



**T.C.**  
**KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**ANTARKTİKA KITASI HIZ BİLGİLERİNİN**  
**GNSS VERİLERİ İLE İNCELENMESİ**

**Abdullah KELLEVEZİR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Harita Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Aralık-2024**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır.**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Abdullah KELLEVEZİR tarafından hazırlanan “Antarktika Kıtası Hız Bilgilerinin GNSS Verileri İle İncelenmesi” adlı tez çalışması 05/12/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

### İmza

#### Başkan

Prof. Dr. Muzaffer KAHVECİ  
(Konya Teknik Üniversitesi)

.....

#### Danışman

Prof. Dr. Ekrem TUŞAT  
(Konya Teknik Üniversitesi)

.....

#### Üye

Prof. Dr. Salih ALÇAY  
(Necmettin Erbakan Üniversitesi)

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mevlüt UYAN  
Enstitü Müdürü

## TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Abdullah KELLEVEZİR

Tarih: 05/12/2024

# ÖZET

## YÜKSEK LİSANS TEZİ

### ANTARKTİKA KİTASI HIZ BİLGİLERİNİN GNSS VERİLERİ İLE İNCELENMESİ

**Abdullah KELLEVEZİR**

**Konya Teknik Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Prof. Dr. Ekrem TUŞAT  
İkinci Danışman: Doç. Dr. M. Tevfik ÖZLÜDEMİR**

**2024, 171 Sayfa**

**Jüri**

**Prof. Dr. Muzaffer KAHVECİ  
Prof. Dr. Ekrem TUŞAT  
Prof. Dr. Salih ALÇAY**

Dünyanın en sert kabuğu olan astenosfer tabakası, manto tabakası üzerinde hareket halinde olan irili ufaklı birçok plakadan oluşmaktadır. Bu plakaların hareketleri ve bu hareket sonucunda birbirleriyle olan etkileşimleri sonucunda jeodinamik faaliyetler gerçekleşmektedir. Bu faaliyetlerin izlenmesi, oluşturulan referans sisteminin güncel ve sağlıklı bir şekilde tutulması için önem taşımaktadır. Bu çalışmada Antarktika plakasının diğer komşu plakalarla olan etkileşimi sonucu sergilediği yatay ve düşey hareket irdelenmiştir. Tektonik plakaların hareketlerinin belirlenmesinde GNSS, VLBI, SLR, InSAR gibi uzay tabanlı birçok farklı jeodezik metot kullanılmaktadır. Günümüzde bu metotlardan en sık kullanılan GNSS ile, sabit istasyon verileri bilimsel veya ticari yazılımlar yardımıyla analiz edilerek plaka hareketleri incelenmektedir. Bu tez çalışması kapsamında; 2020-2023 yılları arasındaki GNSS verileri kullanılarak Gamit/Globk yazılımı ile yapılan analiz çalışmaları sonucunda Antarktika, Güney Amerika, Afrika ve Avustralya plakalarının ITRF14 referans sistemindeki koordinat ve hız bilgileri üretilmiştir. Ayrıca Antarktika plakasının diğer plakalara göre göreceli hareketini gözlemleyebilmek amacıyla plaka sabit çözümler gerçekleştirilmiştir. Yapılan değerlendirmelerde Antarktika plakasının 4-18 mm/yıl (ITRF14) hızı sahip olduğu, Afrika ve Avustralya plakaları ile ıraksayan plaka özelliği gösterdiği ve Güney Amerika plakası ile yanal atımlı plaka hareketi sergilediği tespit edilmiştir. Elde edilen bu bulgular aynı zamanda mevcut farklı küresel plaka hareket modelleriyle karşılaştırıldığında 0-5 mm arasında tutarlı olduğu gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Antarktika, GNSS, Hız, ITRF, Plaka ve Plaka Modeli.

## **ABSTRACT**

## **MS THESIS**

# **INVESTIGATION OF VELOCITY INFORMATION OF THE ANTARCTIC CONTINENT USING GNSS DATA**

**Abdullah KELLEVEZİR**

**Konya Technical University  
Institute of Graduate Studies  
Department of Geomatics Engineering**

**Advisor: Prof. Dr. Ekrem TUŞAT  
Second Advisor: Assoc. Prof. Dr. M. Tevfik ÖZLÜDEMİR**

**2024, 171 Pages**

**Jury  
Prof. Dr. Muzaffer KAHVECİ  
Prof. Dr. Ekrem TUŞAT  
Prof. Dr. Salih ALÇAY**

The asthenosphere layer, the hardest crust of the Earth, consists of many plates, large and small, that are in motion on the mantle layer. These plate movements and their interactions lead to geodynamic activities. Monitoring these activities is essential for maintaining an accurate and up-to-date reference system. This study investigates the horizontal and vertical movements of the Antarctic Plate resulting from its interactions with neighboring plates. Various space-based geodetic methods, such as GNSS, VLBI, SLR, and InSAR, are used to determine the movements of tectonic plates. Among these, GNSS is the most commonly used method today. By analyzing data from fixed GNSS stations with scientific or commercial software, plate motions are examined. Within the scope of this thesis, GNSS data from 2020 to 2023 were analyzed using Gamit/Globk software, resulting in the determination of the coordinates and velocities of the Antarctic, South American, African, and Australian plates in the ITRF14 reference frame. Additionally, plate-fixed solutions were performed to observe the relative motion of the Antarctic Plate concerning other plates. In the evaluations carried out, it was determined that the Antarctic plate has a velocity of 4-18 mm/year (ITRF14), shows a divergent plate feature with the African and Australian plates, and exhibits transform plate motion with the South American plate. These findings have also been observed to be consistent between 0-5 mm compared to the different existing spherical plate motion patterns.

**Keywords:** Antarctica, GNSS, Velocity, ITRF, Plate and Plate Model.

## ÖNSÖZ

Bu tez çalışmamın hazırlanmasında bana desteğini ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ekrem TUŞAT'a ve fikirleriyle rehberlik eden eş danışmanım Doç. Dr. M. Tevfik ÖZLÜDEMİR'e sonsuz teşekkür ederim. Bir parçası olmaktan onur duyduğum Harita Genel Müdürlüğüne ve çalışmamda kullandığım Antarktika-Dismall (DISM) sabit Gns sstasyon verilerinin toplanması çalışmalarında emeği geçen Harita Genel Müdürlüğü Jeodezi Daire Başkanlığı personeline teşekkürlerimi arz ederim. Hayatımın her anında beni destekleyen, bana güvenen ve bu çalışmada motivasyonumu artıran aileme teşekkür ediyorum.

Abdullah KELLEVEZİR  
KONYA-2024

## İÇİNDEKİLER

|                                                                                        |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>ÖZET .....</b>                                                                      | <b>iv</b>  |
| <b>ABSTRACT.....</b>                                                                   | <b>v</b>   |
| <b>ÖNSÖZ .....</b>                                                                     | <b>vi</b>  |
| <b>İÇİNDEKİLER .....</b>                                                               | <b>vii</b> |
| <b>SİMGELER VE KISALTMALAR .....</b>                                                   | <b>ix</b>  |
| <b>1. GİRİŞ .....</b>                                                                  | <b>1</b>   |
| <b>2. DÜNYANIN İÇ YAPISI VE LEVHA TEKTONİĞİ.....</b>                                   | <b>4</b>   |
| 2.1. Levha Mekanizmaları ile İlgili Teoriler.....                                      | 5          |
| 2.1.1. Kontraksiyon teorisi.....                                                       | 5          |
| 2.1.2. Ekspansiyon teorisi.....                                                        | 6          |
| 2.1.3. Konveksiyon akımları teorisi.....                                               | 6          |
| 2.1.4. Kıtaların kayma teorisi.....                                                    | 7          |
| 2.1.5. Plaka tektoniği teorisi .....                                                   | 7          |
| 2.2 Levha Sınırlarının Özellikleri .....                                               | 9          |
| 2.2.1 Iraksayan levha sınırları.....                                                   | 10         |
| 2.2.2. Yakınsayan levha sınırları .....                                                | 11         |
| 2.2.3. Transform levha sınırları .....                                                 | 12         |
| <b>3. TEKTONİK HAREKETLERİN BELİRLENMESİNDE KULLANILAN<br/>JEODEZİK YÖNTEMLER.....</b> | <b>14</b>  |
| 3.1. Çok Uzun Bazlı İnterferometri (VLBI) .....                                        | 14         |
| 3.2. Yapay Uydularla Lazer Ölçümü .....                                                | 16         |
| 3.3. İnterferometrik Yapay Açıklıklı Radar Sistemi (İnSAR) .....                       | 17         |
| 3.4. Küresel Konumlama Sistemleri (GNSS-Global Navigation Satellite System) ...        | 18         |
| 3.4.1. GPS (Global Positioning System).....                                            | 18         |

|                                                                              |           |
|------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.4.2. Glonass (Global navigation satellite system).....                     | 20        |
| 3.4.3. Galileo.....                                                          | 20        |
| 3.5. Tektonik Hareketlerin Belirlenmesinde GNSS' nin Kullanımı .....         | 22        |
| 3.5.1. IGS (International GPS Services) ağı .....                            | 23        |
| 3.5.2. Polonet (The Polar Earth Observing Network) ağı.....                  | 25        |
| <b>4. UYGULAMA .....</b>                                                     | <b>27</b> |
| 4.1. Çalışma Alanının Tanıtılması .....                                      | 27        |
| 4.2. Çalışma Bölgesindeki GNSS Ağı ve Ölçüleri .....                         | 28        |
| 4.3 GNSS Ölçülerinin Değerlendirilmesi ve GNSS Nokta Hızlarının Hesaplanması | 30        |
| 4.3.1 Gamit ile verilerin değerlendirilmesi .....                            | 32        |
| 4.3.2 Globk ile verilerin değerlendirmesi .....                              | 37        |
| <b>5. KARAKTERİSTİK PLAKA HAREKETLERİNİN GNSS VERİLERİ İLE</b>               |           |
| <b>KARŞILAŞTIRILMASI .....</b>                                               | <b>47</b> |
| 5.1 Afrika Plakası .....                                                     | 47        |
| 5.2 Güney Amerika Plakası .....                                              | 50        |
| 5.3 Avustralya Plakası .....                                                 | 57        |
| 5.4 Antarktika Plakası.....                                                  | 61        |
| 5.4.1 Antarktika plakasının depremselliği .....                              | 65        |
| 5.4.2 Antarktika plakasının diğer plakalara göre hareketi .....              | 67        |
| <b>6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>                                          | <b>73</b> |
| <b>KAYNAKLAR .....</b>                                                       | <b>76</b> |
| <b>EKLER .....</b>                                                           | <b>84</b> |

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

#### Kısaltmalar

|           |                                                              |
|-----------|--------------------------------------------------------------|
| ABD       | : Amerika Birleşik Devletleri                                |
| APMM      | : The Australian Plate Motion Model                          |
| ASCII     | : American Standard Code for Information Interchange         |
| ASAV      | : Antarctic Station Academic Vernadsky                       |
| ATRF      | : Australia Terrestrial Reference Frame                      |
| BARD      | : Bay Area Regional Deformation Network                      |
| CBIS      | : Central Bureau Information System                          |
| CDDIS     | : The Crustal Dynamics Data Information System               |
| ECEF      | : Earth Centered Earth Fixed                                 |
| EGNOS     | : European Geostationary Navigation Overlay Service          |
| GAGAN     | : The GPS Aided Geo Augmented Navigation System              |
| GCC       | : Galileo Control Center                                     |
| GAMIT     | : GPS Analysis Massachusetts Institute of Technology         |
| GDA2020   | : Geocentric Datum of Australia 2020                         |
| GEODAF    | : Geodetic Data Archiving Facility                           |
| GEONET    | : GPS Earth Observation Network                              |
| GLOBK     | : Global Kalman Filter                                       |
| GLONASS   | : Global Navigation Satellite System                         |
| GMT       | : Generic Mapping Tools                                      |
| GNSS      | : Global Navigation Satellite Systems                        |
| GOES      | : Geostationary Satellite Server                             |
| GPS       | : Global Positioning System                                  |
| GSRM v2.1 | : Global Strain Rate Map v2.1                                |
| GST       | : Galileo System Time                                        |
| GTRF      | : Galileo Terrestrial Reference Frame                        |
| HGM       | : Harita Genel Müdürlüğü                                     |
| IAG       | : International Association of Geodesy                       |
| IAU       | : International Astronomical Union                           |
| ICRF      | : International Celestial Reference Frame                    |
| IERS      | : International Earth Rotation and Reference Systems Service |
| IGS       | : International Global Navigation Satellite Systems Service  |
| ILRS      | : International Laser Ranging Service                        |
| InSAR     | : İnterferometrik-Sentetik Açıklıklı Radar                   |
| ITRF      | : International Terrestrial Reference Frame                  |
| IVS       | : International VLBI Service for Geodesy and Astrometry      |
| LK        | : Lineer Kombinasyon                                         |
| LLR       | : Lunar Laser Ranging                                        |
| MIT       | : Massachusetts Institute of Technology                      |
| NETS      | : National Etalon Time Scale                                 |
| NRMS      | : Normalized Root Mean Square                                |
| NUVEL 1A  | : Northwest University Velocity-1A                           |
| POLENET   | : The Polar Earth Observing Network                          |
| QZSS      | : Quasi-Zenith Satellite System                              |
| REGAL     | : REseau GPS permanent dans les ALpes occidentales           |
| RINEX     | : The Receiver Independent Exchange Format                   |

|        |                                                       |
|--------|-------------------------------------------------------|
| SCAR   | : Scientific Committee on Antarctic Research          |
| SCIGN  | : Southern California Integrated GPS Network          |
| SINEX  | : Solution / Software Independent Exchange Format     |
| SIRGAS | : Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas |
| SLR    | : Satellite Laser Ranging                             |
| SOPAC  | : Scripps Orbit and Permanent Array Center            |
| TEQC   | : Translation Editing and Quality Check               |
| UNAVCO | : University NAVSTAR Consortium                       |
| USNO   | : United States Naval Observatory                     |
| UTC    | : Coordinated Universal Time                          |
| VEMOS  | : Velocity Model For SIRGAS                           |
| VLBI   | : Very Long Baseline Interferometry                   |
| VMF    | : Vienna Mapping Function                             |
| WAAS   | : Wide Area Augmentation System                       |
| WGS84  | : World Geodetic System-1984                          |
| WRMS   | : Weighted Root Mean Square                           |



## 1. GİRİŞ

Teknolojinin gelişimiyle ilerleyen bilimsel çalışmalar günümüzde birçok doğal afetin tanımlanabilmesine yardımcı olmakta ve bu sayede afetlerin bazılarının hem geçmişteki hem de gelecekteki davranışları modellenebilmektedir. Bu gelişmelere rağmen bazı doğa olaylarının sonucu can ve mal kayıplarının önüne geçilememektedir. Tüm bu kayıpların en büyük nedeni yine depremлер olarak öne çıkmaktadır. Geçmiş yıllardan günümüze kadar bilim insanları depremlerin neden olduğu ve bunun önceden tahmin edilebilirliği hakkında birçok araştırma yapmıştır. İsviçreli bilim adamı Leonhard Euler, 18. yüzyılda kutup bölgelerindeki yersel hareketleri tanımlayan küresel geometri teoremini kullanarak litosferin hareketini açıklamıştır. Üst manto tabakasının üzerinde bulunan litosfer tabakası bir bütün halinde bulunmamaktadır. Bu tabaka birbirlerine göre devamlı olarak farklı yön ve davranışlar sergileyerek hareket halinde bulunan levhalardan oluşmaktadır. Litosferin alt katmanı olan manto katmanında ısınan malzeme yükselir ve tekrar soğuyarak sıcak malzemeye katılması sırasında gerçekleşen hareketlilik plakaların birbirlerine çarpmasına, uzaklaşmasına veya paralel olarak yatay şekilde hareket etmesine sebep olur. İşte bu hareketliliğin en büyük sonuçlarından biri depremlerdir. Sismik ve volkanik aktivitenin çoğunlukla gerçekleştiği yerler olarak yine karşımıza fay hatları çıkmaktadır. Dünyanın litosfer katmanındaki bu hareketin belirlenmesi günümüzde birçok farklı bilim dalının yakından ilgilendiği bir konudur. Başta jeodezi olmak üzere yer bilimleri üzerine araştırma yapan disiplinler plakaların hareketlerini farklı tekniklerle belirlemek için çalışmaktadır (Yavaşoğlu, 2009).

Levhaların fay hatları üzerinde birbirleri ile etkileşimleri sonucu yerkabuğunda deformasyonlar meydana gelir. Bu deformasyonlar sonucunda levha üzerinde tesis edilen sabit fiziksel noktalar bu hareketlilikten etkilenir ve yılda 100 mm'ye varan harekete sahip plakaların varlığını bize yansıtırlar. Yeryüzündeki farklı bölgelerde meydana gelen deformasyonlar, levhaların hareketlerine bağlı olarak özellikle fay hatlarının bulunduğu bölgelerde yoğun olarak gerçekleşir. Jeodezik ve jeofizik bilim dalları başta olmak üzere araştırmacıların yeryüzünde gerçekleştirdikleri ölçümlerin ana amacı depremlerin önceden tahmin edilerek can ve mal kaybının önüne geçilmesidir (Erdoğan, 2006). Litosfer, çeşitli boyutlarda yedi ana plaka (Avrasya, Afrika, Kuzey Amerika, Güney Amerika, Avustralya, Pasifik ve Antarktika) ve birkaç mikro plakadan oluşmaktadır. Mikro plakalar ana plakaların parçaları olan veya onları tamamlayan kısımlardan oluşmaktadır.

20. yüzyılın sonlarına doğru uzay tabanlı ölçüm sistemlerin hayatımıza girmesi ile birçok bilim dalı gibi jeodezi biliminde de levha hareketlerinin tespit edilmesi konusunda önemli adımlar atılmıştır. Uzay tabanlı jeodezik ölçümlerde VLBI (Very Long Base Interferometry-Uzun Bazlı İnterferometri), SLR (Satellite Laser Ranging-Yapay uydularla lazer ölçmeleri), GNSS (Global Navigation Satellite System) gibi farklı teknikler kullanılarak hassas çalışmalar yapılmak amaçlanmıştır. Bu tekniklerin kullanılmasının başlıca nedenlerinden bir tanesi küresel anlamda gözlem yapılabilmesi olanağı sayesinde tektonik levha hareketini yine küresel ve bölgesel olarak hassas bir şekilde belirlenebilmesidir. VLBI ve SLR teknikleri hemen hemen benzer şekilde çalışma prensiplerine sahip olup yapılan ölçümlerde milimetre hassasiyetinde ürün (konum bilgisi, uzunluk vb.) elde edilmektedir. Yüksek maliyet ve kullanılabilirlik açısından VLBI ve SLR tekniklerinin yerini günümüzde GNSS teknolojisi almaktadır.

20. Yüzyılın sonlarına doğru geliştirilen uzay tabanlı diğer bir teknik olan InSAR (İnterferometrik-Sentetik Açıklıklı Radar) ise levha hareketliliğin belirlenmesinde ve gerçekleşen deformasyonların tespit edilmesinde kullanılmaya başlanmıştır. Bu teknik yer bilimlerinde araştırma konusu olan buzul erimeleri, volkanizma, deprem vb. doğa olaylarında son yıllarda sıklıkla kullanılan bir tekniktir.

Uydu sistemlerinden elde edilen veriler, plaka kinematığı ve kabuk deformasyon modelleri olarak adlandırılan plaka hareketlerinin kinematik modellerini oluşturmanın temelini oluşturur (Jagoda, 2021). Levha sınırlarını oluşturan fay hatları boyunca deformasyonun (yamulmanın) jeodezik metot ile belirlenmesi için düzenli olarak ölçmelerin yapıldığı ağırları kurulmaktadır. Geçmişten günümüze kullanılan ağırlar incelendiğinde zaman, maliyet ve iş gücü açısından değerlendirmeler sonucunda GNSS tekniğinin levha hareketlerinin belirlenmesi için en uygun teknik olduğu anlaşılmaktadır. Dünya üzerinde birçok farklı noktada kurulan istasyonlarda yapılan ölçümler değerlendirilerek bu istasyonların üzerinde bulunduğu levhanın hareketi ve karakteristiği hakkında bilgi vermektedir. Bu ağırlar IGS (International GNSS Service) gibi küresel ağırlar olabildiği gibi POLENET (The Polar Earth Observing Network) ağı örneği gibi sadece bölgesel çalışmalar için kurulan ağırlar şeklinde de karşımıza çıkmaktadır. Bu ağırlarda tesis edilen sabit istasyonlardan temin edilen konum ve hız bilgileri kullanılarak dünyanın yüzey tabakasını oluşturan levhalarda dış ve iç kuvvetlerin neden olduğu dinamik değişikliklerin izlenmesine imkân sağlamaktadır. Bu istasyonlardan türetilen yatay hız bilgileri yardımıyla tektonik plaka hareketleri saptanmaktadır.

Bu çalışmada, Güney Amerika, Afrika, Avustralya ve Antarktika Levhalarının tektonik plaka hareketlerinin (deformasyonlarının) belirlenmesi amacıyla GNSS tekniği ile elde edilen veriler kullanılmıştır. Çalışmanın uygulama bölümünde Antarktika Kıtasının tamamı, Afrika Kıtasının güney kesimleri, Avustralya Kıtasının tamamı ve Güney Amerika Kıtasının güney ve batı sahil kesimlerinde bulunan 27 adet IGS ve 11 adet POLENET ağılarına ait sabit GNSS istasyonlarının 2020-2023 yılları arasındaki SOPAC (Scripps Orbit and Permanent Array Center), UNAVCO (University NAVSTAR Consortium) ve CDDIS (The Crustal Dynamics Data Information System) tarafından temin edilen sürekli gözlem verilerinden yararlanılarak, ITRF2014 (International Terrestrial Reference Frame-2014) referans sisteminde hassas istasyon konum ve hız bilgileri elde edilmiştir. Elde edilen günlük ve aylık koordinat değerlerinden istasyonlara ait belirtilen yıllar içerisindeki koordinat zaman serisi dosyaları mb\_file formatında üretilerek matlab’de tsview programı ile incelenerek değerlendirilmiştir. Günlük ve aylık zaman serileri incelendikten sonra aylık analizlerden elde edilen veriler yardımıyla yıllık ortalama istasyon hızları hesaplanmıştır. Ayrıca üretilen hız bilgileri, istasyonların bulunduğu tektonik plaka yapısının belirlenmesinde kullanılabileceği gibi istasyonların beklenen karakteristik davranışları gösterip göstermediğinin tespitinde de kullanılmıştır. Bu istasyonlara ek olarak HGM’nin (Harita Genel Müdürlüğü), Antarktika Dismal Adasındaki, 2020 yılında kurulumu tamamlanarak günümüzde aktif olarak çalışmakta olan DISM sabit GNSS istasyonu da değerlendirmelere dahil edilmiştir. İstasyonların analiz aşamasında MIT (Massachusetts Institute of Technology) tarafından üretilen Gamit/Globk (GPS Analysis Massachusetts Institute of Technology/Global Kalman Filter) yazılım takımı kullanılmıştır. Ayrıca ITRF2014 sisteminde tanımlı ve MIT tarafından yayınlanan “ANTA14”, “SOAM14”, “AUST14” ve “NUBI14” tektonik plaka modelleri kullanılarak bu üç levhanın birbirlerine göre hareketleri yine Gamit/Globk yazılımında analiz edilerek sabit GNSS istasyonlarının hız bilgileri üretilmiş ve yorumlanmıştır. Yorumlamalar yapılırken ayrıca çalışma alanı içerisindeki sismik, volkanik ve buzul erimesi gibi etkiler dikkate alınarak bu üç plaka modelinin birbirleriyle olan karakteristik özelliklerini yansıttığı tespit edilmiştir. UNAVCO tarafından farklı plaka modelleriyle ve ITRF2014 plaka modeliyle kullanılan istasyon konum bilgileri yardımıyla yapılan plaka hareket tarzları karşılaştırıldığında sabit GNSS istasyonlarından elde edilen veriler ışığında üretilen hız bilgileriyle örtüştüğü gözlemlenmiştir.

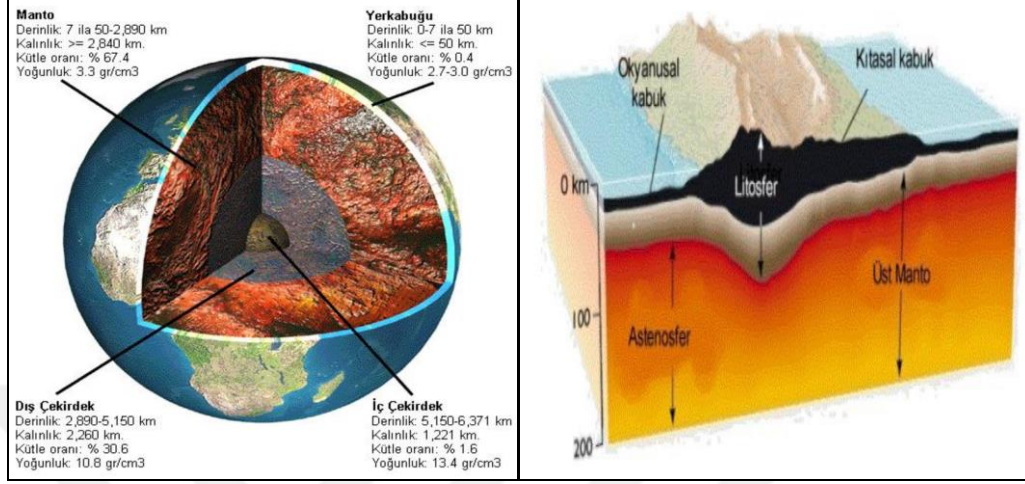
## 2. DÜNYANIN İÇ YAPISI VE LEVHA TEKTONİĞİ

Dünya'nın mantosu, dünyanın metalik ve kısmen erimiş çekirdeğini ince kabuğun daha soğuk kayasından ayıran kalın kırmızı-sıcak kaya kabuğudur. Yüzeyin ortalama 35-45 kilometre altından başlayıp yaklaşık 2900 kilometre derinliğe kadar devam ederek dünyanın yarıçapının neredeyse yarısını, hacminin %83'ünü ve kütlelerinin ise %67'sini oluşturur (Wylie J.P., 1975). Kabuk üzerindeki etkisi derindir; aslında kabuk, okyanus yüzeyleri ve atmosfer mantodan damıtılan kısımlardır. Kıtaları dünya yüzeyinde yavaş bir şekilde hareket ettiren itici güçler manto içinde ortaya çıkar. Bu nedenle manto bilgisi, dünyanın yapısını ve dinamik davranışlarını anlamak için çok önemlidir. Mantonun yüzeydeki koşulları etkilemekteki rolü çok yönlüdür. Örneğin eriyebilir birleşenlerinin eriyerek yeryüzüne çıkan lavların katılaşmasıyla kabuğa yeni kayalar eklenirken öte yandan mantodan gelen gazlar sahip oldukları karbon bileşenleri sayesinde dünyadaki organik hammadde ihtiyacını karşılamaktadır (Wylie J.P., 1975). Benzer şekilde itici güç olarak kabukta gerçekleştirdiği hareket uzun zaman içerisinde volkanik patlamalara depremlere ve kıtasal kaymalara neden olmaktadır. Bu hareketler dünya yüzeyinde kırıkları ve bu kırıkların birbirleriyle etkileşimi sonucunda da “Levha (Plaka)” olarak adlandırılan parçaları oluşturmaktadır. Jeodinamik aktiviteleri, sonuçları ve nedenlerini inceleyen bilim adamları bu olaylarla ilgili birçok farklı teori ortaya atmışlardır. Bunlardan en önemlisi Alfred Wegener (1912) tarafından ortaya konmuş Levha Tektoniği teorisidir (Tiryakioğlu, 2012).

Bu teoriye göre; yerin en dış kısmını oluşturan yaklaşık 50 km kalınlığında katı maddeden oluşan yerkabuğu, üst mantonun yakınındaki litosfere oranla daha akıcı ve yumuşak bir bölgesi olan astenosfer üzerinde, birbirine göre çeşitli yönlerde ve davranışlarda hareket etmekte olan çok sayıda ana ve mikro plakadan meydana gelmektedir. Yerkürenin yaklaşık 6371 km çapında olan yapısı, dıştan içe doğru şu katmanlardan oluşur: Yerkabuğu, Manto ve Çekirdek. Şekil 2.1'de de görüldüğü üzere Manto, Üst Manto ve Alt Manto olarak iki ana bölüme ayrılırken, Çekirdek ise Dış Çekirdek ve İç Çekirdek olarak iki kısma ayrılır. Yerkabuğu, yerkürenin toplam hacminin sadece %0.8'ini ve ağırlığının %2,5'ini oluşturur. Manto, yerkürenin hacminin %80'ünü ve ağırlığının %67'sini kapsar. Çekirdek ise hacmin %19.2'ini ve ağırlığının %32'sini oluşturmaktadır (URL-1).

120 km kalınlığa sahip Litosfer katmanı ise astenosferin hemen üstünde yer almakta ve yeryüzüne kadar uzanmaktadır (Şekil2.1). Litosferin manto üzerinde yüksek

sıcaklık ve basınçtan kaynaklı farklı yönde farklı hareketi sonucu irili ufaklı parçalara ayrılır. Bu parçaların her birine levha, yapmış oldukları hareketi açıklayan teoriye ise Levha Tektoniği adı verilmektedir (Tüysüz, 1999).



Şekil 2.1. Yerkürenin katmanlı iç yapısı dış kısmındaki katmanlar (Press ve Siever, 1999)

## 2.1. Levha Mekanizmaları ile İlgili Teoriler

Mantonun yer kabuğu üzerindeki gücü sonucu uzun dönemleri kapsayan hareketi üzerine birçok jeotektonik hipotezler veya teoriler ortaya atılmıştır. Bu teorilerin başlıcaları: Kontraksiyon Teorisi, Ekspansiyon Teorisi, Konveksiyon Akımları Teorisi, Kıtaların Kayma Teorisi ve Plaka Tektoniği Teorisi'dir.

### 2.1.1. Kontraksiyon teorisi

19. yüzyılın sonlarında ortaya atılan bir yer bilim teorisidir ve Dünya'nın kabuğunun oluşumu ve depremlerin, dağların nasıl meydana geldiği konusunda bir açıklama sunmayı amaçlamıştır. Kontraksiyon teorisi, Dünya'nın başlangıçta sıcak ve erimiş bir kütle olduğunu ve zamanla soğuyup büzüldüğünü (kontrakte olduğunu) öne sürer. Bu soğuma ve büzülme süreci sırasında, Dünya'nın dış kabuğu (litosfer) küçülmek zorunda kaldığından, yüzeyde kırılmalar, buruşmalar ve kıvrımlar meydana gelir. Bu olayların sonucunda da dağlar oluşur, depremler gerçekleşir ve diğer jeolojik özellikler ortaya çıkar. Kontraksiyon teorisi, 19. yüzyılda Alfred Wegener'in Kıtasal Sürüklenme Teorisi'nden ve modern Levha Tektoniği Teorisi'nden önce yaygın olarak

kabul görmüştür. Ancak, levha tektoniği ve deniz tabanı yayılması gibi modern teorilerin gelişmesiyle birlikte, kontraksiyon teorisinin yetersiz olduğu ve Dünya'nın jeolojik süreçlerini tam anlamıyla açıklayamadığı anlaşılmıştır. Günümüzde Kontraksiyon Teorisi büyük ölçüde reddedilmiş ve kullanılmamaktadır (Özçep, 2018).

### **2.1.2. Ekspansiyon teorisi**

Ekspansiyon veya diğer adıyla Genişleme-Büyüme Teorisi'ne göre, yeryuvarının hacminin büyüme nedeni ısısal genişlemedir. Diğer bir neden, yer içindeki yoğunluğu fazla yüksek basınç halinde bulunan maddelerin yoğunluğu daha az ve daha düşük basınçlı madde haline dönüşmesidir. Bu teori ilk olarak Hilgenberg tarafından 1933 yılında ileri sürülmüştür. Bu teori sıradağların nasıl oluştuğu hakkında yetersiz kalmaktadır (Özçep, 2018).

### **2.1.3. Konveksiyon akımları teorisi**

Konveksiyon akımları teorisi; Dünya litosferinin deformasyonunun, mantonun soğumasını sağlayan büyük ölçekli kuvvetlerin bir sonucu olduğu fikrine dayanmaktadır. Arthur Holmes (1931) Dünya'nın iç kısmında yer alan mantoda (astenosfer) meydana gelen ısı transferi süreçlerinin, litosferdeki levhaların hareketini yönlendirdiğini açıklar. Bu teori, levha tektoniği teorisinin önemli bir bileşenidir ve yeryüzündeki kıtaların ve okyanusların hareketini açıklamak için kullanılır. Dünya'nın çekirdeğinden yayılan ısı, mantonun alt kısımlarındaki maddelerin ısınmasına ve yükselmesine neden olur. Bu sıcak malzeme, yeryüzüne doğru yükseldikçe soğur, yoğunluğu artar ve tekrar derinlere çöker. Bu süreç, mantoda sürekli döngüsel bir hareket oluşturur. Mantoda meydana gelen bu döngüsel hareketler, konveksiyon hücreleri olarak adlandırılır (Coltice ve diğ., 2017). Bu hücreler, litosferin altındaki maddeleri hareket ettirir ve levhaların sürüklenmesine yol açar. Konveksiyon akımları, levhaların birbirinden uzaklaşmasına, yaklaşmasına veya birbirinin yanından geçmesine neden olur. Bu hareketler, okyanus sırtlarında yeni kabuk oluşumu, dalma zonlarında levha yıkımı ve transform fay hatlarında yatay levha hareketi gibi jeolojik olayları açıklar. Bu teori aynı zamanda levha tektoniği teorisinin temelini oluşturmaktadır.

#### 2.1.4. Kıtaların kayma teorisi

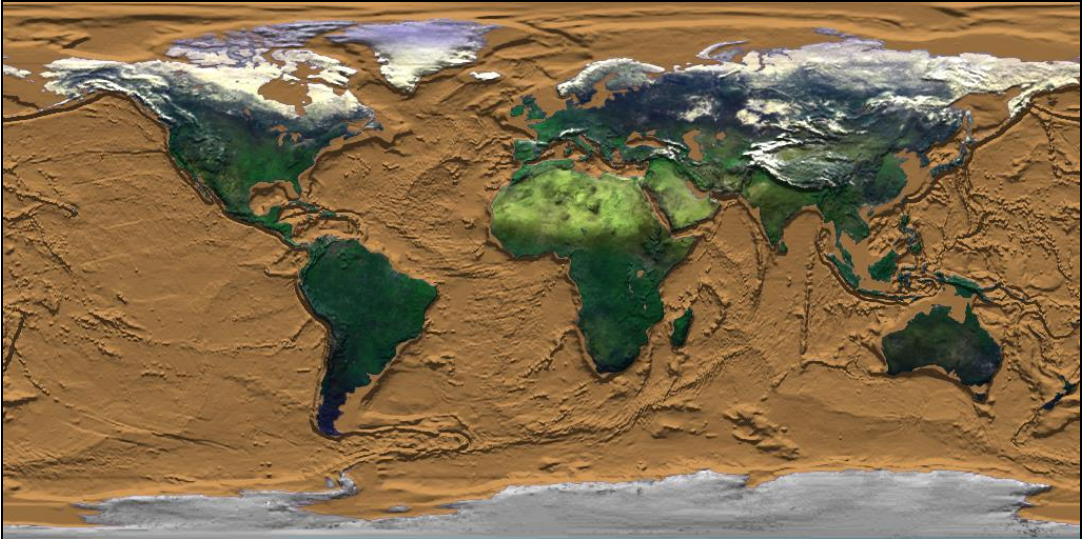
Günümüzde kıtaların, litosfer levhalarının hareket etmesi sonucu ortaya çıktığı düşüncesi ilk olarak 18. yüzyılın sonlarında ortaya atıldı. Ancak ilk ayrıntılı ve geniş kapsamlı kuramı, 1912'de Alman meteorolog ve jeofizikçi Alfred Wegener tarafından ileri sürülmüştür. Wegener birçok jeolojik veriyi değerlendirerek zamanın büyük bölümü boyunca tek bir kıtanın var olduğunu düşüncesini ortaya atarak bu kıtayı Pangea olarak adlandırdı. Bu kıta zaman içerisinde çeşitli parçalara ayrılarak birbirlerinden uzaklaşmaya başlamıştır. Örneğin; Amerika Kıtasının oluşturan kısımların batıya doğru sürüklenerek Atlas Okyanusu oluşmuştu. Öte yandan yeryüzünde farklı bölgelerinde seçilen farklı yaşlardaki kayalarda yapılan araştırmalarda manyetik kutupların farklı dönemlerde farklı yerlerde olduğu tespit edilmiştir. Buda kıtaların bir zamanlar farklı dönemlerde farklı yerde olduğu varsayımına neden olmuştur. 1960'larda gerçekleşen deniz ve okyanus tabanı araştırmaları litosferin altında çok sayıda büyük levhadan oluştuğunu ve bu levhaların mantonun yumuşak kısmı olan üst manto üzerinde yüzdüğünü ileri sürmüştür. Bu teori Wegener'in kıtaların kayması teorisiyle bütünleşerek levha tektoniği teorisinin ortaya atılmasına neden olmuştur (URL-2).

