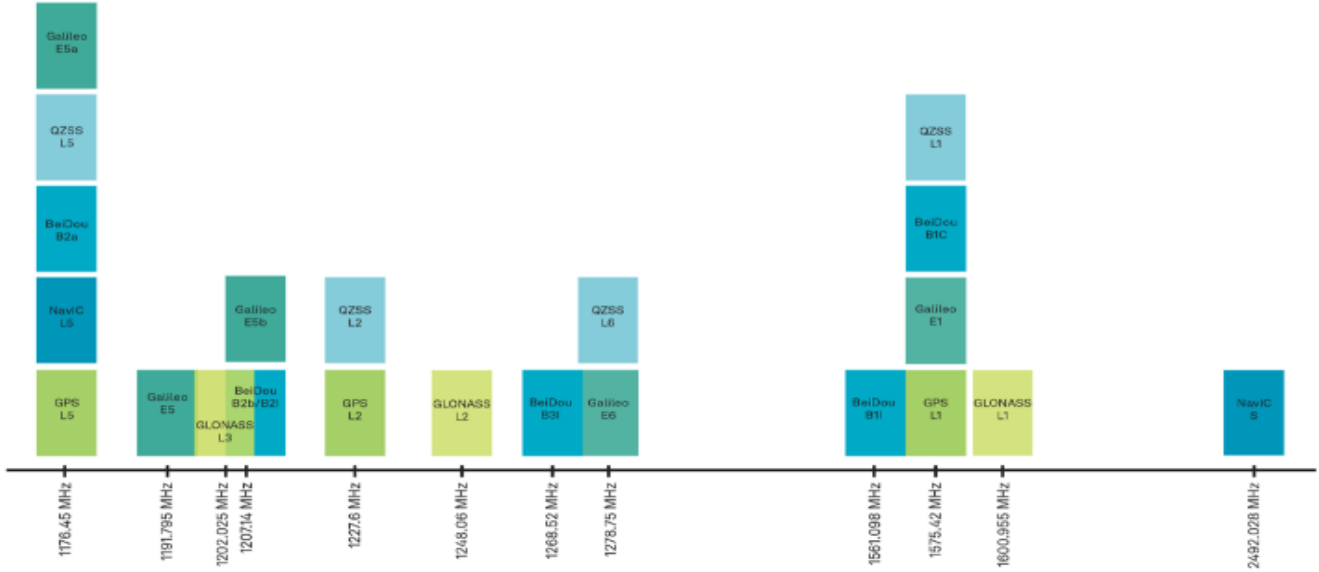
Tablo 5. QZSS sinyalleri (JAXA)

Sinyal adı	Merkez frekansı	Açıklamalar
L1-C / A	1575,42 MHz	•GPS birlikte çalışabilir sinyaller • Mevcut ve modernize edilmiş GPS sinyalleriyle uyumlu sinyaller
L1C	1227,6 MHz	
L2C	1176,45 MHz	
L5	1176,45 MHz	
L1-SAIF	1575.42MHz	• GPS-SBAS ile uyumlu • WDGPS
LEX	1278.75 MHz	• Daha yüksek veri hızı mesajlı deneysel sinyal • Galileo E6 sinyali ile uyumlu

GNSS uygulamalarının, etkin ve doğru bir şekilde veri üretmesi için farklı amaçlara uygun uydusu sinyallerine gereksinim duyulmaktadır. Bu uygulamalar, tarımdan otomotive ve savunma sanayiye kadar birçok farklı endüstride çeşitlilik göstermektedir. Uygulama alanları beş ana kategoride sıralanabilir:

1. Konum – Yeryüzündeki konumun belirlenmesi,
2. Navigasyon – Bir konumdan diğerine en iyi rotanın belirlenmesi,
3. İzleme – Bir nesnenin yeryüzündeki hareketinin izlenmesi
4. Haritalama – Belirli bir alanın haritalarının oluşturulması,
5. Zamanlama- Saniyenin milyarda biri içinde kesin zamanlama bilgisinin hesaplanması

Uygulamanın hassasiyeti, sinyal esnekliği ve güvenilirliği ihtiyacına bağlı olarak, GNSS alıcılarının performansını artıran ek teknolojiler bulunmaktadır (URL-4).



