

Antarktika Kıtasındaki Tektonik Hareketleri İzlemek İçin Türkiye'nin Sabit GNSS İstasyonu: Dismal (DISM) İstasyonu

(Türkiye's Permanent GNSS Station to Monitor Tectonic Movements on the Antarctica: Dismal (DISM) Station)

Özgür ÖZEL*^{ID}, Yusuf URAL^{ID}, Abdullah KELLEVEZİR^{ID}, Tunahan GÜNDOĞAN^{ID}, Faruk YALÇIN^{ID}, Selçuk PEKER^{ID}, Hakan KILINÇ^{ID}, İbrahim Cihan DEMİREL^{ID}, İlyas AKPINAR^{ID}

Harita Genel Müdürlüğü, Jeodezi Dairesi Başkanlığı, Ankara

*Sorumlu yazar: ozgur.ozel@harita.gov.tr

Geliş Tarihi (Received): 07.12.2023

Kabul Tarihi (Accepted): 15.07.2024

ÖZ

Bu çalışmanın temel amacı, Antarktika kıtasındaki tektonik hareketleri izlemek için Türkiye'nin sabit Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (GNSS) istasyonu olan Dismal (DISM) istasyonunun kurulum aşamaları hakkında bilgi vermek, koordinat zaman serisini incelemek ve analiz etmektir. Verilerin analizi GAMIT/GLOBK v10.71 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. DISM istasyonunun günlük çözümleri, koordinat ve hızları ITRF2014 datumunda belirlenmiştir. DISM istasyonunun yer değiştirme vektörü istasyonun kuzeydoğu yönüne hareket ettiğini göstermektedir. Elde edilen sonuçlar neticesinde noktanın bölgesindeki diğer sabit istasyonlarla aynı hareketi yaptığı değerlendirilmektedir. DISM istasyonunun zaman serisi incelendiğinde yılın aynı dönemlerinde harmonik salınımlar yaptığı görülmektedir. Bunun sebebinin eriyen buzullar olduğu değerlendirilmektedir. Analizler sonucunda DISM istasyonunun NEU (Kuzey, Doğu ve Yükseklik) bileşenlerinin hızı $V_n=9.56$ mm/yıl, $V_e=13.15$ mm/yıl ve $V_u=-0.25$ mm/yıl olarak hesaplanmıştır. Analize dahil edilen noktaların dengeleme sonucunda elde edilen hızlarının karesel ortalama hatası kuzey-güney bileşeninde 0.39 mm/yıl, doğu-batı bileşeninde 0.45 mm/yıl ve yükseklik bileşeninde 1.72 mm/yıl olarak, koordinatların karesel ortalama hataları ise kuzey-güney bileşeninde 1.30 mm, doğu-batı bileşeninde 0.92 mm ve yükseklik bileşeninde 3.56 mm olarak elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: GNSS, Antarktika, Tektonik hareket

ABSTRACT

The main purpose of this study is to provide information about the installation stages of the Dismal (DISM) station which is Türkiye's permanent Global Navigation Satellite System (GNSS) station to monitor tectonic movements on the Antarctic continent, and to examine and analyze the coordinate time series. Data analysis was carried out using GAMIT/GLOBK v10.71 software. Daily solutions, coordinates and velocities of the DISM station were determined in the ITRF2014 datum. It has been determined that the displacement vector of the DISM station shown that the station moves towards the northeast. As a result of the results obtained, it is evaluated that the station moves in the

same way as other permanent stations in its region. When the time series of the DISM station is examined, it is seen that it makes harmonic oscillations in the same periods of the year. It is thought that the reason for this is melting glaciers. As a result of the analysis, the velocity of the NEU (North, East and Up) components of the DISM station was calculated as $V_n=9.56$ mm/year, $V_e=13.15$ mm/year and $V_u=-0.25$ mm/year. The root mean square error of the velocities obtained as a result of adjustment of the points included in the analysis is 0.39 mm/year in the north-south component, 0.45 mm/year in the east-west component and 1.72 mm/year in the up component, while the root mean square errors of the coordinates are obtained as 1.30 mm in the north-south component, 0.92 mm in the east-west component and 3.56 mm in the up component.

Keywords: GNSS, Antarctica, Tectonic movement

1. GİRİŞ

Türkiye'de kutup araştırmaları kapsamında çalışmalar 20. Yüzyılın başına dayanmakla birlikte Antarktika kıtasına ayak basan ve ilk modern bilimsel çalışmaları yapan bilim insanımız Prof. Dr. Atok Karaali'dir. 2000'li yıllarda birçok bilim insanımız kıtaya ayak basmış ve bilimsel çalışmalarda bulunmuştur. Ulusal seferlerimiz ise T.C. Cumhurbaşkanlığı himayelerinde, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı uhdesinde, İTÜ PolReC (Kutup Araştırmaları Uyg-Ar Merkezi) öncülüğünde 2017 yılında başlamış ve sonrasında TÜBİTAK MAM KARE (Kutup Araştırmaları Enstitüsü) koordinasyonunda günümüze kadar kesintisiz devam etmiştir (BTGM, 2017). Horseshoe isimli yarımada 2019'da ilk Türk Bilim Kampı kurularak farklı disiplinlere sahip bilim insanları; iklim, çevre, buzul ve kıyı erozyonları, deniz, jeofizik, sismoloji, tektonik, jeodezi, jeodinamik, biyoloji, tıp ve uzay bilimleri başta olmak üzere diğer birçok bilim dalında çalışmalar ve araştırmalar yapmaktadır. Ayrıca bölge ve çevresinde birçok ülke tarafından gerçekleştirilen jeodezi tabanlı bilimsel çalışmalarda, uzay ve yersel olmak üzere farklı gözlem teknikleri kullanılmaktadır. Son yıllarda yapılan araştırmalar, Antarktika bölgesi için GNSS'den (Global

Atif/To cite this article: Özel, Ö., Ural, Y., Kellevezir, A., Gündoğan, T., Yalçın, F., Peker, S., Kılınç, H., Demirel, İ.C. ve Akpınar, İ. (2024). Antarktika Kıtasındaki Tektonik Hareketleri İzlemek İçin Türkiye'nin Sabit GNSS İstasyonu: Dismal (DISM) İstasyonu. Harita Dergisi, 172, 17-29.

Navigation Satellite System-Küresel Navigasyon Uydu Sistemi) türetilen verilerin toplanmasına veya işlenmesine odaklanmıştır. Bu kapsamda, uydu sinyallerine dayalı olmak üzere mekânsal verinin üretilmesi, deniz seviyesinin izlenmesi, yer kabuğu deformasyonlarının ve kar/buz kalınlıklarının takibi gibi çalışmalar yapılmaktadır (Selbesoğlu ve diğerleri, 2018).