#### 2.1.5. Plaka tektoniği teorisi

Kıtaların kayması teorisini savunan Wegener kıtaların yer değiştirdiğini açıklamış fakat neden gerçekleştiğini açıklayamamıştır. Ölümünden sonra (1930) ve İkinci Dünya Savaşı sırasında, okyanus tabanının haritalanması, okyanusların ortasında yer alan okyanus sırtlarının (uzunlamasına tepeler) yanı sıra hendeklerin (okyanusal çöküntüler) varlığını ortaya koydu. Bu gözlemler, Jason Morgan'ın (1967) Amerikan Jeofizik Birliği Kongresi'nde sunduğu levha tektoniği teorisine altlık oluşturmıştır: Litosfer (Dünya'nın en üstteki sert kısmı), Dünya yüzeyinde birbirine göre dönen birkaç levhaya bölünmüştür. Her levhanın hareketi tamamen açısal hareketiyle tanımlanır. Aynı yıl, McKenzie ve Parker, sismolojik argümanlara dayanan benzer bir teori önerdiler. Levha tektoniği başlangıçta kinematik bir teori olarak tanımlandı. Plaka tektoniği, litosfer parçalarının Dünyanın hemen hemen tüm yüzeyi boyunca nasıl hareket ettiğini ve etkileşime girdiğini açıklar. Levha hareketleri dönme kutbu ve açısal hıza sahip mutlak veya göreceli referans çerçeveleri kullanılarak tanımlanır.

1960’lardan sonra Harold Hess mantonun termal hücreler tarafından yönetildiğini öne sürdü: okyanus sırtları, mantodan yükselen yükselmelerin ve alçalmanın üstündeki dalma bölgelerinin üzerinde olacaktı. Çok basitleştirilmiş olsa bile, bu açıklama manto konveksiyonu tarafından yönlendirilen ilk plaka hareketleri şemasını sağlamıştır. Tanım olarak, manto konveksiyonu, mantodaki akımların büyük ölçekli hareketi ile taşınan ısıyı ifade eder ve karmaşık bir sürece karşılık gelir (Quere, 2010). Plaka tektoniği teorisine göre birçok parçadan yani levhadan oluşan litosfer tabakasının kıtasal kabuktan oluşan kısımları 250 km’lik kalınlığa sahipken okyanusal kabuktan oluşan kısımları ise 100 km kalınlıkta olmaktadır (URL-3).

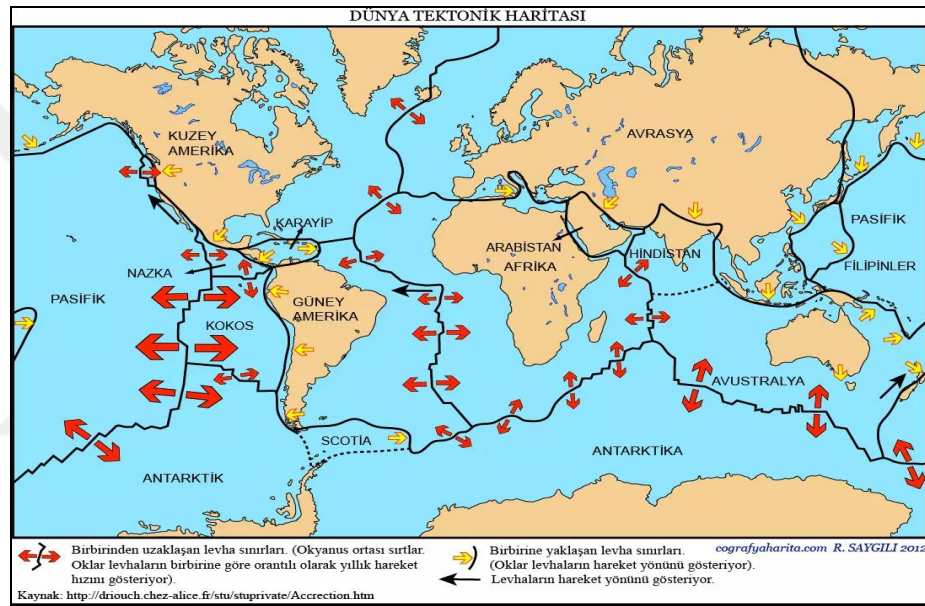
Plaka tektoniğine göre levhaların hareketi mantonun en üst yeri olan astenosfer bölümünde gerçekleşmektedir. Bu hareketin nedeni ise manto tabakasındaki konveksiyonel akıntılardır. 5000 derece sıcaklığa sahip çekirdek üst tabakaya enerji göndermektedir. Bu enerjiyle birlikte ısınan magma astenosfer tabakasına kadar yükselir ve dıştaki soğuk magmayı dışarı iter. Soğuk magma etrafına dağılarak tekrar derine inerek ısınır ve bu süreç uzun zaman boyunca devam eder. Kıtalar bu süreç içerisindeki bu akıntıdan etkilenerek uzun zaman içerisinde dünya üzerinde hareket eder. Kıtaların bu şekilde hareket etmesi olayı, Levha Tektoniği Teorisini meydana getirmektedir (Palin, 2020). Bu teori kapsamında ele alınan Dünyamızın tektonik yapısı Şekil 2.2’de sunulmaktadır.



Şekil 2.2. Dünyamızın tektonik yapısı (URL-4)

## 2.2 Levha Sınırlarının Özellikleri

Wegenerin teorisine bakıldığında aslında tek fark hareket eden kütlenin kıta değil plakalar olduğudur. Plakalar genellikle kıta isimleriyle adlandırılırsalar da sınırları kıtalardan daha genişliklere uzanmaktadır. Bu sebeple plakalar üzerindeki kara parçaları yani kıtalar plakanın hareketine bağlı olarak konumsal olarak yer değiştirmektedir. Şekil 2.3'te gösterilen levha sınırları, dünya yüzeyindeki tektonik ve magmatik aktivitelerin çoğunun merkez odağı olup en büyük deprem ve volkanik patlamalar bu sınırlarda meydana gelmektedir. (Acocella, 2014).



Şekil 2.3. Dünyaki mevcut ana levhalar (URL-5)

Dünya genelinde baktığımızda plaka tektoniği teorisine göre; Afrika, Kuzey ve Güney Amerika, Antarktika ve Avustralya gibi büyük ölçekli plakalar bulunduğu gibi Scotia, Filipinler ve Arap plakaları gibi küçük plakalarda bulunmaktadır. Plakaların üzerinde bulunan kıtalar da plakanın hareketiyle birlikte sürüklenmektedir. Plakaların birbirleriyle etkileşimleri sonucu sınırlarında 3 farklı türde hareket davranışı görülebilmektedir. Etkileşen iki plaka birbirlerinden uzaklaşarak ayrılabilir, birbirine yaklaşarak birbiri altına dalaabilir veya yaklaşmadan birbirine paralel olarak hareket edebilir (Altın, 2006). Literatürdeki plaka tektoniği teorisine göre plaka hareket türlerini 3 başlık altında incelenebilir:

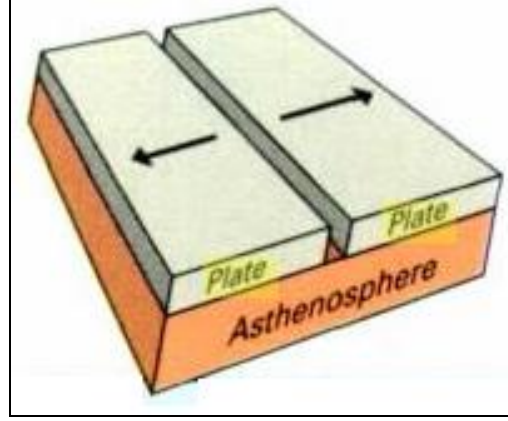
- İraksayan Levha Sınırları

- Yakınsayan Levha Sınırları
- Transform Levha Sınırları

### 2.2.1 İraksayan levha sınırları

Yer kabuğunun iki tektonik plakasının birbirinden uzaklaştığı, yani ayrıldığı yerlerdeki plaka sınırlarıdır. Levhaların birbirinden uzaklaştığı ve magmanın mantodan yukarı doğru itmesiyle yeni kabuğun oluştuğu yayılan merkezler boyunca meydana gelir. Bu tür sınırlar genellikle okyanus ortası sırtları ve kıtasal yarık vadileri boyunca bulunur (URL-6). Dünyadaki jeolojik süreçlerde önemli rol oynayan bu levha hareketi yer kabuğunun sürekli olarak yeniden şekillenmesinde rol oynamaktadır (Şekil 2.4). Genel olarak özelliklerine bakıldığında:

- Plakalar birbirinden uzaklaştıkça, aradaki boşluğu doldurmak için manto malzemesi yüzeye doğru yükselir ve burada soğuyarak yeni okyanusal kabuk oluşturur. Bu süreç, okyanus ortası sırtlarında gözlemlenir.
- Bu bölgelerde yükselen manto malzemesi, volkanik aktiviteye neden olabilir. Yeni kabuğun oluşumu sırasında lav akıntıları meydana gelebilir.
- Plakalar birbirinden uzaklaşırken, yeryüzü kabuğunda gerilim birikir ve bu gerilim ani olarak boşaldığında depremler meydana gelir. Bu depremler genellikle şiddetli değildir.
- En yaygın ıraksayan levha sınırı örneği, okyanus ortası sırtlarıdır. Bu sırtlar, dünya genelindeki okyanus tabanlarının büyük bir kısmını kaplar ve genellikle sığ su derinliklerinde yer alır (URL-7).
- Kıtasal levhalar arasındaki ıraksayan sınırlar, kıtasal yarık vadilerine neden olur. Örneğin, Orta Atlantik Sırtı yılda 2,5 cm/yıl bir hız ile birbirinden uzaklaşan bir plaka sınır özelliği taşımaktadır (URL-6).

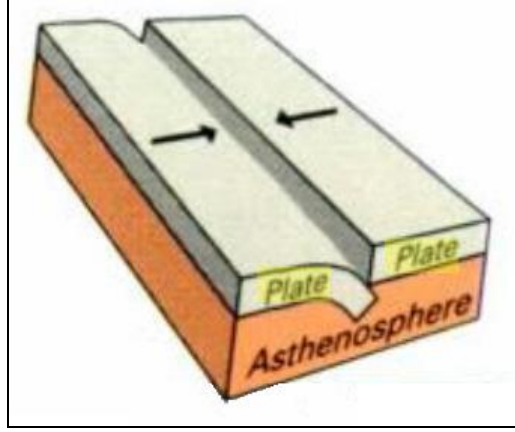


Şekil 2.4. Iraksayan levha hareketi (Kious ve Tilling, 1996)

### 2.2.2. Yakınsayan levha sınırları

İki levhanın birbirine doğru kayarak bir dalma zonu (bir levha, normalde bir okyanus levhası diğerinin altına hareket ederse) veya kıtasal bir çarpışma oluşturduğu yerlerde oluşur. Dalma zonları, yoğun okyanus litosferinin daha az yoğun kıta levhalarının altına battığı Pasifik levhasının (örn. Batı Güney Amerika) sınırlarını içerir. Depremler, astenosfere doğru alçalırken aşağı doğru hareket eden levhanın yolunu izler. Derin deniz hendeği oluşur (URL-8). Bu tür sınırlar, Dünya'nın jeolojik aktivitelerinin en dinamik ve karmaşık olanlarından biridir ve birçok önemli jeolojik olaya neden olur. Şekil 2.5'te gösterilen yakınsayan levha hareketinin genel özellikleri şöyledir:

- Kıtasal plakalar birbirine çarptığında, yerkabuğunda büyük ölçekte deformasyonlar meydana gelir ve bu durum, dağların oluşmasına neden olur. Örneğin, Himalayalar, Hindistan ve Asya plakalarının çarpışması sonucu oluşmuştur.
- Bir okyanusal plaka, kıtasal veya başka bir okyanusal plaka çarpışması sonucu okyanusal plaka kıtasal plaka altına dalar. Bu durum, hem volkanik aktivite hemde derin deniz hendekleri oluşmasına yol açar. Mariana Çukuru, bu tür bir yitim zonunun örneğidir.
- Yitim zonlarında, dalan plaka eriyerek magmanın yükselmesine neden olur. Bu magma yüzeye çıktığında volkanik patlamalar meydana gelir. Bu nedenle, yakınsayan levha sınırlarında aktif volkanik zincirler sıklıkla bulunur.
- Yakınsayan levha sınırları, yüksek gerilim ve basınç birikimi nedeniyle büyük depremlere neden olabilir. Bu tür depremler, genellikle çok büyük enerji açığa çıkarır ve yıkıcı olabilir (URL-7).



**Şekil 2.5.** Yakınsayan levha hareketi (Kious ve Tilling, 1996)

Sonuç olarak bu tür levha sınırlarında meydana gelen jeolojik olaylara bakıldığında bunlar:

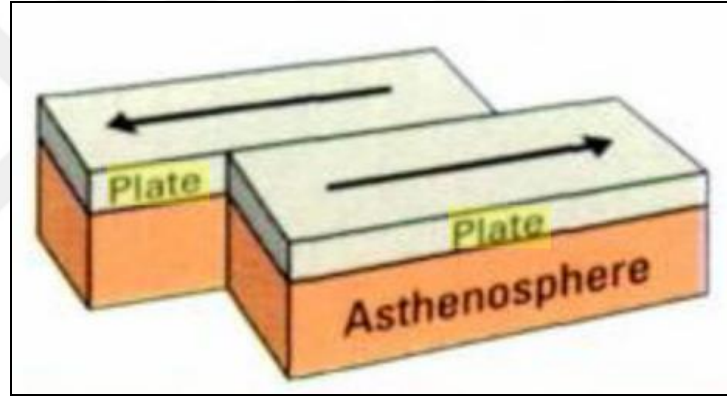
- Dalma-Batma (Subdüksiyon)
- Sismik aktivite
- Magmatik faaliyet
- Okyanus çukurları
- Karmaşık seri (Melanj) ve Metamorfizma
- Orojenez

### **2.2.3. Transform levha sınırları**

Bu levha sınırları; iki tektonik plakanın birbirine paralel olarak yatay şekilde hareket ettiği yerlerdir (Şekil 2.5). Bu sınırlar boyunca plakalar ne birbirinden uzaklaşır ne de birbirine yaklaşır, sadece birbirlerine sürtünerek kayar. Transform levha sınırlarının başlıca özellikleri şunlardır:

- Transform levha sınırları, genellikle yoğun deprem aktivitesine sahne olur. Plakalar birbirine sürtünerek hareket ederken, büyük gerilim birikir ve bu gerilim boşaldığında depremler meydana gelir. Bu depremler genellikle sığ odaklı ve yıkıcı olabilir.

- Transform levha sınırlarında, diğer levha sınırlarının aksine volkanik aktivite gözlemlenmez. Çünkü bu bölgelerde levhalar ne manto malzemesinin yükselmesine ne de batmasına neden olur.
- Dünyanın en bilinen transform levha sınırı, Kaliforniya'daki San Andreas Fayı'dır. Bu fay hattı, Pasifik Plakası ile Kuzey Amerika Plakası arasında yer alır ve sık sık büyük depremlere neden olur.
- Transform sınırlar boyunca plakalar genellikle zıt yönlerde hareket eder, bu da büyük gerilim ve deformasyonlara neden olur. Ancak, bu hareketin sonucunda herhangi bir yeni kabuk oluşumu ya da mevcut kabuğun yıkımı gerçekleşmez.
- Transform sınırları boyunca oluşan fay hatları, genellikle uzun ve düz çizgiler halinde yeryüzünde izlenebilir. Bu faylar, yüzeyde kırıklar ve yer değiştirmeler oluşturabilir (Williams, 2002).



Şekil 2.6. Transform levha hareketi (Kious ve Tilling, 1996)

Tüm levha sınırları yukarıda tartışılan ana türler kadar basit değildir. Bazı bölgelerde, sınırlar iyi tanımlanmamıştır çünkü orada meydana gelen plaka hareketi deformasyonu geniş bir kuşak (plaka sınır bölgesi olarak adlandırılır) boyunca uzanır. Plaka sınır bölgeleri en az iki büyük plaka ve bunların arasına sıkışmış bir veya daha fazla mikroplaka içerdiğinden, karmaşık jeolojik yapılara ve deprem modellerine sahip olma eğilimindedirler (Kious ve Tilling, 1996).

### 3. TEKTONİK HAREKETLERİN BELİRLENMESİNDE KULLANILAN JEODEZİK YÖNTEMLER

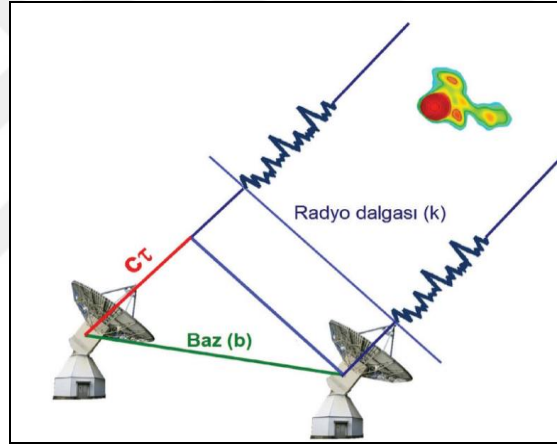
Yer kabuğunda meydana gelen deformasyonların büyük bir kısmı depremleri oluşturmaktadır. Deprem veya volkanik aktiviteler sonrası meydana gelen deformasyonların belirlenmesinde birçok bilim dalı farklı yöntemler uygulamaktadır ve bunların başında jeodezik yöntemler gelmektedir. Jeodezi, dünya şekli ve yüzeyi ile ilgili yersel ve uzay tabanlı ölçümler gerçekleştiren bir bilim dalıdır. Tektonik hareketlerle ilgili yapılan araştırmalar, Dünya yüzeyindeki gözle görülmeyen değişikliklerin jeodezik yöntemlerle ölçülmesine dayanır. Bu ölçümler, önemli değişimleri belirlenir ve tektonik aktiviteler hakkında bulgular elde edilir. Günümüzde kullanılan jeodezik ölçüm teknolojileri oldukça yüksek bir doğruluk seviyesine sahiptir, bu sayede tektonik olarak aktif bölgelerdeki küçük deformasyonlar bile tespit edilebilmektedir (Keller ve Pinter, 1996).

Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte maliyetlerin düşmesi ve ölçüm doğruluğunun artması, yerbilimleri araştırmalarında uydu jeodezisi kullanımını yaygınlaştırmıştır. Levha hareketlerinin belirlenmesinde uydu teknolojilerinin kullanımı, GNSS, InSAR, SLR ve LLR gibi sistemlerin avantajları sayesinde yersel yöntemlerin önüne geçmiştir. (Yavaşoğlu, 2009). GNSS kavramı farklı ülkelerin konumlandırma sistemlerinin tamamını genel olarak adlandırmak için kullanılmaktadır. ABD'nin (Amerika Birleşik Devletleri) GPS (Global Positioning Systems), Avrupa Birliği'nin GALILEO, Rusya'nın GLONASS, Japonya'nın QZSS, Çin'in BEIDOU ve Hindistan'ın IRNSS ve diğer sistemlerin tamamı GNSS sistemini oluşturmaktadır. GPS ise GNSS'in ana alt bölümlerinden bir tanesidir (Kahveci ve Yıldız, 2009; Groves, 2013).

#### 3.1. Çok Uzun Bazlı İnterferometri (VLBI)

Çok Uzun Bazlı İnterferometrisi, bir radyo kaynağından gelen sinyallerin varış zamanlarındaki farkı çapraz korelasyonla ölçen mikrodalga tabanlı bir uzay jeodezik tekniğidir (Şekil 3.1). En yaygın olarak gözlemlenen radyo kaynakları galaksi dışı nesnelerdir, ancak uydulardan gelen işaretler de kullanılabilir. VLBI, Uluslararası Göksel Referans Çerçevesinin (ICRF) pratik olarak gerçekleştirilmesinde ve sürdürülmesinde benzersiz bir rol oynar ve özellikle ölçeği için Uluslararası Karasal Referans Çerçevesine (ITRF) önemli ölçüde katkıda bulunur. Dünya'da ve uzayda

konumlandırma ve navigasyon için vazgeçilmez olan Dünya oryantasyon parametrelerinin tamamını sağlayan tek tekniktir. Ek olarak VLBI, Dünya sistemi içindeki etkileşimlerle ilgili değerli bilgilere erişim sağlamaktadır. Özellikle, nutasyon parametrelerinin ve Yer'in dönüş açısının ( $UT1 - UTC$ ) doğrudan ölçümleri, VLBI tarafından benzersiz bir şekilde sağlanır. Ayrıca, diğer bazı jeodinamik, atmosferik ve astronomik parametreler, 1970'lerin sonlarından itibaren VLBI ölçümlerinin uzun geçmişinden türetilir. 1999 yılında Uluslararası Jeodezi Birliği (IAG), Uluslararası VLBI Jeodezi Hizmetini kabul etti ve resmi bir IAG Hizmeti olarak Astrometri (IVS) ve IVS, Uluslararası Astronomi Birliği'nin (IAU) bir hizmeti olarak da onaylandı. O zamandan beri, dünya çapındaki VLBI gözlem ve analizinin koordinasyonu önemli ölçüde iyileşerek daha geniş bilimsel topluluk için değerli sonuçlara yol açtı (Schuh ve Böhm, 2013).

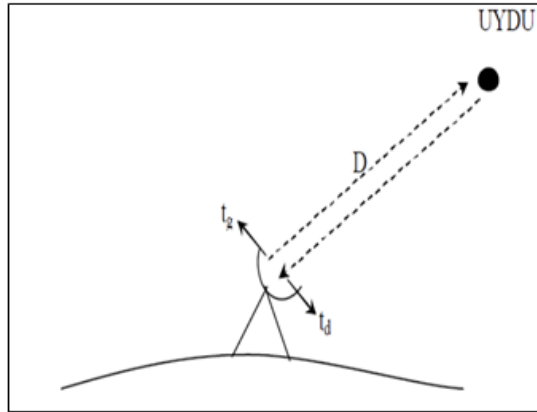


Şekil 3.1. VLBI çalışma sistemi (Teke ve diğ., 2012)

Ayrıca, hava koşullarından etkilenmemesi nedeniyle VLBI tekniği, yer kabuğu hareketlerinin saptanması, yeryuvarının dönme hızının ve ekseninin hareketlerinin izlenmesi, göksel koordinat sistemlerinin temelini oluşturulması ve çeşitli tektonik hareketler ile sismik deformasyonların belirlenmesi gibi alanlarda başarıyla kullanılmaktadır (Yeats ve diğ., 1997). Bu avantajlarının yanı sıra dezavantajlarına bakıldığında, VLBI tekniğinin taşınabilir olmaması, yüksek maliyetler gerektirmesi ve geniş hacimli bir donanım talep etmesi görülen dezavantajlar olarak sıralanabilir. Ayrıca, dünya genelinde homojen olarak dağılmış sürekli istasyonların eksikliği gibi dezavantajları da bulunmaktadır (Yavaşoğlu, 2003).

### 3.2. Yapay Uydularla Lazer Ölçümü

Uydu Lazer Mesafe Ölçümü (SLR), iyonosferden etkilenmeyen yer tabanlı bir optik uzay jeodezi tekniği olarak öne çıkmaktadır. Dikkat çekici gözlem doğruluğundan yararlanan SLR (Şekil 3.2), Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (GNSS) ve Alçak Dünya Yörüngesi (LEO) uyduları için yörüngelerin belirlenmesi ve doğrulamaları, Dünya Dönüş Parametreleri (ERP), yer merkezli (geo-center) hareketi ve ölçek gibi küresel jeodezik parametreler gibi çeşitli alanlarda önemli bir rol oynamaktadır. Yer merkezli hareketini ve karasal ölçeği tahmin etmedeki hassasiyeti nedeniyle SLR, Uluslararası Yersel Referans Çerçevesi'nin (ITRF) kökeni ve ölçeğinin gerçekleştirilmesi için de kullanılır. Küresel SLR izleme faaliyetleri Uluslararası Lazer Mesafe Belirleme Servisi (ILRS) tarafından yönetilir. GNSS uyduları için ILRS, SLR izleme görevlerini artırmak için kampanyalar düzenlenmiştir. Şu anda 60'tan fazla aktif GNSS uydusu ILRS istasyonları tarafından izlenmektedir (Li ve diğ., 2024).

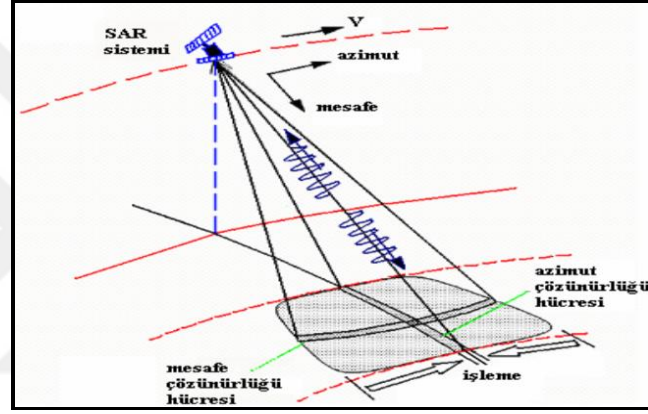


Şekil 3.2. SLR çalışma sistemi (Yavaşoğlu, 2003)

SLR ve LLR (Lunar Laser Ranging) ürünlerinden elde edilen verilerle gerçekleştirilen birçok bilimsel çalışma vardır. Bunlardan başlıcaları; toplam dünya sisteminin kütle merkezi konumundaki değişimleri milimetre düzeyinde izlemek, buzul sonrası toparlanma ve çökmeleri tespit ederek izlemek ve tektonik levha hareketlerinin, kabuk deformasyonunun, Dünya dönüşünün ve kutup hareketinin tespiti ve izlenmesini gerçekleştirmektir (URL-9).

### 3.3. İnterferometrik Yapay Açıklıklı Radar Sistemi (InSAR)

Son yıllarda InSAR, zemin deformasyonunu ölçmek ve jeofizik süreçleri incelemek için güçlü bir yöntem olarak ortaya çıkmıştır. InSAR ölçüleri milimetre hassasiyeti ve geniş kapsama alanları ile çeşitli jeofizik olayların incelenmesini sağlamaktadır (Wang ve diğ., 2024). Bu teknik, uydu ve hava araçları yardımıyla toplanan radar görüntülerini kullanarak Sayısal Arazi Modeli oluşturma, yeryüzü değişimlerini inceleme buzulların ya da volkanik hareketlerin gözlemlenmesi gibi amaçlarla bu görüntülerin birleştirilmesi işlemi olarak tanımlanabilir (Hanssen, 2001; Yavaşoğlu, 2009).



Şekil 3.4. InSAR çalışma sistemi (Sefercik, 2007)

Görünür veya kızılötesi ışığın aksine, radar dalgaları çoğu hava bulutunu deler ve karanlıkta da aynı derecede etkilidir. Bu nedenle InSAR ile kötü hava koşullarında ve gece bile yer deformasyonunu izlemek mümkündür. Uzaydaki aynı bölgeye ait farklı zamanlarda toplanan iki radar görüntüsü birbirleriyle karşılaştırılabilir. Yer yüzeyinin uyduya doğru veya uydudan uzağa doğru herhangi bir hareketi ölçülebilir ve bir görüntü olarak tasvir edilebilir. Yüzeyin değerlendirmeye konu olan görüntüler arasındaki sürede ne kadar hareket ettiği (deforme olduğu) tespit edilebilir (URL-6). Bu teknik 100 km gibi büyük alanlarda ve 10 m gibi yüksek çözünürlükteki görüntüler yardımıyla santimetre mertebesinde bölgenin deformasyonu hakkında bilgi vermektedir.

### 3.4. Küresel Navigasyon ve Uydu Sistemleri (GNSS-Global Navigation Satellite Systems)

Bilim insanları ve mühendisler, otonom navigasyon, ulaşım izleme, inşaat, GNSS reflektometresi, GNSS iyonosfer izlemeleri vb. gibi çok sayıda görev için küresel navigasyon uydu sistemlerini kullanırlar. GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou gibi farklı konumlama sistemlerini birleştirerek hassas konumlandırma ve uzaktan algılama çalışmaları amaçlanmıştır. Bunlara ek olarak, ABD'nin Geniş Alan Artırma Sistemi (WAAS), Avrupa Yer sabit Navigasyon Kaplama Sistemi (EGNOS), Rusya'nın Diferansiyel Düzeltme ve İzleme Sistemi (SDCM), Hindistan'ın GPS Destekli Bölgesel Navigasyon Sistemi (GAGAN) ve Japonya'nın Çok İşlevli Ulaştırma Uydusu (MTSAT) Uydu Tabanlı Artırma Sistemleri (MSAS) gibi uydu tabanlı konum belirleme sistemleri de bulunmaktadır. Yüksek doğruluk, düşük maliyet ve güvenilirlik gibi birçok avantaj sağlayan GNSS kullanıcılarına hassas konum bilgisi sağlarken bunun yanında deformasyon çalışmaları, afet yönetimi, tarım ve bilimsel araştırmaları kapsayan geniş bir uygulama alanına sahiptir. Tüm bu avantajların yanında sinyal eksikliği, çok yollu yansımalar, uydu görme zorluğu gibi birçok dezavantajı da barındırmaktadır. Araştırmacılar ve mühendisler sürekli gelişen bir teknolojik ortamda bu dezavantajların ortadan kaldırılması için farklı algoritma ve işleme teknikleri geliştirmektedir (Samalla ve Kumar, 2024).

#### 3.4.1. GPS (Global Positioning System)

Küresel Konum Belirleme Sistemi (GPS), kullanıcılara konum belirleme, navigasyon ve zamanlama (PNT) hizmetleri sağlayan ABD'ye ait bir sistemdir. Bu sistem uzay, kontrol ve kullanıcı bölümleri olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Uzay Bölümü atomik saatler taşıyan 24 uydudan oluşur (yedek uydular ve uydularda yedek saatler mevcuttur). Dünya'nın ekvatorial düzlemine göre  $55^\circ$  eğimli altı yörünge düzleminin her birinde dört uydu vardır ve dünyanın herhangi bir noktasından dört veya daha fazla uydu yerel ufku üzerinde olacak şekilde dağıtılmıştır. GPS kontrol bölümü, uydulardan sürekli bilgi toplayan, izleyen ve analiz işlemlerini yapan bir dizi yer tabanlı izleme istasyonundan oluşur. Bu veriler, takımyıldızı analiz eden ve uydu efemerislerini ve saat davranışını sonraki birkaç saat için ileriye yansıtan Colorado Springs, CO'daki bir Ana Kontrol İstasyonuna gönderilir. Bu bilgiler daha sonra kullanıcılara yeniden

iletilmek üzere uydulara yüklenir (Ashby, 2003). Kontrol bölümü toplamda bir ana kontrol istasyonu, bir alternatif ana kontrol istasyonu, 11 komuta ve kontrol anteni ve 16 izleme sahası içerir. İnternet gibi GPS de küresel bilgi altyapısının temel bir unsurudur. GPS'in özgür, açık ve güvenilir yapısı, modern yaşamın her alanını etkileyen yüzlerce uygulamanın geliştirilmesine yol açmıştır. GPS teknolojisi artık cep telefonlarından ve kol saatlerinden buldozerlere, nakliye konteynerlerine ve ATM'lere kadar birçok alanda mevcuttur (URL-10).



Şekil 3.5. GPS uydusu (URL-10)

GPS, çiftçilik, inşaat, madencilik, arazi ölçümü, paket teslimatı ve lojistik tedarik zinciri yönetimini de içeren ekonominin geniş bir kesiminde üretkenliği artırır. Büyük iletişim ağları, bankacılık sistemleri, finans piyasaları ve elektrik şebekeleri hassas zaman senkronizasyonu için büyük ölçüde GPS'e bağımlıdır. Bazı kablosuz hizmetler onsuz çalışamaz. GPS, ulaşım kazalarını önleyerek, arama ve kurtarma çalışmalarına yardımcı olarak ve acil durum hizmetleri ve afet yardımının teslimatını hızlandırarak hayat kurtarır. GPS, uçuş güvenliğini artırırken hava sahası kapasitesini artıracak olan Yeni Nesil Hava Taşımacılığı Sistemi (NextGen) için hayati öneme sahiptir. GPS ayrıca hava tahmini, deprem izleme ve çevre koruma gibi bilimsel çalışmalara da katkı sağlar (URL-10).

### 3.4.2. Glonass (Global navigation satellite system)

Amerikan NAVSTAR sistemine paralel olarak eski Sovyetler Birliği de tek yönlü mesafe ölçmelerine dayalı bir uydu navigasyon sistemi geliştirmeye ve kurmayı amaçlamış, kurulum süreci Ekim 1982'de "Kosmos-1413" uydusunun fırlatılmasıyla başlamıştır. GLONASS adı verilen sistem 1993'te resmen faaliyete geçmiştir. 1995'te ise tam olarak faaliyete geçen bir uydu takımıydı oluşturulmuştur (ilk nesil 24 GLONASS uydusu). 1982'den buyana Glonass, Glonass-M, Glonass-K ve Glonass-K2 gibi farklı nesil uydular sisteme dahil edilerek yeteneklerini geliştirmeye çalışmıştır. Sovyetler Birliği GPS tekniği gibi son derece hassas konum ve hız düzeltme bilgilerini, herhangi bir yerde ve zamanda her türlü hava koşulunda sunmayı amaçlamıştır. GPS'in Standart Konumlandırma Servisi (SPS) ve Hassas Konumlandırma Servisine (PPS) eşdeğer olan GLONASS, standart bir hassas navigasyon sinyali ve yüksek hassasiyetli navigasyon sinyali sağlar. Bu sinyalleri kullanan sivil kullanıcılar yatayda 50-70 m, düşeyde 70 m doğruluk elde edilmekte, tahmini hız vektörleri ise 15 cm doğrulukla bulunabilmektedir. GLONASS kara, deniz ve hava araçlarının hassas navigasyon ihtiyacını karşılayabildiği gibi küresel jeodezik koordinat sistemleri ve yerel jeodezik ağların kurulması için de uygun bir sistemdir. Ayrıca konum ve zaman bilgisi sağlayarak jeoloji, jeofizik, jeodinamik, oşinografi ve diğer alanlardaki araştırma çalışmalarının desteklemektedir (Robbach, 2001).

Toplam 26 uydudan oluşan GLONASS sisteminde 24 uydu aktif olarak çalışmaktadır; 2 uydu ise uçuş testleri aşamasındadır. 3 yörüngeye dağılmış olan bu uydular yörüngedeki turlarını yaklaşık 11 saat 15 dakikada tamamlayarak dünyanın %99'luk kısmında en az 5 uydu ile sinyal imkânı sağlamaktadır. 64.8°'lik açıya sahip bu yörüngede, yerden ortalama 19100 km yükseklikteki uydular L1 (1602 Mhz), L2 (1246Mhz) ve L3 (1202 Mhz) frekans bantlarından yayın yapmaktadır (URL-11).

### 3.4.3. Galileo

Galileo, Avrupa Birliği'nin kendi küresel navigasyon uydu sistemidir ve sivil kullanım için son derece doğru, garantili küresel konumlandırma hizmeti sağlamaktadır. Günümüzde GPS ve GLONASS uydu sistemleriyle ortak çalışabilen ve yine bu sistemlere alternatif olarak geliştirilen, AB denetimindeki Galileo uydu sistemi toplamda 28 uydudan oluşmaktadır. Bu uydulardan 2 tanesi hariç Dünyanın 23.222 km

üzerinde, ekvatora 56°'lik açıya sahip 3 dairesel yörüngeye (MEO-Orta Dünya Yörüngesi) konumlandırılmıştır. Her bir uydunun yörünge düzlemini dolanım süresi yaklaşık 14 saat 22 dakikadır. Geriye kalan 2 uydu fırlatma hatası nedeniyle yanlış yörüngelere yerleştirilmiş olup günümüzde uydu takımyıldızının operasyonel uyduları olarak değil yalnızca arama kurtarma çalışmaları için kullanılmaktadır (Seeber, 2003).



**Şekil 3.6.** Galileo uydu sistemi (URL-12)

İlk hizmetine 15 Aralık 2016'da başlayan sistem, uyduların kontrolünü sağlamak ve navigasyon görevi yönetimini gerçekleştirmek için Avrupa topraklarına 2 Galileo Kontrol Merkezi (GCC) yerleştirilmiştir. Galileo Sensör İstasyonları (GSS) küresel ağı tarafından sağlanan veriler, yedekli bir iletişim ağı aracılığıyla Galileo Kontrol Merkezlerine gönderilir. GCC'ler, sensör istasyonlarından gelen verileri bütünlük bilgilerini hesaplamak ve tüm uyduların zaman sinyalinin yer istasyonu saatleriyle senkronize etmek için kullanır.

2005 ve 2008 yıllarında sırasıyla GIOVE-A ve GIOVE-B deneysel uyduları fırlatıldı. Bu uydular, kritik Galileo teknolojilerinin test edilmesinin yanı sıra, Galileo frekanslarının Uluslararası Telekomünikasyon Birliği içerisinde güvence altına alınması amacıyla da kullanıldı. Test süreci boyunca bilimsel aletler ayrıca yörünge düzlemi etrafındaki uzay ortamının çeşitli yönlerini, özellikle de düşük Dünya yörüngelerine veya jeostasyonel yörüngelere göre daha yüksek olan radyasyon seviyesini ölçtüler. (URL-13). GPS'in kullandığı referans koordinat sistemi olan WGS84'ten farklı olarak GTRF (Galileo Terrestrial Reference Frame) kullanan Galileo uydu sistemi referans zamanı olarak ise GST (Galileo System Time) kullanmaktadır (Kaplan ve Hegarty, 2006; Tiryakioğlu, 2012).

### 3.5. Tektonik Hareketlerin Belirlenmesinde GNSS' in Kullanımı

Yeryüzünün dinamiklerinden kaynaklanan tektonik levha faaliyetleri, deprem ve volkanik aktiviteler gibi güçlü yer hareketlerinin ana nedenidir. Tektonik plaka aktiviteleri zamanın her anında meydana gelen ve dünyanın var olduğu süre boyunca devam edecek kabuk hareketleridir. Tüm bunların yanı sıra bu yer hareketliliğinin düzensiz doğası, modern bilim ve teknolojinin yeryüzü depremlerinin tam zamanını ve kaynağını belirlemesini engellemektedir. Bu nedenle birçok bilim adamı tektonik plaka hareketlerinin değerlendirilmesine ve deprem tehlikesinin azaltılmasına odaklanmaktadır.