Şekil 12. Konumlama Sistemlerindeki Uyduların Sinyalleri (URL-4)

2.2. QZSS kontrol bölümü

Uydu konumlama sistemlerindeki kontrol bölümü, dünya genelinde yerleşik bir ana kontrol, veri yükleme ve izleme istasyonları ağı bileşiminden oluşmaktadır. Bu istasyonlar uydudan gelen sinyali kullanarak, uydunun konumu ile olması gereken konumu gösteren yörünge modeliyle karşılaştırmaktadır. Uydu kontrol bölümündeki operatörler, bir uydunun sürüklenme ya da uyduya enkaz çarpışmasını önlemek için hareket ettirilmesi gerekmesi durumunda, yörünge yollarını düzeltmek veya değiştirmek için uyduların konumunu kontrol etmektedirler. Bu sayede, uyduların uydu konum doğruluğu bilgisi kontrol altına alınmaktadır.

QZS yer kontrol sistemi, ana kontrol istasyonu, uydu kontrol istasyonu ve gözleme istasyonu bileşenlerinden oluşmaktadır. Ana kontrol istasyonu, QZSS uydularının yörüngelerini düzenlemektedir. Sistemde 2 ana kontrol istasyonu yer almaktadır. Sisteme ilişkin temel işlemlerin yürütüldüğü istasyon Hitachi-Ota'da bulunmakta olup, bu ana istasyondur (Şekil 12), Kobe'de yer alan istasyon ise yedek istasyon vazifesi görmektedir (Şekil 13). Japonya ve Asya/Okyanusya bölgelerinde 10 adet uydu kontrol istasyonu bulunmaktadır. Uydu kontrol istasyonları, QZS yörünge ve saat parametrelerini diğer uydu kontrol istasyonlarına iletmektedir. Japonya'nın güney bölgesinde uyduların sürekli görülebilmesi için 2016 yılı sonundan itibaren faaliyet göstermeye başlayan 7 adet Telemetri, Takip ve Komut İstasyonu bulunmaktadır (Şekil 14), (Takizawa, 2017).

Dünyada GPS ve QZSS uyduları için 3'ü Japonya'da olan 25 Hassas yörünge belirleme istasyonu bulunmaktadır (Şekil 14). Japonya'da 10 tane Metre-altı Doğrulukla Konum Belirleme Destek Hizmeti (SLAS) istasyonu bulunur. QZSS'nin Santimetre Konum Belirleme Doğruluk Seviyesi için 98 Destek Hizmeti (CLAS), 1300'den fazla istasyona sahip Japonya'nın

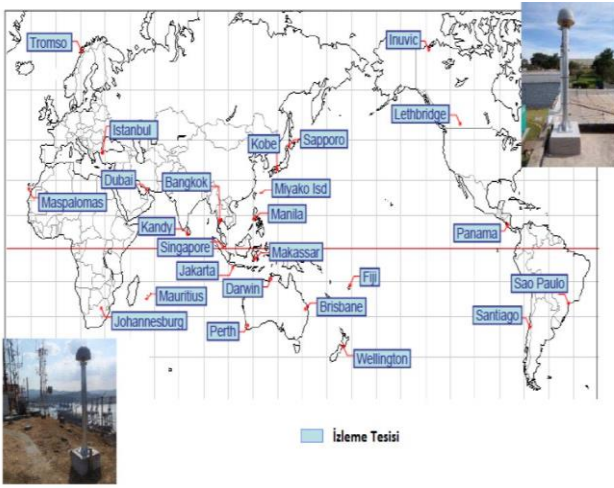
Sürekli Çalışan Referans İstasyonları (CORS) ağı GEONET (GNSS Yer Gözlem Ağı Sistemi) kullanılmaktadır.