Antarktika levhası, yaklaşık 60.916.000 km'lik bir alana sahip dünyanın beşinci en büyük levhasıdır. Arazi yüzey deformasyonları (küresel, bölgesel ve yerel), zaman içindeki değişimlerine (seküler, periyodik ve epizodik) ve yer değiştirmenin dağılımına (yatay, dikey ve mekânsal) göre sınıflandırılabilen, öteleme-dönme gezegenel hareketi sırasında meydana gelen, Dünya'nın derin dinamiklerinin karmaşık süreçlerini yansıtır (Savchyn, Brusak ve Tretyak, 2023). GNSS ve gravimetrik ölçümler deformasyon modellerinin geliştirilmesi için temel destek sağlayabilen jeodinamik ve jeofizik olayları vurgulamak için temel yöntemlerdir (Zanutta ve diğerleri, 2018). Dünya üzerinde ölçülen jeodezik noktaların buldukları plakalardaki hareketler nokta koordinatlarında yıllık ortalama cm mertebesinde değişim meydana getirmektedir. Bununla birlikte jeodezik noktaların yıllık olarak değişimleri nokta hızları olarak isimlendirilmektedir. Tektonik hareketlerin doğru yorumlanabilmesi için hızların hesaplanacağı nokta konumlarının doğruluğu ve zaman periyodu önemlidir. Avustralya 1960 yılından bu yana bölgede 400'den fazla yer noktası belirlemiş ve Uluslararası Yersel Referans Çerçevesi (ITRF) için bir ağ oluşturarak Antarktika bölgesinin levha hareketliliğinin incelenmesini sağlamıştır. Bu ağ zamanla uzay tabanlı ölçülerle güncellenerek doğruluğu artırılmıştır (Johnston, Brown ve Moore, 2008). 1987 yılında İspanya, Güney Shetland Adaları, Bransfield Denizi ve Antarktika Yarımadası'nın oluşturduğu bölgede birkaç istasyondan oluşan RGAE (The Spanish Antarctic Geodetic Network) jeodezik ağını kurmuştur. Başlangıçta bölgesel referans çerçevesi tanımlamak için kurulan ağa jeodinamik çerçevenin oluşturulması amacı da eklenerek 2007 yılına kadar yapılan kampanyalarla kıtanın yatay ve düşey deformasyon modelleri de çıkarılmıştır (Berrocoso ve diğerleri, 2008). Antarktika kıtasında ortak bir jeodezik ve coğrafi koordinat sistemi sağlamak amacıyla IGS (International GNSS Service) ve IGS'e dahil olmayan 20'dan fazla sabit istasyon kurularak bölgesel konum ve hız bilgisi sağlayan SCAR (Scientific Commission Antarctic Researches) oluşturuldu (Capra ve diğerleri, 2008). SCAR tarafından analiz edilen GPS kampanyaları

sonucunda noktaların hız vektörleri elde edilmiştir. Bu hız vektörleri dikkate alınarak Antarktika kıtasının tektonik hareketi belirlenmiştir. Yapılan çözümler sonucunda Antarktika Yarımadası ve Doğu Antarktika arasındaki göreceli hareket yatayda 1-2 mm/yıl'dan büyük olmadığı fakat Kuzey Antarktika Yarımadasında düşey hareketin yaklaşık 10 mm/yıl'lık bir artış olduğu gözlemlenmiştir. Faaliyetler POLENET (Polar Earth Observing Network) projesi kapsamında sürdürülerek geliştirilmektedir (Dietrich ve diğerleri, 2004). Ukrayna, kıtada ilk GNSS ağını Antarktika Akademik Vernadsky İstasyonunu (ASAV) kurarak, koordinat zaman serileri üreterek incelemiş ve gözlem verilerinden elde edilen çözümler yardımıyla istasyonlara ait hız vektörlerini belirlemiştir (Savchyn, Otruba ve Tretyak, 2021). Ayrıca Arjantin Adaları'nın (Penola Boğazı) jeodinamiği ve tektonik deformasyon stilini belirlemek için bu ağı GPS gözlemlerinden yararlanılmıştır (Tretyak, Golubinka, Kulchitsky ve Babiy, 2008). Antarktika Kıtasında UNAVCO (University NAVSTAR Consortium)'ya ait sürekli gözlem yapan HUGO ve HOWE sabit GPS istasyonlarının farklı mevsimlerdeki 30 saniye aralıklı günlük gözlem verileri statik ve kinematik PPP (Precise Point Positioning-PPP) yöntemiyle değerlendirilmiş ve statik çözümlerde milimetre, kinematik çözümlerde ise santimetre mertebesinde farklara sahip olduğu görülmüştür (Erol ve diğerleri, 2020). Levha kinematiğini incelemek amacıyla 1994-2021 yılları arasında bölgede bulunan 60 adet sabit GNSS istasyonu verileri kullanılarak yatay deformasyon süreci incelenmesi ve levha modellemesi yapılmıştır (Savchyn, Brusak ve Tretyak, 2023). Yine bölgede bulunan sabit GNSS istasyon verileri kullanılarak düşey yer kabuğu ve buzul hareketi yorumu yapılarak PGR (postglacial rebound) modeliyle tutarlılığı incelenmiştir. Ayrıca dünyanın yer çekimi alanındaki değişimlerini ölçen GRACE uydu gözlemlerinin bölgedeki etkinliği yorumlanmıştır (Bevis ve diğerleri, 2009). 2005 - 2015 yılları arası GPS ve GRACE uydu gözlem verileri kullanılarak yatay ve düşey plaka hareketi, Antarktika Buz Levhası (AIS) değişimlerinden kaynaklanan elastik ve viskoelastik deformasyonların kıta üzerindeki etkisi eş zamanlı olarak incelenmiştir (Sunil ve diğerleri, 2022).

Harita Genel Müdürlüğü 2019 yılından itibaren düzenlenen bilimsel seferlere katılım sağlayarak bölgede jeodezik çalışmalar için nokta tesisi gerçekleştirmiştir. HorseShoe, Livingston, Galindes ve Dismal Adalarına kampanya tipi 8 adet jeodezik nokta (TR01, TR02, TR03, TR04, TR05, LIVI, GALI, DIS1) tesis edilmiş ve 2020 yılında düzenlenen seferde Dismal Adasına DISM

isimli sabit GNSS istasyon kurulumu yapılarak ölçümler gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, Antarktika'da 2019 - 2023 yılları arasında gerçekleştirilen DISM sabit istasyonunun günlük verileri ve bölgede aktif olarak gözlem yapan IGS ve bölgesel sabit GNSS istasyon verileri GAMIT/GLOBK yazılımıyla değerlendirilerek, sonuç çözümler ITRF2014 (Altamimi, Rebischung, Métivier ve Collilieux, 2016) datumunda üretilmiştir. Ayrıca noktalara ait zaman serileri ve hız bileşenleri üretilerek bölgenin yatay-düşey yöndeki deformasyonu ve hız alanı elde edilmiştir.

2. ANTARKTİKA'DA SABİT GNSS İSTASYONU

a. Neden Dismal Adası

Antarktika dünya tektoniği açısından kritik bir bölgedir. Jeodinamik modellerle bölgenin anlaşılmasına katkıda bulunmak, tektonik plaka hareketlerinin daha iyi anlaşılup yorumlanabilmesini sağlayacaktır. Antarktika kıtasında 20 yılı aşkın süredir farklı ülkeler tarafından tektonik izleme amaçlı kurulmuş birçok sabit GNSS istasyonu bulunmaktadır. Bu istasyonların verileriyle gerçekleştirilmiş birçok bilimsel çalışma mevcuttur. Türkiye tarafından kurulacak bir sabit GNSS istasyonunun bölgedeki diğer istasyonlardan en az 50 km uzakta ve eriyen buzullardan nispeten daha az etkilenebilecek kıyıda uzak adalarda konuşlanmasının uygun olacağı değerlendirilmiştir. Diğer ülkeler tarafından tesis edilen istasyonların dağılımına bakıldığında İngiltere tarafından işletilen POLENET ağının güneyinde istasyon dağılımının zayıf olduğu görülmüştür. Bu eksikliğin giderilmesi için 2019 yılında gerçekleştirilen TAE-3 (3.Ulusal Antarktik Bilim Seferi) seferinde keşfi yapılan