Tektonik hareketlerin değerlendirilmesinde günümüze kadar birçok farklı bilim dalında farklı metodolojiler geliştirilmiş ve uygulanmıştır. 1980'lerin ortalarından itibaren Global Konumlandırma Sistemleri (GPS) eğim değişimleri, buzul ve sismik aktivitelerin incelenmesi gibi karasal gözlemlerde etkili bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. GPS'i takip eden GLONASS ve GALILEO uydu sistemleri dünyadaki gözlem çalışmalarında uydu tabanlı ölçüm sistemlerinin gelişmesiyle tüm bu sistemleri ortak bir çatı altında toplayan GNSS'in kullanımını artırmıştır. Uzay teknolojisindeki gelişmelere ek olarak, bilimsel çalışmalar için jeosensörlerin kullanımındaki yaklaşımlar sürekli gelişim içinde olmuştur.

GNSS alıcılarını bir ağa bağlama yaklaşımı 1990'ların başından beri uygulanmaktadır. Telekomünikasyon tesislerindeki kayda değer gelişmeler, GNSS alıcılarının uzaktan sürekli erişim olanağı sağlayarak GNSS gözlem verilerinin herhangi bir insan müdahalesi olmaksızın çok sayıda noktadan merkezlere kısa sürede aktarılmasını sağlamıştır. Sürekli çalışan ve veri kaydı yapan, yaptığı veri kaydını merkeze göndererek analiz edilmesini sağlayan GNSS ağları, tektonik plaka hareketlerini izlemek için önemli bir veri ve bilgi kaynağı sağlamaktadır (Uzel, ve diğ. 2013). GNSS ağlarından elde edilen yüksek kaliteli veriler sayesinde; kabuk izleme projeleri, tektonik çalışmalar, yılda birkaç milimetre mertebesinde olan hareketliliklerin incelenmesi ve tektonik stres birikimlerinin tespit edilmesi gibi birçok alanda temel bir araç olarak kullanılmaktadır (Tunini ve diğ., 2024).

Dünya genelinde bölgesel ve küresel anlamda, birçok farklı bilim dalındaki çalışmaları karşılamak amacıyla GNSS ağları tesis edilmiştir. 1990'ların başından itibaren kurulumları yaygınlaşan GNSS ağlarına kısaca bakılacak olursa; örnek olarak 1993 yılında Japonya'da tesis edilen ortalama 20 km sıklığında 1233 GNSS istasyonu

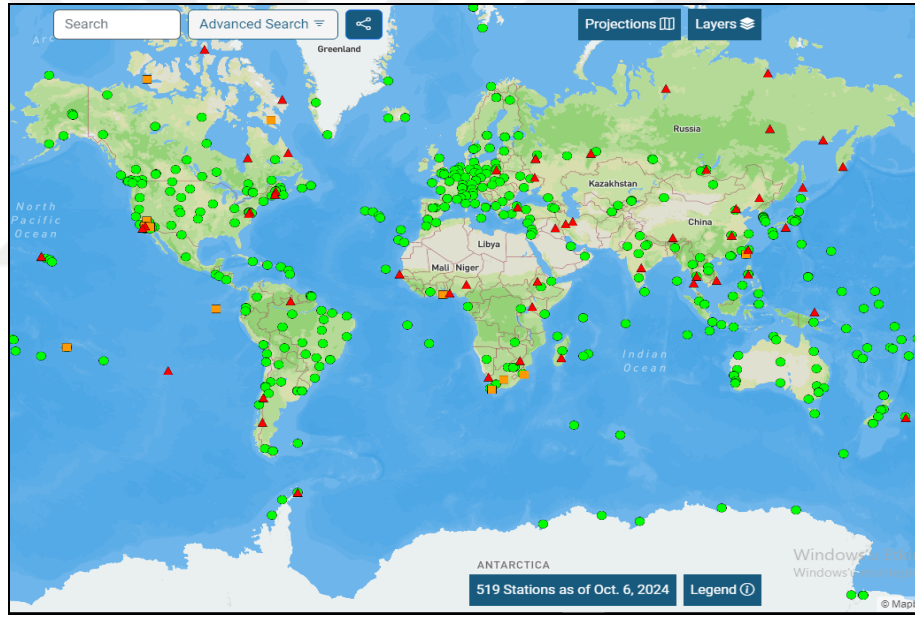
ve 4 VLBI istasyonundan oluşan GPS Earth Observation Network (GEONET) ağı verilebilir. Bu ağ kabuk hareketinin izlenmesi, kullanıcılara gerçek zamanlı veri temini ve deprem ve volkanik faaliyetlerin incelenmesi amacıyla kurulmuş bir ağıdır. 1997 yılında Batı Alpler ve çevresindeki kabuk deformasyonunun değerlendirmek ve gerinim oranlarını belirlemek için Fransa REGAL (REseau GPS permanent dans les ALpes occidentales) ağını tesis etmiştir (Calais ve diğ., 2001). İtalyanın Matera kasabasındaki İtalyan Uzay Ajansı (CGS- Centro di Geodesia Spaziale) bünyesinde yer alan GEODAF (Geodetic Data Archiving Facility)'tan elde edilen veriler analiz edilerek İtalya'daki tektonik hareketliliğin izlenmesi amaçlanmıştır. Güney Kaliforniya GPS Ağı (SCIGN; Southern California Integrated GPS Network) ve Kuzey Kaliforniya GPS Ağı (BARD) bu anlamda tesis edilen ağlardan birkaçıdır. Tüm bu bölgesel ve ulusal ağlara karşılık tüm dünyayı kapsayacak şekilde tesis edilen istasyonlardan oluşan IGS ağı en büyük GNSS ağıdır. Uluslararası Jeodezi Birliği (IAG) tarafından 1993 yılında kurulumu tamamlanan bu ağ 1994 yılında kullanılmaya başlanmıştır. İstasyonlardan anlık olarak erişim sağlanan veriler aynı zamanda internet üzerinden kullanıcıların erişimine açıktır (Tiryakioğlu, 2012).

### 3.5.1. IGS (International GNSS Services) Ağı

Uluslararası GNSS Servisi (IGS) 1994'ten beri açık erişimli, yüksek kaliteli GNSS veri ürünleri sağlamak amacıyla kullanılagelen bir ağıdır. Karasal referans çerçevesi, Dünya gözlemi ve araştırması, konum belirleme, navigasyon, zamanlama ve bilime ve topluma fayda sağlayan diğer uygulamaları desteklemek için en yüksek kalitede GNSS verileri, ürünleri ve hizmetlerini açık bir şekilde erişime sunar. 118 ülke/bölgede 350 kendi kendini finanse eden kuruluş, üniversite ve araştırma kurumunun gönüllü federasyonu; 512 adet sabit GNSS istasyonu ile dünyanın en yüksek hassasiyetli GPS uydu yörüngelerini sağlamak için birlikte çalışmaktadır. Bileşenleri arasında, mevcut en yüksek kaliteli ürünleri garanti eden Veri ve Analiz Merkezleri gibi kuruluşlar; IGS'nin günlük yönetimini sağlayan Merkez Büro, çabalarıyla organizasyonu sürdüren Yönetim Kurulu ve Ortak Üyeler; ayrıca organizasyonu sürekli olarak ileriye taşıyan Pilot Projeler ve Çalışma Grupları yer alır. IGS'nin temeli, GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou, QZSS ve SBAS'ı izleyen 400'den fazla kalıcı, sürekli çalışan, jeodezik kalite istasyonundan oluşan küresel bir ağıdır. İstasyon verileri dört IGS Küresel Veri Merkezi ve birden fazla Bölgesel Veri

Merkezi'nde arşivlenir. Analiz Merkezleri verileri düzenli olarak işler ve resmi IGS birleşik ürünlerini üreten Analiz Merkezi Koordinatörüne ürünler sunar (URL-14).

Çoklu GNSS Deneyi (MGEX), IGS tarafından tüm mevcut GNSS sinyallerini izlemek, bir araya getirmek ve analiz etmek için kurulmuştur. Buna BeiDou, Galileo ve QZSS sistemlerinden gelen sinyaller ve modernize edilmiş GPS ve GLONASS uydularından ve ilgi duyulan herhangi bir uzay tabanlı artırma sisteminden (SBAS) gelen sinyaller dahildir. Analiz merkezleri, sistemler arası kalibrasyonu sağlamak, ekipman performansını karşılaştırmaya ve çoklu GNSS gözlemlerini verimli şekilde işlemek için yazılım araçları geliştirmeye çalışmaktadır. Bu ağ aynı zamanda ITRF'in gelişimine ve sıklaştırılmasına katkıda bulunur. ITRF, dünyanın farklı yerlerinde ve farklı zamanlardaki pozisyonları referans almak için doğru ve tutarlı bir çerçeve veya veri sağlar.



Şekil 3.7. Igs istasyonları (URL-15)

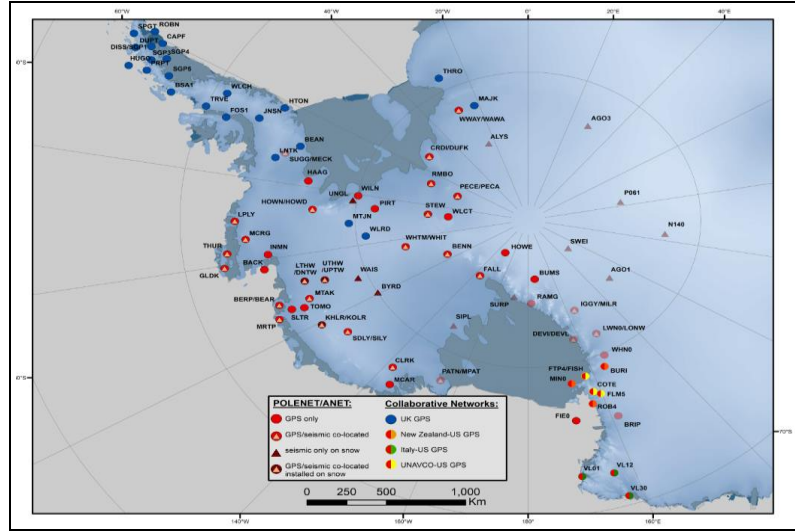
Uydu efemeris bilgileri, yer dönme parametreleri, küresel izleme istasyonu koordinatları ve hızları, uydu ve istasyon saat bilgileri, troposferik gecikme tahminler ve küresel iyonosfer haritalarını içeren IGS verileri yardımıyla pek çok çalışma yapılmaktadır. Kabuk deformasyonlarının izlenmesi, Yer dönüklüklerinin izlenmesi, troposfer ve iyonosferin izlenmesi, Uluslararası Yer Dönmesi ve Referans Sistemleri Servisi (IERS) tarafından sürdürülen Uluslararası Yersel Referans Çerçevesi'nin (ITRF)

iyileştirilmesi ve genişletilmesi, bilimsel uyduların yörüngelerinin belirlenmesi gibi birçok çalışmalara ışık tutmaktadır (URL-14).

### 3.5.2. Polenet (The Polar Earth Observing Network) ağı

POLENET, değişen dünyada kutup bölgelerini gözlemlemeye adanmış küresel bir ağıdır (Şekil 3.8). Proje öncelikle otonom sistemlerden GPS ve sismik veri toplamaya odaklanmakta; bununla birlikte aynı zamanda manyetik, gelgit ölçer ve yerçekimi ölçümleri gibi jeofizik gözlemleri de içermektedir. Ekipmanlar Antarktika ve Grönland buz tabakalarının çoğunu kapsayan uzak bölgelerde dağılmış bulunmaktadır. GPS ve sismik ölçümler birlikte, ısınan bir dünyada buz tabakasının davranışı hakkındaki kritik soruları yanıtlamak için bir araç sağlamaktadır.

POLENET'in yerçekimi, deniz seviyesi ve atmosfer ölçümlerinin birleştirilmesi, buz tabakası değişimini küresel yer sistemi ile ilişkilendirecektir. Bilim insanları, Dünya'nın küresel buz hacmini, dünyanın farklı yerlerinde buzların küçülüp büyümesiyle oluşan bir “budgets” (kütle dengesi) olarak tanımlamaktadır. Uydu ölçümlerinin, POLENET'in yer tabanlı ölçümleriyle koordine edilmesi, her iki kutup bölgesindeki buz tabakalarının “kütle dengesini” değerlendirileceğine ve kutup buz tabakalarının dünya genelinde değişen deniz seviyelerine nasıl katkıda bulunduğunu daha derin bir şekilde anlamayı sağlayacaktır.



Şekil 3.8. Polenet ağı istasyonları (URL-16)

POLENET sensör ağının benzeri görülmemiş ölçeği, katı toprak, kriyosfer, okyanuslar ve atmosferin sistem ölçeğindeki etkileşimlerinin araştırılmasına olanak tanımaktadır. POLENET verileri; iç dünya, tektonik plakalar, dünyanın manyetik alanı, iklimi ve hava durumu ile güneş rüzgârı hakkında yeni çalışmalara olanak sağlamanın yanı sıra gezegenimizin kritik kutup bölgeleri hakkında yeni keşifler amaçlamaktadır.

Bazıları kalıcı, bazıları geçici olmak üzere toplamda 100' ün üzerinde istasyon bulunmaktadır. Bu istasyonların bazıları sismik amaçla kurulu iken bazıları ise tamamen GNSS amaçlı kurulmuş istasyonlardır. Dünyanın dört bir yanından araştırmacılar, atmosferik, meteorolojik, jeolojik, buzul bilimsel ve iklim çalışmaları da dahil olmak üzere çeşitli uygulamalar için bu verilere ücretsiz olarak erişim sağlayabilmektedir. POLENET bilim projeleri, ulusal finansman kuruluşları ve kutupsal araştırma enstitüleri tarafından finanse edilmektedir. Lojistik destek, ABD Antarktika Programı, Arktik Araştırma Desteği ve Lojistik Programı ve POLENET ortak ülkelerindeki ilgili kutup lojistik programları tarafından sağlanmaktadır. Antarktika'daki uzak bölgelerdeki ilk yarı sürekli, otonom GPS istasyonları 1990'ların sonlarında konuşlandırıldı. Haberleşme ekipmanları telsizler, iridyum uydu telefonları, internet için GOES (Geostationary Satellite Server) uydu sisteminden oluşmaktadır.

Uzak kutup bölgelerinde otonom istasyonların konuşlandırılmasına 1990'lı yılların sonlarında başlanmasına karşın büyük uzak istasyon ağı ilk kez 2007-2008 Uluslararası Kutup Yılı'ndan başlayarak konuşlandırılmıştır. Bazı istasyonlar 2-3 yıllık zaman diliminde ölçüm yapacak şekilde tasarlanırken, uzak istasyonların ağ tasarımı bugün hala yerinde duruyor (URL-16).

Polenet ağından beklenen sonuçlara bakılacak olursa: Kutup bölgeleri boyunca ana kaya hareketlerinin ilk kapsamlı görünümünü sağlayan, mm/yıl hassasiyetinde dikey ve yatay katı toprak deformasyonunun ölçümleri, Kutup buz tabakalarının kütle akışının tahmini, buzul izostatik ayarlamasının geliştirilmiş modelleri ve deniz seviyesi değişiminin daha iyi modellenmesi ve tahmini, jeodezik gözlemlerin tamamlayıcı sismik görüntüleme çalışmaları ile entegrasyonu, buz kütlesi değişimiyle olan bağlantıların doğası da dahil olmak üzere, depremlere ve volkanlara neden olan kabuk ve manto dinamiklerini anlamak ve Dünya'nın manyetik alanının değişiminin, çekirdek yapısının ve dinamiklerinin daha iyi anlaşılması hedeflenmektedir.

## 4. UYGULAMA

### 4.1. Çalışma Alanının Tanıtılması

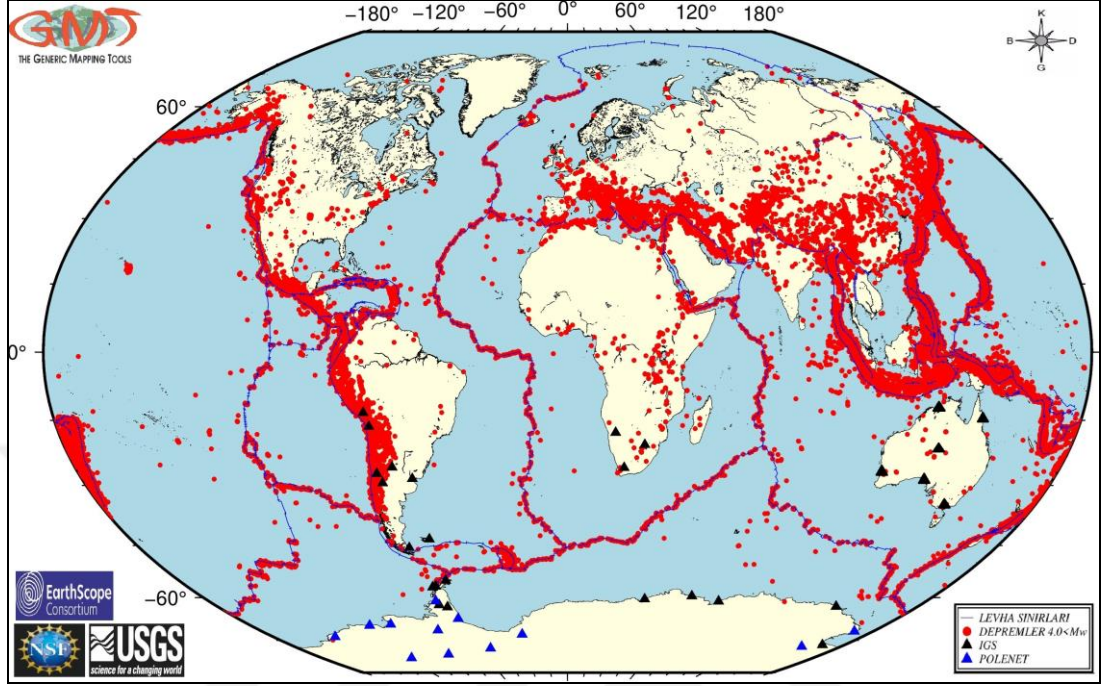
Çalışma bölgesi; Antarktika, Güney Amerika, Avustralya ve Afrika (Numbia) plakalarının hareketini GNSS sistemlerinden elde edilen verilerle izleyebilmek amacıyla; Antarktika kıtasının tamamını, Güney Amerika Kıtasının güney kesimiyle birlikte batı kıyısını, Afrika Kıtasının güney uç kesimini ve Avustralya kıtasının tamamını kapsayacak şekilde içine almaktadır. Antarktika kıtasında farklı ülkelere ait bilimsel üsler kurularak farklı alanlarda birçok araştırmalar yapılmaktadır. Bu araştırmaların birçoğu kıtanın batı kıyısında gerçekleştirilirken bölge yakınındaki ufak ve büyük çaplı adalarda da çalışmalar yapılmaktadır. Bunlardan biri de; Antarktika kıtasına gerçekleştirilen Türk Bilim Seferlerinde, ülkemize ait geçici üssünde bulunduğu Faure Adalar Topluluğundaki Horseshoe Adasında Türk bilim insanlarının araştırmalarıdır.

Güney Amerika kıtasının güney kesimini bu çalışmada kullanmamızın asıl amacı ise Antarktika Kıtasına özellikle Şili kesiminde yakın olması ve bu bölgedeki Güney Amerika-Antarktika plakalarının hareketini daha iyi gözlemlememize yardımcı olacağını düşüncesidir. Ayrıca kıtanın batı kıyısı boyunca uzanan Pasifik Sınır Hattı üzerindeki Nazca levha hattındaki hareketini izlemek için çalışmalarımıza dahil ettik.

Afrika, diğer adıyla Numbia Levhasının, komşusu olan Antarktika plakasıyla ilişkisini gözlemlenebilmesi amacıyla ve yakın olması açısından kıtanın güney uç kesimindeki IGS ağına ait 3 adet GNSS istasyonu çalışma bölgesine dahil edilmiştir.

Avustralya plakası yine Antarktika plakasına komşu olması, sismik aktivitenin dünyada en fazla meydana geldiği levhalardan biri olması ve dünyadaki en hareketli plakalardan birisi olması açısından Avustralya kıtasını kapsayacak şekilde sabit GNSS istasyonları analizlere dahil edilmiştir.

Antarktika plakasında 22, Güney Amerika plakasında 8, Avustralya plakasında 6 ve Afrika plakasında 3 olmak üzere toplam 39 sabit GNSS istasyonundan oluşan çalışma bölgesi Şekil 4.1'de gösterilmektedir. Tez çalışmasında istasyonların plakalardaki hareketleri ve bulundukları konumların görselleştirilmesi Generic Mapping Tools programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir (URL-17).



Şekil 4.1. Çalışma bölgesi

#### 4.2. Çalışma Bölgesindeki GNSS Ağı ve Ölçüleri

Ağ planlaması yapılırken zaman ve maliyet bakımından tasarruf etmek amacıyla çalışma bölgesindeki IGS ağı ve Antarktika Kıtasından 2007 yılından buyana faaliyet göstermekte olan 100'den fazla sabit GNSS istasyonu bulunan POLENET ağına ait noktalar kullanılmıştır. Bu noktaların 2020-2023 yıllarını kapsayacak şekilde 24 saatlik gözlemleri kullanılarak Güney Amerika, Afrika, Avustralya ve Antarktika kıtalarını kapsayacak şekilde 39 istasyonlu bir çalışma alanı oluşturulmuştur. İstasyonların seçiminde ölçülerin süreksizliği, multipath durumları, istasyon şekilleri, bulunduğu tektonik plakadaki hareketliliği yansıtmasındaki kararlılığı ve levha sınırlarının geometrisine uygunluğu gibi etkenler dikkate alınmıştır. Her ne kadar ölçümlerin süreksizliği dikkate alınsa da Antarktika kıtasındaki bazı istasyonların bölgenin karanlık dönemlerine ait verilerinde kesiklikler meydana gelmiştir. İstasyonlara ait bilgiler Çizelge 4.1'de verilmiştir.

**Çizelge 4.1.** Kullanılan GNSS ağlarına ait istasyon bilgileri

| <b>Nokta No</b> | <b>İstasyon Adı</b>           | <b>İstasyon ID</b> | <b>Enlem</b> | <b>Boylam</b> | <b>Ağı</b> |
|-----------------|-------------------------------|--------------------|--------------|---------------|------------|
| 1               | Arequipa, Peru                | AREQ               | 16,46552 S   | 71,4928 W     | IGS        |
| 2               | McMurdo Station, Antarktika   | ARHT               | 77,82944 S   | 166,66366 E   | IGS        |
| 3               | Cordoba, Arjantin             | CORD               | 31,52843 S   | 64,47005 W    | IGS        |
| 4               | Davis, Antarktika             | DAV1               | 68,57732 S   | 77,97261 E    | IGS        |
| 5               | Dumont d'Urville, Antarktika  | DUMG               | 66,66519 S   | 140,00219 E   | IGS        |
| 6               | Falkland Adası (Malvinas)     | FALK               | 51,69365 S   | 57,87407 W    | IGS        |
| 7               | Pretoria, South Afrika        | HARB               | 25,88696 S   | 27,70725 E    | IGS        |
| 8               | Hugo Island, Antarktika       | HUGO               | 64,96256 S   | 65,66754 W    | IGS        |
| 9               | Iquique, Şili                 | IQQE               | 20,27354 S   | 70,13172 W    | IGS        |
| 10              | La Plata, Arjantin            | LPGS               | 34,90674 S   | 57,9323 W     | IGS        |
| 11              | Mawson, Antarktika            | MAW1               | 67,60477 S   | 62,87071 E    | IGS        |
| 12              | Malargue, Arjantin            | MGUE               | 35,77735 S   | 69,39793 W    | IGS        |
| 13              | O'Higgins, Antarktika         | OHI3               | 63,32109 S   | 57,90138 E    | IGS        |
| 14              | Palmer Station, Antarktika    | PALM               | 64,77509 S   | 64,05112 W    | IGS        |
| 15              | Rio Grande, Arjantin          | RIO2               | 53,78547 S   | 67,75112 W    | IGS        |
| 16              | Santiago, Şili                | SANT               | 33,15029 S   | 70,66855 W    | IGS        |
| 17              | Sutherland, Güney Afrika      | SUTM               | 32,38143 S   | 20,81091 E    | IGS        |
| 18              | East Ongle Island, Antarktika | SYOG               | 69,00696 S   | 39,58374 E    | IGS        |
| 19              | Traverse Mountains,           | TRVE               | 69,98882 S   | 67,55471 W    | IGS        |
| 20              | Windhoek, Namibya             | WIND               | 22,57492 S   | 17,08944 E    | IGS        |
| 21              | Welch Mountains, Antarktika   | WLCH               | 70,72935 S   | 63,82041 W    | IGS        |
| 22              | Alice Springs Avustralya      | ALIC               | 23,67011 S   | 133,88552 E   | IGS        |
| 23              | Ceduna, Avustralya            | CEDU               | 31,86666 S   | 133,80984 E   | IGS        |
| 24              | Darwin, Avustralya            | DARW               | 12,84370 S   | 131,13274 E   | IGS        |
| 25              | Melbourne, Avustralya         | MOBS               | 37,82940 S   | 144,97534 E   | IGS        |
| 26              | Perth, Avustralya             | PERT               | 31,80196 S   | 115,88526 E   | IGS        |
| 27              | Townsville, Avustralya        | TOW2               | 19,26927 S   | 147,05569 E   | IGS        |
| 28              | Backer Island, Antarktika     | BACK               | 74,43044 S   | 102,47818W    | POLENET    |
| 29              | Bennett Nunatak, Antarktika   | BENN               | 84,78646 S   | 116,45979W    | POLENET    |
| 30              | Butcher Ridge, Antarktika     | BURI               | 79,14744 S   | 155,89416 E   | POLENET    |
| 31              | Cordiner Peak, Antarktika     | CRDI               | 82,86152 S   | 53,19913 W    | POLENET    |
| 32              | Haag Nunatak, Antarktika      | HAAG               | 77,03805 S   | 78,28711 W    | POLENET    |
| 33              | Hutton Mountains, Antarktika  | HTON               | 74,08001 S   | 61,73059 W    | POLENET    |
| 34              | Mt Carbone, Antarktika        | MCAR               | 76,3222 S    | 144,30351W    | POLENET    |
| 35              | Martin_Peninsula, Antartica   | M RTP              | 74,1804 S    | 115,10213W    | POLENET    |
| 36              | Stewart Hills, Antarktika     | STEW               | 84,18701 S   | 86,24729 W    | POLENET    |
| 37              | Theron Mountains, Antarktika  | THRO               | 79,12669 S   | 28,31891 W    | POLENET    |
| 38              | Tombstone Hill, Antarktika    | VL01               | 72,45014 S   | 169,72508 E   | POLENET    |
| 39              | Dismal Island, Antarktika     | DISM               | 68,09113 S   | 68,84476 W    | HGM        |

2017 yılından bu yana gerçekleştirilen seferlerde bölgede haritacılık çalışmalarında kullanılmak üzere birçok kampanya tipi nokta ve sabit GNSS istasyonu tesis edilmiştir. Harita Genel Müdürlüğü 2019 yılından itibaren faaliyetlere aktif olarak katılmış ve GNSS istasyonu kurulacak noktanın yerinin belirlenmesi disiplinler arası

ortak bir çalışma ile gerçekleştirilmiştir. Dismal Adasına, DISM adında sabit GNSS istasyonu 2020 yılında tesis ederek ölçümlere başlanmıştır (Şekil 4.2). İstasyonda depolanan verileri bir sonraki yıl düzenlenen seferlerde alınarak değerlendirmeler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.2. DISM istasyonu kurulumu

#### 4.3 GNSS Ölçülerinin Değerlendirilmesi ve GNSS Nokta Hızlarının Hesaplanması

GNSS istasyonlarının 24 saatlik verilerini her alıcı modeli kendi formatında ham veri olarak kaydetmektedir. Verilerin değerlendirme işlemlerine başlamadan önce bu ham veriler uluslararası ortak veri formatı olan RINEX (The Receiver Independent Exchange Format) formatına dönüştürülmelidir. Bu dönüşüm işlemi için her alıcı modeline ait dönüştürücü programlar mevcut olup bu programlar sayesinde gözlem verileri RINEX formatına kolayca dönüştürülebilir. RINEX formatına dönüştürülen ham verilerle üç farklı ASCII (American Standard Code for Information Interchange) dosya türü oluşturulmaktadır. Bunlar;

- “.O” uzanlı olan gözlem veri dosyası,
- “.N” uzantılı navigasyon mesaj dosyası,
- “.M” uzantılı meteorolojik veri dosyalarıdır.

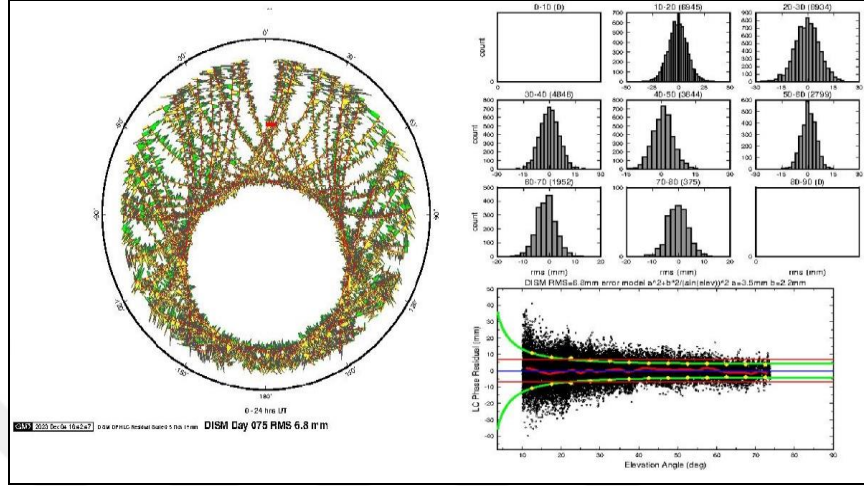
Aynı zamanda gözlem dosya türü “.d” uzantılı olarak hatanaka dosya yapısında da gösterilmektedir. Bu iki dosya türü arasında analiz işlemleri sırasında herhangi bir fark bulunmamaktadır. Bu dosyalar içerisinde ise gözlem bilgileri ve ölçümü gerçekleştiren donanım hakkında bilgiler bulunmaktadır. Analiz sırasında fazla yer

kaplamaması ve zamansal olarak daha hızlı çözümlenebilmesi açısından hatanaka dosya yapısı tercih edilmelidir (Şafak 2019).

GNSS verilerinin değerlendirilmesi aşamasında günümüzde birçok farklı amaç doğrultusunda kullanılabilen veri değerlendirme yazılımları mevcuttur. Bunlar gerek bilimsel ve eğitim amaçlı yazılımlar (GAMIT/GLOBK, BERNESSE, GIPSY-OASIS, GEONAP, MICROCOSM vb.) olabileceği gibi ticari amaçlı geliştirilen yazılımlar da (Trimble Pivot Platform-TPP, TopNET+, GNSS Spider, Leica Geo Office vb.) olabilmektedir. Ticari amaçlı üretilen yazılımlar kullanımı kolay ve donanımsal olarak alıcıyla birlikte sahaya sürülürken kullanıcı açısından denetlenebilir olmayışı bu yazılım türlerinin daha az hassasiyet gerektiren işlerde kullanılmasına neden olmaktadır. Öte yandan yer kabuğu hareketliliğinin izlenmesi, deformasyon uygulamaları, ülke temel ağlarının kurulması, referans sisteminin kurulması gibi hassasiyet gerektiren uygulamalarda ise üniversiteler ve teknoloji enstitüleri tarafından geliştirilen bilimsel amaçlı yazılımlar tercih edilmektedir. Bilimsel amaçlı yazılımlar, ticari amaçlı yazılımlara göre daha karmaşık bir yapıya sahiptir. Bu yazılımları etkili bir şekilde kullanabilmek için eğitim almak ve karşılaşılabilecek sorunları çözmek amacıyla yeterli bilgiye sahip olmak gerekmektedir (Solak 2015).

Bu tez çalışmasında, MIT tarafından geliştirilen, kabuk deformasyonunu incelemek için GNSS ölçümlerini analiz etmekte kapsamlı bir bilimsel yazılım olan, GAMIT/GLOBK yazılımı kullanılmıştır. Uygulamalarda iki farklı modüle sahip bu yazılımda, GAMIT (GNSS at MIT) modülü yer istasyonlarının ve uydu yörüngelerinin üç boyutlu görelî konumlarını, atmosferik zenit gecikmelerini ve Yer dönüklük parametrelerini tahmin etmek için faz verilerini işleyen programların koleksiyonudur. GLOBK (Global Kalman Filter) modülünün ise temel amacı farklı jeodezik verileri birleştirmektir. Girdi olarak, istasyon koordinatları, Yer'in dönüklük parametreleri, yörünge parametreleri ve kaynak konumlarına dair tahminler ve kovaryans matrislerini, birincil gözlemlerin analizinden elde edilen veriler olarak kabul eder. Bu çözümler genellikle tüm küresel parametrelere geniş bir ön belirsizlik atanarak gerçekleştirilir ve böylece birleştirilmiş çözümde kısıtlamalar eşit bir şekilde uygulanabilir (URL-18). Çalışmada kullanılan 24 saatlik RINEX verileri ölçü stratejisi gereği TEQC (Translation Editing and Quality Check) programı kullanılarak multipath durumları incelenmiştir. Yapılan incelemelere örnek olarak Harita Genel Müdürlüğü tarafından 2020 yılında Antarktika-Horseshoe Adasına tesis edilen DISM istasyonuna ait seçilen bir gündeki Lineer Kombinasyon (LK) faz artık değerleri-uydu yükseklik açıları ve uydu

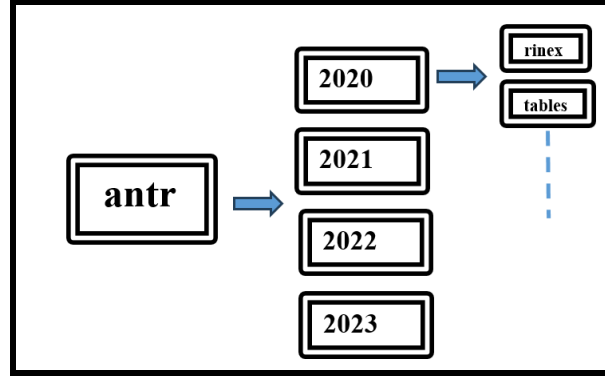
görünürlük durumunu gösteren grafik Şekil 4.3'te sunulmuştur. Örnek olarak seçilen bir günde DISM istasyonuna ait grafik incelendiğinde, LK faz artık değerlerinin normal bir dağılım gösterdiği, uydu yükseklik açısı arttıkça elde edilen artık değerlerin küçüldüğü görülmektedir.



**Şekil 4.3.** Seçilen bir günde DISM istasyonuna ait, LK faz artık değerleri-uydu yükseklik açıları grafiği ve uydu görünürlük durumu

#### 4.3.1 Gamit ile verilerin değerlendirilmesi

RINEX formatına dönüştürülen veriler, GAMIT modülü ile değerlendirmesini üç başlık altında toplayabiliriz. Bunlar hazırlık, değerlendirme ve sonuç aşamalarıdır. Hazırlık aşamasında GAMIT modülünün çalışma prensibine Türkçe karakterlerden oluşmayacak ve klasör adı dört karakterden oluşacak şekilde kampanya adı belirlenir. Bu çalışmada kampanya adı olarak “antr” kullanılmıştır. Değerlendirme esnasındaki tüm işlemlerde ve kampanya adı olarak bu ana klasörü kullanılmıştır. Oluşturulan bu ana klasör içerisinde GNSS alıcılarının gözlem yaptığı yıllara göre her yıl için ayrı bir klasör ve her yılın içerisinde bir adet “rinex” klasörü oluşturulmuştur. Değerlendirmede kullanılan istasyonlara ait veriler ilgili yılların içerisine yerleştirilir. GNSS alıcılarından elde edilen verilerin değerlendirilebilmesi için standart girdi dosyalarının içinde bulunduğu “tables” klasörü her yıl içerisinde bulunmalıdır. Bu girdi dosyaları aynı zamanda GAMIT kütüphanesinde bulunmaktadır. Ana klasör içerisinde her yıla ait yeni klasörler oluşturularak komut satırında “sh\_setup -yr” komutunu çalıştırarak bu klasörler içerisinde “tables” klasörü otomatik olarak yaratılır (Eyübagil, 2020). GAMIT ana klasör yapısı örneği Şekil 4.4’te özetlenmiştir.



Şekil 4.4. GAMIT ana klasör yapısı örneği

Oluşan “tables” klasörü içerisinde verilerin işlenmesi için gerekli olan ve Çizelge 4.2’de gösterilen standart dosyalar otomatik olarak oluşmaktadır. Günlük analizlere başlamadan önce bu dosyaların güncelliği kontrol edilmelidir.