Şekil 13. QZSS Ana Kontrol Merkezi Hitachi-Ota (Takizawa, 2017)



Şekil 14. QZSS Kontrol Merkezi, Kobe (Takizawa, 2017)



Şekil 15. QZSS ve GPS hassas yörünge belirleme istasyonları (Takizawa, 2017)

2.3. QZSS kullanıcı bölümü

Kullanıcı bölümü, hizmet kullanıcıları ve kullanıcı malzemelerinden oluşmaktadır. Uydu tabanlı konumlama sistemlerinde kullanıcı bölümü tamamlayıcıdır, uzaydan yeryüzüne gönderilen sinyallerini alıp, sinyal ile gönderilen verileri işleyerek konum ve zaman bilgisi gibi verilere dönüştürmektedir.

Sistemin operasyonel ve destek bilgileri ile yer sisteminde üretilen ve biriken veriler internet üzerinden kullanıcılara sunulmaktadır. Kullanıcılar, QZSS web sitesinde bu verilere erişim sağlamaktadır. QZSS kullanıcı web sitesinde Japonca ve İngilizce olmak üzere iki dil seçeneği bulunmaktadır (URL-4).

QZSS'nin birincil görevi Japonya'nın pek çok kent oluşumunda GPS uydularının daha kesin sonuçlar vermesini sağlamak ve GPS ile veri elde eden uygulamaların hassasiyetini, güvenilirliğini artırmak ve verimliliğini geliştirmektir. Quasi-Zenith Uyduları hem GPS'in L1C/A sinyalleri ile uyumlu hem de geliştirilmiş L1C, L2C ve L5 sinyalleri ile uyumlu iletimde bulunur. Var olan GPS alıcıları için bunu en aza indirir. Bağımsız GPS ile karşılaştırıldığında GPS artı QZSS birleştirilmiş sistemi, Quasi-Zenith uydularından gelen L1-SAIF ve LEX geliştirilmiş sinyalleri arasında değişen bağlantı iletim yoluyla sağlanan düzeltme verileri metre altı birimlerde daha gelişmiş konumlandırma ve verim sağlar.

Uzayda kullanılan atom saatleri sınıfında; bir hidrojen mazer ve Rb atom saati gibi iki tür; özgün planına göre, Quasi-Zenith uydularını yürütmek için kullanılmaktadır. Quasi-Zenith uyduları için bir pasif hidrojen mazeri geliştirilmesi 2006 yılında iptal edilmiştir. Konumlandırma sinyali Rb saati ile oluşturulur ve GPS süre tutma sistemine benzer bir mimari kullanılır. QZSS de, bir İki Yönlü Uydu Zaman ve Frekans Aktarımı (TWSTFT- Two-Way Satellite Time and Frequency Transfer) düzeni kullanılacak ve bununla bazı köklü uydu atom standardı davranış bilgileri ve diğer araştırmalar amacıyla bilgiler elde etmek mümkün olacaktır.

QZSS, GNSS sisteminin uydu sayısını artırması ve GPS ile bütünleşmiş çalışabilmesi kullanıcılara gerek statik

gerekse RTK ve CORS işlemlerde kolaylıklar ve yüksek konum doğruluğu sağlamaktadır.

3. Sonuçlar

Bu çalışmada bölgesel konum belirleme sistemlerinden biri olan QZS sisteminin mevcut işleyişi, tasarımı ve gelecek vizyonuna ilişkin temel bilgiler yer almaktadır. QZSS, Japonya Uzay Araştırma Ajansı tarafından Japonya'ya kapsayacak şekilde geliştirilmiş, uydu tabanlı bölgesel konum belirleme sistemidir. Sistemin Michibiki adı verilen ilk uydusu 2010 yılında fırlatılmıştır. Kasım 2018'den beri dört uydudan oluşan bir sistem olarak işletilmektedir. Gelecek vizyonunda GPS ile entegre çalışabilen 7 uydulu bir sisteme dönüştürülmesi planlanmaktadır. QZS sisteminde yer alan uydular 32000-40000 km yükseklikte yer almaktadır. Uydu yörüngeleri Japonya ve çevre bölgesinde GPS'in servis kabiliyetini artırması amacıyla eğik jeosenkronize olarak tasarlanmıştır. Bu sayede QZSS, Japonya'da birçok bölgede GPS uydularına destek olmakta ve GNSS verilerinin hassasiyet ve doğruluğunu artırmaktadır. GPS ile kombine çalışabilen tek sistemdir. Özellikle sinyal sorunlarının yaşanması olası yoğun yapılaşmış kentleşme alanları ve ormanlık alanlar gibi bölgelerde uydu sayısını artırarak tamsayı belirsizliğinin daha hızlı çözülmesini sağlamaktadır. IGS'in yürüttüğü Multi-GNSS projesi için de Quasi-Zenith uydularının katkısı önemlidir.