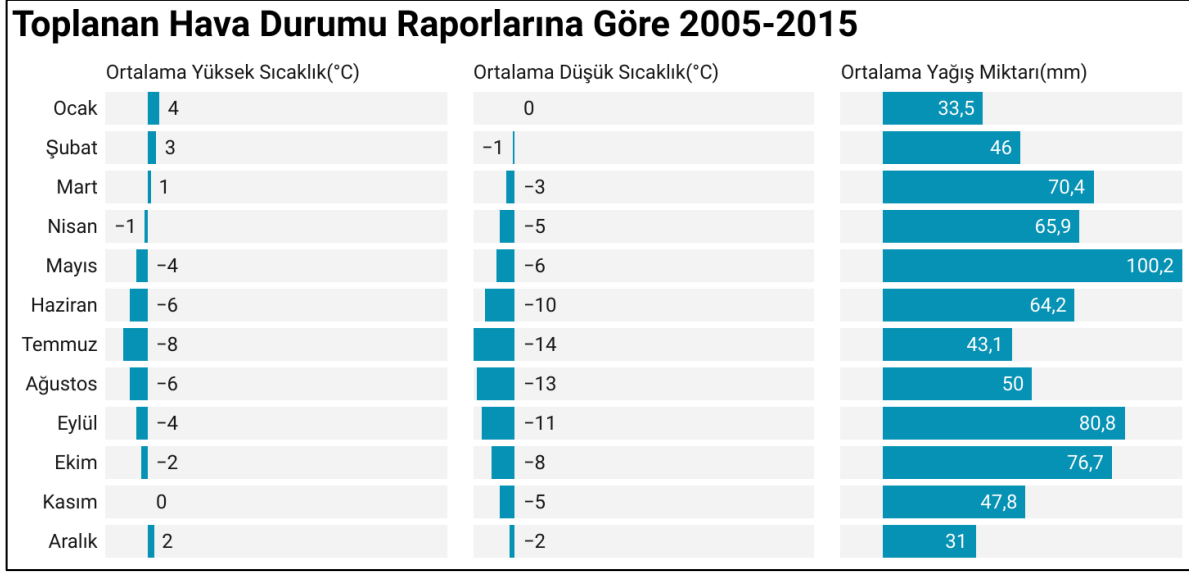
Faure Adalarının bulunduğu bölge istasyonun kurulumu için uygun görülmüştür. Faure Adaları'nın konumu (~ 68.089° Güney, 68.837° Batı) ve görünümü Şekil 1'de gösterilmiştir. Faure Adalar topluluğu içerisinde bulunan ve jeolojik olarak sağlam kayalık yapıya sahip, kuzey-güney hattında 1500m, doğu-batı hattında 500m ölçülerine sahip Dismal Adasına GNSS istasyonunun tesis edilmesine karar verilmiştir.

b. GNSS İstasyonu Tasarım Çalışmaları

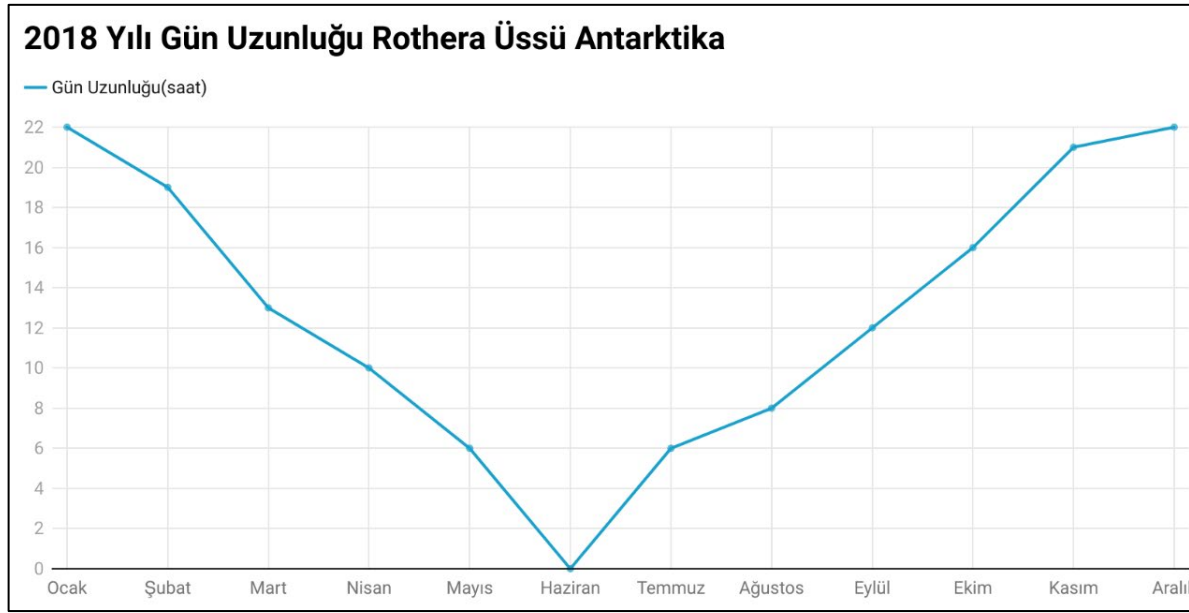
Antarktika koşullarına en uygun platform tasarımının ve enerji planlamasının yapılabilmesi amacıyla Faure Adalarının bulunduğu bölgenin, iklim koşulları ve gece-gündüz döngüleri yakın meteoroloji istasyonlarından faydalanılarak ortaya konulmuştur. Bu çerçevede en yakın konumdaki yaklaşık 65 km kuzeyindeki İngiltere tarafından işletilmekte olan Rothera Meteoroloji istasyonundan elde edilen veriler dikkate alınmıştır. Bölgenin en düşük sıcaklığı rüzgâr etkisiyle birlikte -25 °C olarak baz alınmıştır. Her yılın mayıs, haziran ve temmuz aylarında en kısa günler yaşanmaktadır. Söz konusu aylarda gün ışığından faydalanma en aza düşmektedir. Bu nedenle güneş paneli sisteminden enerji üretimine ek olarak rüzgâr türbini planlaması yapılmıştır. Ayrıca yağış ortalamalarının 2005 - 2015 yılları arasındaki kar kalınlıkları göz önünde bulundurularak, 50 cm ortalama kar kalınlığı temel alınmıştır. İncelemelerde, Rothera Meteoroloji İstasyonunun 2005 – 2015 yılları arasındaki aylık bazda ortalama yüksek ve düşük sıcaklıkları, ortalama yağış miktarları (Şekil 2), Rothera Meteoroloji İstasyonunun 2018 yılına ait gün uzunluğu değişim grafikleri (Şekil 3) dikkate alınmıştır.



Şekil 1. Faure Adaları'nın konumu ve görünümü (~ 68.089° Güney, 68.837° Batı).



Şekil 2. Rothera meteoroloji istasyonunun 2005 – 2015 yılları arasındaki aylık bazda ortalama yüksek ve düşük sıcaklık ve ortalama yağış miktarı değerleri.



Şekil 3. Rothera meteoroloji istasyonunun 2018 yılına ait gün uzunluğu değişim grafiği.

Antarktika kıtasında GNSS ve sismik istasyonu işletme tecrübesi olan UNAVCO ve POLENET araştırma kurumlarının internet sitelerinde bulunan kıtada kurulmuş istasyonlara ilişkin bilgilendirme dokümanları (fotoğraf, tasarım vb.) dikkate alınmıştır. Ayrıca, aynı dönem içerisinde kıtada istasyon kurmayı planlayan Doç.Dr. M. Oğuz Selbesoğlu ile yüz yüze görüşme sağlanarak bilgi alışverişinde bulunulmuştur.

Faure Adaları ana karadan 70 km açıkta olması nedeniyle güçlü rüzgârlara ve sert mevsim etkilerine maruz kalacağı grafiklerle ortaya konmuştur ve platform tasarımında bu konu dikkate alınmıştır. İstasyon tasarımında asıl sorun enerji üretiminde kullanılacak panellerin ve rüzgâr türbinlerinin platformdaki konumlandırılma durumları ve bu tasarımın hava şartlarının oluşturacağı ani yük bindirmelerini karşılayabilecek dinamikte ve sağlamlıkta olması gerekliliğinden yola çıkarak;

- Platformu oluşturacak malzeme seçiminde 316 L nikel karışımı yüksek çelikten üretilmiş, 6cm kalınlığında borular tercih edilmiştir.

- Platform düz olmayan zemine oturtulabilecek, ayarlanabilir ayaklar üzerine 300 kg yükü taşıyabilecek yapıda 2 x 0.7 m dikdörtgen şeklinde, 2 adet aynı cins çelik boru ile desteklenmiş alt yapı tasarlanmıştır.

- Platform üst yapısı, iki adet güneş paneli, iki adet rüzgâr türbinini taşıyabilecek ve 3 m uzunluğunda çelik borular kullanılarak imal edilmiş ve alt bölüm ile bağlantısı sağlanmıştır.

- Üst bölümün üzerinde güneş panelleri montajlı olacağı için bulunulan enleme göre kuzeye yöneltilmesi ve uygun açının verilebilmesi maksadıyla üst parçanın ortasında hareket edebilen ve alt parça ile dinamik bağlantıyı sağlamak üzere 2 m uzunluğunda çapraz destek parçaları konuşlandırılmıştır. Bu tasarım ile panellerin bulunduğu ön parça 90 derece ile 68 derece arasında eğilebilmektedir. Böylece bulunulan enleme göre güneşten maksimum yarar sağlanmaktadır.