Çizelge 4.2. GAMIT standart girdi dosyaları

| Girdi Adı  | Girdi İçeriği                                            |
|------------|----------------------------------------------------------|
| gdetic.dat | Jeodezik datum parametrelerini içeren dosya              |
| antmod.dat | Anten faz merkez değerlerini içeren dosya                |
| rcvant.dat | Alıcı ve anten özelliklerini belirten tablo              |
| svnav.dat  | Uydu tanıma bilgilerini içeren dosya                     |
| leap.sec   | TAI-UTC artık saniye değerlerini içeren dosya            |
| Luntab.    | Ay efemeris bilgilerini içeren dosya                     |
| nutabl.    | Nutasyon parametrelerini içeren dosya                    |
| soltab.    | Hesaplanmış güneş efemeris bilgilerini içeren dosya      |
| pole.      | Kutup hareketi değerlerini tablo halinde verir           |
| ut1        | IERS bülteni UT1                                         |
| igb14.apr  | igb14 istasyon koordinat ve hız değerlerini içeren dosya |

Ayrıca tables klasörü içinde yine otomatik olarak oluşan bazı standart dosyaları istasyon bilgilerine ve kullanılacak stratejilere göre düzenlenmelidir. Bu dosyalar station.info, sites.defauluts, lfile., process defaults, ve sestbl. dosyalarıdır. “station.info” dosyası analizlere dahil edilen GNSS istasyonlarının 4 karakter isimlendirmeleriyle birlikte; alıcı, anten marka ve model bilgileri, anten yükseklikleri ile ölçüm başlangıç ve bitiş zamanlarının belirtildiği bilgi dosyasıdır. “sites.defaults” dosyası içinde hangi istasyon verilerinin analizde kullanılacağı ve hangi IGS istasyonlarının internetten indirileceği gibi bilgiler bulunur. “lfile.” dosyasında ise analize başlamadan önce her bir istasyona ait yaklaşık koordinat değerleri bulunmaktadır. Son olarak “process defaults”

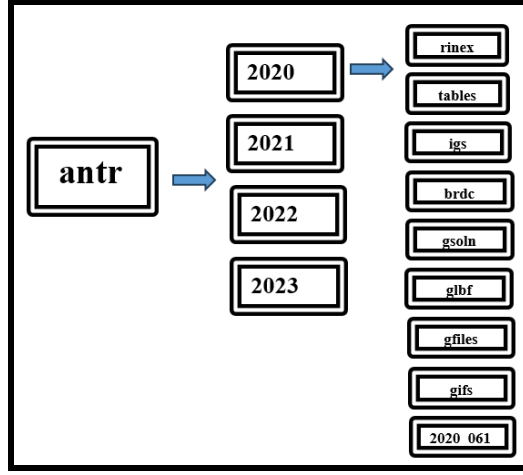
dosyasında, analize ait başlangıç, bitiş ve sonuç dosyalarının hangilerinin silineceği veya saklanacağı, disk kullanım kontrolleri gibi parametreleri içermektedir.

Bu girdiler güncellendikten sonra GAMIT modülünü çalıştırmadan önce analizlerde hangi stratejilerin ve kabullerin kullanılacağı belirtilen “sestbl.” dosyası hazırlanır. Bunlardan bazıları; troposferik gecikme modelleri (VMF1), process analiz tipi (çözümlerde BASELINE kullanıldı), başlangıç koordinatları seçiminde zorlama miktarları, ölçülerin ağırlıklandırılması, öncül atmosferik bilgi kaynağı seçimi, atmosferik gecikme hesaplamaları, tamsayı belirsizliği çözümü ve model parametreleri (yer dönüş, yeryuvarı gel-git ve anten faz merkezi parametreleri) için yapılan kestirimlerdir. “sestbl.” dosyasında bir seçeneğin aktif olarak kullanılabilmesi için birinci sütunun boş olması gerekmektedir. Tez çalışması için seçilen ve “sestbl.” dosyasına girilen çözüm stratejileri Çizelge 4.3’te verilmiştir.

**Çizelge 4.3.** sestbl. klasörü girdi bilgileri

| DEĞERLENDİRME STRATEJİSİ               |                                         |
|----------------------------------------|-----------------------------------------|
| Veri Toplama Aralığı                   | 30 saniye                               |
| Uydu Yükseklik Açısı                   | 0°                                      |
| Yörünge Bilgisi                        | IGS-Final                               |
| Yer Dönme Parametre Bilgisi            | USNO_bull_b                             |
| Yer Dönüklük Modeli                    | TUME1                                   |
| Çözüm İçin İterasyon Sayısı            | 1                                       |
| Kullanılan Troposfer Model             | VMF1 (Vienna Mapping Function -1)       |
| Taşıyıcı Dalga Faz Belirsizliği Çözümü | İyonosferden Bağımsız (Ionosphere-free) |

“tables” klasöründeki dosyalar analizde kullanılacak model ve stratejilere göre güncellendikten sonra ana dizin altında (Örn: 2020) günlük çözümleri gerçekleştirmek için “sh\_gamit” komutu çalıştırılır. Bu komut çalıştırıldıktan sonra sonuca ulaşmak için herhangi hata mesajı alınmamalıdır. Komut çalıştırıldıktan sonra tables ve rinex klasörlerine ek olarak; günlük çözüm dosyaları (Örn: 2022\_043), brdc, gfiles, glbf, gsoln, igs, ionex ve raw dosyaları otomatik oluşmaktadır. Günlük çözümler sonrası oluşan yeni dizin yapısı örneği Şekil 4.5’te verilmiştir. İlgili gün çözümleri tamamlandıktan sonra analiz sırasında herhangi bir hata verip vermediği günlük çözüm dosyası içerisinde GAMIT.fatal dosyasına bakılarak kontrol edilmelidir. Bir hata varsa bu dosya içerisine girilerek hata tespit edilip düzeltilerek günlük çözüm yeniden başlatılmalıdır.

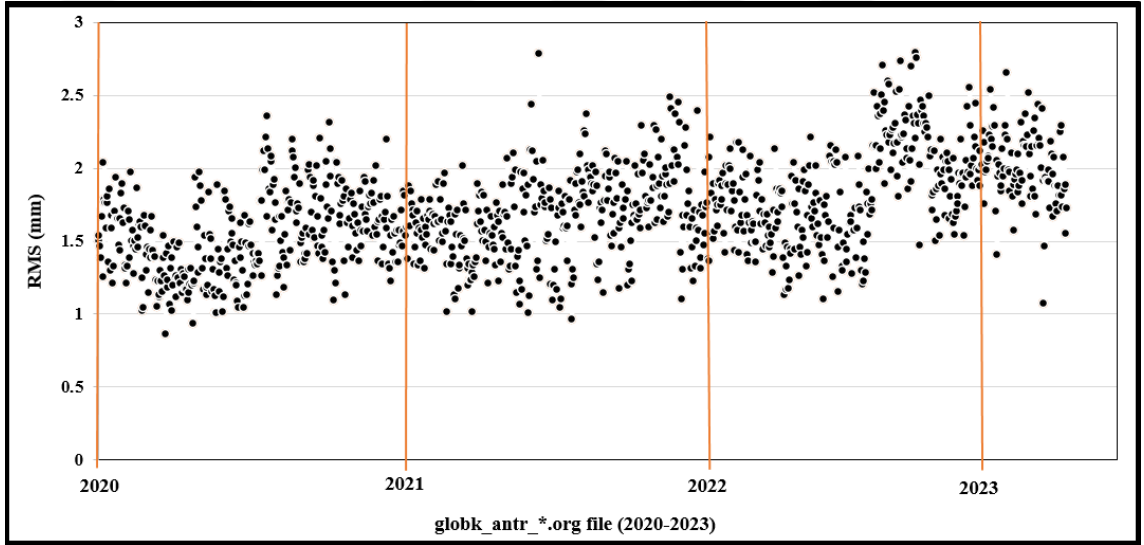


Şekil 4.5. Değerlendirme sonrası oluşan klasör örnekleri

Günlük çözümlerin kalite kontrollerinin sağlanması amacıyla dengeleme sonrası çözüm klasörü içerisindeki “sh\_gamit\_2022\_043.summary” dosyasında çözüm sonuçları özet olarak verilmektedir. Bu dosyada ilk olarak “Number of stations user” satırı incelenerek çözüme giren ve kullanılan istasyon sayılarının aynı olması beklenir. İkinci olarak istasyonların “Postfit RMS” değerleri kontrol edilmelidir. Bu değerler iyi istasyonlar için 5-8, kötü istasyonlar için ise 13-20 mm arasında değişmektedir. RMS değerleri 0 olan istasyonlar ise verisinin hiç kullanılmadığı veya tamamının silindiği gösterilmektedir. Bu durumda noktanın lfile. Klasöründeki koordinatı güncellenerek tekrardan günlük çözüm başlatılmalıdır. Üçüncü olarak ise “Postfit nrms” değerleri kontrol edilmelidir. Bu değerler ~0,2 civarında (bizim çözümlerimizde 0,17-0,18 arasında) olması beklenmektedir. “sh\_gamit\_2022\_043.summary” dosyasında aynı zamanda nrms (Normlandırılmış Karesel Ortalama Hata-Normalized Root Mean Square) değerleri ile birlikte uyduların yörünge bilgileri, istasyon konum bilgileri ve yer dönme parametreleride yer almaktadır. Nrms değerlerinin istenilen düzeyde olması, gözlem gürültü noise seviyelerinin istenilen düzeyde olduğunu göstermektedir. Son olarak faz belirsizliği (ambiguity) çözümlerinin; WL (Wide Lane) %90’ın, NL (Narrow Lane) %80’in üzerinde olması beklenmektedir.

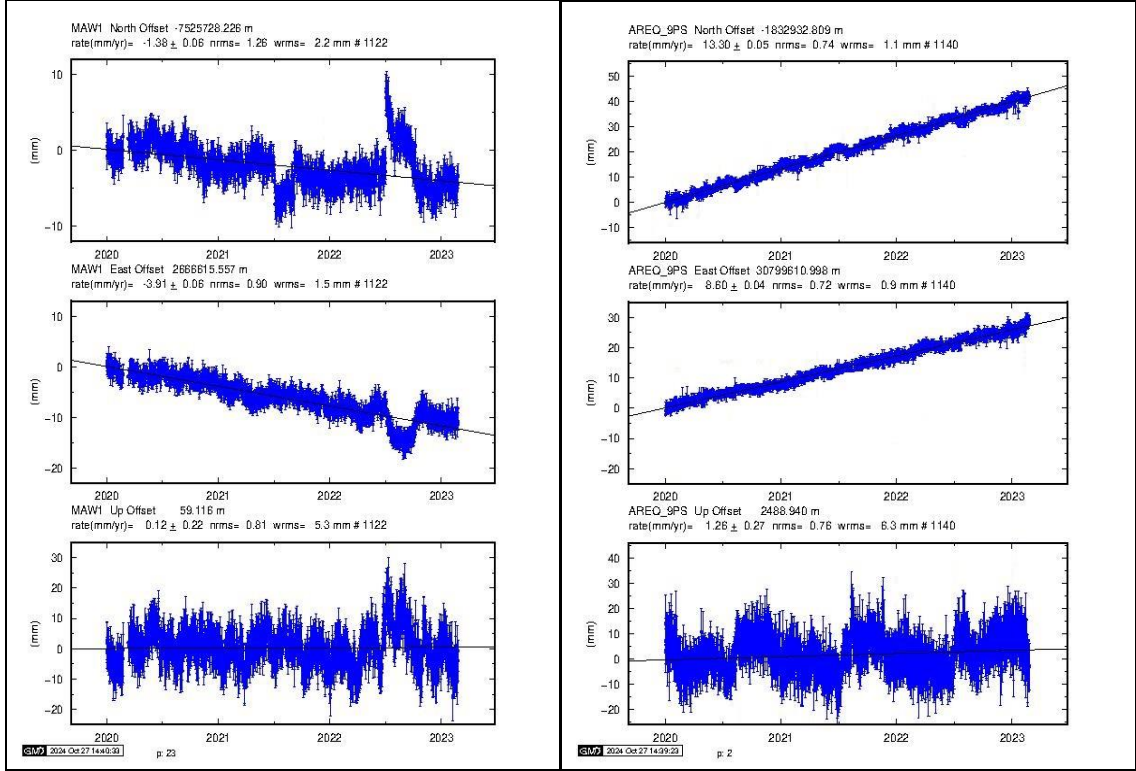
Günlük çözümler tamamlandıktan sonra belirtilen kriterler sağlanıyorsa bundan sonraki aşama günlük ve yıllık tekrarlılıkların üretilmesidir. Sh\_gamit komutu ile oluşan günlük çözüm dosyaları içerisinde (h-file) gevşek koşullu çözümler üretilmiştir. Özetle istenilen datum tanımlaması tam olarak henüz yapılmamıştır. Bunun için çözümlere dahil edilen IGS veya referans noktalarının koordinat ve hız bilgileri yardımıyla Helmert dönüşümü ile istenilen referans sisteminde (ITRF14) dönüşüm gerçekleştirilir.

Bu işleme stabilizasyon denmektedir. Stabilizasyon işlemi için öncelikle “sh\_glred” komutu çalıştırılır. Böylece gsoln klasörü içerisinde .org, .gdl ve eqs dosyaları oluşmaktadır. Ayrıca Globk çözümlerinde kullanılacak olan H dosyaları ile zaman serisi grafikleri üretiminde kullanılacak ps\_base dosyaları oluşmaktadır. 24 saatlik ölçümlerde sağlam bir stabilizasyon ile yatay koordinatlar için 1-2 mm, yükseklikler için 3-5 mm düzeyinde belirsizlikler ve tekrarlanabilirlikler elde edilmelidir. 8 Saatlik seanslarda ise bu değerler yatay 2-4 mm ve yükseklik 10-15 mm olmalıdır. Bazı istasyonlar için belirsizlikler yüksek ancak diğerleri için değilse, oturum uzunluğu, silinen veri sayısı ve veri gürültüsü kontrol edilir. Tüm istasyonlar için belirsizlikler yüksek ise .org dosyası kontrol edilmelidir (Herring ve diğ., 2008). 2020-2023 yıllarını kapsayan günlük tekrarlılık çözümlerine ait post-rms değerleri Şekil 4.6’da gösterilmiştir.



**Şekil 4.6.** Günlük çözüm sonucu her güne ait post-rms değerleri

Çalışmamızda kullanılan AREQ ve MAW1 sabit GNSS noktalarına ait günlük tekrarlılık grafikleri Şekil 4.7’de, analizlere dahil edilen tüm noktalara ait zaman grafikleri ise EK-1 de verilmiştir. İstasyonlara ait zaman serisi üzerindeki her mavi nokta ilgili günün konum bileşenini, üzerindeki çubuk ise konum belirsizliği hakkında bilgi vermektedir.



Şekil 4.7. MAW1 ve AREQ noktaları günlük tekrarlılık grafikleri

Grafiklere de dikkat edilmesi gereken en önemli hususlardan bir tanesi de kaba hataların ayıklanmasıdır. Bu hatalar ilgili ölçünün multipath etkisinden kaynaklanabileceği gibi anten yüksekliğinin yanlış belirlenmesi, anten tipi değişikliği vb. nedenlerle de olabilir. Bu hatalar girdi dosyalarında düzeltilmelidir.

#### 4.3.2 Globk ile verilerin değerlendirilmesi

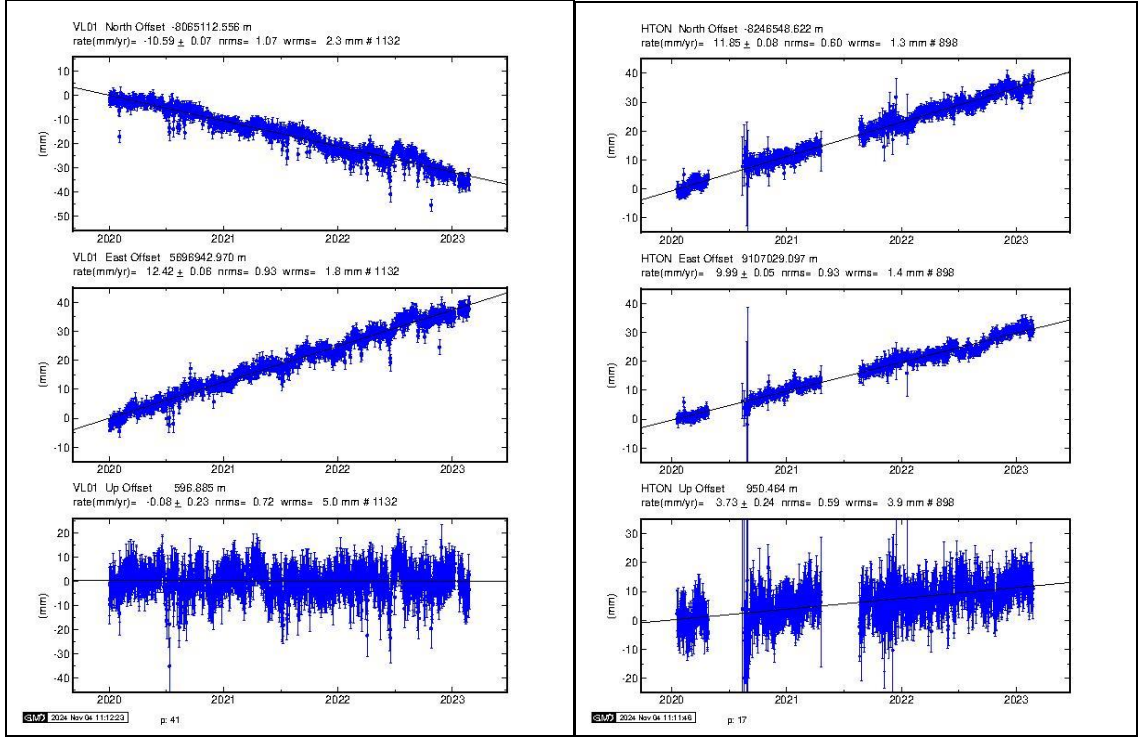
Globk veri analizi aşamasında glred, globk ve glorg gibi birçok program çalışmaktadır. İlk olarak gamit aşamasında elde edilen H dosyalarını bir referans sisteminde tanımlamak ve bu dosyaları birleştirerek zaman serilerini üretmek için glred programı çalıştırılır. Böylece her bir istasyon için uzun ve kısa dönem zaman serileri elde edilmektedir. Elde edilen günlük birleştirilmiş H dosyaları aylık olarak birleştirilerek tek bir H dosyası üretilir. Bu işlemi gerçekleştirebilmek için Globk alt modülü kullanılır. Referans sistemi ve istasyon hız bilgilerinin üretiminde ise Glorg modülü kullanılır. Globk ile farklı zamanlarda yapılan gözlem verileri Kalman Filtreleme Tekniği yardımıyla birleştirme işlemini yapmaktadır. Birleştirme işlemi ile

noktaların hızlarını ve istasyon koordinatlarını hesaplama stratejisi da belirtilmiştir (Tiryakioğlu, 2012).

Jeodinamik süreçleri anlamak amacıyla kinematik modeller kullanılır. Zaman içerisindeki konum değişimini içeren bu modellerin oluşturulmasında bazı filtreleme teknikleri kullanılmaktadır. Bu filtreleme işlemleri, sistem durumu hakkında tahmin, veri gürültülerini azaltmak ve verileri birleştirmek amacıyla kullanılmaktadır (Grewal and Andrews, 2001). Kalman-Bucy filtresi olarak da bilinen ve 1960 yılından buyana kullanılan bir algoritma olan Kalman filtresi, yinelemeli bir tahmin düzeltme işlemi olarak özetlenebilir (Masnadi-Shirazi ve diğ., 2019). Genel olarak Kalman filtresi tahmin ve güncelleme adımlarından oluşur. Tahmin adımında bir önceki durum ve modele bağlı kalarak yeni durumun tahminini ve hata miktarını hesaplar. Güncelleme adımında ise mevcut ölçüm ve tahmin kestirimine göre gerçeğe yakın bir değer üretilmektedir. Bu durum özyinelemeli olarak devam etmektedir (Şireci ve diğ., 2020). Bu teknik yersel ve uzay tabanlı ölçmelerin değerlendirilmesinde, jeodinamik hareketlerin belirlenmesinde, deprem tahmin çalışmalarında, deformasyon ölçmelerinde ve herhangi bir sinyal kestirimlerimi gibi birçok farklı alanda kullanılmaktadır.

Sh\_gamit komutu ile elde edilen h dosyaları (günlük çözüm dosyaları) kullanılarak glred programı çalıştırılır, multibase ve sh\_baseline komutları yardımıyla günlük zaman serilerinin üretilmesi gerçekleşir. Hassas konum ve hız hesaplama aşamasına geçmeden önce zaman serilerinde yapılan incelenerek sonucu istasyonların tektonik ve veri kalitesi açısından yorumlanmaya uygun olup olmadığı kontrol edilmelidir. Zaman serisi grafikleri, günlük çözümler gerçekleştirilirken oluşan gsoln klasörü içerisinde üretilmelidir. Üretilen günlük zaman serileri yardımıyla uzun süreli gözlem verisine sahip istasyonların genel tektonik hareketleri hakkında bilgi elde edilebilmektedir. Sonrasında uygulanacak Kalman Filtresi çözüm hatalarının tüm zaman serisine yayması nedeniyle seriler dikkatlice incelenmeli ve yorumlanmalıdır. Günlük zaman serileri oluşturulduktan sonra Matlab programı yardımıyla, gsoln klasöründe multibase komutu ile oluşturulan mb\_file dosyaları kullanılarak noktalara ait bu zaman grafikleri incelenir. İnceleme esnasında tsview modülü kullanılarak görüntüleme yapılır. Böylece analizlerde kullanılan tüm noktaların uyumsuz veya kaba hatalı ölçüleri ayıklanarak Çizelge 4.4'teki gibi ayrı bir eq\_file dosyası içerisinde tanımlanır. Ölçümlerdeki kaba hataların içinde bulunduğu bu dosya (eq\_file) globk.cmd dosyası içerisinde tanımlanarak Sh\_glred komutu kaba hatalı günler için tekrar çalıştırılır ve sonrasında yapılan işlemler kaba hatalar grafiklerde görünmeyene kadar tekrarlanır.

Şekil 4.8’de VL01 ve HTON noktalarına ait zaman serilerinde kaba hatalar gösterilmiştir.



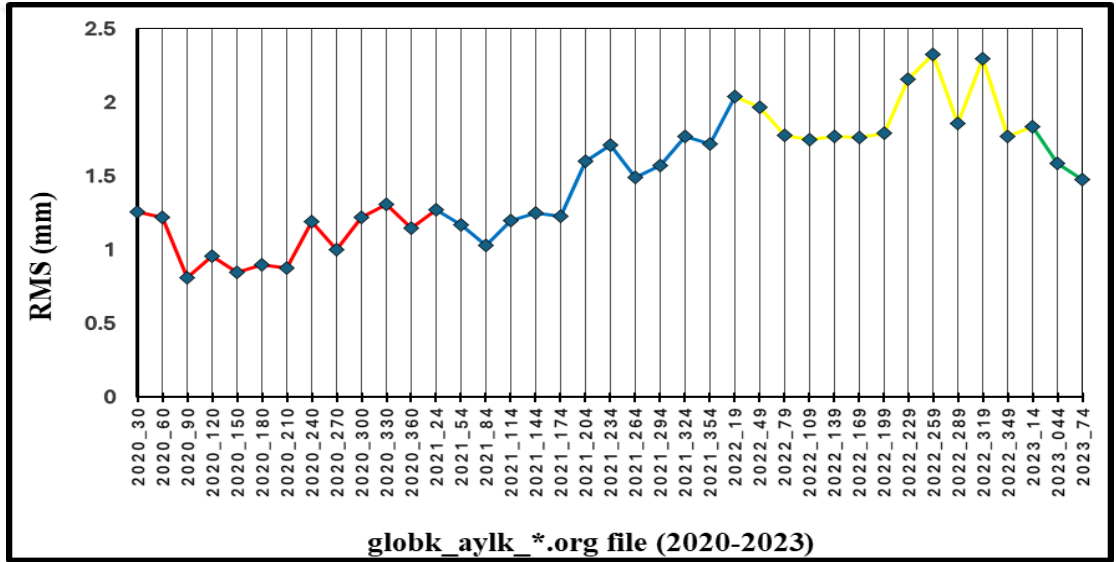
Şekil 4.8. VL01 ve HTON noktalarına ait kaba hatalı günlük zaman serileri

Kaba hatalı ölçüler ayıklanırken noktanın dört karakter ismi ve \_XCL uzantılı olmasına dikkat edilir. Bu uzantı sayesinde belirtilen tarih aralığındaki istasyon “glred” ve “globk” çözümlerine dahil edilmeyecektir. Bilinmeyen veya alıcı-anten değişimi gibi sebeplerden kaynaklı olarak zaman serilerinden atımlar oluşur. Bu atımlar “igb14\_comb.eq” dosyamızda belirtilmektedir. Kaba hataların giderilmesi için üretilen eq\_file dosya örneği Çizelge 4.4’te gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. eq\_file dosyası içeriğinden birkaç satır

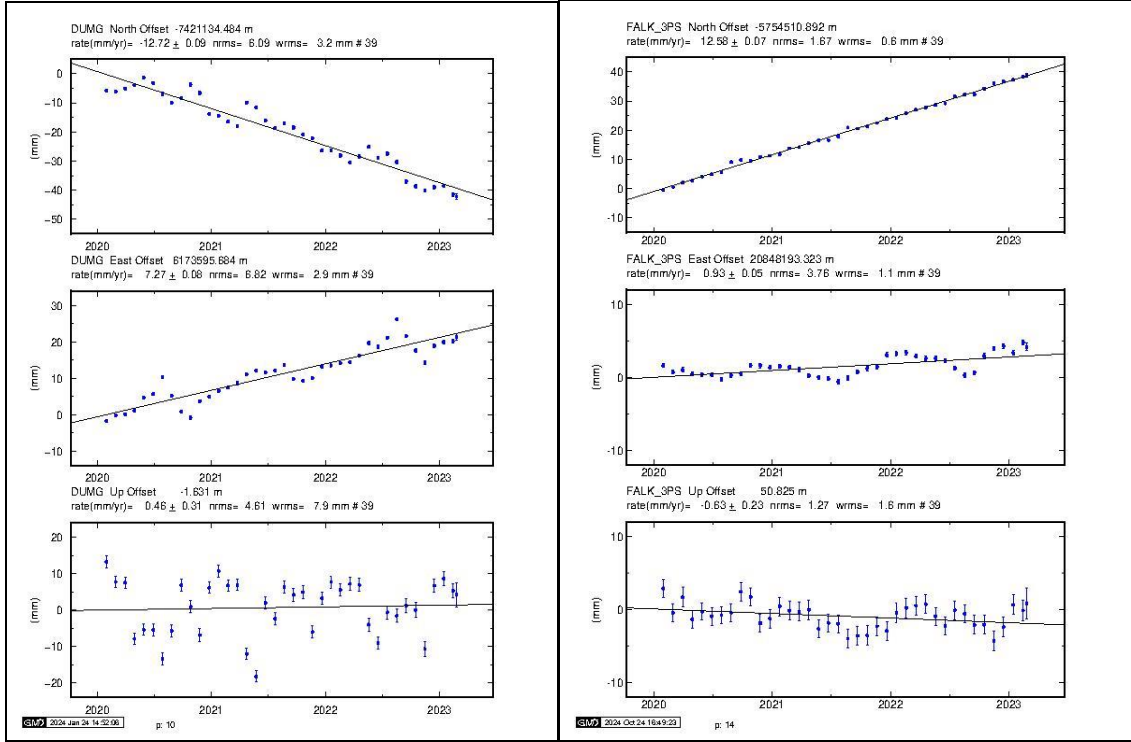
```
rename AREQ AREQ_XCL 2020 8 19 00 00 2020 8 19 24 00 ! tsview edit block
rename AREQ AREQ_XCL 2020 11 9 00 00 2020 11 9 24 00 ! tsview edit block
rename CORD CORD_XCL 2020 7 13 00 00 2020 7 13 24 00 ! tsview edit block
rename CORD CORD_XCL 2020 7 31 00 00 2020 7 31 24 00 ! tsview edit block
rename FALK FALK_XCL 2020 11 14 00 00 2020 11 14 24 00 ! tsview edit block
rename FALK FALK_XCL 2020 11 15 00 00 2020 11 15 24 00 ! tsview edit block
rename HUGO HUGO_XCL 2020 5 26 00 00 2020 5 26 24 00 ! tsview edit block
rename IQQE IQQE_XCL 2020 7 13 00 00 2020 7 13 24 00 ! tsview edit block
```

Günlük veriler kaba hatalardan ayıklandıktan sonra 2020-2023 yıllarına ait veriler, koordinat ve hız belirlemek amacıyla aylık birleştirme işlemi gerçekleştirilmelidir. Bunun için öncelikle `gsoln/globk.cmd` dosyasında “out\_glb H-----\_COMB.GLX” aktif edilerek `sh_glred` komutu tekrar çalıştırılır. “`gsoln.cmd`” ve “`glorg.cmd`” dosyaları referans sisteminin tanımlanmasında kullanılan ve bu tanımlama sırasında hangi referans istasyonlarının kullanılacağını belirttiği komut dosyalarıdır. Sonuç dosyaları “H201126\_COMB.GLX” gibi gevşek birleştirilmiş çözüm dosyaları ve “`globk_aylk_20133-162.org`” gibi sıkı birleştirilmiş çözüm dosyaları olacaktır. Ayrıca birleştirilmeye ilişkin karesel ortalama hata değeri Şekil 4.8’de gösterilmiş olup yaklaşık 2-3 mm civarında olmalıdır (URL-19).



Şekil 4.9. Aylık birleştirmeler sonucu çözümlere ait Post-Rms değerleri

30 günlük birleştirilen aylık veriler, günlük çözümlerde olduğu gibi zaman grafikleri oluşturma işlemleri tekrarlanarak kaba hatalar Matlab programı kullanılarak ayıklanır ve `sh_glred` komutu tekrardan çalıştırılır. Bu işlemi kaba hatalar zaman serisinden ayıklana kadar tekrarlanır. Şekil 4.10’da DUMG ve WLCH istasyonlarının aylık birleştirme sonrası ve kaba hatalardan ayıklanmış olarak zaman grafikleri verilmiştir. Ayrıca çözümlere dahil edilen tüm noktalara ait aylık birleştirilmiş zaman grafikleri ise EK-2 de verilmiştir.



**Şekil 4.10.** DUMG ve FALK istasyonlarına ait aylık zaman serileri

Yapılan işlemlerde GLRED ve GLOBK modülleri aslında aynı olup, tek farkı; GLRED günlük veya oturumlara ait çözüm dosyalarının (h-files) her biri için bağımsız/ayrı ayrı referans sistemi tanımlarken (koordinat zaman serilerinin belirlenmesinde), GLOBK tüm çözüm dosyalarını birleştirir ve tek bir dosyada nokta konum ve hızları yaratılır (URL-19). Ayrıca günlük ve aylık birleştirmeler sırasında glorg.cmd dosyası içerisinde referans sisteminin tanımlanmasında kullanılacak istasyon listesi bulunur. Çözümler sonucu türetilen hızları, jeofiziksel yorumlayabilmek için doğal olan ve genellikle mevcut ağın yakınındaki sabit bir tektonik bloğa göre olan bir çerçevede görüntülemek gerekir. ITRF veri setinden belirlendiği şekilde bir ana plakanın gerçekleştirilmesini kullanmak istediğimizde (Altamimi ve diğ., 2012) glorg.cmd file dosyasına gg/tables klasöründen sağlanan dönüştürülmüş ITRF apr dosyaları (ör. igb14\_noam.apr) tanımlanarak gerçekleştirilir. Bu komut mevcut olduğunda glorg, stabilizasyon çerçevesine göre bu bölgeleri içeren bir blok için dönme vektörü (Euler Kutbu) tahmin edecektir. Bu plaka apr dosyaları her istasyon için dönme vektör hızlarını içerir. Analize dahil ettiğimiz IGS ya da koordinatını hassas olarak bildiğimiz diğer istasyon/noktaları kullanabiliriz. Çizelge 4.5'te kullandığımız istasyon bilgileri sunulmaktadır. Org dosyası baskısı, dönme vektörünün bileşenlerini ve belirsizliklerini içerecek ve stabilizasyondan (yani apr dosyasına göre) gelen hız

ayarlamalarını, o bölgeyi dahil etmek için öngörülen plakaya göre değiştirecektir. Bağımsız oldukları ve hiçbir stabilizasyon için kullanılan alanların neredeyse tamamını içermediği sürece herhangi bir sayıda plakayı tek bir çözümle tahmin edilebilir. Sh\_org2vel komutu girdi olarak glorg dosyası ve plaka dosyaları ile çalıştırılarak çözümdeki tüm sitelerin plakaların her birine göre hareketlerini içeren hız özet bilgisi üretilecektir (Herring T.A. ve diğ., 2018).

**Çizelge 4.5.** Referans olarak kullanılan istasyon bilgileri

| NOKTA ADI | ÜLKE       | NOKTA ADI | ÜLKE         |
|-----------|------------|-----------|--------------|
| ARHT      | Antarktika | SYOG      | Antarktika   |
| CAS1      | Antarktika | AREQ      | Peru         |
| COTE      | Antarktika | FALK      | Falkland     |
| MAW1      | Antarktika | LPGS      | Arjantin     |
| MCM4      | Antarktika | MGUE      | Arjantin     |
| OHI3      | Antarktika | SANT      | Şili         |
| OHI2      | Antarktika | UNSA      | Arjantin     |
| PALM      | Antarktika | SUTH      | Güney Afrika |
| ROTH      | Antarktika | ALIC      | Avustralya   |
| SCTB      | Antarktika | CEDU      | Avustralya   |

Aylık birleştirme işlemi “H-----\_COMB.GLX “ gibi gevşek birleştirilmiş çözüm dosyaları bir dosyaya (ör: aylk.gdl gibi) yazdırılır. ITRF referans sisteminde 2014 epoğunda koordinat ve hız hesabı amacıyla sırası ile;

*globk 6 antr.prt antr.log aylk.gdl globk.cmd VEL*

*sh\_org2vel -file globk\_vel.org*

komutları çalıştırılarak globk\_vel.apr ve globk\_vel.vel dosyaları oluşturulur. Burada dikkat edilmesi gereken husus; günlük ve aylık yapılan birleştirmelerde aynı globk komut dosyası kullanılır ancak bu dosya içerisindeki “VEL” ile başlayan satırlar yazılım tarafından dikkate alınmaktadır. Örneğin “globk.cmd” dosyasındaki aşağıdaki satır aktive olur. Bu satır hassas koordinatlarla birlikte hızları da hesaplayarak konumlar için 10 metre, hızlar için ise 1 metre/yıl kısıt kullanılacağını bildirir.

*VEL apr\_site all 10 10 10 1 1 1 (Kısıtlar: X, Y, Z ve Vx, Vy, Vz için)*

*VEL apr\_neu all 10 10 10 1 1 1 (Kısıtlar: North, East, Up ve Vn, Ve, Vu için)*

Nihai konum ve hız hesaplamaları sonucunda noktalara ait konum ve hız hesap özetlerine “globk\_vel.org” dosyasının “SUMMARY VELOCITY ESTIMATES FROM GLOBK Ver 5.34X” bölümünden ulaşılabilir. Analiz sonucu noktalara ait hız hesap özetleri Çizelge 4.6’da, konumlara ait hesap özeti ise Çizelge 4.7’de verilmiştir. Elde

edilen bu değerler doğrultusunda istasyonlara ait yatay ve düşey konum-hız bileşenleri Şekil 4.11’de gösterilmiştir (URL-19).