Araştırmacıların katkı oranı

Zeynep Örs Gündoğan: Literatür taraması, Makale yazımı; **Merve Şimşek:** Literatür taraması, Makale yazımı; **Atınç PIRTI:** Kontrol ve Düzenleme

Çatışma beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

- Christopher H & Hegarty C (2013). *Overview of the Global Navigation Satellite System (GNSS)*. 96(May).
- Gökalp E & Boz Y (n.d.). *Avrupa'nın Global Navigasyon Uydu Sistemi: GALILEO*. 2-7.
- Hong J, Tu R, Zhang R, Fan L, Zhang P & Han J (2020). Contribution analysis of QZSS to single-frequency PPP of GPS/BDS/GLONASS/Galileo. *Advances in Space Research*, 65(7), 1803-1817. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2020.01.003>
- İçen E (2018). Küresel Ve Bölgesel Konumlama Sistemleri, Teknolojileri Ve Uygulamaları. *Havacılık Ve Uzay Teknolojileri Uzmanlığı Tezi*.
- Inaba N, Matsumoto A, Hase H, Kogure S, Sawabe M & Terada K (2009). Design concept of Quasi Zenith Satellite System. *Acta Astronautica*, 65(7-8), 1068-1075. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2009.03.068>
- Karasawa K, Tsukada H, Ashida K, Karakama T & Kaneko T (2019). Planar antennas for quasi-zenith satellite system nicknamed MICHIBIKI. *2019 IEEE 8th Global Conference on Consumer Electronics, GCCE*

- 2019, 507–510.
<https://doi.org/10.1109/GCCE46687.2019.9015604>
- Koca B & Ceylan A (2018). Uydu Konum Belirleme Sistemlerindeki (GNSS) Güncel Durum ve Son Gelişmeler. *Geomatik*, 3(1), 63–73.
<https://doi.org/10.29128/geomatik.348331>
- Murata M (2004). Positioning performance of GNSS-based quasi-zenith satellite system. *Proceedings of the SICE Annual Conference*, 899–906.
- Plag H P & Pearlman M. (2007). The Global Geodetic Observing System: Meeting the Requirements of a Global Society on a Changing Planet in 2020 The Reference Document. Int. Assoc. Geod.
- Takizawa G (2017). Status update on the quasi-zenith satellite system. *International Committee on GNSS (ICG-12)*, Kyoto, Japan.
- Yozgatlı H (2016). *TEFTİŞ KURULU BAŞKANLIĞI Müfettiş Yardımcılığı Yetiştirme Programı Araştırma Çalışması*.
- Zhang Y, Kubo N, Chen J, Wang H & Wang J (2018). Assessment of the Contribution of QZSS Combined GPS/BeiDou Positioning in Asia-Pacific Areas. *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 497, 467–478. https://doi.org/10.1007/978-981-13-0005-9_37
- URL1: <https://www.cao.go.jp/index-e.html>
URL2: <https://qzss.go.jp/en/>
URL-3: <https://earth.esa.int/web/eoportal/satellite-missions/q/qzss>
URL-4: <https://novatel.com/tech-talk/an-introduction-to-gnss/what-are-global-navigation-satellite-systems-gnss>
URL-5: <https://sys.qzss.go.jp/dod/en/summary.html>
URL6: <https://spaceflight101.com/spacecraft/qzss/>



© Author(s) 2022. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>