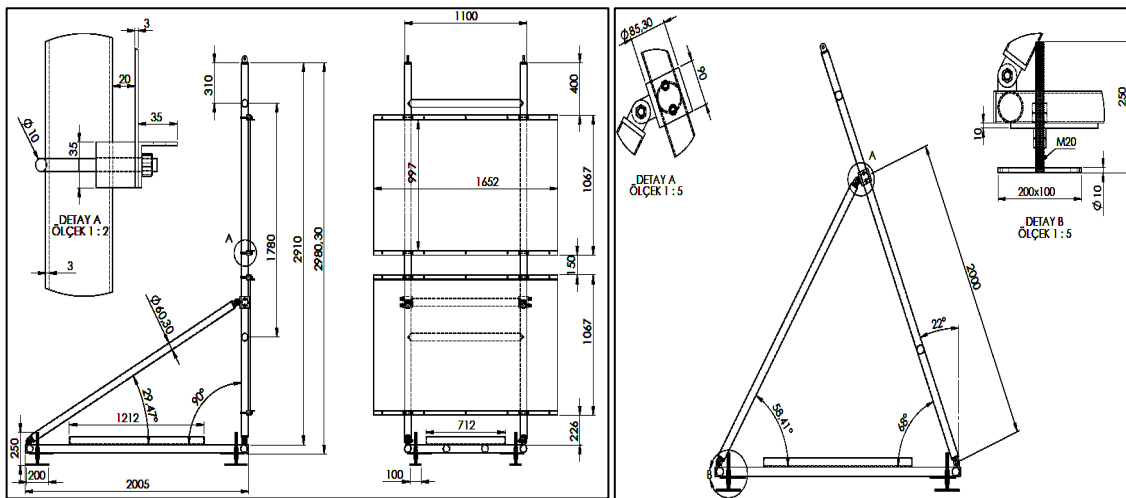
- Platform 20 x10 cm tabana sahip dört tabla ve bu tablalar ortasından dik uzanan 25 cm boyunda 20 mm'lik civatalar ile zemin bağlantısı stabil ve yatay bir şekilde yapılmıştır.

- Ayrıca rüzgâr türbinleri dikey ekseni çalıştığı için Yeryüzüne dik olabilmesi için platformun 22 derecelik eğimini ortadan kaldırmak amacıyla platformdan bağımsız hareket edebilen parçalar ile bağlantısı sağlanmıştır.

İstasyonda kullanılacak GNSS alıcısı 4 Watt güç tüketmekte olduğu fabrika değerleri ile teyit edilmiştir. Söz konusu GNSS alıcısını kesintisiz çalıştırmak üzere enerji üretmek ve depolamak için planlamalar yapılmıştır. Gün ışığından yüksek kapasite ile faydalanmak üzere; Mono kristal özellikli 315 Watt 2 adet Güneş Paneli kullanılmıştır. Panellerden birinin arızalanması durumunda diğer panelin besleme yapmaya devam edebilmesi için güneş panelleri sisteme paralel olarak bağlanmıştır.

Güneş panellerinden yeterli enerji üretiminin gerçekleştirilemediği dönemlerde kullanılmak üzere 30 Watt güç üretimine sahip 2 adet V30 Antarktika Micro Rüzgâr Türbini kullanılmıştır. V30 Rüzgâr Türbini özellikleri bakımından Antarktika kıtasında denenmiş ve günümüze dek denemeleri yapılmıştır. Kurulumu gerçekleştirilecek istasyona güç sağlamak ve uzun süre verimli bir kullanım sağlayacak dikey ekseni çalışabilen bir yapıda olup rüzgâr enerjisini elektrik enerjisine çevirebilmektedir. Düşük sıcaklıklarda (-50°C) çalışabilme özelliğine sahiptir.

Akü tercihinde güneş panellerinden ve rüzgâr türbinlerinden gelen enerjiyi depolamak amacıyla ve ihtiyaç olduğunda sistemi besleyebilecek yapıda 205 Amper saat güce sahip 3 adet akü kullanılmıştır. Söz konusu aküler paralel bağlantı ile sisteme dâhil edilmiştir. Bu bağlantının tercih edilmesi akülerin uzun ömürlü olarak kullanılmasını sağlamaktır. Platforma ilişkin görseller Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Platform tasarımı.

c. Erciyes Dağı (Kayseri) Test Çalışmaları

İstasyonun tüm parçaları bir araya getirildikten sonra Antarktika kıtası şartlarının test edilebilmesi için uygun iklim koşullarına sahip olan Erciyes Dağında kurulum yapılmıştır. Denemenin amacı, istasyonun platform tasarımının test edilmesi için rüzgârlı ve eksi sıcaklıklardaki davranışını, rüzgâr türbinlerinin rüzgârlı kar yağışı (tipi) altındaki üretim kapasitesini (grafığını), saklama (koruma) kutusunun performansını, saklama kutusu içerisindeki sıcaklığın ve basıncın dışarıdaki olumsuz koşullara rağmen değişimini gözlemlemektir. Gözlem, kutu içerisindeki GNSS alıcısının RAM sıcaklığını görebildiğimiz uzaktan bağlantı sağlayarak 4 gün boyunca takibi yapılmıştır. 24 saatin en soğuk zamanlarında dahi iç sıcaklığın 34 °C civarında olduğu görülmüş ve yalıtımın uygun olduğu test edilmiştir. Enerji üretimi konusunda, gece rüzgâr türbinlerinin, gündüz ise güneş panellerinin beklenin üzerinde enerji üretimi sağladığı görülmüştür. Platformun 3 kişi ile toplam 4 saat içerisinde kurulumu gerçekleştirebildiği test edilmiştir. Rüzgâr türbinlerinin platform üzerinde titreşim yaratmadığı izlenmiştir. Ayrıca platformun doğru tasarım olduğu 25 km/s hızındaki rüzgârlara karşı dayanıklı ve sağlık konusunda kararlı olduğu görülmüştür. Sonuç olarak; tüm deneme süreci planlandığı gibi başarılı bir şekilde tamamlanmıştır ve Erciyes Dağının bu deney için uygun olduğu görülmüştür.

3. VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

2019 yılında düzenlenen 3.Ulusal Antarktik Bilim Seferinde kıtaya tektonik hareketleri izlemek için GNSS istasyonunun kurulabilmesi için keşif çalışmaları yapılmıştır. 2020 yılında düzenlenen 4.Ulusal Antarktik Bilim Seferinde tektonik hareket izlemek için Dismal adasına DISM isimli Türkiye'nin sabit GNSS istasyonu kurulmuştur. GNSS istasyonu Trimble NetR9 marka alıcı ve Trimble Zephyr Jeodezik 3 marka anten ile donatılmıştır (Şekil 5).

2019 – 2023 yılları arasında toplanan veriler GAMIT/GLOBK v10.71 (Herring, King, Floyd ve McClusky, 2018) yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir. Analizde, IGS analiz merkezleri tarafından üretilen “repro2” son uydu yörünge verileri CDDIS (Crustal Dynamics Data Information System) veri arşivinden indirilerek kullanılmıştır. Anten faz merkezi düzeltmeleri için, ölçüm yapılan noktalardaki azimut ve yükseklik açısına bağlı olan en güncel mutlak faz merkezi değişimi (IGS14 modeli) dosyası kullanılmıştır. Kutup gezinmesi koordinatları ve Yer Dönme Parametreleri için IERS (International Earth Rotation and Reference Systems Service) tarafından yayınlanan USNO “bulletin b” final dosyalarından yararlanılmıştır.