Çizelge 4.6. İstasyonlara ait hız hesap özeti

| Enlem<br>(deg) | Boylam<br>(deg) | N Rate<br>(mm/yr) | E Rate<br>(mm/yr) | h Rate<br>(mm/yr) | N +/-<br>(mm/yr) | E +/-<br>(mm/yr) | h +/-<br>(mm/yr) | SITE  |
|----------------|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|-------|
| 23,67011 S     | 133,88552 E     | 59,46             | 31,75             | -2,62             | 0,04             | 0,04             | 0,26             | ALIC* |
| 06,46552 S     | 71,49280 W      | 13,46             | 11,33             | 1,37              | 0,05             | 0,04             | 0,20             | AREQ  |
| 77,82944 S     | 166,66366 E     | -10,46            | 10,00             | -0,11             | 0,04             | 0,04             | 0,19             | ARHT  |
| 74,43044 S     | 102,47818W      | 11,31             | 15,30             | 17,59             | 0,07             | 0,06             | 0,20             | BACK  |
| 84,78646 S     | 116,45979W      | 2,39              | 14,97             | 10,39             | 0,05             | 0,05             | 0,20             | BENN  |
| 79,14744 S     | 155,89416 E     | -11,37            | 7,10              | 0,79              | 0,07             | 0,06             | 0,29             | BURI  |
| 31,86666 S     | 133,80984 E     | 58,11             | 28,96             | -2,02             | 0,04             | 0,05             | 0,20             | CEDU  |
| 31,52843 S     | 64,47005 W      | 11,45             | -1,68             | 1,62              | 0,06             | 0,06             | 0,20             | CORD  |
| 82,86152 S     | 53,19913 W      | 11,05             | 5,26              | 2,72              | 0,06             | 0,05             | 0,20             | CRDI  |
| 12,84370 S     | 131,13275 E     | 59,81             | 35,37             | -1,90             | 0,10             | 0,10             | 0,42             | DARW  |
| 68,57732 S     | 77,97261 E      | -6,38             | -2,88             | -1,95             | 0,08             | 0,06             | 0,26             | DAV1  |
| 68,09113 S     | 68,84476 W      | 10,88             | 12,88             | -1,23             | 0,15             | 0,12             | 0,50             | DISM  |
| 66,66519 S     | 140,00219 E     | -12,43            | 7,58              | -0,29             | 0,09             | 0,07             | 0,30             | DUMG  |
| 51,69365 S     | 57,87407 W      | 12,25             | 0,06              | -0,12             | 0,06             | 0,05             | 0,20             | FALK* |
| 77,03805 S     | 78,28711 W      | 10,94             | 9,18              | 2,20              | 0,07             | 0,06             | 0,20             | HAAG  |
| 25,88696 S     | 27,70725 E      | 16,15             | 16,90             | 2,62              | 0,12             | 0,12             | 0,28             | HARB  |
| 74,08001 S     | 61,73059 W      | 11,79             | 8,91              | 3,68              | 0,06             | 0,05             | 0,20             | HTON  |
| 64,96256 S     | 65,66754 W      | 9,02              | 13,13             | -3,29             | 0,08             | 0,06             | 0,20             | HUGO  |
| 20,27354 S     | 70,13172 W      | 15,83             | 19,68             | 1,20              | 0,07             | 0,07             | 0,20             | IQQE  |
| 34,90674 S     | 57,93230 W      | 11,42             | -1,43             | 2,34              | 0,16             | 0,16             | 0,69             | LPGS* |
| 67,60477 S     | 62,87071 E      | -2,18             | -4,31             | 0,40              | 0,06             | 0,04             | 0,21             | MAW1  |
| 76,32220 S     | 144,30351W      | -1,76             | 16,19             | 5,62              | 0,06             | 0,06             | 0,23             | MCAR  |
| 35,77735 S     | 69,39793 W      | 13,39             | -7,99             | -0,09             | 0,07             | 0,06             | 0,20             | MGUE  |
| 37,82940 S     | 144,97534 E     | 59,81             | 15,72             | -3,27             | 0,06             | 0,07             | 0,23             | MOBS  |
| 74,18040 S     | 115,10213W      | 8,01              | 16,70             | 13,22             | 0,08             | 0,07             | 0,30             | MRTP  |
| 63,32109 S     | 57,90138 W      | 10,01             | 15,70             | 1,36              | 0,06             | 0,05             | 0,20             | OHI3* |
| 64,77509 S     | 64,05112 W      | 10,36             | 13,68             | -0,94             | 0,05             | 0,04             | 0,10             | PALM  |
| 31,80196 S     | 115,88526 E     | 57,59             | 38,43             | -1,40             | 0,08             | 0,08             | 0,30             | PERT* |
| 53,78547 S     | 67,75112 W      | 12,44             | 2,69              | 1,00              | 0,05             | 0,06             | 0,18             | RIO2  |
| 33,15029 S     | 70,66855 W      | 15,60             | 15,98             | 4,01              | 0,05             | 0,04             | 0,10             | SANT* |
| 84,18701 S     | 86,24729 W      | 8,63              | 9,57              | -0,59             | 0,08             | 0,07             | 0,40             | STEW  |
| 32,38143 S     | 20,81091 E      | 17,11             | 15,79             | 2,06              | 0,11             | 0,11             | 0,25             | SUTM  |
| 69,00696 S     | 39,58374 E      | 1,97              | -4,78             | 2,42              | 0,07             | 0,06             | 0,25             | SYOG  |
| 79,12669 S     | 28,31891 W      | 11,72             | 1,32              | 1,38              | 0,06             | 0,06             | 0,20             | THRO  |
| 19,26927 S     | 147,05569 E     | 57,24             | 28,13             | -1,05             | 0,08             | 0,07             | 0,29             | TOW2  |
| 69,98882 S     | 67,55471 W      | 10,32             | 12,22             | -5,50             | 0,09             | 0,07             | 0,20             | TRVE  |
| 72,45014 S     | 169,72508 E     | -10,08            | 12,38             | -0,35             | 0,07             | 0,07             | 0,26             | VL01  |
| 22,57492 S     | 17,08944 E      | 17,52             | 16,77             | 7,39              | 0,12             | 0,13             | 0,30             | WIND  |
| 70,72935 S     | 63,82041 W      | 11,31             | 9,66              | -2,27             | 0,07             | 0,05             | 0,20             | WLCH  |

Çizelge 4.7. İstasyonlara ait konum hesap özeti

| Enlem<br>(deg) | Boylam<br>(deg) | Yükseklik<br>(Elipsoit) | dE+-<br>(mm/yr) | dN+-<br>(mm/yr) | dh+-<br>(mm/yr) | SITE  |
|----------------|-----------------|-------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------|
| 23,67011 S     | 133,88552 E     | 603,2343                | 0,06            | 0,08            | 0,45            | ALIC* |
| 06,46552 S     | 71,49280 W      | 2488,9283               | 0,08            | 0,09            | 0,44            | AREQ* |
| 77,82944 S     | 166,66366 E     | 135,3350                | 0,07            | 0,07            | 0,33            | ARHT* |
| 74,43044 S     | 102,47818 W     | 33,3562                 | 0,13            | 0,14            | 0,53            | BACK  |
| 84,78646 S     | 116,45979 W     | 1416,4602               | 0,10            | 0,10            | 0,50            | BENN  |
| 79,14744 S     | 155,89416 E     | 2006,3090               | 0,11            | 0,13            | 0,53            | BURI  |
| 31,86666 S     | 133,80984 E     | 144,7163                | 0,07            | 0,08            | 0,35            | CEDU* |
| 31,52843 S     | 64,47005 W      | 746,8335                | 0,11            | 0,12            | 0,40            | CORD  |
| 82,86152 S     | 53,19913 W      | 945,3200                | 0,09            | 0,10            | 0,49            | CRDI  |
| 12,84370 S     | 131,13275 E     | 125,1024                | 0,19            | 0,18            | 0,77            | DARW  |
| 68,57732 S     | 77,97261 E      | 44,3875                 | 0,11            | 0,14            | 0,46            | DAV1  |
| 68,09113 S     | 68,84476 W      | 37,3392                 | 0,28            | 0,34            | 1,14            | DISM  |
| 66,66519 S     | 140,00219 E     | -1,6427                 | 0,14            | 0,17            | 0,55            | DUMG  |
| 51,69365 S     | 57,87407 W      | 50,8197                 | 0,09            | 0,11            | 0,40            | FALK* |
| 77,03805 S     | 78,28711 W      | 1171,8092               | 0,11            | 0,12            | 0,50            | HAAG  |
| 25,88696 S     | 27,70725 E      | 1558,0848               | 0,22            | 0,22            | 0,50            | HARB  |
| 74,08001 S     | 61,73059 W      | 950,4719                | 0,09            | 0,10            | 0,38            | HTON  |
| 64,96256 S     | 65,66754 W      | 20,6361                 | 0,12            | 0,14            | 0,44            | HUGO  |
| 20,27354 S     | 70,13172 W      | 38,9717                 | 0,13            | 0,12            | 0,49            | IQQE  |
| 34,90674 S     | 57,9323 W       | 29,8670                 | 0,18            | 0,18            | 0,75            | LPGS* |
| 67,60477 S     | 62,87071 E      | 59,1171                 | 0,07            | 0,10            | 0,37            | MAW1* |
| 76,32220 S     | 144,30351 W     | 964,8968                | 0,11            | 0,11            | 0,41            | MCAR  |
| 35,77735 S     | 69,39793 W      | 1553,7174               | 0,11            | 0,12            | 0,40            | MGUE* |
| 37,82940 S     | 144,97534 E     | 40,5640                 | 0,11            | 0,13            | 0,42            | MOBS  |
| 74,18040 S     | 115,10213 W     | 96,4097                 | 0,13            | 0,15            | 0,54            | M RTP |
| 63,32109 S     | 57,90138 W      | 32,6362                 | 0,09            | 0,11            | 0,39            | OHI3* |
| 64,77509 S     | 64,05112 W      | 31,1391                 | 0,09            | 0,10            | 0,31            | PALM* |
| 31,80196 S     | 115,88526 E     | 12,6656                 | 0,14            | 0,14            | 0,54            | PERT  |
| 53,78547 S     | 67,75112 W      | 32,0237                 | 0,09            | 0,11            | 0,32            | RIO2  |
| 33,15029 S     | 70,66855 W      | 723,1162                | 0,08            | 0,09            | 0,33            | SANT* |
| 84,18701 S     | 86,24729 W      | 1587,0520               | 0,13            | 0,14            | 0,75            | STEW  |
| 32,38143 S     | 20,81091 E      | 1797,6181               | 0,19            | 0,19            | 0,45            | SUTM  |
| 69,00696 S     | 39,58374 E      | 49,9921                 | 0,09            | 0,10            | 0,38            | SYOG* |
| 79,12669 S     | 28,31891 W      | 1058,1346               | 0,12            | 0,13            | 0,57            | THRO  |
| 19,26927 S     | 147,05569 E     | 88,0936                 | 0,14            | 0,12            | 0,50            | TOW2  |
| 69,98882 S     | 67,55471 W      | 1064,3493               | 0,10            | 0,11            | 0,37            | TRVE  |
| 72,45014 S     | 169,72508 E     | 596,8925                | 0,12            | 0,14            | 0,48            | VL01  |
| 22,57492 S     | 17,08944 E      | 1734,6808               | 0,23            | 0,23            | 0,52            | WIND  |
| 70,72935 S     | 63,82041 W      | 1534,1227               | 0,09            | 0,10            | 0,33            | WLCH  |

Çizelge 4.6 ve 4.7’de belirtilen sütunların tanımları aşağıdadır;

**N & E Rate** : ITRF14 (igb14) referans sisteminde toposentrik koordinatlardan (Doğu ve Kuzey bileşenler) hesaplanan hızlar (mm/yıl),

**h Rate** : Elipsoidal yüksekliğin hızı (mm/yıl),

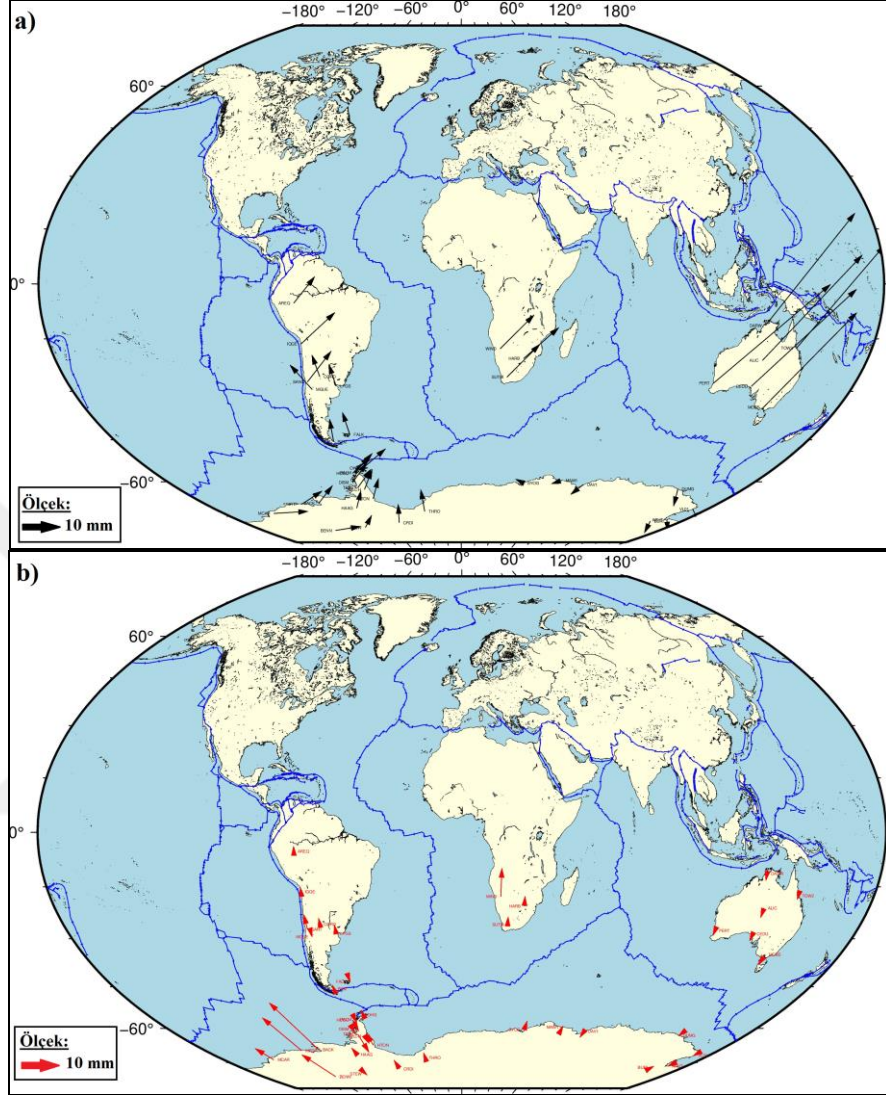
**N & E +-** : Doğu ve Kuzey hız bileşenlerinin standart sapma (sigma) değerleri,

**h +-** : Elipsoidal yükseklik hız bileşeninin standart sapma (sigma) değeri,

**dE & dN +-** : Yatay yöndeki (Doğu ve Kuzey bileşeni) koordinatların standart sapma (sigma)değerleri,

**dh +-** : Elipsoidal yüksekliğin standart sapma (sigma) değeri,

**SITE** : İstasyonların dört karakter isimleri. “\*” işareti bulunan istasyonlar referans sistemi tanımlamasında kullanılmamıştır.



**Şekil 4.11.** a) Sabit GNSS istasyonlarının ITRF14 yatay konum hız bileşenlerini göstermektedir  
b) Sabit GNSS istasyonlarının ITRF14 düşey konum hız bileşenlerini göstermektedir

EUREF gibi farklı referans sisteminde hesaplanmak istenen istasyonlar için yalnızca “glorg” modülü çalıştırılması yeterlidir. Farklı plakalar için kullanılabilecek referans sistemi dosyaları yazılımın kurulu olduğu dizindeki tables alt dizininde mevcuttur. Bu çalışmada kullanılacak plakalar için; Güney Amerika Plakası (igb14\_comb\_soam.apr), Afrika Plakası (igb14\_comb\_nubi.apr), Antarktika Plakası (igb14\_comb\_anta.apr) ve Avustralya Plakası için (igb14\_comb\_aust.apr) plaka modelleri kullanılmıştır. Örneğin Güney Amerika sabit referans sisteminde konum ve hız hesaplayabilmek için glorg.cmd dosyasında “igb14\_comb\_soam.apr” dosyası

kullanılabilir. Ayrıca, ITRF14 için kullanılan komut neticesinde üretilen binary “com” dosyası da (aylk.com) kullanılacaktır. Çalışma bölgesi içerisindeki dört plakanın her biri sabit alınarak komşu plakaların hareketi hakkındaki konum-hız bilgileri Çizelge 4.8’de verilmiştir.

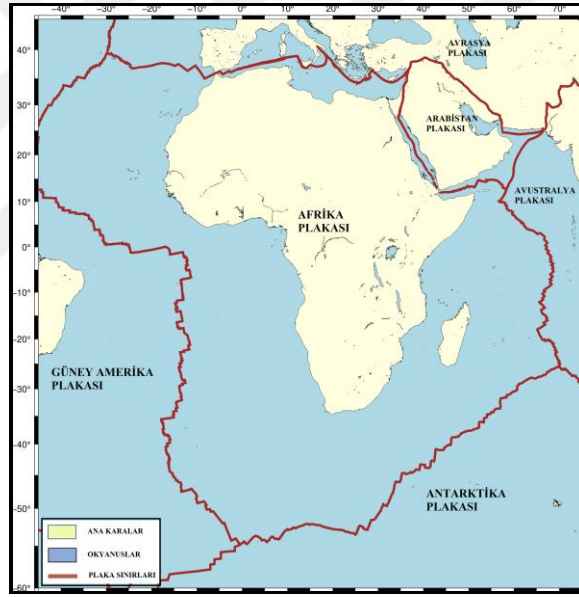
**Çizelge 4.8.** ITRF14 referans çerçevesinde plaka sabit çözümlerin hız hesap özeti

| <b>Avustralya<br/>Plakası Sabit</b> |                   | <b>Güney Amerika<br/>Plakası Sabit</b> |                   | <b>Antarktika<br/>Plakası Sabit</b> |                   | <b>Afrika<br/>Plakası Sabit</b> |                   | <b>SITE</b> |
|-------------------------------------|-------------------|----------------------------------------|-------------------|-------------------------------------|-------------------|---------------------------------|-------------------|-------------|
| N Rate<br>(mm/yr)                   | E Rate<br>(mm/yr) | N Rate<br>(mm/yr)                      | E Rate<br>(mm/yr) | N Rate<br>(mm/yr)                   | E Rate<br>(mm/yr) | N Rate<br>(mm/yr)               | E Rate<br>(mm/yr) |             |
| 69,42                               | -19,57            | 2,58                                   | 13,75             | 3,01                                | -10,69            | 10,33                           | -15,76            | AREQ        |
| -56,50                              | 38,26             | 0,48                                   | 5,10              | 1,03                                | 0,57              | 7,26                            | 12,38             | ARHT        |
| 69,49                               | -27,14            | -0,09                                  | -0,48             | 0,23                                | -22,48            | 6,04                            | -30,61            | CORD        |
| -44,40                              | -58,13            | -0,17                                  | 8,76              | -0,97                               | 0,05              | -13,30                          | 5,45              | DAV1        |
| 67,17                               | 15,35             | -0,23                                  | 9,26              | 0,15                                | -1,01             | 6,90                            | -12,99            | DISM        |
| -70,28                              | 4,51              | 0,03                                   | 8,92              | 0,16                                | -0,21             | 0,13                            | 11,88             | DUMG        |
| 71,25                               | -18,38            | 0,25                                   | 0,06              | 0,46                                | -16,35            | 4,77                            | -27,85            | FALK        |
| 27,06                               | -40,82            | 11,81                                  | 25,89             | 10,86                               | 3,10              | -2,07                           | -0,82             | HARB        |
| 66,44                               | 10,12             | -2,39                                  | 10,41             | -2,06                               | -1,12             | 4,01                            | -13,25            | HUGO        |
| 72,26                               | -9,51             | 4,81                                   | 21,71             | 5,22                                | -2,26             | 12,25                           | -8,10             | IQQE        |
| 70,56                               | -28,85            | -0,59                                  | 0,16              | -0,38                               | -21,08            | 3,95                            | -30,11            | LPQS        |
| -26,95                              | -67,63            | 0,99                                   | 8,48              | 0,08                                | -0,85             | -13,52                          | 1,31              | MAW1        |
| 70,03                               | -28,16            | 2,30                                   | -7,83             | 2,70                                | -28,83            | 9,58                            | -37,36            | MGUE        |
| 68,99                               | 4,47              | -1,97                                  | 14,58             | -1,77                               | 2,37              | 2,55                            | -10,27            | OHI3        |
| 68,25                               | 9,02              | -1,19                                  | 11,28             | -0,89                               | -0,33             | 4,83                            | -12,60            | PALM        |
| 69,53                               | -6,47             | 1,21                                   | 0,87              | 1,58                                | -14,79            | 8,10                            | -25,78            | RIO2        |
| 71,80                               | -5,22             | 4,65                                   | 16,34             | 5,06                                | -5,28             | 12,21                           | -13,31            | SANT        |
| 34,86                               | -45,04            | 11,40                                  | 25,37             | 10,49                               | 3,88              | -1,71                           | -1,27             | SUTM        |
| 0,17                                | -72,71            | 0,12                                   | 8,27              | -0,85                               | -0,84             | -14,56                          | -3,86             | SYOG        |
| 67,21                               | 14,12             | -0,91                                  | 8,63              | -0,56                               | -0,88             | 5,93                            | -13,09            | TRVE        |
| 39,20                               | -37,88            | 11,09                                  | 24,86             | 10,2                                | 1,43              | -1,53                           | -3,12             | WIND        |
| 69,22                               | 8,81              | -0,26                                  | 6,70              | 0,04                                | -2,53             | 5,70                            | -15,15            | WLCH        |
| 48,86                               | 49,33             | 5,19                                   | 6,01              | 6,01                                | -1,31             | 18,39                           | -7,97             | BACK        |
| 27,84                               | 64,81             | -0,93                                  | 3,40              | -0,01                               | 0,76              | 13,56                           | -2,62             | BENN        |
| -63,70                              | 27,39             | 0,49                                   | 4,18              | 0,88                                | 0,30              | 4,67                            | 13,14             | BURI        |
| 70,33                               | 1,96              | -1,16                                  | 3,37              | -1,05                               | -0,74             | 2,16                            | -14,42            | CRDI        |
| 64,08                               | 26,47             | 0,91                                   | 2,95              | 1,43                                | -3,54             | 10,10                           | -14,58            | HAAG        |
| 70,12                               | 8,38              | 0,06                                   | 6,03              | 0,32                                | -1,81             | 5,52                            | -14,75            | HTON        |
| -4,15                               | 64,93             | 0,92                                   | 5,40              | 1,90                                | -0,46             | 15,41                           | 2,49              | MCAR        |
| 34,92                               | 57,49             | 4,41                                   | 6,41              | 5,33                                | -0,84             | 18,82                           | -4,74             | M RTP       |
| 57,43                               | 38,94             | -0,28                                  | 1,34              | 0,34                                | -1,98             | 10,44                           | -11,73            | STEW        |
| 65,87                               | -28,9             | -0,39                                  | 5,01              | -0,70                               | -0,67             | -3,49                           | -14,43            | THRO        |
| -54,13                              | 38,86             | 0,53                                   | 7,47              | 1,13                                | 0,59              | 8,02                            | 11,61             | VL01        |
| 0,51                                | -0,27             | 71,92                                  | 36,09             | 71,93                               | 13,38             | 70,42                           | 17,28             | ALIC        |
| -0,81                               | 0,14              | 70,56                                  | 33,13             | 70,58                               | 12,22             | 69,05                           | 17,99             | CEDU        |
| 0,60                                | -0,56             | 72,22                                  | 39,92             | 72,16                               | 15,56             | 69,99                           | 16,86             | DRAW        |
| 3,20                                | -3,46             | 72,21                                  | 18,24             | 72,41                               | -1,11             | 73,60                           | 5,97              | MOBS        |
| -0,33                               | -0,08             | 69,16                                  | 44,59             | 68,87                               | 23,64             | 63,14                           | 28,81             | PERT        |
| 1,23                                | -1,01             | 69,58                                  | 31,58             | 69,81                               | 8,09              | 71,51                           | 10,94             | TOW2        |

## 5. KARAKTERİSTİK PLAKA HAREKETLERİNİN GNSS VERİLERİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI

### 5.1 Afrika Plakası

Afrika Plakası iki küçük plaka olan Somali ve Arabistan Plakası başta olmak üzere birkaç küçük plakadan oluşmaktadır. Yaklaşık olarak 61.334.000 km<sup>2</sup> alanıyla dünyanın dördüncü büyük plakasıdır. Şekil 5.1’de gösterildiği gibi Afrika plakasının büyük bir çoğunluğunu en doğu kısmı hariç batı ve güney kesiminde bitişik olan okyanus kabuğu oluşturmaktadır. Batıda; Güney ve Kuzey Amerika plakaları, kuzeyde; Avrasya ve Ege Denizi-Anadolu Plakaları, doğuda; Arabistan-Somali Plakaları ve güneyde ise Antarktika Plakası komşuluk etmektedir.



Şekil 5.1. Afrika plakası ve komşu plakalar

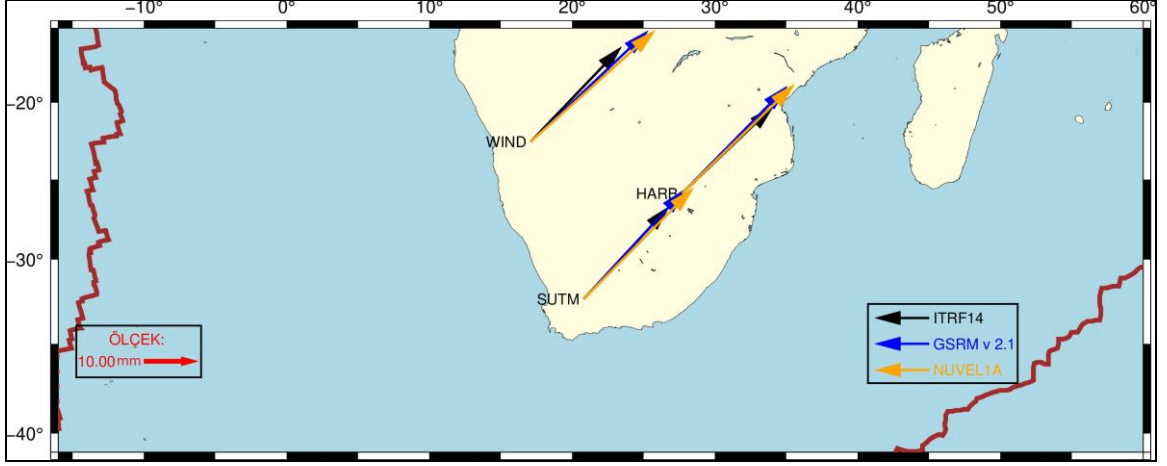
Afrika plaka kinematiği karmaşık bir yapıya sahip olmakla birlikte hem yakınsak hem de ıraksak hareketi içerisinde barındırmakta ve çeşitli fay sistemlerini içermektedir. Güney Amerika Plakası ile Afrika Plakası arasındaki sınır, plakalar birbirinden uzaklaştıkça yeni bir okyanus kabuğu olduğu farklı bir sınırdır. Bu sınır Güney Atlantik Okyanusu’nun ortasından geçer ve Arktik Okyanusu’ndan Güney Okyanusu’na kadar uzanan bir su altı dağ silsilesi olan orta Atlantik Sırtını oluşturmaktadır.

Bu bölgedeki jeodinamik araştırmalar Afrika tektonik plaka sistemi arasında meydana gelen süreçlerin daha ayrıntılı bir şekilde anlaşılmasını sağlama potansiyeli ile bilimsel açıdan büyük ilgi görmektedir. Son zamanlarda yapılan araştırmaların büyük bir bölümünde GNSS teknikleri; uzaysal yer değiştirmeleri inceleme olanağı yarattıkları ve yüksek doğruluk sağladıkları için tercih edilmektedir. Bu tekniklerin Afrika tektonik plaka sisteminin ayrı bölümlerinin jeodinamik çalışmalarında kullanılmasına ilişkin örnekler mevcuttur (Fernandes ve diğ., 2004; Fernandes ve diğ., 2013; Gomo ve diğ., 2017; Deville ve diğ., 2018; Viltres ve diğ., 2022). Belirlenen hareketlere bakıldığında 20-60 mm/yr aralığında oldukları ve Afrika tektonik plaka sisteminin farklı bölümleri için farklılık gösterdikleri anlaşılmaktadır. Savchyn ve diğ. tarafından Afrika tektonik plaka sistemi üzerindeki sabit GNSS istasyonlarının 1996-2022 yılları arasındaki ITRF14 referans çerçevesindeki yatay hızları elde edilmiştir. Elde edilen değerler 18.8-47.8 mm/yr oranında kuzeydoğu yönünde bir hareket olduğunu göstermektedir.

Çalışma bölgesinin Afrika tektonik plaka sistemi sınırları içerisindeki WIND, HARB ve SUTM sabit GNSS istasyonlarının ITRF14 referans çerçevesindeki elde edilen hızları incelendiğinde 23-24 mm/yr kuzey-doğu yönünde olduğu görülmektedir. İstasyonlardaki bu hareketin doğruluğunu değerlendirmek amacıyla GSRM v2.1 (Global Strain Rate Map) ve NUVEL-1A (Northwest University Velocity-1A) tektonik plaka hareket modelleriyle karşılaştırılmıştır. Bu 3 modelin yanı sıra istasyonların Nevada Jeodezi Laboratuvarı ve Kaliforniya Teknoloji Enstitüsü Jet Propulsion Laboratuvarı analizlerindeki hız bileşenleri elde edilerek Çizelge 5.1’de verilmiş ve modeller arasındaki uyum Şekil 5.2’de gösterilmektedir.

**Çizelge 5.1.** Afrika plakası GNSS istasyonlarının farklı plaka modellerindeki hız değerleri

| İSTASYON<br>ADI | ITRF14<br>Plaka Modeli |                   | GSRM v2.1<br>Plaka Modeli |                   | NUVEL-1A<br>Plaka Modeli |                   | Nevada Jeodezi<br>Laboratuvarı |                   | Kaliforniya<br>Teknoloji Enst.<br>Jet Propulsion<br>Laboratuvarı |                   |
|-----------------|------------------------|-------------------|---------------------------|-------------------|--------------------------|-------------------|--------------------------------|-------------------|------------------------------------------------------------------|-------------------|
|                 | N Rate<br>(mm/yr)      | E Rate<br>(mm/yr) | N Rate<br>(mm/yr)         | N Rate<br>(mm/yr) | N Rate<br>(mm/yr)        | E Rate<br>(mm/yr) | N Rate<br>(mm/yr)              | E Rate<br>(mm/yr) | N Rate<br>(mm/yr)                                                | E Rate<br>(mm/yr) |
| HARB            | 16,15                  | 16,90             | 19,78                     | 20,13             | 20,13                    | 20,71             | 18,48                          | 17,71             | 18,57                                                            | 17,70             |
| SUTM            | 17,11                  | 15,79             | 20,30                     | 20,48             | 20,48                    | 20,23             | 19,24                          | 16,72             | 19,26                                                            | 16,81             |
| WIND            | 17,52                  | 16,77             | 20,47                     | 20,55             | 20,55                    | 22,97             | 19,43                          | 19,40             | 19,08                                                            | 19,83             |



Şekil 5.2. Farklı plaka modellerinin Gamit/Globk (ITRF14 sabit) çözümleri ile karşılaştırılması

GSRM v2.1 ve NUVEL-1A plaka modelleri tektonik plakaların hareketini tanımlamak için kullanılan plaka hareket modellerinden birisidir. GSRM v2.1 modeli plaka sınır bölgeleri içindeki deformasyon alanının modellenmesinde, büyük ve küçük olmak üzere 50 plakaya ait rotasyon hareket bilgilerini, bazı plakaların hareketini önceki jeodezik plaka hareket modellerine göre daha iyi sınırlandırmasını sağlayan ve tüm bunlarda yalnızca Küresel Konum Belirleme Sistemlerinin kullanıldığı (yani VLBI veya DORIS teknikleri kullanılmadan) 1996-2013 yılları verileri ile oluşturulmuştur. NUVEL-1A modeli ise dünya üzerindeki büyük tektonik plakaların göreceli hareket hızlarını ve yönlerini tanımlar. Model, jeodezik veriler, GPS ölçümleri, deniz tabanı yayılması verileri ve jeolojik gözlemler gibi çeşitli kaynaklardan elde edilen verilerle oluşturulmuştur. Bu sayede, plakaların hareketleri hakkında daha kesin ve güvenilir bilgiler sağlar. Bu model aynı zamanda IERS tarafından da kullanılmaktadır. NUVEL-1A modeli, yaklaşık son 3 milyon yıldaki manyetik deniz tabanı-saçılımı anomalilerini esas almaktadır ve yalnızca katı levhaları kapsamaktadır. Bu modele alternatif bir yaklaşım, VLBI, SLR ve GPS gibi güncel jeodezik gözlemlerden Gerçek Levha Kinematik ve Deformasyon Modeli (Actual Plate Kinematic and Deformation Model – APKIM) oluşturmaktır (Kurt, 2009). Her iki model de küresel anlamda modeller olup farklı dönemlerde ve farklı veriler kullanılarak oluşturulmuş modellerdir. Bu durum aynı zamanda analizlerde zamansal olarak farklı dönem ve metotlarla geliştirilen modellerle karşılaştırma fırsatı sunmaktadır. UNAVCO tarafından geliştirilmiş olan Plate Motion Calculator (Plaka Hareket Hesaplayıcısı) uygulaması yardımıyla HARB, SUTM ve WIND istasyonlarına ait East ve North yönündeki hareketler iki plaka modelinde hesaplanarak, Gamit/Globk çözümlerinde elde ettiğimiz ITRF14 referans

çerçevesindeki hız bileşenleri karşılaştırıldığında 3-4 mm içerisinde tutarlı olduğu görülmektedir. Ayrıca Nevada Jeodezi Laboratuvarı ve Kaliforniya Teknoloji Enstitüsü Jet Propulsion Laboratuvarı analizleriyle ise 1-3 mm içerisinde tutarlılık göstermektedir.

## 5.2 Güney Amerika Plakası

Güney Amerika Plakası yaklaşık olarak 43.000.000 km<sup>2</sup>'lik büyüklüğüyle Güney Amerika Kıtasının tamamını ve çevresindeki okyanus tabanlarını kapsamaktadır. Levhanın batısında Nazca Plakası, doğuda Atlantik Okyanusu'nun ortasında bulunan Afrika Plakası ile kuzeyde Karayip Plakası ve güneyde Antarktika Plakası ile sınırlanmıştır. Bu levhanın batıya doğru hareket etmesi sonucu Nazca Levhası ile çarpışması sonucunda And Dağlarının yükselmesine neden olmuştur. Bu çarpışma ile bölge yoğun volkanik ve sismik aktivite gerçekleşmektedir. Özellikle dünyada meydana gelen büyük depremlerin birçoğu bu kuşak üzerinde gerçekleşmektedir. Doğuda ise Afrika Plakası'yla sınır olan Güney Amerika Plakası Atlantik okyanusunun ortasından geçen sınır bölgesinde Atlantik Okyanusunun genişlemesine neden olmakta ve bu bölgede okyanus altı çöküntü ve sırtlar oluşturmaktadır. Güneyde Antarktika plakası ile transform plaka sınırı özelliği göstermektedir.

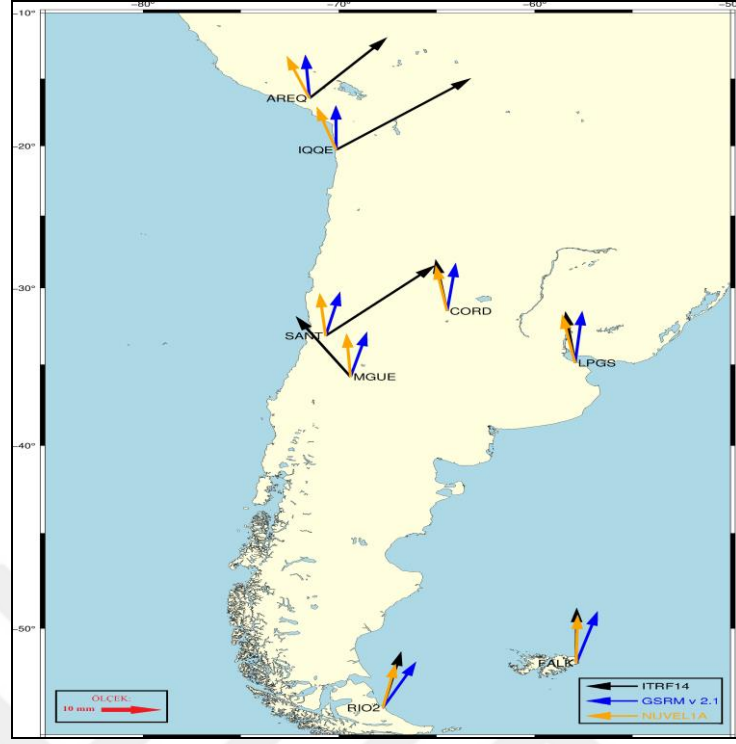


Şekil 5.3. Güney Amerika plakası ve komşu plakalar

Volkanik ve depremsel aktivitelerin yoğun olarak gerçekleştiği Güney Amerika plakasındaki kabuksal deformasyonu ve plaka hareketini sağlıklı bir şekilde gözlemleyebilmek amacıyla kıta üzerine IGS sabit GNSS ağı tesis edilmiştir. Bu plaka üzerindeki çözümlemelerimizi gerçekleştirmek için birçoğu And Dağları kuşağı üzerinde olmak üzere seçtiğimiz 8 istasyon analizlere dahil edilmiştir. Analizler sonucunda üretilen ITRF14/IGB14 referans çerçevesindeki istasyon yatay yer değişikliklerine baktığımızda And Dağlarının batı bloğunda bulunan istasyonların yatay hızları 17-24 mm/yıl kuzey doğu istikametini gösterirken, doğu bloğunda kalan noktalarda bu hızların 6-15 mm/yıl kuzey batı istikametinde olduğu Şekil 4.11a'da görülmektedir. Yapılan analizleri desteklemek amacıyla NUVEL-1A ve GSRM v2.1 plaka modelleri ile Çizelge 5.2'deki karşılaştırmalar yapıldığında ise özellikle And Dağları'nın batı bloğunda bulunan AREQ, IQQE, SANT ve MGUE istasyonlarında büyük farklılıklar olduğu görülmektedir. LPGS, CORD, FALK ve RIO2 istasyonları 5mm içerisinde diğer plaka modelleriyle tutarlı olduğu ancak AREQ, IQQE, SANT ve MGUE istasyonlarında 9-19 mm gibi büyük bir farklılık olduğu Şekil 5.4'de gösterilmektedir.