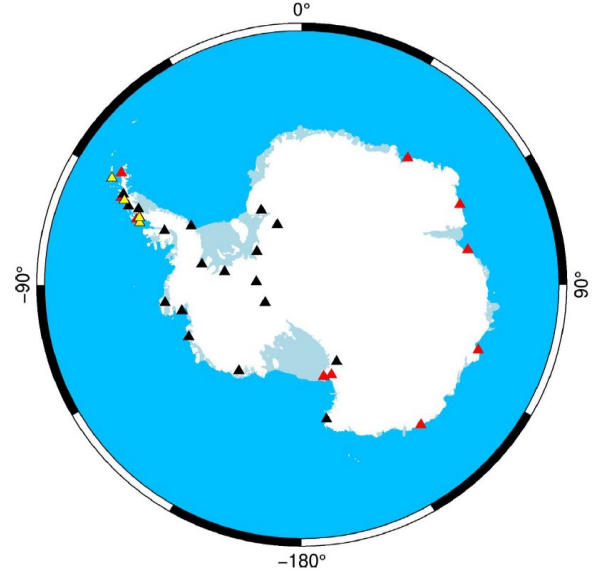
Şekil 5. Dismal sabit GNSS istasyonu.

Troposferik gecikme hesaplanırken Viyana İzdüşüm Fonksiyonu (VMF1) (Boehm, Werl ve Schuh, 2006) kullanılmıştır. Öncül troposferik parametreler için 5 x 5 derece çözünürlüğünde ve grid yapısındaki gpt2_5.grd (Global Pressure and Temperature Model) dosyası kullanılmıştır (Lagler, Schindelegger, Böhm, Krásná ve Nilsson, 2013). Troposferik parametre kestirim aralığı 1 saat alınırken, ikinci ve üçüncü derece iyonosferik düzeltmelerin çözüme katkısı çok küçük olduğu için analize dahil edilmemiştir. Gelgit (Günlük (S1) ve yarım günlük (S2) periyotlu) Atmosferik Yükleme Etkisi MIT tarafından yayınlanmadığı için dikkate alınmamıştır. FES2004 grid dosyası kullanılarak Okyanus Gelgit Yüklemesi hesaplanmıştır (Lyard, Lefèvre, Letellier ve Francis, 2006). Ölçü modeli olarak çiftli fark gözlemleri kullanılmıştır. 3 derecenin altındaki gözlemler analize dahil edilmemiştir. Manyetik model olarak IGRF13 modeli kullanılmıştır. Datum tanımlaması için gerekli olan öncül koordinatlar Herring ve diğerleri, (2018) tarafından oluşturulan "igb14_comb.apr" isimli dosyadan elde edilmiştir (Kurt ve diğerleri, 2020).

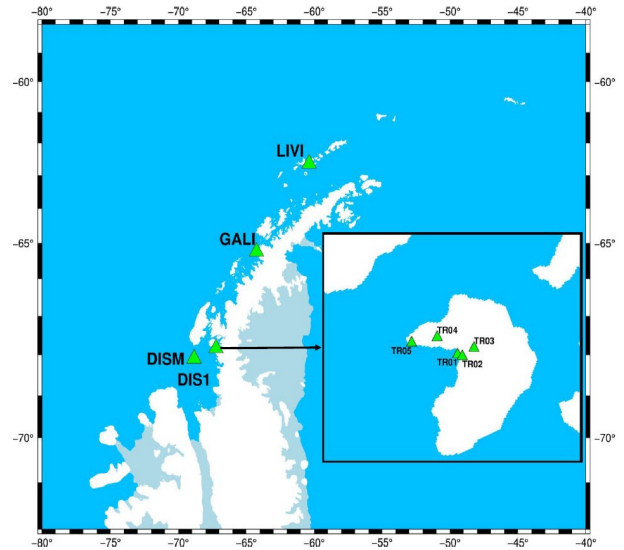
Referans çerçevesini tanımlamak ve datum dönüşümünde kullanılmak üzere, Antarktika kıtasında bulunan 13 adet IGS istasyonu analizlere dahil edilmiştir (Şekil 6). Ayrıca baz uzunluklarını kısaltabilmek için kıtada bulunan 20 adet bölgesel istasyonun verileri de kullanılmıştır (Şekil 6). Kampanya tipi noktalar ve DISM sabit GNSS istasyonunun konumları Şekil 7'de gösterilmektedir. Analizde kullanılan noktaların listesi Tablo 1'de sunulmuştur.

DISM sabit GNSS istasyonunun 4 yıllık verisinin analizi sonucunda ITRF2014 referans çerçevesinde günlük çözümleri elde edilmiştir. Günlük çözümler sonucunda elde edilen zaman serisi Şekil 8'de sunulmuştur. Zaman serisindeki (Şekil 8) boşlukların sebebi ilgili tarihte Antarktika kıtası karanlık döneme girdiği için istasyon kendini kapatmıştır. Rüzgâr türbinleri, güneş panellerinin yeterli seviyede enerji sağlayamadığı kış dönemi için destekleyici bir enerji sağlayıcı olarak sisteme dahil edilmiştir.

Ancak istasyonda bulunan alıcının karanlık dönemde rüzgâr türbinlerinden gelen enerjiyi doğru şekilde aktaramadığı için cihaz kendini başlatamamıştır. 2024 yılında yapılan seferde sorunun çözülmesi için gerekli adımlar atılmış olup 2025 yılındaki seferde sonuçları elde edilecektir.



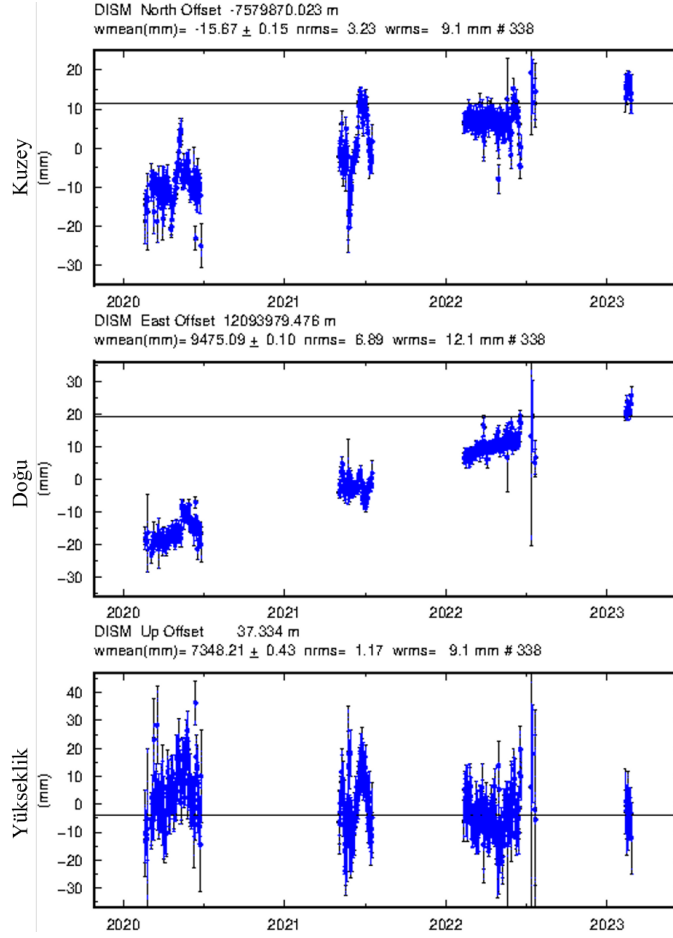
Şekil 6. Analizde kullanılan IGS (kırmızı), bölgesel sabit GNSS (siyah) istasyonlarının ve kampanya tipi (sarı) noktaların dağılımı.



Şekil 7. Kampanya tipi noktaların ve DISM istasyonunun konumu.

Tablo 1. Analizde kullanılan noktaların bilgileri (POLENET: Polar Earth Observing Network, BAS: British Antarctic Survey).

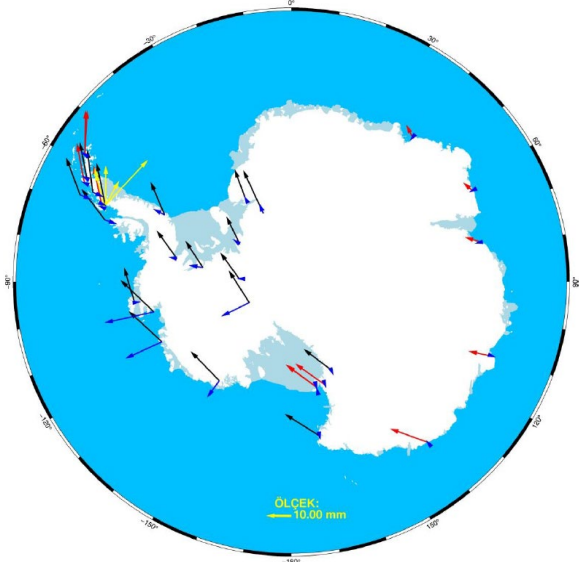
Nokta İsmi	Enlem (derece)	Boylam (derece)	Elipsoit Yüksekliği (metre)	Açıklama
ARHT	-77.82944	166.66365	135.328	IGS
BACK	-74.43045	-102.47821	37.700	POLENET
BENN	-84.78646	-116.45978	1417.000	POLENET
BSA1	-67.81604	-67.29071	127.600	BAS GPS Network
BURI	-79.14744	155.89417	2007.000	POLENET
CAS1	-66.28340	110.51970	22.600	IGS
COTE	-77.80590	161.99780	1878.100	IGS
CRDI	-82.86150	-53.19910	943.300	POLENET
DAV1	-68.57730	77.97260	44.500	IGS
DIS1	-68.09114	-68.84433	35.104	Kampanya Tipi Nokta
DISM	-68.09113	-68.84475	37.340	Sabit GNSS İstasyonu
DUMG	-66.66517	140.00220	-3.380	IGS
DUPT	-64.80494	-62.81691	40.000	POLENET
FOS1	-71.31334	-68.32084	158.800	POLENET
GALI	-65.24615	-64.25341	18.232	Kampanya Tipi Nokta
HAAG	-77.03800	-78.28710	1172.600	POLENET
HTON	-74.08001	-61.73059	950.500	POLENET
LIVI	-62.64242	-60.37088	32.199	Kampanya Tipi Nokta
MAJK	-81.66098	-21.87375	1452.000	POLENET
MAW1	-67.60480	62.87070	59.200	IGS
MCAR	-76.32220	-144.30350	965.000	POLENET
MCM4	-77.83835	166.66933	98.022	IGS
M RTP	-74.18046	-115.10202	64.000	POLENET
OHI2	-63.32110	-57.90130	33.100	IGS
OHI3	-63.32109	-57.90139	32.150	IGS
PALM	-64.77509	-64.05112	31.239	IGS
PRPT	-66.00670	-65.33930	15.000	POLENET
ROTH	-67.57140	-68.12575	39.793	IGS
SCTB	-77.84899	166.75801	-18.900	IGS
SGP5	-67.28197	-64.89056	273.169	POLENET
STEW	-84.18700	-86.24730	1582.500	POLENET
SYOG	-69.00700	39.58370	50.090	IGS
THRO	-79.12613	-28.31825	1070.000	POLENET
THUR	-72.53007	-97.55960	212.000	POLENET
TR01	-67.82986	-67.23914	9.904	Kampanya Tipi Nokta
TR02	-67.83099	-67.22987	93.681	Kampanya Tipi Nokta
TR03	-67.82554	-67.20722	21.047	Kampanya Tipi Nokta
TR04	-67.81842	-67.27861	115.311	Kampanya Tipi Nokta
TR05	-67.82215	-67.32823	13.068	Kampanya Tipi Nokta
VL01	-72.45014	169.72507	596.872	POLENET
WAI2	-79.46762	-112.05360	1769.341	POLENET
WILN	-80.03980	-80.55790	668.700	POLENET



Şekil 8. DISM sabit GNSS istasyonuna ait zaman serisi (wmean: Bileşenin ofset değerinden farklarının ağırlıklı ortalaması, nrms: Normalleştirilmiş karesel ortalama hata, wrms: Ağırlıklandırılmış karesel ortalama hata).

DISM noktasının yer değiştirme vektörünün kuzeydoğu yönünde olduğu Şekil 9'da görülmektedir. DISM istasyonu bölgesindeki diğer noktalarla tektonik olarak aynı hareketi yapmaktadır (Dietrich ve diğerleri, 2004; Sunil ve diğerleri, 2022).

2019 – 2023 yılları arasında 8 adet kampanya tipi GNSS noktasının ve 34 adet sabit GNSS istasyonunun (IGS, bölgesel istasyonlar ve DISM istasyonu) aylık çözümleri birlikte dengelenerek sonuç çözümler elde edilmiştir. Kampanya çözümlerinin birlikte dengelenmesinde GAMIT/GLOBK yazılımının GLOBK (Global Kalman Filtreleme) modülü kullanılmıştır. GLOBK, farklı yazılımlarla oluşturulmuş çözümleri Kalman Filtreleme tekniği ile istenilen bir referans koordinat sisteminde birleştirilmesini sağlayan, nokta koordinat zaman serilerini oluşturan ve sonuç hızları hesaplayan bir modüldür (Kurt ve diğerleri, 2020).



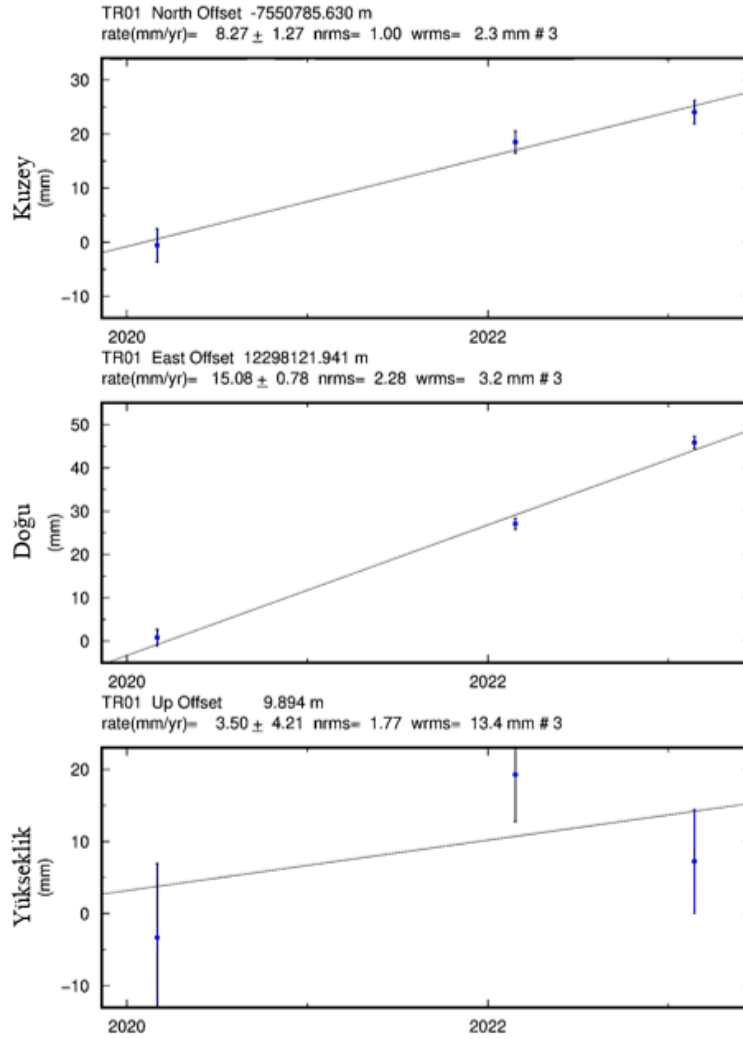
Şekil 9. Analize dahil edilen noktaların yatay (kırmızı: IGS, siyah: bölgesel noktalar, sarı: kampanya tipi) ve düşey (mavi) hız vektörleri.

GLOBK çözümünün ilk aşamasında noktalara yüksek öncül varyans tanımlanarak Kalman Filtreleme tekniği kullanılarak gevşek-kısıtlı çözüm elde edilmiştir (Herring ve diğerleri, 2018). İkinci aşamada elde edilen çözüm ile referans koordinat sistemi tanımlaması için 13 IGS istasyonunun koordinat ve hız bilgileri kullanılmıştır.