**Çizelge 5.2.** Güney Amerika plakası GNSS istasyonlarının farklı plaka modellerindeki hız değerleri

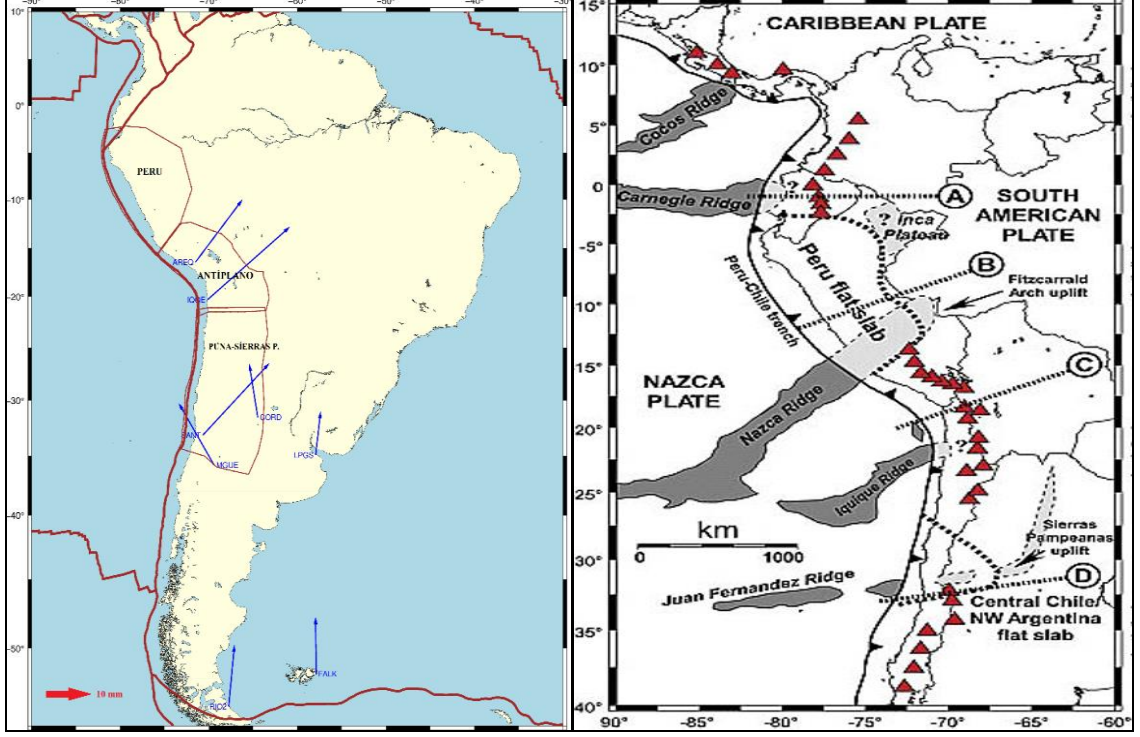
| İSTASYON ADI | ITRF14<br>Plaka Modeli |                   | GSRM v2.1<br>Plaka Modeli |                   | NUVEL-1A<br>Plaka Modeli |                   |
|--------------|------------------------|-------------------|---------------------------|-------------------|--------------------------|-------------------|
|              | N Rate<br>(mm/yr)      | E Rate<br>(mm/yr) | N Rate<br>(mm/yr)         | E Rate<br>(mm/yr) | N Rate<br>(mm/yr)        | E Rate<br>(mm/yr) |
| AREQ         | 13,46                  | 11,33             | 9,62                      | -0,62             | 9,34                     | -3,33             |
| IQQE         | 15,83                  | 19,68             | 9,83                      | -0,05             | 9,51                     | -2,85             |
| SANT         | 15,60                  | 15,98             | 9,74                      | 2,11              | 9,44                     | -0,88             |
| MGUE         | 13,39                  | -7,99             | 9,94                      | 2,41              | 9,59                     | -0,60             |
| LPGS         | 11,42                  | -1,43             | 11,49                     | 1,05              | 10,73                    | -1,90             |
| CORD         | 11,45                  | -1,68             | 10,66                     | 1,27              | 10,13                    | -1,68             |
| FALK         | 12,25                  | 0,06              | 11,49                     | 3,12              | 10,72                    | 0,20              |
| RIO2         | 12,44                  | 2,69              | 10,18                     | 4,87              | 9,76                     | 1,88              |



**Şekil 5.4.** Farklı plaka modellerinin Gamit Globk (ITRF14 sabit) çözümleri ile karşılaştırılması (G.Amerika)

Peru, Şili ve Arjantin hattındaki bu farklılığı incelediğimizde aslında bu bölgede deprem ve volkanik aktivite açısından dünyanın en yoğun bölgesi olduğu gözlemlenmektedir. Güney Amerika yayı, 7.000 kilometrelik bir mesafeyi kapsar ve Şili'nin güney sahilinin açıklarındaki Şili marjı üçlü kavşağından Orta Amerika'daki Panama kırık bölgesiyle kesiştiği noktaya kadar uzanır. Bu yay, batıda Güney Amerika'nın altına dalan Nazca levhası ile Güney Amerika levhası arasındaki sınırı belirler ve Nazca levhasının okyanus kabuğu ile litosferinin Güney Amerika'nın altındaki manto içine batışının başladığı noktadır. Bu batma süreciyle ilişkili olan yakınsama, And Dağları'nın yükselmesinden ve bu deformasyon önünde bulunan birçok bölgede aktif volkanik zincirin oluşmasından sorumludur. 1900'den bu yana, bu batma zonu ara yüzünde çok sayıda 8 ve üzeri büyük depremler meydana gelmiş ve bu depremlerden sonra yıkıcı tsunamiler oluşmuştur. Hayes P.G ve diğ.'nin (2014) Güney Amerika Plakası üzerinde meydana gelen depremleri üzerine yaptıkları çalışma sonucunda Nazca Plakasının, Güney Amerika Plakası altına daldığı 5 bölge tespit edilmiştir (Espurt, 2008). Bu bölgelerden Güney Peru ve Orta Şili dalma zonları çalışma bölgemizdeki AREQ, IQQE, SANT ve MGUE istasyonlarının bulunduğu bölgelerdir. Ayrıca bu 5 dalma zonu bölgede küçük mikro plakaların oluşmasına neden olmuştur.

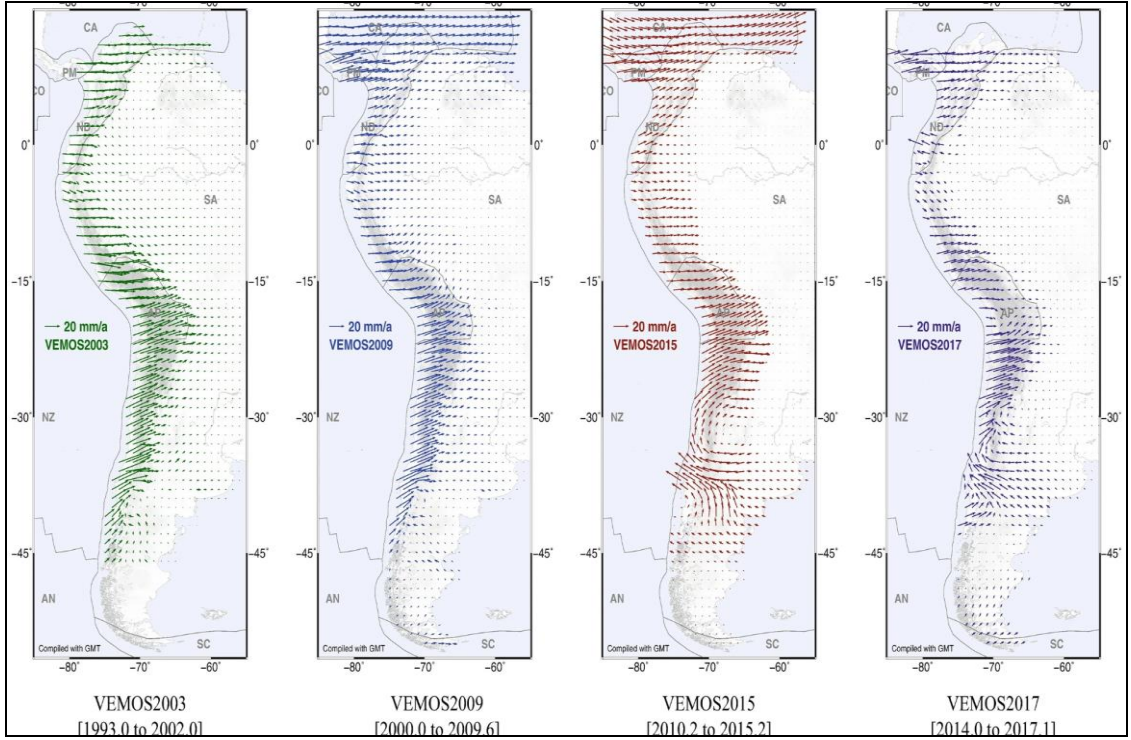
Bu istasyonların içinde bulunduğu mikro plakaları incelediğimizde Güney Amerika'nın batı sahili boyunca uzanan Peru, Antiplano ve Puna-Sierras Pampeanas plakalarından oluştuğu gözlemlenmektedir. Şekil 5.5'te istasyonlar ve içinde bulunduğu mikro plakalar gösterilmiştir.



Şekil 5.5. G. Amerika plakası mikro plakaları ve Nazca plakasının dalma zonları (Gutscher ve diğ.,2000)

ITRF14, GSRM v2.1 ve NUVEL-1A plaka modelleri küresel modeller olduklarından dolayı ve bu modellerin geliştirildiği tarihten günümüze kadar özellikle bu 3 mikro plakanın bulunduğu bölgeler başta olmak üzere birçok deprem meydana gelmiştir. Bu depremlere genel olarak bakacak olursak başlıcaları Arequipa (Mw8.4, Haziran 2001), Maule (Mw8.8, Şubat 2010), Nicoya (Mw7.6, Eylül 2012), Champerico (Mw7.4), Kasım 2012), Pisagua-Iquique (Mw8.2, Nisan 2014), Illapel (Mw8.3, Eylül 2015) ve Pedernales (Mw7.8, Nisan 2016), Quellon (Mw7.6, Aralık 2016), Atiquipa (Mw7.1, Ocak 2018), Palora (Mw7.5, Şubat 2019), Navarro (Mw8.0, Mayıs 2019), Barranca (Mw7.5, Kasım 2021) ve Azangaro (Mw7.2, Mayıs 2022) depremleridir. Bu depremler Orta Amerika'daki sismik deformasyonu yılda 5-12 mm etkilerken And Dağları'ndaki depremler yılda 35 mm'ye kadar deformasyonlara neden olmaktadır. Aktif sismik bölgelerde güçlü depremler istasyon konumlarında büyük yer değiştirmelere ve hız değişikliklerine neden olmaktadır. Yüzey deformasyonunun

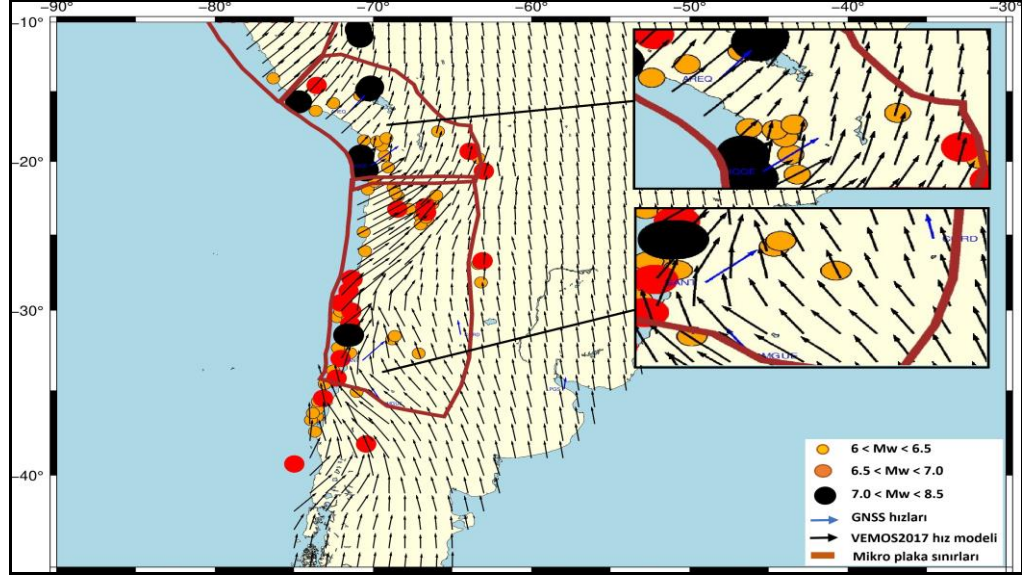
sürekli değiştiği bu bölgedeki Gamit/Globk analizi ile karşılaştırmak için bölgede ITRF'in Güney Amerika kıtasındaki bölgesel yoğunlaştırılmasıyla oluşturulan SIRGAS (Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas) referans çerçevesinin hız modeli olan VEMOS (Velocity Model For SIRGAS) modeli kullanılmıştır. 1995'te 58 istasyonla başlayan ve günümüzde 500 istasyondan oluşan SIRGAS referans ağında, özellikle Güney Amerika'nın batı kenarındaki sismik aktiviteden dolayı yüzey deformasyon modellerini sık sık hesaplanması gerekmektedir (Sanchez ve Drewes, 2020). Günümüze kadar geliştirilen VEMOS hız modelleri Şekil 5.6'da gösterilmiştir.



Şekil 5.6. VEMOS plaka modeli (Sanchez ve Drewes, 2020)

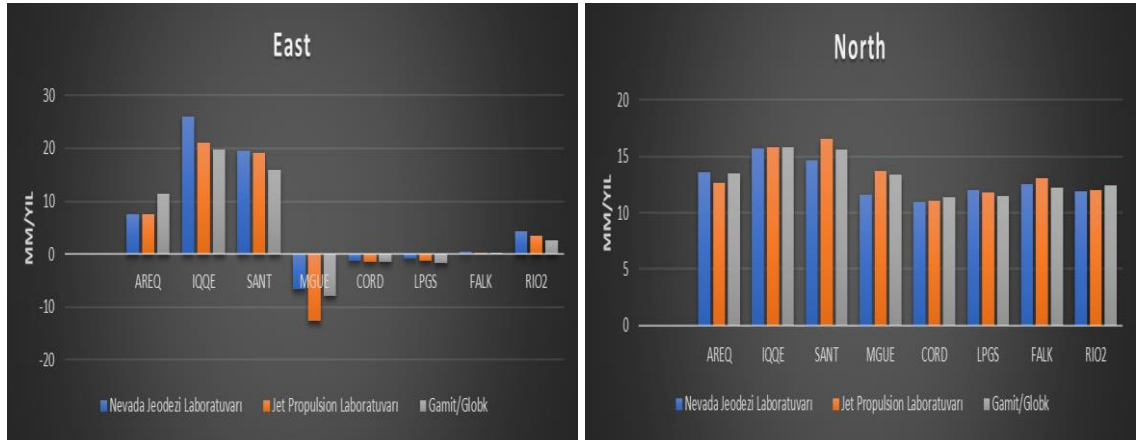
L. Sánchez ve H. Drewes (2020) 2014-2017 zaman aralığındaki analizleri sonucunda geliştirdikleri VEMOS2017 deformasyon modeli ile 2020-2023 yılları arasındaki bu bölgede yapılan analizler karşılaştırıldığında 5 mm içerisinde tutarlı olduğu görülmektedir. VEMOS2017 deformasyon modeli ile çözümlerimizin, 2015 yılından bu yana bölgede meydana gelen depremler ışığındaki karşılaştırması Şekil 5.7'de gösterilmektedir. Yine MW Herman ve R. Govers (2020)'in Güney Amerika ve Nazca plakalarının birbiriyle olan etkileşimini incelediği çalışmada Nazca levhasının Güney Şili'den Kolombiya'ya kadar uzanan hat boyunca Güney Amerika plakasının

altına yaklaşık 75-60 mm/yıl'lık bir hızla ve  $75^{\circ}$ – $78^{\circ}$  sabit bir azimutla girdiği ve bu hareketin mega depremlere neden olduğu belirlenmiştir (Herman ve Govers, 2020). Sahil hattı boyunca 20-30 mm/yıl hızla kuzeydoğu yönündeki hızlar And Dağları'nın doğusunda ise 0 mm/yıl'a azalmaktadır. Bu araştırmaya göre Kuzey Peru ve Güney Ekvador'da ayrıca alt düzlem kenarıyla neredeyse paralel (levha hareketine dik) hızlar da bulunmaktadır. Kuzey Ekvador ve Kolombiya'da (Kuzeydoğu yönüne doğru) ve Şili'de (Kilitlenmeden gelen kısalma yönüne paralel olarak doğuya) yorumlanmıştır (Metois ve diğ., 2016). Nicolas Espurt ve diğ. (2008) Güney Amerika levhasının düz dalma dinamikleri ve deformasyonu üzerine yapmış olduğu çalışmada ise Nazca plakası kabuğunun anormal derecede kalın ve yüzer olduğu ve birçok topografik anormallik (asismik sırtlar veya gri alanlarla işaretlenmiş okyanus platoları) taşıdığı tespit edilmiştir. Bu anomalilerin Güney Amerika plakasının altına tahmini dalma alanları Peru, Orta Şili, Kuzeybatı Arjantin ve Ekvator bölgeleridir. Bu bölgelerde bulunan AREQ, SANT, IQQE ve MGUE istasyonlarının küresel plaka modellerinden farklı olarak davranış sergilemesinin temelinde bu istasyonların Nazca Levhasının Güney Amerika Levhasının altına daldığı kilit noktalarda olması yatmaktadır. ITRF2014'teki GNSS İstasyon Pozisyonları ve Hızlarına Dayalı Seçilmiş Büyük Tektonik Plakaların Hareket Parametrelerinin Belirlenmesi üzerine yaptıkları çalışmada Güney Amerika bölgesindeki 29 GNSS istasyonunun verilerini kullanmışlardır. Parametre değerlerinin ( $\Phi$ ,  $\Lambda$  ve  $\omega$ ) Peru-Şili hattındaki istasyonlarda (AREQ, CALL, CONT, VALP, ANTC ve OUI3), Nazca plakasının hareketi sonucu kilitlenmesine ilişkin sismik gerilmeyi biriktirdiği için tutarsızlık göstermesi nedeniyle çözümlerden çıkarılmıştır (Jagoda M, 2021).



Şekil 5.7. VEMOS plaka modeli ve analiz verilerinin karşılaştırması

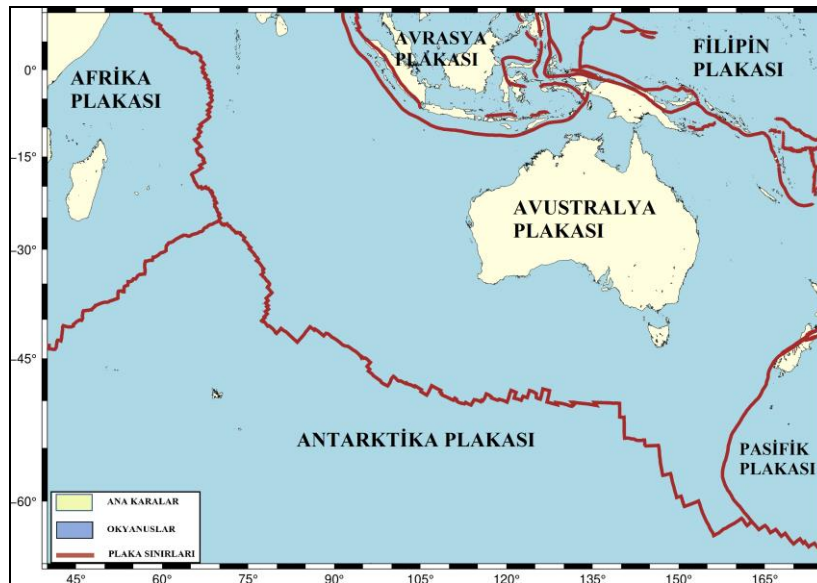
Ayrıca hem bölgesel hem de küresel öneme sahip bilimsel sorunları ve tektonik aktiviteyi incelemek için uzay jeodezisi alanında araştırmalar yürüten Nevada Jeodezi Laboratuvarı ve Kaliforniya Teknoloji Enstitüsü Jet Propulsion Laboratuvarı'nın analizlerinde kullandığı bölgedeki sabit istasyonlarla karşılaştırıldığında Gamit/Globk çözümleri ile East/North yönünde 1-5 mm içerisinde uyumlu olduğu Şekil 5.8'de gösterilmektedir (URL-20 ve URL-21).



Şekil 5.8. Gamit/Globk çözümlerinin Nevada Jeodezi Laboratuvarı ve Jet Propulsion Laboratuvarı çözümleriyle karşılaştırılması

### 5.3 Avustralya Plakası

Avustralya Plakası, Avustralya kıtası, Tasmanya, Yeni Gine, Yeni Zelanda ve Hint Okyanusu havzasının bazı kısımlarını içine alan dünyanın en büyük tektonik plakalarından biridir. Güneydoğu Asya, Hindistan, Avustralya ve Pasifik Okyanusu'nun geniş bir bölümünü kapsamaktadır. Avustralya Plakası, dünya üzerindeki jeolojik ve tektonik aktivitelerin anlaşılması için önemli bir örnektir ve çeşitli disiplinlerden araştırmacıların dikkatini çekmektedir. Doğusunda Pasifik Levhası, Güney batısında Antarktika Levhası, Kuzeyinde Avrasya ve Filipin Levhaları ve Batısında Afrika Levhası komşuluk etmektedir. Birçok levha ile komşu olmasından ötürü Avustralya Plakası sınırında çeşitli tektonik aktiviteler görülmektedir. Örneğin, Hindistan ile Avrasya Plakası arasında sert bir çarpışma sınırı bulunurken, Pasifik Plakası ile sınırında subdüksiyon bölgeleri ve çekme kuvvetleri etkilidir. Yine bu sebeptendir ki plaka sınırlarında yüksek depremsellik ve volkanik aktivite görülür. Özellikle Endonezya'nın batı kıyıları boyunca ve Avustralya'nın doğu kıyıları yakınlarında volkanik alanlar bulunur. Plaka içinde büyük jeolojik formasyonlar ve yapılar bulunur. Örneğin, Ninetyeast Sırtı gibi orta okyanus sırtları, plaka içindeki tektonik hareketliliği yansıtan önemli yerlerdir. Plaka içindeki tektonik aktivite, yerel olarak ve bölgesel olarak büyük değişimlere neden olabilir. Bu aktivite, bölgesel kabartı ve çukurların oluşumunda etkilidir. Ayrıca Neojen ve Kuvaterner dönemlerinde önemli bir faylanma ve sismik aktivite kaydına sahiptir.

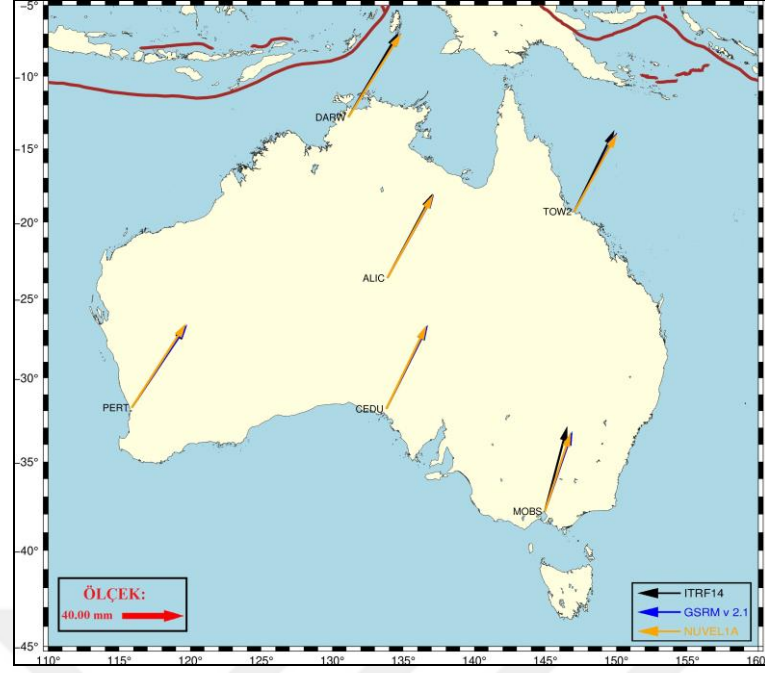


Şekil 5.9. Avustralya plakası ve komşu plakaları

47.000.000 km<sup>2</sup> büyüklüğündeki Avustralya tektonik plakası üzerinde toplam 474 adet sabit GNSS istasyonu bulunmaktadır. Bu istasyonların büyük bir çoğunluğu kıtanın güneybatı kesimine tesis edilmiştir (Savchyn, 2022). Bu istasyonlardan Avustralya kıtasının hareketini en iyi şekilde yansıtacak şekilde seçilerek analizlere dahil edilen CEDU, ALIC, TOW2, DARW, MOBS ve PERT sabit GNSS istasyonlarının yatay hareketi incelendiğinde 60-70 mm/yıl hızda kuzeydoğu yönünde olduğu görülmektedir. Bu istasyonlara ait verileri karşılaştırmak ve doğruluğunu değerlendirmek amacıyla NUVEL-1A ve GSRM tektonik plaka modelleriyle karşılaştırmaları incelendiğinde ise 1-2 mm içerisinde tutarlı olduğunu Çizelge 5.3.'te görülmektedir. Savchyn ve diğ. (2021) 2002-2021 yılları arasındaki GNSS verilerini kullanarak ana tektonik plakaların güncel hareketlerini incelediği araştırmasında Avustralya plakasının 35/71 (E-N) mm/yıl'lık bir hareket sergilediğini tespit etmiştir (Savchyn ve diğ., 2021).

**Çizelge 5.3.** Avustralya plakası GNSS istasyonlarının farklı plaka modellerindeki hız değerleri

| İSTASYON ADI | ITRF14<br>Plaka Modeli |                   | GSRM v2.1<br>Plaka Modeli |                   | NUVEL-1A<br>Plaka Modeli |                   |
|--------------|------------------------|-------------------|---------------------------|-------------------|--------------------------|-------------------|
|              | N Rate<br>(mm/yr)      | E Rate<br>(mm/yr) | N Rate<br>(mm/yr)         | E Rate<br>(mm/yr) | N Rate<br>(mm/yr)        | E Rate<br>(mm/yr) |
| ALIC         | 59,46                  | 31,75             | 58,88                     | 32,69             | 58,66                    | 32,29             |
| CEDU         | 58,11                  | 28,96             | 58,86                     | 29,16             | 58,65                    | 28,27             |
| DARW         | 59,81                  | 35,37             | 59,20                     | 36,99             | 59,15                    | 37,24             |
| MOBS         | 59,81                  | 15,72             | 56,24                     | 19,32             | 55,39                    | 18,15             |
| PERT         | 57,59                  | 38,43             | 58,37                     | 38,89             | 59,19                    | 38,05             |
| TOW2         | 57,24                  | 28,13             | 55,57                     | 29,99             | 54,60                    | 29,91             |



**Şekil 5.10.** Farklı plaka modellerinin Gamit Globk (ITRF14 sabit) çözümleri ile karşılaştırılması (Avustralya)

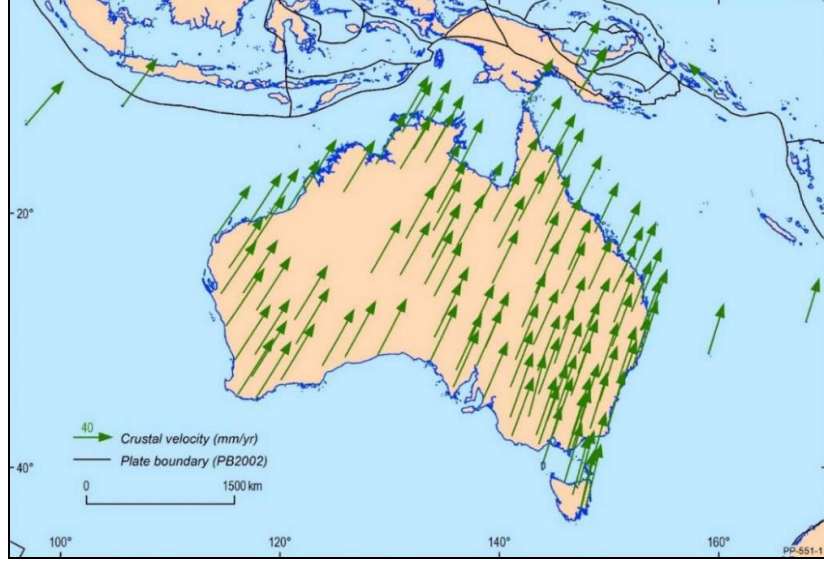
Avustralya plakasının sabit istasyon bakımından zengin, tutarlı hareketi, birçok plakaya komşuluk yapması ve bölgenin sismik hareketlilik açısından zengin olması hakkında çok sayıda araştırma yapılmasına neden olmuştur. Ahmed El-Mowafy ve Evan Bilbas'ın (2016) Batı Avustralya bölgesinin yatay plaka hareketini tahmini amacıyla bölgedeki GNSS istasyon verilerini (GPS + GLONASS) kullanarak gerçekleştirdiği çalışmalarında plakanın yer değiştirmesi ITRF2008'deki 29,65°'lik azimutla 0.0684 m/yıl olarak belirlenmiştir (Mowafy ve Bilbas, 2016). Jagoda M. (2021) ITRF14'deki GNSS istasyon konumlarından tüm büyük plakalara ait tektonik hareketleri ve bu hareket parametrelerin belirlemek amacıyla Avustralya plakası içerisinde 20 GNSS istasyonu seçmiştir. Yapılan analizler sonucunda; büyük bir kıtayı içeren ve diğer plakaların hareket hızlarından çok daha yüksek mutlak plaka hareket hızına sahip olması açısından öne çıkan Avustralya plakası, analiz edilen tüm plakalar içerisinde tektonik olarak en kararlı olduğu, son 45 milyon yıldır yaklaşık 6-7 cm/yıl hızla Avrasya-Pasifik plakalarına doğru kuzeydoğu yönünde hareket ettiği tespit edilmiştir. Bu hareketin Hindistan'ın Asya kıtasına çarpışmasının neden olduğunu belirlenmiştir. Ayrıca Jagoda'ya göre Avustralya plakasının bu hareketin bu kadar büyük olmasının altında yüksek sismik aktivite olduğu düşünülmektedir (Jagoda, 2021).

Avustralya plakasının hareketi genellikle Endonezya bölgesindeki batma bölgeleriyle ilişkili çekme kuvveti tarafından yönlendirilir. Bu hareket, Himalaya, Yeni

Zelanda ve Yeni Gine orojenleri (dağ oluşumları) gibi yerlerde kıta-kıta çarpışmaları tarafından karşı dirençle karşılaşır. Avustralya'daki yerinde stres alanı, deprem odak mekanizması çözümleri, kuyu kırıkları ve kırık dizilerinden çıkarılan bilgilere dayanarak değerlendirildiğinde, bir levha içi bölge için olağandışıdır. Bu stres alanı, maksimum yatay basınç stresi azimutları ( $sH_{max}$ ) olarak adlandırılan, kuzey-kuzeydoğu yönlü levha hızı vektörüne dik bir açıda yönelmiştir.  $sH_{max}$ 'nin yönelimi Avustralya'nın farklı bölgelerinde değişmektedir:

- Batı ve güney-orta Avustralya'da doğu-batı yönlü,
- Kuzey, orta ve orta-doğu Avustralya'da kuzeydoğu-güneybatı yönlü,
- Kuzeydoğu Avustralya'da kuzey-kuzeydoğu-güney-güneybatı yönlü,
- Güneydoğu Avustralya'da kuzeybatı-güneydoğu yönlü.

Bu stres yönelimindeki farklılıklar, bölgesel tektonik kuvvetler arasındaki karmaşık etkileşimleri ve Avustralya kıtasını etkileyen levha hareketlerinin dinamik doğasını yansıtmaktadır. Avustralya Plaka Hareket Modeli (APMM) (ICSM, 2021 ve 2020), ITRF2014 ile hizalanmış küresel bir Yer Merkezli Yer Sabit (ECEF) modelidir. Mevcut yayınlanan APMM, Avustralya'nın statik Jeosentrik Verilerini (GDA2020) ve zamana bağlı Avustralya Yersel Referans Çerçevesi (ATRF) koordinatlarını (ICSM, 2021) üretmek için kullanılan dönüşümün temelini oluşturmaktadır. Çünkü ITRF Avustralya plakasından yalnızca 15 istasyon verisi kullanarak tanımlanırken, ATRF 109 sabit GNSS istasyon verisinden yararlanılarak tanımlanmıştır. Geleneksel bir Euler kutup tektonik plaka hareket modelidir ve 2005.0'dan 2035.0'a kadar 30 yıllık geçerlilik süresine sahiptir. Bu plaka modeline göre Avustralya tektonik plakasının yılda yaklaşık 7 cm hızla kuzey-kuzeydoğuya hareket ettiği Şekil 5.10'da gösterilmektedir (McCubbine ve diğ., 2023).



Şekil 5.10. APMN'e göre Avustralya tektonik levha hareketi (ICSM, 2021)

#### 5.4 Antarktika Plakası

Antarktika plakası, yaklaşık 60.916.000 km<sup>2</sup>'lik alana sahip olup dünyanın beşinci büyük plakasıdır. Plaka Antarktika kıtasının tamamı ve bu kıtayı çevreleyen okyanuslardan oluşmaktadır. Antarktika Levhası Nazca, Güney Amerika, Afrika, Somali, Avustralya ve Pasifik Levhalarıyla komşu pozisyonundadır. Antarktika plakasının oluşumu, Gondwana süper kıtasının parçalanmasıyla hemen hemen aynı zamanda başlamıştır. Antarktika plakasının Güney Kutbu'na ayrılması ve dairesel Antarktika Akıntısının ortaya çıkması, yaklaşık 35 milyon yıl önce onun izolasyonuna ve buzullaşmasına yol açmıştır. Antarktika kıtası, batı Ross Denizi'ni çevreleyen kuzey Victoria Toprakları'ndan Weddell Denizi'ne kadar uzanan muhteşem bir dağ sırası ile ayrılmış Doğu ve Batı Antarktika'dan oluşur. Doğu Antarktika bölgesinin neredeyse tamamı kalınlığı 1-2 km olan buzla kaplı iken Batı Antarktika yaklaşık 500 milyon yıl önce küçük mikro plakaların birleşmesiyle ortaya çıkan genç bir platformdur. Batı Antarktika'nın kabuğu Doğu Antarktika'dan daha kalın ve daha sıcaktır. Batı Antarktika'nın ana tektonik yapısı, Ross Denizi ve Transantarktik Dağlar boyunca uzanan Batı Antarktika resif sistemidir Batı Antarktika, yarıklar ve topografik çöküntülerle ayrılmış beş tektonik bloktan oluşan bir kolajdan oluşur: Antarktika Yarımadası, Thurston Adası, Ellsworth Whitmore Dağları, Haag Nunataks ve Marie Byrd karası.

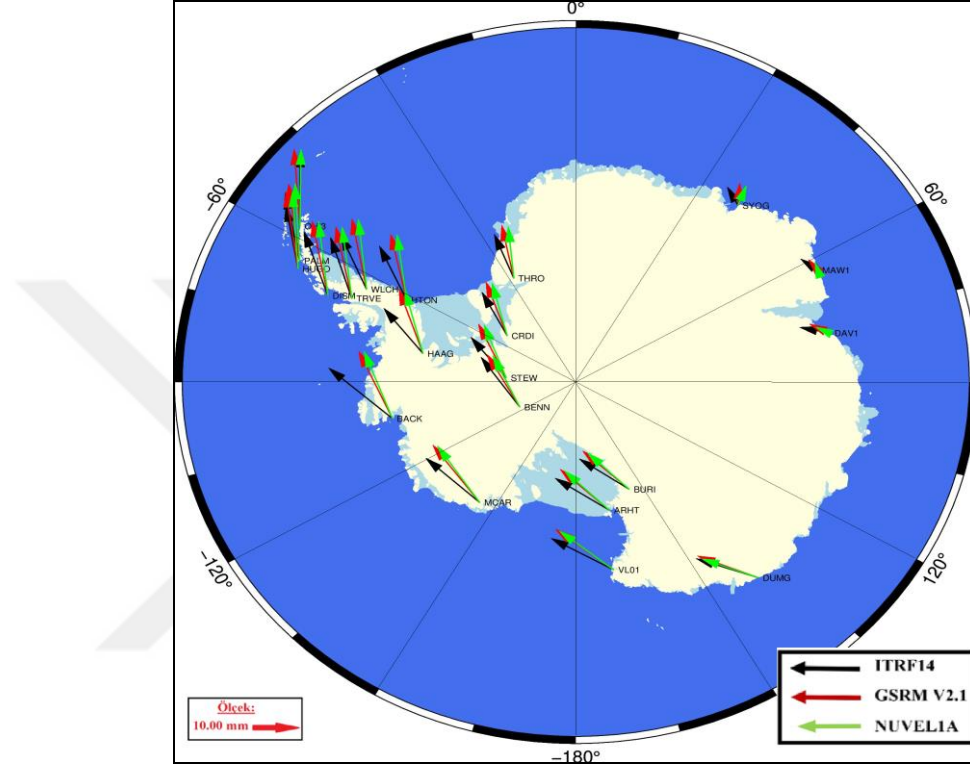


Şekil 5.11. Antarktika plakası ve komşu plakalar

Antarktika plakasında gerçekleştirilen jeodinamik çalışmalar diğer büyük plakalara göre çok daha yavaş ilerlemektedir. Bunun asıl nedeni plakanın geniş buzlarla kaplı coğrafi mesafelere ve iklim olarak elverişli olmamasına dayanmaktadır. Tüm bu zorluklara rağmen Antarktika Plakası jeodinamik araştırma konuları, tektonik plakalar arasında meydana gelen süreçlerin daha ayrıntılı bir şekilde anlaşılmasını sağlayacak olması nedeniyle büyük bilimsel ilgi görmektedir. Özellikle jeodinamik süreçleri izlemek ve kara yüzeylerindeki deformasyonu gözlemleyebilmek için GNSS teknolojilerinin geliştirilmesi, son tektonik plaka hareketi modellerine dayanan yerel referans koordinat sistemlerinin kesin tanımı ve uygulaması olmadan mümkün değildir. Bu süreçleri gözlemleyebilmek adına Antarktika plakasında IGS ve Polenet sabit GNSS Ağları kurulmuş ve yatay-düşey hareketlilik daha hassas bir şekilde gözlemlenmiştir. Tesis edilen ağlara sayı olarak bakıldığında; iklim ve ulaşım açısından daha elverişli olan Batı Antarktika bölgesinde daha yoğun olduğu fakat özellikle iklim ve arazi bakımından daha zor olan Doğu Antarktika bölgesinde az olduğu gözlemlenmiştir.

Antarktika plakasının tektonik hareketini ve komşu plakalarla olan etkileşimini en iyi şekilde yansıtabilmesi bakımından analizlere dahil edilen 22 adet istasyonun 18 tanesi Batı Antarktika bölgesinde, 4 tanesi ise Doğu Antarktika bölgesinde olacak şekilde seçilmiştir. Çözümlemeler sonrasında istasyonların ITRF14/IGB14 referans çerçevesindeki hızları incelendiğinde Batı ve Doğu Antarktika Bölgelerinin birbirinden farklı şekilde yatay plaka hareketi sergilediği Çizelge 5.4'te gösterilmiştir. Bu tektonik hareketi farklı plaka modelleriyle karşılaştırmak amacıyla NUVEL-1A ve GSRM v2.1 plaka modelleri seçilmiştir. ITRF14/IGB14 referans çerçevesindeki çözümlerimiz

(BACK ve MCAR istasyonları hariç) ile bu plaka modellerinin 0-5 mm içerisinde tutarlı olduğu Çizelge 5.4'te görülmektedir. NUVEL-1A, GSRM v2.1 ve ITRF14 plaka modellerinin yatay hız vektörleri arasındaki karşılaştırmaları Şekil 5.12'de gösterilmiştir. Aynı zamanda Batı Antarktika ve Doğu Antarktika bölgelerinin birbirinden farklı karakteristik özellik taşıdığı da görülmektedir.



Şekil 5.12. Farklı plaka modellerinin Gamit/Globk (ITRF14 sabit) çözümleri ile karşılaştırılması (Antarktika)

Çizelge 5.4. Antarktika plakası GNSS istasyonlarının farklı plaka modellerindeki hız değerleri

| İSTASYON ADI | ITRF14<br>Plaka Modeli |                   | GSRM v2.1<br>Plaka Modeli |                   | NUVEL-1A<br>Plaka Modeli |                   |
|--------------|------------------------|-------------------|---------------------------|-------------------|--------------------------|-------------------|
|              | N Rate<br>(mm/yr)      | E Rate<br>(mm/yr) | N Rate<br>(mm/yr)         | E Rate<br>(mm/yr) | N Rate<br>(mm/yr)        | E Rate<br>(mm/yr) |
| THRO         | 11,72                  | 1,32              | 12,92                     | 3,86              | 12,00                    | 5,00              |
| CRDI         | 11,05                  | 5,26              | 11,89                     | 7,83              | 10,66                    | 8,44              |
| OHI3         | 10,01                  | 15,70             | 11,44                     | 15,52             | 10,17                    | 16,34             |
| HTON         | 11,79                  | 8,91              | 11,01                     | 12,71             | 9,72                     | 13,28             |
| WLCH         | 11,31                  | 9,66              | 10,76                     | 14,22             | 9,46                     | 14,81             |
| PALM         | 10,36                  | 13,68             | 10,73                     | 16,15             | 9,43                     | 16,83             |
| HUGO         | 9,02                   | 13,13             | 10,52                     | 16,36             | 9,22                     | 17,01             |
| TRVE         | 10,32                  | 12,22             | 10,27                     | 15,11             | 8,96                     | 15,63             |
| DISM         | 10,88                  | 12,88             | 10,09                     | 15,93             | 8,77                     | 16,45             |
| HAAG         | 10,94                  | 9,18              | 8,62                      | 14,45             | 7,31                     | 14,60             |
| STEW         | 8,63                   | 9,57              | 7,21                      | 12,96             | 5,92                     | 12,80             |

|      |        |       |        |       |        |       |
|------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
| BACK | 11,31  | 15,30 | 3,92   | 17,93 | 2,76   | 17,62 |
| BENN | 2,39   | 14,97 | 0,83   | 14,9  | -0,15  | 14,11 |
| MCAR | -1,76  | 16,19 | -5,29  | 16,8  | -5,74  | 15,85 |
| VL01 | -10,08 | 12,38 | -12,16 | 11,00 | -11,57 | 10,21 |
| ARHT | -10,46 | 10,00 | -12,37 | 8,42  | -11,73 | 7,52  |
| BURI | -11,37 | 7,10  | -12,85 | 5,59  | -12,00 | 4,81  |
| DUMG | -12,43 | 7,58  | -12,74 | 6,92  | -11,64 | 6,68  |
| DAV1 | -6,38  | -2,88 | -4,02  | -3,18 | -2,85  | -2,19 |
| MAW1 | -2,18  | -4,31 | -0,68  | -3,32 | 0,29   | -2,06 |
| SYOG | 1,97   | -4,78 | 4,48   | -3,22 | 5,01   | -1,69 |

Batı Antarktika'nın özellikle Antarktika yarımadası bölgesi yıllık 14-18 mm hızla kuzey doğu yönünde hareket ederken, Doğu Antarktika bölgesinin Batı Antarktika'ya göre nispeten daha yavaş bir hızda yıllık 4-6 mm hızla güney batı yönünde hareket ettiği gözlemlenmiştir. Genel olarak bakıldığında Antarktika kıtası ITRF14/IGB14 referans çerçevesinde sürekli GNSS istasyonlarının yatay yer değiştirmelerinin hız vektör yönünün saat ibresi yönünde olduğunu göstermektedir.

BACK ve MCAR istasyonlarının NUVEL-1A ve GSRM v2.1 plaka modelleriyle özellikle N yönündeki hızlarında önemli farklılıklar olduğu Şekil 5.12'de görülmektedir. Çizelge 5.4 incelendiğinde MCAR istasyonunun N yönünde 5 mm'lik fark bulunurken bu fark BACK istasyonunda 7 mm mertebesine kadar çıkmaktadır. Bu istasyon analiz sonuçlarının daha sağlıklı karşılaştırmalarının yapılabilmesi için Nevada Jeodezi Laboratuvarı ve Kaliforniya Teknoloji Enstitüsü Jet Propulsion Laboratuvarı analizlerinden elde edilen yatay hız bilgileri incelenmiştir. BACK noktasının N ve E hız bileşenleri  $V_n=9,46$  mm/yıl,  $V_e=16,63$  mm/yıl; MCAR noktasının  $V_n=2,62$  mm/yıl,  $V_e=17,18$  mm/yıl olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlar Gamit/Globk analizlerinden elde edilen hız bileşenleri ile karşılaştırıldığında N yönünde 1-2 mm, E yönünde ise 1 mm aralığında tutarlı olduğu görülmektedir. Ayrıca Özel ve diğ. (2024)'nin Antarktika kıtasının tektonik hareketini izlemek için gerçekleştirdikleri analizlerde BACK ( $V_n=10,39$  mm/yıl,  $V_e=15,61$  mm/yıl) ve MCAR ( $V_n=-2,86$  mm/yıl,  $V_e=16,15$  mm/yıl) noktalarının yine 1 mm içerisinde tutarlı olduğu görülmektedir (Özel ve diğ., 2024).

Ihor Savchyn ve diğ. (2022)'nin 1994-2021 yılları arasında Antarktika plakasındaki 60 sabit GNSS istasyon verisini kullanarak ITRF2014/IGS14 referans çerçevesinde yatay yer değiştirme hız vektörlerinin bileşenlerini belirlemiştir. Analizde kullanılan BACK, BENN BURI, CRDI, DUMG, HAAG, HUGO, MAW1, MCAR, STEW, SYOG ve THRO sabit istasyonlarının yatay yer değiştirme miktarları Savchyn'in istasyon hızları ile karşılaştırıldığında 1-2 mm içerisinde tutarlı olduğu görülmektedir (Savchyn ve diğ., 2022). Yine Dietrich ve diğ. (2004)'nin Antarktika

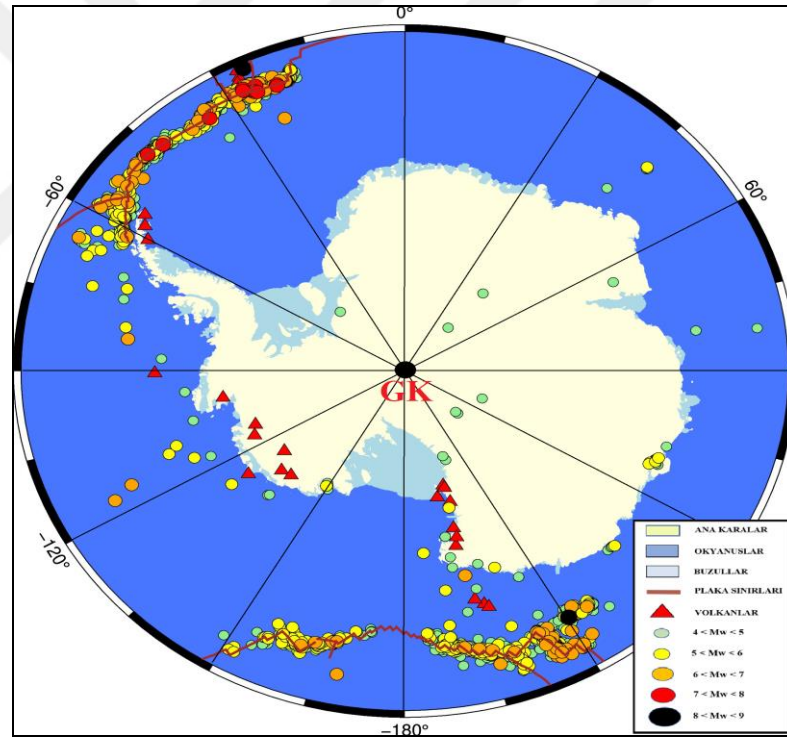
bölgesindeki Antarktika Araştırmaları Bilimsel Komitesi (SCAR; Scientific Committee on Antarctic Research) kapsamındaki 20’den fazla GNSS istasyonlarından elde edilen veriler Bernese GPS Yazılımı ile analizleri sonucunda ITRF2000 referans çerçevesinde belirlenen yatay yer değiştirme miktarlarının ortak noktalarla karşılaştırıldığında uyumlu olduğu görülmektedir (Dietrich ve diğ., 2004).

M. Berrocoso ve diğ. (2008)’nin Güney Shetland Adaları, Bransfield Denizi ve Antarktika Yarımadası bölgelerinde kurmuş oldukları jeodezik ağlarla bölgede meydana gelen tektonik ve volkanik süreçleri incelemeyi amaçlamışlardır. Özellikle Antarktika Yarımadasında yapılan 1987-2007 kampanya ölçümlerinin analizi sonuçlarına bakacak olursak bölgedeki istasyonlarda yatay hızların yıllık 15 mm seviyesinde olduğu belirtilmiştir (Berrocoso, 2008). Savchyn ve diğ. (2021)’nin Ukrayna adına Antarktika bölgesinde kurduğu ilk istasyon olan Antarktika İstasyonu Akademik Vernadsky’nin (ASAV) 2019-2021 yılları arasındaki gözlem verilerinin Bernese v.5.2 yazılı ile IGB08 koordinat sistemindeki analizi sonucu yatay yer değiştirme vektörünün kuzeydoğu yönünde ( $V_n = 10,83 \pm 0,10$  mm/yıl,  $V_e = 13,43 \pm 0,09$  mm/yıl,  $V_u = 5,39 \pm 0,29$  mm/yıl) ve tektonik levha hareketiyle uyumlu olduğu tespit edilmiştir (Savchy ve diğ., 2021). Dietrich R. ve Rulke A. (2002)’nin Batı ve Doğu Antarktika bölgelerindeki istasyonların 1995-1999 yıllarındaki SCAR GPS kampanyalarından elde edilen verilerin ITRF2000 referans sisteminde Bernese V4.2 yazılımı ile değerlendirmesi sonucunda üretilen yatay hareket hızlarına baktığımızda; ortak olan DAV1 (6,58 mm/yıl), DUMG (14,18 mm/yıl), MAW1 (4,49 mm/yıl), PALM (17,5 mm/yıl) ve SYOG (4,35 mm/yıl) istasyonlarının yatay hız vektör bileşenleri miktarı Gamit/Globk analizleri ile yaklaşık 1 mm içerisinde tutarlılık göstermektedir (Dietrich ve Rulke, 2002).

#### 5.4.1 Antarktika plakasının depremselliği

Buzul depremleri genellikle Grönland, Antarktika ve Alaska gibi buzul kütlelerinin bulunduğu bölgelerde meydana gelir. Bu depremler ilk olarak Küresel Sismografik Ağ üzerinde kaydedilen uzun dönemli sismogramlarda keşfedilen yeni bir sismik olay sınıfıdır. Bu tür depremlerin nedenlerine bakıldığında, buzul kütlelerinin yer çekimi ve kendi ağırlıklarından dolayı yavaşça akması veya kırılmaları sonucu buzul tabanındaki yüzeylere sürtünmesi ile ani, büyük kaymalar oluşturarak deprem benzeri sarsıntılar oluşturdukları görülür. Bunun yanında buzul altındaki volkanik aktivite, buzul tabakasının erimesi sonucu buz kütlelerinin hareket etmesine yol açabilir. Buzul

depremleri, belirgin bir mevsimsellik gösterir ve çoğunlukla yaz ayları sonlarında meydana gelir. Buzul depremlerinin fiziksel mekanizmasına dair ilk varsayımlar, sismolojik verilerin detaylı analizi ve yorumlanmasına dayanarak, depremlerin büyük bir buzul hacminin ani kayma hareketiyle oluştuğu hipotezine yol açtı. Bu hipotezleri GPS saha çalışmalarıyla sağlanan verilerle test edilmeye başlandı ve bu araştırmalardan elde edilen sonuçlar, buzul depremleri ile büyük kırılma olayları arasında açık bir mekânsal ve zamansal ilişki olduğunu gösterdi. Wiens ve diğ. (2008), Batı Antarktika'daki Whillans Buz Akışı'nın sismojenik yapış-kayma davranışını tanımlamak için uzun dönem yüzey dalgası gözlemleri ve buz yer değiştirmelerinin GPS ölçümlerini birleştirdiler. Araştırmalarında, buzul akışının 20.000 km<sup>2</sup>'den fazla bir taban alanı üzerinde ani kayma hareketini, toplamda 70 cm'ye kadar olan yer değiştirme ile tanımlamışlardır (Nettles ve Ekströn, 2010).



**Şekil 5.13.** Antarktika levhasında 1990-2024 yılları arası meydana gelen depremler ve volkanik patlamalar (USGS)

Şekil 5.13'te gösterilen 1990 yılından günümüze kadar gerçekleşen deprem ve volkanik patlamaların konumlarına baktığımızda bu aktivitelerin Güney Amerika ve Pasifik levhası sınırlarında meydana geldiği görülmektedir. Kıta üzerinde açık yeşil renkle gösterilen depremler (4-5 Mw) ise çok büyük depremler olmayıp daha çok buzul

depremleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Smithsonian Enstitüsü'nün Küresel Volkanizma Programı verilerine göre bu bölgede üç adet volkanik patlama gerçekleşmiştir. Bunlar 1905'te Penguen Adası; 1970'te Deception Adası ve 1972'de Erebus Dağı patlamalarıdır. Özellikle Batı Antarktika Bölgesinde yoğunlaşan volkanik ve sismik aktiviteler, yine bu bölgede yatay ve düşey deformasyona neden olmaktadır. Vries M. ve diğ. (2018) Batı Antarktika'nın buzul altyapı topoğrafyası üzerine yapmış oldukları araştırmada bölgede 138 volkanik yapı keşfi gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca yüksek bölgesel ısı akıları, jeomanyetik anomaliler ve yakın tarihli alt buzul volkanizmasına dair kanıtlar Batı Antarktika Rift sisteminin şu anda aktif olduğunu göstermektedir (Vries ve diğ., 2018). Öte yandan Doğu Antarktika Bölgesinde meydana gelen depremler ise genelde plaka içi depremler olarak gerçekleşmektedir. Kaminuma K.'ın (1976) Antarktika'nın sismisitesi üzerine gerçekleştirdiği araştırmanın sonuçlarına baktığımızda ise, Batı Antarktika ve Ross-Weddell Graben Bölgesinde küçük depremler meydana geldiği ancak aktivitenin çok düşüktür olduğu görülmektedir. Lutzow-Holm Körfezi (Syowa İstasyonu)-Doğu Antarktika bölgesi çevresindeki sismisite, ayda bir mikro depremden azdır. Ancak, Doğu Antarktika Shield bölgesinin marjinal kuşağında depremler meydana gelmektedir, Victoria Land'de (McMurdo İstasyonu) Dry Valleys çevresindeki sismisite, her iki günde bir mikro veya ultra mikro deprem üretmektedir. Ayrıca Kaminuma (1976), Batı Antarktika bölgesinin Doğu Antarktika'ya göre 10 kat daha sismik aktiviteye maruz kaldığı ve Antarktika'daki volkanik bölgelerdeki sismik aktivitenin, çevresindeki bölgelere göre nispeten daha yüksek olduğu belirtilmiştir (Kaminuma, 1976).

#### **5.4.2 Antarktika plakasının diğer plakalara göre hareketi**

Jeolojik yapılar (plakalar) hem deformasyon hem de göreceli hareketi açısından değerlendirilir. Deformasyonun gerçekleştiği koşulların dinamik çalışması ilgili plakaların veya blokların göreceli hareketlerinin incelenmesiyle tamamlanır. Bu yaklaşımın bir diğer adı kinematiktir. Göreceli plaka hareketinin sabit hızda gerçekleşiyor olduğu düşünülebilir. Meydana gelen ivmeler ve yavaşlamalar o kadar uzun süre boyunca gerçekleşir ki, üretilen kuvvetler önemli olmayacak kadar küçüktür. Sabit hızdaki plaka hareketleri kendi başlarına kuvvet oluşturmaz veya deformasyon üretmezler. Göreceli harekete ilişkin kuvvetler bu hareketin düzlemsel sınırları boyunca dirençler veya karşıt iki hareketli blok arasındaki sürüklenme ile oluşur (Park, 1988).

Sismik bölgelerin kararlı plakaların sınırlarını temsil ettiği ve her bir plakanın sürekli bir sismik aktivite kuşağı ile tanımlanabileceği Isacks ve diğ. (1968) tarafından öne sürülmektedir. Sismik aktivite, yüksek gerilme oranlarına sahip fay hareketlerini temsil ettiğinden, her bir plaka, komşularının her birine göre göreceli bir hareket halinde olmalıdır. Bu hareketler: plakaların birbirinden ayrıldığı ve okyanus sırtlarında yeni plakalar oluşturulduğu sınırlar, birbirinin üzerine veya altına dalma şeklinde tahrip edici ve yıkıcı sınırlar, dönüşüm fayları boyunca yatay bir kayma yer değiştirme olacak şekilde genelde 3 türde gerçekleşir. Plaka sınırlarının konumu, tektonik aktivitenin yerini belirlediği gibi sınır türü ise oradaki tektonik süreçlerin doğası hakkında bilgi vermektedir (Isacks ve diğ., 1968).

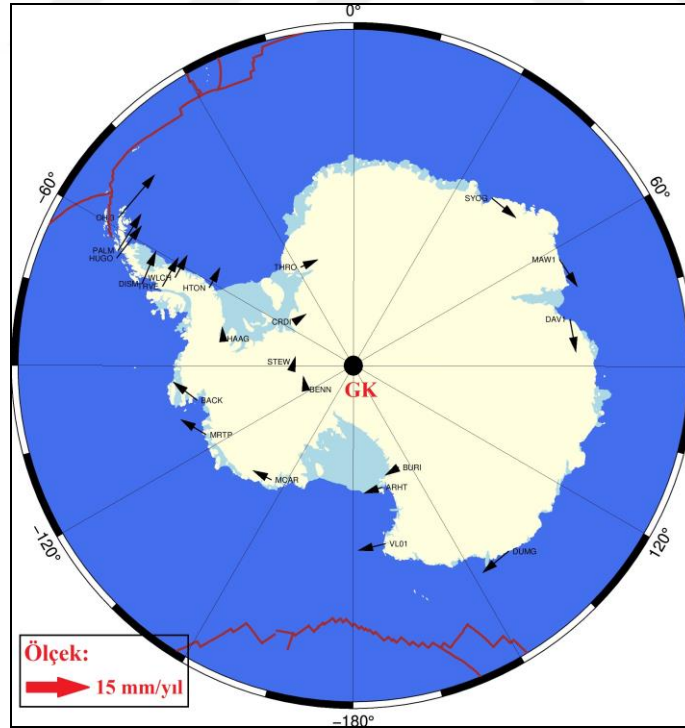


Şekil 5.14. Antarktika plakasına komşu plakalar

Antarktika plakasının kıtasal bölgesinin çok yavaş bir şekilde hareket ettiği Çizelge 4.6'da gösterilmiştir. Doğu Antarktika bölgesinde yılda 5-7 mm'lik bir hareketlilik varken Batı Antarktika bölgesinde özellikle aktif yerel tektoniğe maruz kalan Antarktika Yarımadası'nın kuzey kesiminde bu hareket yılda 15 mm'den daha fazladır. Şekil 5.14'de gösterilen Antarktika plakasının komşu plaka sınırlarında her birine ait farklı karakteristik özelliklerini yansıtan hareketler gerçekleşmektedir. Çizelge 4.8'de Globk aşamasında her bir plakayı sabit alarak elde edilen diğer plakalar üzerinde

bulunan sabit GNSS istasyonlarının yatay yer değiştirme hareketleri gösterilmiştir. Bu bölümde Antarktika plakası sabit olarak gerçekleştirilen analizlerden elde edilen yatay yöndeki hareketlerin gerçekteki ilgili plaka sınırının karakteristik hareketini yansıtır yansıtmadığını incelenmiştir.

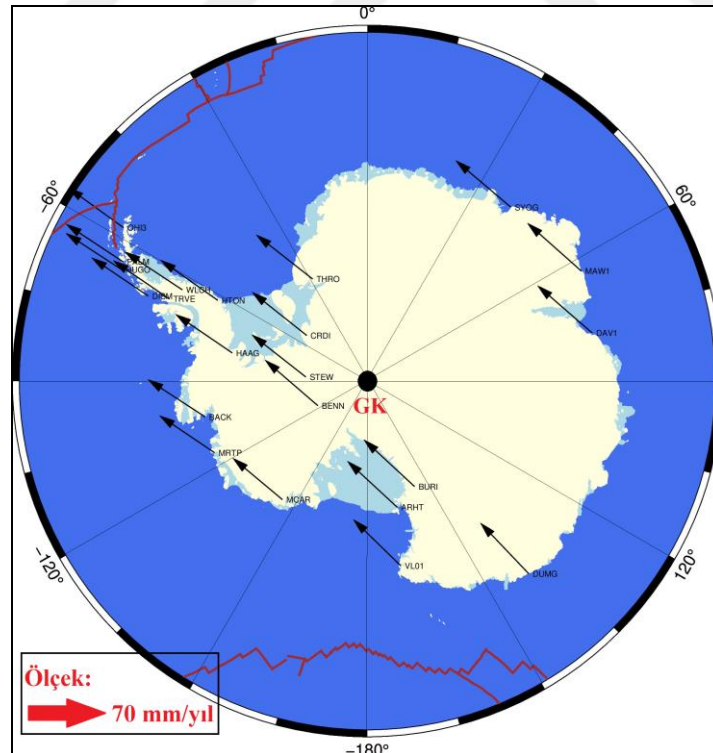
İlk olarak Güney Amerika ve Antarktika plakaları arasındaki sınır hareketi incelenecek olursa; Bouvet l kavşağından Güney Sandwich çukurunun güney ucuna kadar uzanan 2.000 km uzunluğundaki Amerika-Antarktika Sırtı, Doğu Antarktika ve Güney Amerika levhaları arasında yavaş sol yan kayma hareketini sağlar (Demets ve Merkoriev, 2019). Barker F.P. ve Lawver A.L. (1988) Güney Amerika ve Antarktika plaka sınırında geçtiğimiz 50 milyon yıldıki Sandwich çukurunun doğusundaki manyetik ve batimetrik verilerini kullanarak, okyanus tabanı yaşlarını, yayılma hızlarını ve yönlerini belirlemek için araştırma yapmıştır. Buna göre Güney Amerika-Antarktika Sırtı boyunca yayılma hızlarının 18-30 mm arasında değişmekte olduğu ve doğu-batı doğrultusunda, yaklaşık 20 milyon yıl önce 120°-300° civarında olduğu tespit edilmiştir (Barker ve Lawver, 1988). Bu da levha sınırının doğu batı yönünde yanal atımlı bir transform plaka sınırı olduğunu göstermektedir.



şekil 5.15. Güney Amerika plakası sabit çözümler



dönüş kutbu çok az değişmiştir ve bu hareket iki levha arasında Hint-Antarktik okyanus ortası sırtının oluşmasına neden olmuştur (Hartnady ve Roex, 1985). Afrika, Hint ve Antarktika levhalarının paleopozisyonları, Batı ve Güney Hint Okyanusu'ndaki beş asismik yapının (Crozet ve Kerguelen platoları, Marion Dufresne, Léna ve Ob denizaltı dağ sırası, Madagaskar ve Maskaren sırtları) kökeni ve oluşum süreçleri esas olarak Antarktika, Afrika ve Hint levhaları arasındaki göreceli hareketlerle ilişkilidir. Volkanik olaylar, bu levhalar arasındaki göreceli hareketlerdeki büyük değişikliklerle eşzamanlıdır ve dolayısıyla sırt sıçramaları, asimetrik yayılma ve yayılma hızı veya yönündeki hızlı değişimler gibi Batı ve Güney Hint Okyanusu'nun kinematik örüntüsünde sık görülen düzensizliklerin oynadığı rolü doğrulamaktadır (Goslin ve Patriat, 1983). Afrika ve Antarktika arasındaki yayılma, Bouvet Üçlü Kavşağı ile Hint Üçlü Okyanusu Kavşağı arasındaki Güneybatı Hint Sırtı boyunca gerçekleşir (Cande ve diğ., 2010). Bu yayılmanın kanıtı olarak analizlere dahil edilen Güney Afrika kısmındaki HARB, SUTM ve WIND istasyonlarının Çizelge 4.8'deki Antarktika Sabit çözümlerine bakıldığında yıllık 11 mm/yıl bir hızla Antarktika plakasından uzaklaştığı izlenmektedir.



**Şekil 5.17.** Avustralya plakası sabit çözümler

Antarktika levhası Güney Amerika plakasını aştığı Güney Şili açması boyunca yaklaşık 20 mm/yıl gibi düşük bir seviyede hareket ederken bu, Avustralya-Pasifik plakası sınırında 70-100 mm/yıl'a kadar değişmektedir. Richard G. Gordon (1995) NUVEL 1 plaka modelinde mevcut plaka sınırlarındaki açısal hızları hesaplamış ve Avustralya-Antarktika plaka sınırındaki hareketliliği  $0.68 \text{ deg Myr}^{-1}$  (75.613 mm/yıl) olarak belirlenmiştir (Gordon, 1995).

Kristine M. Larson ve diğ. (1997) 1991-1996 yılları arasında 204 adet GNSS istasyon verilerini kullanarak gerçekleştirdiği analizlere dayanarak Afrika, Antarktika, Avustralya, Avrasya, Nazca, Pasifik, Kuzey ve Güney Amerika plakalarının hızları hakkında tahminlerde bulunmuştur. Analizlerinden elde ettiği, Avustralya ve Antarktika plaka sınırları arasındaki açısal hız tahminlerini, NUVEL 1 plaka modeli ve Smith ve diğ.'nin (1996) VLBI, SLR, GPS ve DORIS verilerinin ayrı analiz sonuçlarıyla karşılaştırmıştır. Sonuç olarak iki plaka arasında  $0,65\text{-}0,64 \text{ deg Myr}^{-1}$  (71-72 mm/yıl) büyüklüğünde bir açısal hıza sahip olduğu ve iki plaka arasının zamanla birbirinden uzaklaşarak açıldığı tespit edilmiştir (Larson ve diğ., 1997). Avustralya plakası üzerinde kullandığımız ALIC, CEDU, DRAW, MOBS, PERT ve TOW2 istasyonlarının Antarktika Plakası sabit çözümlerden elde edilen sonuçlarına bakacak olursak 70-73 mm/yıl hızla kuzeydoğu yönünde hareket ettiği (Çizelge 4.8) görülmektedir.

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada Antarktika, Avustralya, Afrika ve Güney Amerika plakalarında seçilen sabit GNSS istasyonları Gamit/Globk bilimsel yazılımı ile değerlendirilerek ITRF14 referans sisteminde yatay yöndeki hareketleri tespit edilmiştir. İstasyonlara ait yatay yöndeki hareketleri karşılaştırmak amacıyla NUVEL 1A ve GSRM v2.1 gibi farklı plaka modelleri kullanılarak analizler desteklenmiştir. Yapılan karşılaştırmalarda ITRF14 referans sisteminde elde edilen istasyon hızlarının, Güney Amerika plakasını batı kesimindeki istasyonlar hariç, büyük bir çoğunluğuyla uyumlu olduğu görülmüştür. Güney Amerika plakasındaki uyuşumsuz hızlara sahip bu istasyonların ise geniş literatür araştırması yapıldığında yakınsayan levha sınırı özelliği taşıyan Nazca-Güney Amerika plakalarının birbiri altına daldığı kilit noktalarında bulunduğu ve Antiplano, Puna-Sierras, Peru gibi mikro plakalar üzerinde yer aldıkları belirlenmiştir. Bu durum ITRF14, NUVEL 1A ve GSRM v2.1 gibi global plaka modellerinin küçük mikro plakalar üzerindeki hareketliliği yorumlamakta eksik kaldığını göstermektedir. Bu istasyon hızlarının tutarlılığını incelemek amacıyla bölgesel olarak Güney Amerika plakasındaki hareketliliği en iyi şekilde yansıtan VEMOS2017 hız modeliyle karşılaştırıldığında ise bu modelle uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Çizelge 6.1’de plaka modelleriyle istasyon (Güney Amerika plakasındaki AREQ, IQQE, MGUE, SANT istasyonları hariç) analizlerinin tutarlılığı gösterilmiştir.

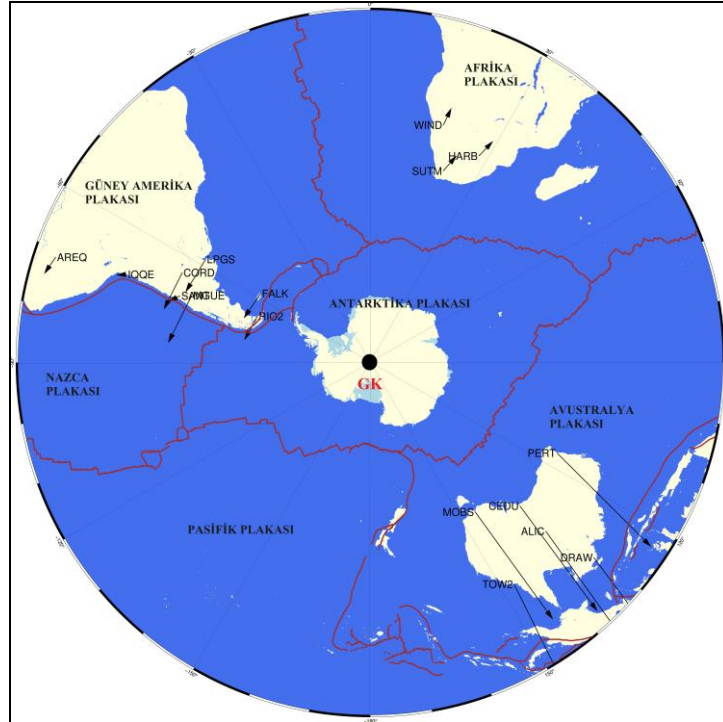
**Çizelge 6.1.** Plaka modellerinin Gamit/Globk (ITRF14) analizleriyle tutarlılığı

| Model     | Antarktika Plakası | Güney Amerika Plakası | Afrika Plakası | Avustralya Plakası |
|-----------|--------------------|-----------------------|----------------|--------------------|
| NUVEL 1A  | 0-5 mm             | 0-2 mm                | 3-6 mm         | 0-2 mm             |
| GSRM v2.1 | 0-5 mm             | 1-3 mm                | 3-5 mm         | 0-4 mm             |

Antarktika plakasındaki istasyonların zaman serisi grafikleri incelendiğinde, özellikle bölgenin karanlık dönemlerinde, istasyon verisinde kesintiler gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Özellikle DISM istasyon verilerine bakıldığında yılın belirli dönemlerinde düzenli olarak kesintiye uğradığı belirlenmiştir. Bu durum göz önüne alındığında daha sağlıklı analiz ve yorumlama sağlanabilmesi amacıyla istasyonlardaki enerji ihtiyacının daha uzun ömürlü pil ve enerji depolama sistemleriyle (akü, rüzgâr türbini vb.) giderilmesi gerektiği değerlendirilmektedir.

Antarktika’da bulunan istasyonların yatay hareketliliğine bakıldığında Batı ve Doğu Antarktika bölgelerinin karakteristik olarak farklı hareket ettiği belirlenmiştir. Bu durumun temel sebebi Batı Antarktika bölgesinin, özellikle Antarktika Yarımadasındaki istasyonların, aktif tektonik hareketliliklere doğu bölgesinden daha fazla maruz kalması olarak tahmin edilmektedir. 1990-2024 yılları arasındaki deprem ve volkanik aktivitelere bakıldığında ise yine Batı Antarktika bölgesinde yoğunlaştığı görülmektedir. Ayrıca bölgedeki buzul erimeleri ve bu erimeler neticesinde gerçekleşen buzul depremlerinin istasyonların konum bilgilerine etki eden diğer bir etken olduğu göz ardı edilmemelidir.

Güney Amerika, Afrika ve Avustralya plakalarının sabit alınarak gerçekleştirilen analizlerde Antarktika plakası üzerindeki istasyonların komşu plaka sınırlarındaki karakteristik sınır hareket şeklini yansıtır yansıtmadığı irdelenmiştir. Yapılan literatür araştırmalarına göre Antarktika kıtası Güney Amerika plakasıyla transform levha sınır özelliği taşırken, Afrika ve Avustralya plaka sınırlarında sırasıyla 14 ve 70 mm/yıl hızla kuzeydoğu-kuzeybatı yönlü ıraksayan levha sınır özelliği sergilediği Şekil 6.1’de gösterilmiştir. Antarktika sabit çözümlerden elde ettiğimiz sonuçların ise bu durumu destekler şekilde olduğu belirlenmiştir.



Şekil 6.1. Antarktika plakası sabit çözümler

Bu çalışmada gerçekleştirilen analizler doğrultusunda plaka hareketi veya farklı jeodinamik süreçlerin izlenmesinde GNSS'in diğer metotlara göre önemli ölçüde katkı sağladığı belirlenmiştir. Özellikler plaka sınırlarının kesiştiği bölgelerde uzun dönemler boyunca meydana gelen depremler sonucu bölgenin plaka hareket modelinin belirlenmesinde GNSS'in katkısı tartışılmaz. Avustralya kıtası gibi yıllık 70-75 mm/yıl hareket eden bir plakanın referans sistemi güncellenmesi çalışmalarında da GNSS sistemleri önemli bir ışık tutmaktadır. Ayrıca küresel plaka modellerinin yetersiz veya eksik kaldığı durumlarda özellikle mikro plakaların bulunduğu bölgelerde, uzun süreli GNSS çözümleri istasyonun bulunduğu plakanın hareketi hakkında önemli bir bilgi kaynağı olmakla birlikte bölgesel plaka modeli geliştirilme çalışmalarına da destek sağlayacaktır.

## KAYNAKLAR

- Acocella, V., 2014, Corrigendum to ‘Structural Control on Magmatism Along Divergent and Convergent Plate Boundaries: Overview, Model, Problems’, *Earth Science Reviews*, 136 (2014) 226–288, Dipartimento Scienze Roma Tre, Roma, Italy.
- Altın, M. U., 2006, Kuzey Anadolu Fayının Batı Marmara Bölümündeki Hareketlerinin GPS Ölçmeleri ile Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Altamimi, Z., Metivier, L. and Collilieux, X., 2012, ITRF2008 Plate Motion Model, *Journal of Geophysical Research*., 117, B07402.
- Ashby, N., 2003, Relativity in the Global Positioning System, *Living Reviews in Relativity*, 6, (2003), 1.
- Barker, P. F. and Lawver, L. A., 1988, South American-Antarctic plate motion over the past 50 Myr, and The Evolution of The South American-Antarctic Ridge, *Geophysical Journal International*, Volume 94, Issue 3, September 1988, Pages 377–386.
- Berrocso, M., Fernandez, A., Ramirez, M. E., Salamanca, J.M., Torrecillas, C., Perez-Pena, A., Paez, R., Garcia, A., Jeminezi, Y., Garcia, F., Soto, R., Garate, J., Martin, J., Sanchez, A., de Gil, A., Fernandez, J. A. and Jinega, R., 2008, Geodetic Research on Deception island and Its Environment (South Shetland Islands, Bransfield Sea and Antarctic Peninsula) During Spanish Antarctic Campaigns (1987–2007), *Geodetic and Geophysical Observations in Antarctica, Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, Berlin, Pages 97-124.
- Calais, E., Bayer, R., Chery, J., Cotton, F., Doeflinger, E., Flouzat, M., Jouanne, F., Kasser, M., Laplanche, M., Maillard, D., Martinod, J., Mathieu, F., Nicolon, P., Nocquet, J. M., Scotti, O., Serrurier, L., Tardy, M. and Vigny, C., 2001, REGAL; reseau GPS permanent dans les Alpes Occidentales; Configuration et Premiers Resultats, *Bulletin de la Société Géologique de France*, 172 (2): 141–158.
- Cande, S. C., Patriat, P. and Dymant, J., 2010, Motion Between The Indian, Antarctic and African Plates in The Early Cenozoic, *Geophysical Journal International*, Volume 183, Issue 1, October 2010, Pages 127–149.
- Coltice, N., Gerault, M. and Ulvrova, M., 2017, A Mantle Convection Perspective on Global Tectonics, *Earth-Science Reviews*, 165 (2017) 120–150.
- Cunningham, W. D., Dalziel, W. D., Lee, T. and Lawver L. A., 1995, Southernmost South America-Antarctic Peninsula Relative Plate Motions Since 84 Ma: Implications for The Tectonic Evolution of The Scotia Arc Region”, *Journal of Geophysical Research*, Solid Earth: Volume 100, Issue B5Papers on Geodesy and Gravity Tectonophysics.