ITRF2014 datumunda tanımlı olan koordinat ve hız bilgileri 12 parametrelili (3 öteleme ve hızı, 3 dönüklük ve hızı) Helmert dönüşümü kullanılarak koordinat sistemi tanımlaması yapılmıştır. IGS istasyonlarının öncül koordinat ve hız bilgileri "igb14_comb.apr" dosyasından alınmıştır. Ayrıca yazılım, donanım, deprem, yer değişikliği, lokal etkiler vb. nedenlere bağlı olarak istasyon koordinatlarında meydana gelen değişikliklerin olduğu "igb14_comb.eq" dosyası da kullanılmıştır (Kurt ve diğerleri, 2020).

Kampanya tipi noktaların da zaman serileri oluşturulmuştur. Şekil 10'da TR01 noktasının zaman serisi görülmektedir. Kampanya tipi noktalarından GALI, LIVI, TR04 ve TR05 noktaları için epok sayısı yeterli olmadığından noktaların hızları elde edilememiştir.

Analizler sonucunda Antarktika kıtasına yayılmış GNSS noktalarının zaman serileri dikkate alınarak noktaların ITRF2014 datumundaki koordinat ve hız değerleri elde edilmiştir. Elde edilen hızlar Şekil 9 ve Tablo 2'de gösterilmektedir. Elde edilen hız değerleri Dietrich ve diğerleri (2004) ile Sunil ve diğerleri (2022)'ndeki ortak noktalarla uyumlu olduğu görülmektedir.



Şekil 10. TR01 kampanya tipi noktasına ait zaman serisi (rate: Bileşenin hızı, nrms: Normalleştirilmiş karesel ortalama hata, wrms: Ağırlıklandırılmış karesel ortalama hata).

Tablo 2. Analize dahil edilen noktaların NEU bileşenlerinin ITRF2014 hız değerleri (mm/yıl) ve standart sapmaları (mm/yıl).

Nokta	V_n	V_e	V_u	σ_n	σ_e	σ_u
ARHT	-11.18	9.40	1.05	0.04	0.03	0.15
BACK	10.39	15.61	20.59	0.08	0.06	0.28
BENN	1.71	15.35	11.96	0.05	0.04	0.26
BSA1	9.95	14.46	0.24	0.06	0.03	0.16
BURI	-12.00	6.51	2.25	0.06	0.05	0.28
CAS1	-9.85	1.36	1.80	0.05	0.03	0.15
COTE	-11.69	8.66	1.30	0.05	0.04	0.20
CRDI	11.05	5.86	3.36	0.06	0.05	0.27
DAV1	-5.82	-3.27	-2.11	0.05	0.03	0.15
DIS1	10.55	14.66	18.70	1.36	0.91	5.05
DISM	9.56	13.15	-0.25	0.12	0.09	0.38
DUMG	-13.48	8.20	-1.12	0.06	0.03	0.18
DUPT	9.56	11.85	3.12	0.08	0.05	0.24
FOS1	12.89	8.96	-4.46	0.08	0.06	0.28
HAAG	10.38	9.60	3.55	0.07	0.05	0.27
HTON	11.44	9.16	5.37	0.07	0.05	0.23
MAJK	19.18	-1.52	3.86	0.06	0.05	0.28
MAW1	-1.82	-4.37	-0.97	0.05	0.03	0.15
MCAR	-2.86	16.15	8.29	0.06	0.04	0.22
MCM4	-11.52	9.81	-0.08	0.04	0.02	0.14
M RTP	6.79	16.80	16.24	0.09	0.07	0.31
OHI2	9.02	15.50	1.65	0.06	0.03	0.17
OHI3	9.43	15.31	1.98	0.06	0.03	0.17
PALM	10.00	13.08	2.26	0.05	0.03	0.15
PRPT	9.33	14.49	-3.66	0.12	0.09	0.39
ROTH	9.71	14.31	2.53	0.06	0.03	0.16
SCTB	-10.92	9.43	1.72	0.04	0.03	0.17
SGP5	11.15	11.69	-4.43	0.08	0.06	0.25
STEW	8.22	10.09	0.55	0.07	0.07	0.42
SYOG	2.65	-5.07	0.10	0.08	0.06	0.27
THRO	11.80	2.01	0.65	0.05	0.04	0.18
THUR	2.61	14.72	-1.73	0.06	0.04	0.20
TR01	6.17	14.73	2.64	1.10	0.73	3.98
TR02	-1.08	11.17	6.46	1.11	0.81	4.11
TR03	-8.22	23.20	5.13	1.79	1.30	6.78
VL01	-11.02	12.07	1.73	0.07	0.05	0.24
WILN	8.72	9.63	5.60	0.07	0.06	0.31

Sonuç olarak, gevşek kısıtlı çözüm 13 IGS istasyonu kullanılarak ITRF2014 datumunda dengelenmesi sonucu elde edilen koordinat ve

hızlar için karesel ortalama hatalar (KOH) Tablo 3'te listelenmiştir.

Tablo 3. Analiz sonucu elde edilen istatistik sonuçları (N: kuzey-güney, E: doğu-batı, U: yükseklik bileşenleri).

Konum İstatistikleri (WRMS)	N	1.30 mm
	E	0.92 mm
	U	3.56 mm
Hız İstatistikleri (WRMS)	V_n	0.39 mm/yıl
	V_e	0.45 mm/yıl
	V_u	1.72 mm/yıl
Referans İstasyon Koordinatlarının Dengeleme Sonrası Karesel Ortalama Hatası		2.29 mm
Referans İstasyon Hızlarının Dengeleme Sonrası Karesel Ortalama Hatası		0.59 mm/yıl

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında 13 adet IGS istasyonu, 20 adet bölgesel GNSS istasyonu ve 1 adet Türkiye'ye ait sabit GNSS istasyonu ile 8 adet kampanya tipi GNSS noktasının verileri analiz edilerek ITRF2014 datumunda koordinat ve hız bilgileri elde edilmiştir. Yeterli epok ölçüsü olmayan noktalar için müteakip yıllarda ölçü sayısı arttıkça noktaların hızları belirlenebilecektir.

DISM istasyonunun zaman serisinden de anlaşıldığı üzere kıtada karanlık döneme girildiği zaman istasyon verisi bulunmamaktadır. Bu problemi çözmek için daha önceki seferlerde çözümler üretildiyse de halen istasyon istenildiği şekilde çalışmamaktadır. Bu makalede belirtildiği üzere 2024 yılında yapılan seferde sorunun çözülmesi için gerekli adımlar atılmış olup bu adımların sonuçları 2025 yılındaki seferde elde edilecektir.

DISM istasyonunun yer değiştirme vektörünün kuzeydoğu yönüne hareket ettiği tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar neticesinde noktanın bölgesindeki diğer sabit istasyonlarla aynı hareketi yaptığı değerlendirilmektedir. DISM noktasının zaman serisi incelendiğinde yılın aynı dönemlerinde harmonik salınımlar yaptığı görülmektedir. Bunun sebebinin eriyen buzullar olduğu değerlendirilmektedir (Savchyn, Otruba ve Tretyak, 2021).


Analizler sonucunda DISM noktasının NEU bileşenlerinin hızı $V_n=9.56$ mm/yıl, $V_e=13.15$ mm/yıl ve $V_u=-0.25$ mm/yıl olarak hesaplanmıştır.

Analize dahil edilen noktaların dengeleme sonucunda elde edilen hızlarının karesel ortalama hatası kuzey-güney bileşeninde 0.39 mm/yıl, doğu-batı bileşeninde 0.45 mm/yıl ve yükseklik bileşeninde 1.72 mm/yıl olarak, koordinatların karesel ortalama hataları ise kuzey-güney bileşeninde 1.30 mm, doğu-batı bileşeninde 0.92 mm ve yükseklik bileşeninde 3.56 mm olarak elde edilmiştir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, T.C. Cumhurbaşkanlığı himayelerinde, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı uhdesinde, TÜBİTAK MAM KARE koordinasyonunda düzenlenen Ulusal Antarktika Bilim Seferine teşekkürlerini sunar. Makalenin hazırlanmasında katkı sağlayan Müh.Alb.Dr. Ali İhsan KURT'a ve makaleyi değerlendiren hakemlere teşekkürlerimizi sunarız. Şekiller GMT yazılımı (Wessel ve diğerleri, 2019) kullanılarak çizilmiştir.

ORCID

Özgür ÖZEL  <https://orcid.org/0000-0001-5192-9985>


Yusuf URAL  <https://orcid.org/0009-0004-4788-770X>

Abdullah KELLEVEZİR  <https://orcid.org/0009-0009-7085-5024>

Tunahan GÜNDOĞAN  <https://orcid.org/0000-0003-4939-3207>

Faruk YALÇIN  <https://orcid.org/0009-0001-6198-6024>

Selçuk PEKER  <https://orcid.org/0000-0001-7763-8844>

Hakan KILINÇ  <https://orcid.org/0009-0002-0589-1001>

İbrahim Cihan DEMİREL  <https://orcid.org/0009-0002-4818-4286>

İlyas AKPINAR  <https://orcid.org/0000-0001-8606-140X>

KAYNAKLAR

- Altamimi, Z., Reischung, P., Métivier L. ve Collilieux, X. (2016). ITRF2014: A new release of the International Terrestrial Reference Frame modeling nonlinear station motions. *Journal of Geophysical Research Solid Earth*, 121, 6109–6131. doi:10.1002/2016JB013098
- Berrocso, M., Fernández-Ros, A., Ramirez, M.E., Salamanca, J.M., Torrecillas, C., Pérez-Peña, A., Pàez, R., Garcia-Garcia, A., Jimenez-Teja, Y., Garcia-Garcia, F., Soto, R., Garate, J., Martin-Davila, J., Sanchez-Alzola, A., de Gil, A., Fernandez-Prada, J.A., ve Jigena, B. (2008). Geodetic research on deception island and its environment (South Shetland Islands, Bransfield Sea and Antarctic Peninsula) during Spanish Antarctic campaigns (1987–2007). A. Capra, R. Dietrich (Ed.), *Geodetic and geophysical observations in Antarctica*. 98-124, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin. ISBN: 978-3-540-74881-6
- Bevis, M., Kendrick, E., Smalley, R.J., Dalziel, D., Caccamise, D., Sasgen, I., Helsen, M., Taylor, F.W., Zhou, H., Brown, A., Raleigh, D., Willis, M., Wilson, T. ve Konfal, S. (2009). Geodetic measurements of vertical crustal velocity in West Antarctica and the implications for ice mass balance. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 10 (10). doi:10.1029/2009GC002642
- Boehm J., Werl, B. ve Schuh, H. (2006). Troposphere mapping functions for GPS and very long baseline interferometry from European Centre for Medium-Range Weather Forecasts operational analysis data. *Journal of Geophysical Research*, 111. doi: 10.1029/2005JB003629
- BTGM (Bilim ve Teknoloji Genel Müdürlüğü) (2017). *Ulusal Kutup Bilim Programı (2018-2022)*. Erişim Adresi: https://kare.mam.tubitak.gov.tr/sites/images/kare_mam/ulusal_kutup_bilim_programi.pdf
- Capra, A., Dubbini, M., Galeandro, A., Gusella, L., Zanutta, A., Casula, G., Negusini, M., Vittuari, L., Sarti, P., Mancini, F., Gandolfi, S., Montaguti, M., ve Bitelli, G. (2008). VLNDEF project for geodetic infrastructure definition of northern Victoria Land, Antarctica. A. Capra, R. Dietrich (Ed.), *Geodetic and geophysical observations in Antarctica*. 98-124, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin. ISBN: 978-3-540-74881-6

- Dietrich, R., Rülke, A., Ihde, J., Lindner, K., Miller, H., Niemeier, W., Schenke, H.-W. ve Seeber, G. (2004). Plate kinematics and deformation status of the Antarctic Peninsula based on GPS. *Global and Planetary Change*, 42(1-4), 313-321. doi: 10.1016/j.gloplacha.2003.12.003
- Erol, S., Mutlu, B., Erol, B., Katıgöz, S. ve Alkan, R.M. (2020). Antarktika kıtasında Hassas Nokta Konumlama (Precise Point Positioning-PPP) tekniğinin performansının incelenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(5), 844-856. doi: 10.35414/akufemubid.761692
- Herring, T.A., King, R.W., Floyd, M.A. ve McClusky, S.C. (2018). *GAMIT reference manual*, GPS Analysis at MIT, Release 10.7. Erişim Adresi: http://geoweb.mit.edu/gg/GAMIT_Ref.pdf
- Johnston, G., Brown, N. ve Moore, M. (2008). Current status and future prospects for the Australian Antarctic Geodetic Network. A. Capra, R. Dietrich (Ed.), *Geodetic and geophysical observations in Antarctica*. 85-97, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin. ISBN: 978-3-540-74881-6
- Kurt, A.İ., Cingöz, A., Özdemir, S., Peker, S., Özel, Ö. ve Simav, M. (2020). Türkiye Ulusal Temel GNSS Ağı (TUTGA) güncel koordinat ve hızlarının GNSS verilerinin yeniden değerlendirilmesi kapsamında hesaplanması. *Harita Dergisi*, 164, 1-17.
- Lagler, K., Schindelegger, M., Böhm, J., Krásná, H. ve Nilsson, T. (2013). GPT2: Empirical slant delay model for radio space geodetic techniques. *Geophysical Research Letters*, 40, 1069-1073. doi: 10.1002/grl.50288
- Lyard, F., Lefèvre, F., Letellier, T. ve Francis, O. (2006). Modelling the global ocean tides: a modern insight from FES2004. *Ocean Dynamics*, 56, 394-415. doi: 10.1007/s10236-006-0086-x
- Savchyn, I., Brusak, I. ve Tretyak, K. (2023). Analysis of recent Antarctic plate kinematics based on GNSS data. *Geodesy and Geodynamics*, 14(2), 99-110. doi: 10.1016/j.geog.2022.08.004
- Savchyn, I., Otruba, Y. ve Tretyak, K. (2021). The first Ukrainian permanent GNSS station in Antarctica: processing and analysis of observation data. *Ukrainian Antarctic journal*, 2(3-11). doi: 10.33275/1727-7485.2.2021.674
- Selbesoğlu, M.O., Yavaşoğlu, H.H., Karabulut, M.F., Gülal, V.E., Karaman, H. ve Kamaşak, M.E. (2018). *GNSS meteorolojisi ve reflektometresi teknikleri ile Antarktika bölgesinin troposfer ve kar kalınlığının izlenmesi, deformasyonların belirlenmesi*. II. Kutup Bilimleri Çalıştayı, 12 - 13 Eylül, İstanbul.
- Sunil, P.S., Saji, A.P., Kumar, K.V., Ponraj, M., Amirtharaj, S. ve Dhar, A. (2022). Revealing the contemporary kinematics of Antarctic plate using GPS and GRACE data. *Assessing the Antarctic environment from a climate change perspective: An integrated approach*, 343-359. doi: 10.1007/978-3-030-87078-2_18
- Tretyak, K.R., Golubinka, Y.I., Kulchytskyy, A.J. ve Babiy, L.V. (2008). Geodynamics of the tectonic detachment in the Penola Strait (Antarctic Peninsula, Archipelago of Argentina Islands). A. Capra, R. Dietrich (Ed.), *Geodetic and geophysical observations in Antarctica*. 98-124, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin. ISBN: 978-3-540-74881-6
- Wessel, P., Luis, J.F., Uieda, L., Scharroo, R., Wobbe, F., Smith, W.H.F. ve Tian, D. (2019). The Generic Mapping Tools version 6. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 20 (11), 5556-5564. doi: 10.1029/2019GC008515
- Zanutta, A., Negusini, M., Vittuari, L., Martelli, L., Cianfarra, P., Salvini, F. ve Capra, A. (2018). New geodetic and gravimetric maps to infer geodynamics of Antarctica with insights on Victoria Land. *Remote Sensing*, 10(10), 1608. doi: 10.3390/rs10101608