- Demets C. and Merkoriev, S., 2019, High-Resolution Reconstructions of South America Plate Motion Relative to Africa, Antarctica and North America: 34Ma to present, *Geophysical Journal International*, Volume 217, Issue 3, June 2019, Pages 1821–1853.
- Deville, E., Tania, M., Simon, C., Romain, J., Pierre, P.J., Estelle, T., Gwenaël, J., Stephan, J. and Laurence, D., 2018, Active Fault System Across The Oceanic Lithosphere of The Mozambique Channel: Implications for The Nubia–Somalia Southern Plate Boundary, *Earth And Planetary Science Letters*, November 2018, Volume 502 Pages 210-220.
- Dietrich, R., Rülke, A., Ihde, J., Lindner, K., Miller, H., Niemeier, W., Schenke, H.W. and Seeber, G., 2004, Plate Kinematics and Deformation Status of The Antarctic Peninsula Based on GPS, Global and Planetary Change, *ScienceDirect*, 42(1–4), 313–321, doi: 10.1016/j.gloplacha.2003.12.003.
- Dietrich, R. and Rulke, A., 2002, The SCAR GPS Campaigns ,in The ITRF2000 (Report 21), SCAR.
- Doğru. A. ve Özener, H., 2011, GPS ve Insar ile Yer Değiştirmelerin Belirlenmesi, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası*, 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.
- Erdoğan, S., 2006, Burdur Fethiye Fay Zonu Tektonik Hareketlerinin GPS ile Belirlenmesi, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Espurt N., 2008, Flat Subduction Dynamics and Deformation of The South American Plate: Insights From Analog Modeling, *Advancing Earth and Space Sciences*, Tectonics, VOL. 27, TC3011, doi:10.1029/2007TC002175, 2008.
- Eyübagil, E. E., 2020, GNSS Ölçüleri ile Tektonik Hareketlerin Modellenmesi: Gülbahçe Fayı Örneği, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, 99s, Afyonkarahisar.
- Fernandes, R. M. S., Ambrosius, B.A.C., Noomen, R., Bastos, L., Combrinck, L., Miranda, J. M. and Spakman, W., 2004, Angular Velocities of Nubia and Somalia From Continuous GPS Data: Implications on Present-Day Relative Kinematics, *Earth Planetary Science Letters on ScienceDirect*, 222, Pages 197–208.
- Fernandes, R. M. S., Miranda, J. M., Delvaux, D., Stamps, D. S., Saria, E., 2013, Re-evaluation of The Kinematics of Victoria Block Using Continuous GNSS Data, *Geophysical Journal International*, Vol. 193, Pages 1–10.
- Gomo, S., Durrheim, R.J. and Cooper., G. R. J., 2017, Analysis of GPS Position Time Series in Africa, *University of the Witwatersrand*, South Africa.
- Gordon, R. G., 1995, Present Plate Motions and Plate Boundaries, Global Earth Physics Book, Department of Geological Sciences, *Northwestern University*, Evanston, IL 60208-2150.

- Goslin, J. and Patriat, P., 1983, Absolute and Relative Plate Motions and Hypotheses on The Origin of Five Aseismic Ridges in The Indian Ocean, *Tectonophysics on ScienceDirect* , Volume 101, Issues 3–4, 1 February 1984, Pages 221-244.
- Grewal M. S. and Andrews A. P., 2001, Kalman Filtering: Theory and Practice Using Matlab, ISBN 0-471-26638-8., Second Edition, A Wiley-Interscience Publication, New York, Pages 397.
- Groves, P. D., 2013, Principles of GNSS, Inertial, and Multisensor Integrated Navigation Systems, Second Edition, *Artech House*, Boston/London, 776 pages.
- Gutscher M., 2000, Geodynamics of Flat Subduction: Seismicity and Tomographic Constraints From the Andean Margin, *Advancing Earth and Space Sciences*, Tectonics, Vol. 19, No. 5, Pages 814-833.
- Hanssen, R. F., 2001, Radar Interferometry Data Interpretation and Error Analysis, *Kluwer Academic Publishers*, Dordrecht, The Netherlands.
- Hartnady, C. J. H. and Rorx, A. P. le, 1985, Southern Ocean Hotspot Tracks and The Cenozoic Absolute Motion of The African, Antarctic, and South American Plates, *Earth and Planetary Science Letters on ScienceDirect*, October 1985, Pages 245-257.
- Herman, M. W. and Govers, R., 2020, Locating Fully Locked Asperites Along the South America Subduction Megathrust: A New Physical Interseismic Inversion Approach in a Bayesian Framework, *Advancing Earth and Space Science, Geochemistry, Geophysics and Geosystems*, <https://doi.org/10.1029/2020GC009063>.
- Herring, T. A., King, R. W. and McClusky, S. C., 2008, Introduction to Gamit/Globk, *Departement of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences Massachusetts Institute of Technology*, 16 July 2008.
- ICSM, 2020, ATRF Technical Implementation Plan, Version 2.3.
- ICSM, 2021, Geocentric Datum of Australia 2020 Technical Manual, Version 1.6.
- Isacks, B., Oliver, J. and Sykes, L. R., 1968, Seismology And The New Global Tectonics, *Journal of Geophysical Research (1896-1977)*: Volume 73, Issue 18.
- Jagoda, M., 2021, Determination of Motion Parameters of Selected Major Tectonic Plates Based on GNSS Station Positions and Velocities in the ITRF2014, Faculty of Civil Engineering, *Environmental and Geodetic Sciences*, Koszalin University of Technology, Śniadeckich 2, 75-453 Koszalin, Poland.
- Kahveci M. ve Yıldız, F., 2009, GPS/GNSS Uyduyla Konum Belirleme Sistemleri Teori ve Uygulama, Pages 70, *Nobel*, Ankara.

- Kaminuma, K., 1976, Seismicity in Antarctica, *Journal of Physics of the Earth*, 24, Pages 381-395.
- Kaplan, D. E. ve Hegarty, C. J., 2006, Understanding GPS Principles and Application, *Artech House*, Second Edition, Boston.
- Keller, E. A. and Pinter, N. 1996, Active Tectonics, Prentice Hall Press, New Jersey.
- Kious, J. and Tilling, R., I., 1996, This Dynamic Earth: The Story of Plate Tectonics, Understanding Plate Motions, *U.S. Geological Survey*, Pages 34-46.
- Kurt, A. İ., 2009, Sabit GPS İstasyonları Zaman Serileri Analizinden Yararlanarak Kampanya Tipi GPS Ölçülerinin Hızlarının İyileştirilmesi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Doktora Tezi, 117s, İstanbul.
- Larson, K. M., Freymueller, T.J. and Philipsen, S., 1997, Global Plate Velocities From The Global Positioning System, *Journal Of Geophysical Research*, Vol. 102, NO. B5, Pages 9961-9981, May 10, 1997.
- Li, R., Wang, C., Ma, H., Zhou, Y., Tang, C., Wu, Z., Yang, G. and Zhang, X., 2024, SLR Validation and Evaluation of BDS-3 MEO Satellite Precise Orbits, *Remote Sens*, 16 (2024), <https://doi.org/10.3390/rs16112016>.
- Masnadi-Shirazi H, Masnadi-Shirazi A. and Dastgheib MA., 2019, A Step by Step Mathematical Derivation and Tutorial on Kalman Filters, *Arxiv.org*, 32s.
- Mccubbine, J., Riddel, A. and Brown, N., 2023, A Plate Motion Model of the Indo-Australian Tectonic Plate that Better Aligns with the Geodetic Coordinate System - Towards a More Precise Static Ellipsoidal Datum, *ESS Open Archive*, September 29, 2023.
- Metois M., Vingy C. and Socquet, A., 2016, Interseismic Coupling, Megathrust Earthquakes and Seismic Swarms Along the Chilean Subduction Zone (38A degrees-18A degrees S), *Pure and Applied Geophysics*, 2016, 173 (5), pp.1431-1449. [ff10.1007/s00024-016-1280-5](https://doi.org/10.1007/s00024-016-1280-5). [ffhal-02331374](https://doi.org/10.1007/s00024-016-1280-5).
- Mowafy, A. and Bilbas, E., 2016, Quality Control in Using GNSS CORS Network for Monitoring Plate Tectonics: A Western Australia Case Study, *Journal of Surveying Engineering*, Volume 142, Issue 2.
- Nettles, M. and Ekström, G., 2010, Glacial Earthquakes in Greenland and Antarctica, *Lamont-Doherty Earth Observatory of Columbia University*, Palisades, New York 1096.
- Özçep, F., 2018, Jeofizik ve Tarihsel Gelişimi Ders Notları, *İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü*.
- 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*, Temmuz 2024, 172, 17-29.

- Palin, R. M. and Santosh M., Plate Tectonics: What, Where, Why, and When?, *Gondwana Research*, GR-02442; No of Pages 22.
- Park, R. G., 1988, Geological Structures and Moving Plates, Springer Science and Business Media Dordrecht, doi: [https://doi.org/10.1007/978-94-017-1685-7\\_1](https://doi.org/10.1007/978-94-017-1685-7_1).
- Press, F. and Siever, R., 1999, Understanding Earth, *Geological Magazine* 1999;; 139 (1): 101–102. doi: <https://doi.org/10.1017/S0016756802286513>.
- Quere, S., 2010, Constructal Theory Of Plate Tectonic, *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics*. Vol. 5, No. 3 , Pages 242–253.
- Robbach, U., 2001, Positioning and Navigation Using the Russian Satellite System GLONASS, *Studiengang Geodasie und Geoinformation Universitat Der Bundeswehr München*, Pages 159, ISSN 0173-1009.
- Samalla, K. and Kumar, P. N., 2024, Global Navigation Satellite System in the Civil Surveillance, *ACS Journal for Science and Engineering*, Vol. 4 -No. 1 -March 2024, E-ISSN: 2582-9610.
- Sanchez, L. and Drewes, H., 2020, Geodetic Monitoring of the Variable Surface Deformation in Latin America, *Beyond 100: The Next Century in Geodesy*, Page 197–208.
- Savchyn, I., Brusak, I., and Tretyak, K., 2022, Analysis of Recent Antarctic Plate Kinematics Based on GNSS Data, *Geodesy and Geodynamics on ScienceDirect*, Vol. 14, Issue 2, March 2023, Pages 99-110.
- Savchyn, I., 2022, Determination of The Recent Rotation Poles of the Main Tectonic Plates on the Base of GNSS Data, *Geodesy and Geodynamics on ScienceDirect*, Vol. 2(33),Pages 17-27, <https://doi.org/10.23939/jgd2022.02.017>.
- Savchyn, I., Otruba, Y. and Tretyak, K., 2021, The First Ukrainian Permanent GNSS Station in Antarctica: Processing and Analysis of Observation Data, *Geodesy and Geodynamics on Ukrainian Antarctic Journal*, Vol. 2, Pages 3-11, doi: 10.33275/1727-7485.2.2021.674.
- Schluter, W., Behrend, D., Himwich, E., Nothnagel, A., Niell, A. and Whitney, A., 2015, IVS High Accurate Products for the Maintenance of the Global Reference Frames as Contribution to GGOS, *Dynamic Planet, International Association of Geodesy Symposia*, vol 130, Pages 735-740.
- Schuh, H. and Böhm, J., 2013, Atmospheric Effect in Space Geodesy, *Springer Atmospheric Sciences Book*, Pages 234.
- Seeber, G., 2003, Satellite Geodesy, *Institut für Erdmessung Universität Hannover Schneiderberg*, Pages 612, Hannover Germany.

- Sefercik, U. G., 2007, Radar İnterferometri Tekniği ile SYM Üretimi ve Doğruluk Değerlendirmesi, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası*, 11.Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı 2-6 Nisan 2007, Ankara.
- Solak, H. İ., 2015, GNSS Hızları ile Güneybatı Anadolu'daki Gerinim Alanlarının Zamansal Değişimi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, 95s, Afyonkarahisar.
- Şafak, Ş., 2019, GNSS Hız Doğruluklarına Etki Eden Parametrelerin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, 92s, Afyonkarahisar.
- Şireci A. E., Demirhan, S., Hatipoğlu ve A., Fidanboyu, K., 2020, Radarlarda Hava Aracı Konumunun Kalman Filtresi ile Kestirimi, *3rd International Conference on Data Science and Applications*, 25-28s, İstanbul, Türkiye.
- Teker, K., Kayıkçı, E. T., Böhm, J. ve Schuh, H., 2012, Çok Uzun Baz Enterferometrisi (VLBI) ölçülerinin Modellenmesi, *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, Cilt 1 Sayı 1, Sayfa 65-74.
- Tiryakioğlu, İ., 2012, GNSS Ölçüleri ile Güneybatı Anadolu' daki Blok Hareketleri ve Gerilim Alanlarının Belirlenmesi, Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 173s, İstanbul.
- Tunini, L., Magrin, A., Rossi, G. and Zuliani, D., 2024, Global Navigation Satellite System (GNSS) Time Series and Velocities About a Slowly Convergent Margin Processed on High-Performance Computing (HPC) Clusters: Products and robustness Evaluation, *Earth System Science Data*, Volume 16, Issue 2, 1083–1106, <https://doi.org/10.5194/essd-16-1083-2024>.
- Tüysüz, O., 1999, Yeryuvarının iç Yapısı Depremler ve Türkiye, Ders Notları, *Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Uzel, T., Eren, K., Gulal, E., Tiryakioğlu, I., Dindar, A. A. ve Yilmaz, H., 2013, Monitoring The Tectonic Plate Movements in Turkey Based on The National continuous GNSS network, *Arabian Journal of Geosciences (2013)*, Volume 6, Pages 3573–3580.
- Viltres, R., Jonson, S., Alothman, A. O., Liu, S., Leroy, S., Masson, F., Doubre, C. and Reillinger, R., 2022, Present-Day Motion of The Arabian Plate, *Advancing Earth and Space Science*, Pages 18, <https://doi.org/10.1029/2021TC007013>.
- Vries, M. V. W. D., Bingham, R. G. and Hein, R. A., 2018, A New Volcanic Province: an Inventory of Subglacial Volcanoes in West Antarctica, *School of GeoSciences, University of Edinburgh*, Drummond Street, Edinburgh EH8 9XP, UK, Pages 18.
- Wang, C., Liu, Y., Zhang, X., Li, X., Paramygin, V., Sheng, P., Zhao, X. and Xu, S., 2024, Scalable and Rapid Building Damage Detection After Hurricane Ian Using

Causal Bayesian Networks and InSAR Imagery, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, Volume 104, 1 April 2024, 104371.

Williams, K. M., 2002, Rifting of Oceanic Lithosphere at Transform and Trench Slope Seamounts, San Diego ProQuest Dissertations & Theses, *University of California*, Pages 24.

Wylie, J. P., 1975, The Earth's Mantle, *Journal Article*, Scientific American, a division of Nature America, Vol. 232, No. 3 (March 1975).

Yavaşoğlu, H., 2003, Kuzey Anadolu Fayının Orta Bölümünün Kinematığının 2001 ve 2002 GPS Ölçmeleri ile Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 76s.

Yavaşoğlu, H., 2009, Kuzey Anadolu Fayının Orta Anadolu Bölümündeki Güncel Tektonik Aktivitenin Jeodezik Yöntemler ve Elastik Yarı Uzay Modelleme ile Belirlenmesi, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 205s.

Yeats, R.S., Sieh, K. and Allen, C.R. 1997, The Geology Of Earthquakes, Vol. 79, No. 9, *Oxford University*, New York, Pages 115.

### İnternet Kaynakları:

URL-1 <https://slideplayer.biz.tr/slide/12505102/> [Ziyaret Tarihi: 4 Kasım 2023].

URL-2 <https://www.slideshare.net/slideshow/ktalarn-kaymas-57173087/57173087> [Ziyaret Tarihi: 05 Ocak 2024].

URL-3 <https://abs.cu.edu.tr/Dokumanlar/2015/> [Ziyaret Tarihi: 18 Ocak 2024].

URL-4 <https://svs.gsfc.nasa.gov/2953> [Ziyaret Tarihi: 3 Ekim 2024].

URL-5 [http://cografyaharita.com/dunya\\_jeoloji\\_haritalari.html](http://cografyaharita.com/dunya_jeoloji_haritalari.html) [Ziyaret Tarihi: 25 Aralık 2023].

URL-6 <https://www.usgs.gov/> [Ziyaret Tarihi: 22 Şubat 2024].

URL-7 <https://yunus.hacettepe.edu.tr/~demirbag/20.pdf> [Ziyaret Tarihi: 14 Mart 2024].

URL-8 <https://www.volcanodiscovery.com/de/geology/plate-tectonics.html> [Ziyaret Tarihi: 14 Mart 2024].

URL-9 <https://cddis.nasa.gov/> [Ziyaret Tarihi: 28 Mart 2024].

URL-10 <https://www.gps.gov/systems/gps/space/> [Ziyaret Tarihi: 28 Mart 2024].

URL-11 <https://glonass-iac.ru/> [Ziyaret Tarihi: 28 Mart 2024].

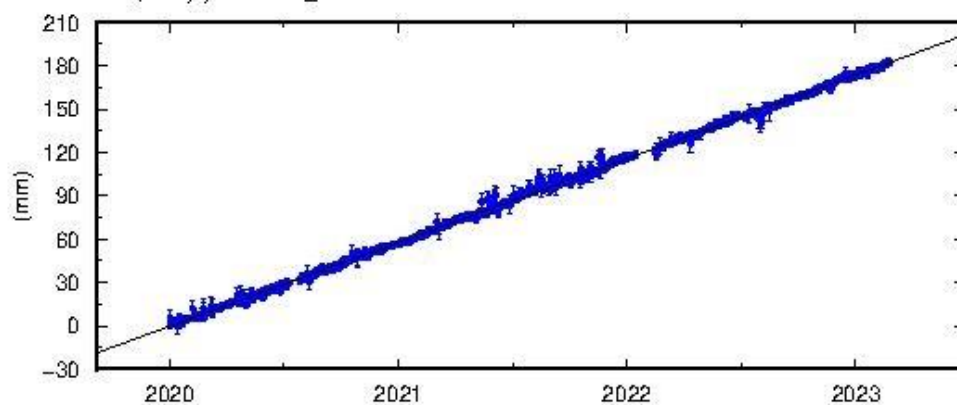
- URL-12 <https://galileognss.eu/> [Ziyaret Tarihi: 29 Mart 2024].
- URL-13 [https://www.esa.int/Applications/Satellite\\_navigation/Galileo/What\\_is\\_Galileo](https://www.esa.int/Applications/Satellite_navigation/Galileo/What_is_Galileo) [Ziyaret Tarihi: 1 Nisan 2024].
- URL-14 <https://igs.org/about/> [Ziyaret Tarihi: 19 Mayıs 2024].
- URL-15 <https://network.igs.org/> [Ziyaret Tarihi: 20 Mayıs 2024].
- URL-16 <https://polenet.org/about/> [Ziyaret Tarihi: 20 Mayıs 2024].
- URL-17 <https://www.generic-mapping-tools.org/> [Ziyaret Tarihi: 17 Haziran 2024].
- URL-18 <https://geoweb.mit.edu/gg/> [Ziyaret Tarihi: 18 Haziran 2024].
- URL-19 <https://www.harita.gov.tr/> [Ziyaret Tarihi: 18 Haziran 2024].
- URL-20 <http://geodesy.unr.edu/NGLStationPages/gpsnetmap/GPSNetMap.html> [Ziyaret Tarihi: 22 Haziran 2024].
- URL-21 <https://sideshow.jpl.nasa.gov/post/series.html> [Ziyaret Tarihi: 22 Haziran 2024].

**EKLER**

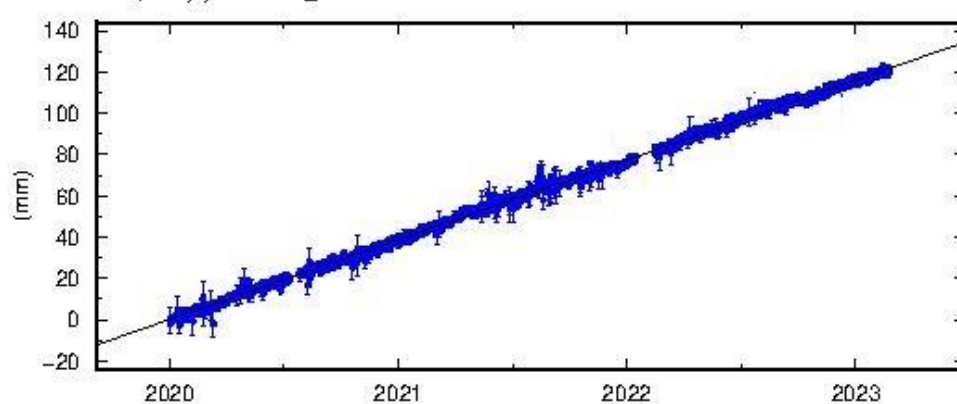
**EK-1** GNSS İstasyonlarının Günlük Zaman Serileri.



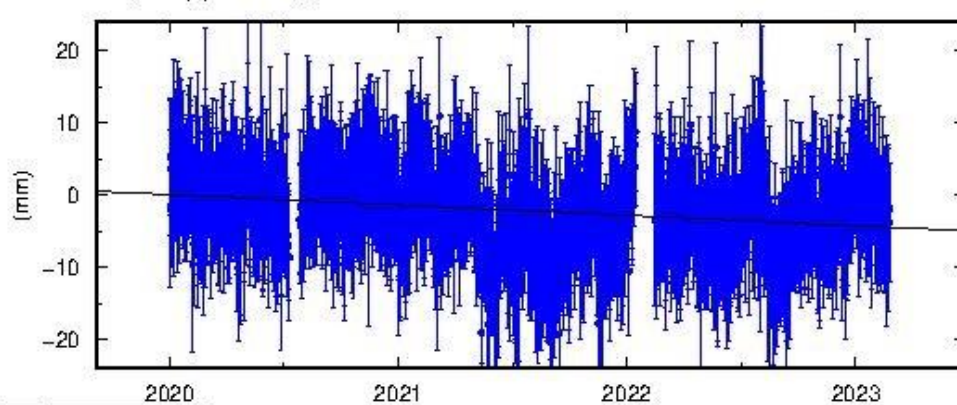
PERT\_8PS North Offset -3540177.758 m  
 rate(mm/yr)=  $57.95 \pm 0.06$  nrms= 0.63 wrms= 1.2 mm # 1088



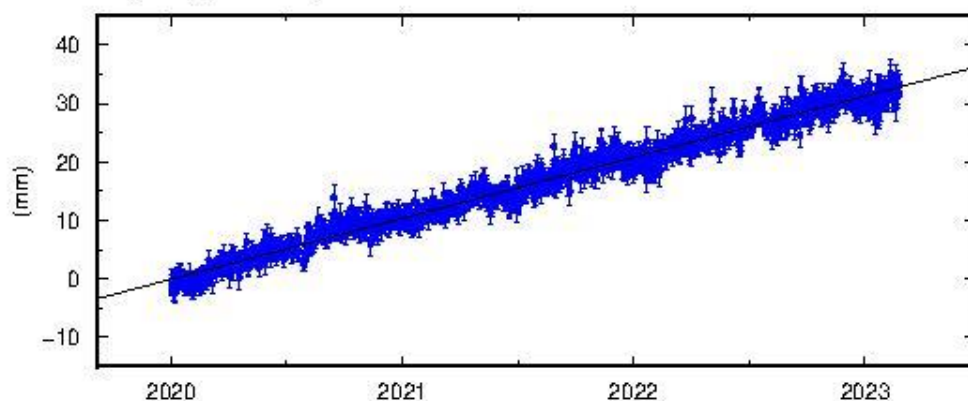
PERT\_8PS East Offset 10963595.401 m  
 rate(mm/yr)=  $38.63 \pm 0.06$  nrms= 0.61 wrms= 1.2 mm # 1088



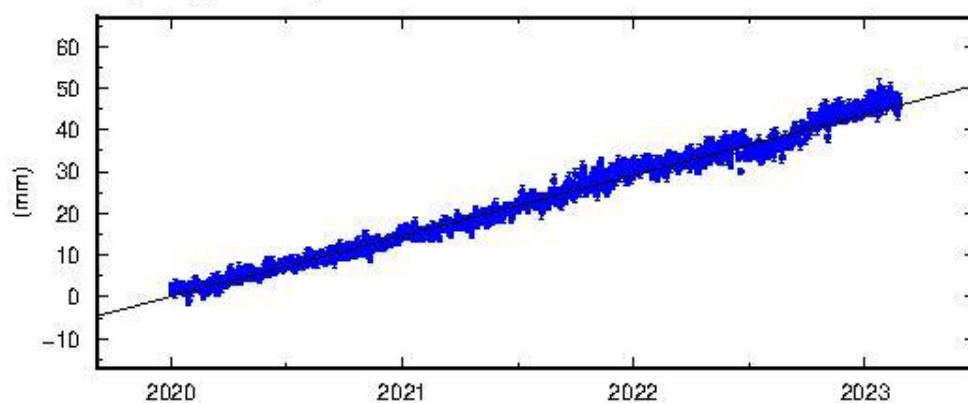
PERT\_8PS Up Offset 12.668 m  
 rate(mm/yr)=  $-1.44 \pm 0.28$  nrms= 0.52 wrms= 4.5 mm # 1088



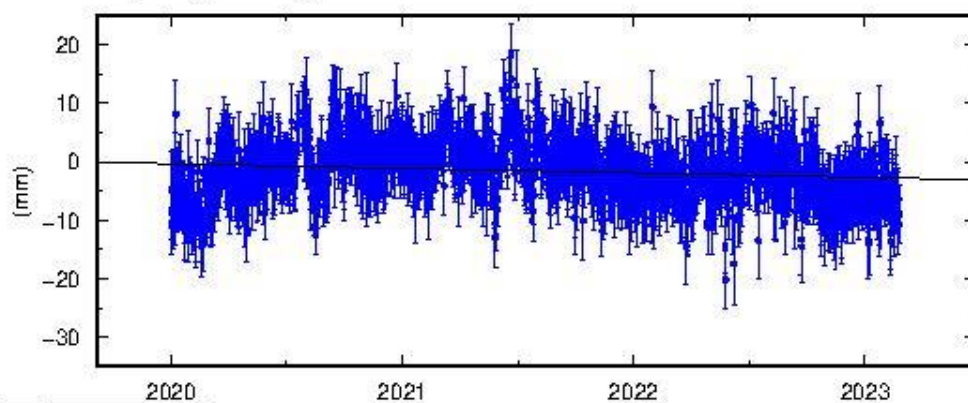
PALM\_5PS North Offset -7210729.891 m  
rate(mm/yr)=  $10.44 \pm 0.05$  nrms= 0.78 wrms= 1.3 mm #1130



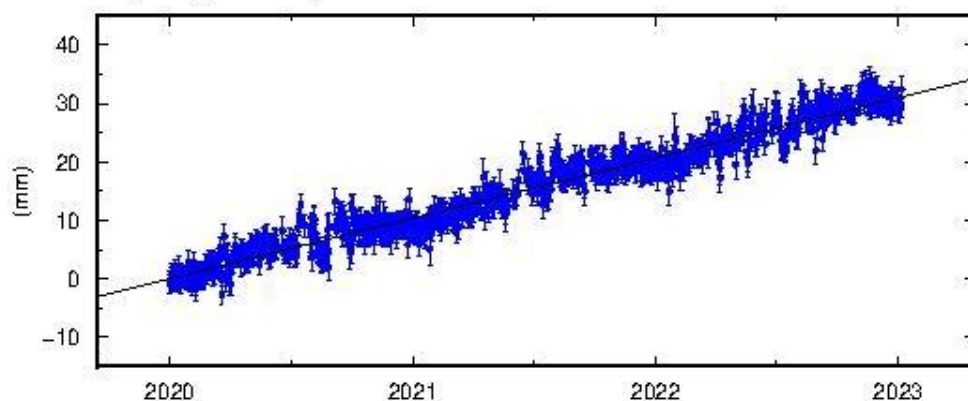
PALM\_5PS East Offset 14039756.395 m  
rate(mm/yr)=  $14.54 \pm 0.04$  nrms= 1.17 wrms= 1.4 mm #1130



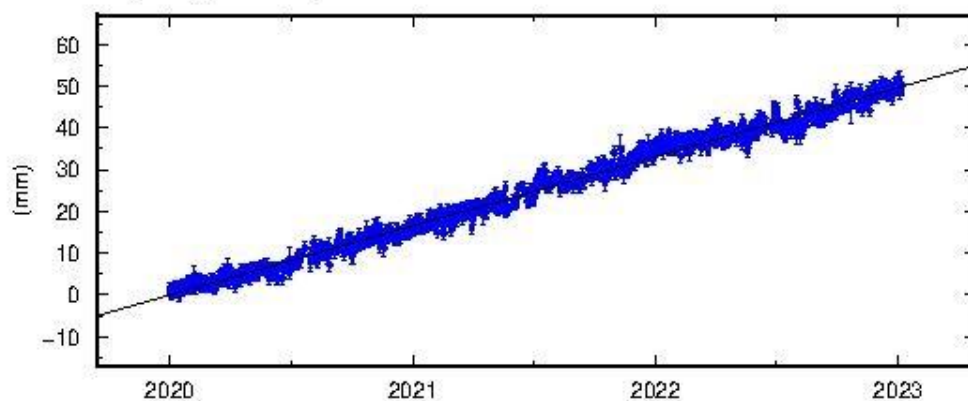
PALM\_5PS Up Offset 31.134 m  
rate(mm/yr)=  $-0.78 \pm 0.17$  nrms= 0.90 wrms= 4.6 mm #1130



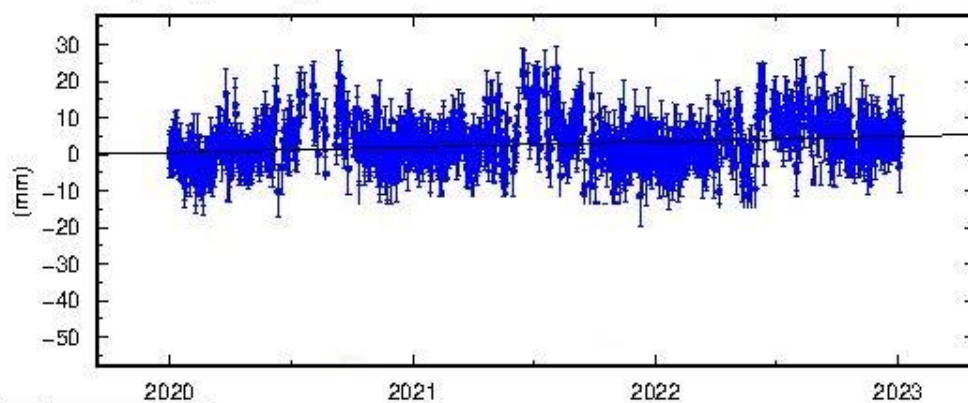
OHI3\_6PS North Offset -7048871.627 m  
rate(mm/yr)=  $10.30 \pm 0.07$  nrms= 0.95 wrms= 1.8 mm # 1012



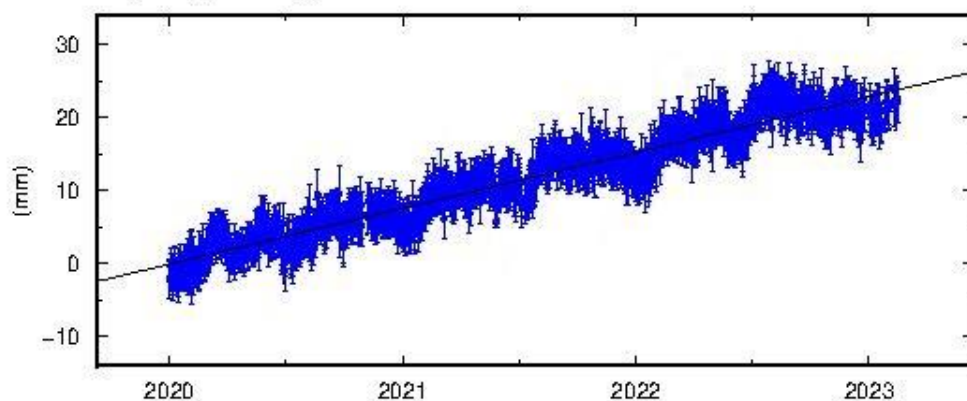
OHI3\_6PS East Offset 15099532.874 m  
rate(mm/yr)=  $16.55 \pm 0.05$  nrms= 0.99 wrms= 1.4 mm # 1012



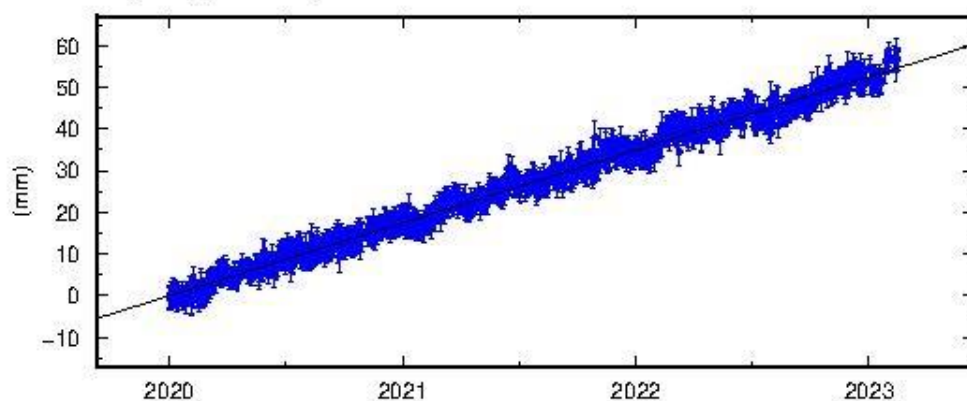
OHI3\_6PS Up Offset 32.633 m  
rate(mm/yr)=  $1.47 \pm 0.21$  nrms= 1.26 wrms= 7.6 mm # 1012



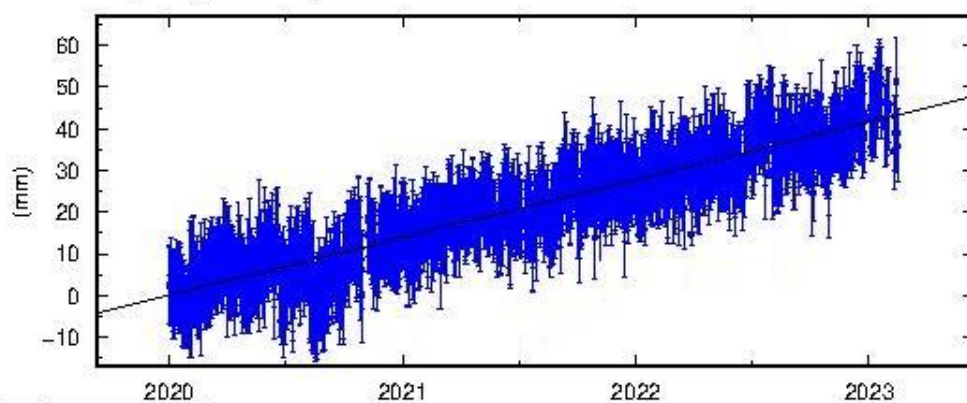
M RTP North Offset -8257724.932 m  
 rate(mm/yr)=  $7.65 \pm 0.09$  nrms= 0.67 wrms= 1.8 mm # 1082



M RTP East Offset 7431551.083 m  
 rate(mm/yr)=  $17.48 \pm 0.09$  nrms= 0.57 wrms= 1.5 mm # 1082

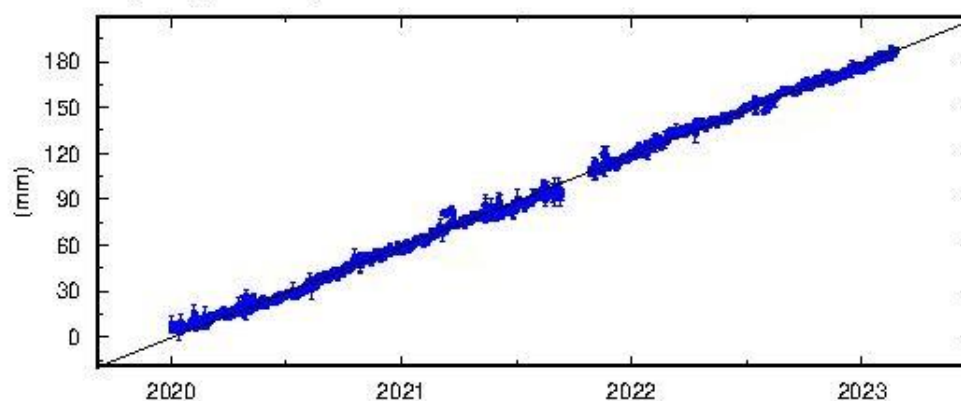


M RTP Up Offset 96.373 m  
 rate(mm/yr)=  $13.83 \pm 0.31$  nrms= 0.48 wrms= 4.4 mm # 1082



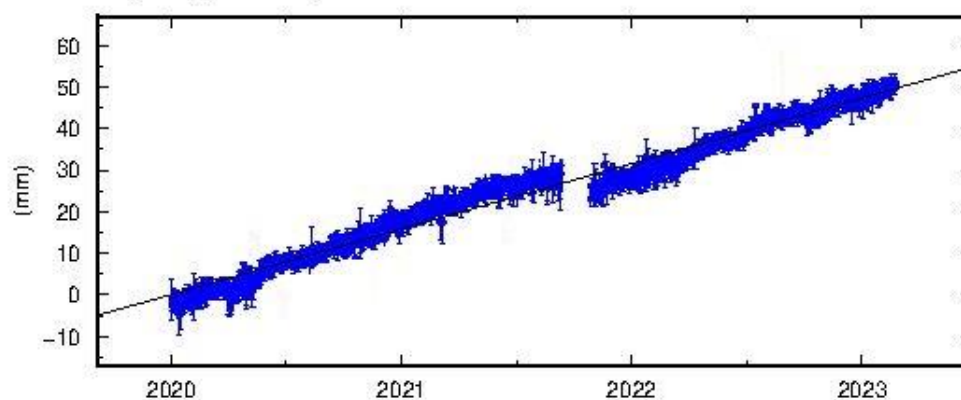
MOBS\_2PS North Offset -4211149.889 m

rate(mm/yr)=  $59.56 \pm 0.07$  nrms= 1.08 wrms= 2.3 mm # 1077



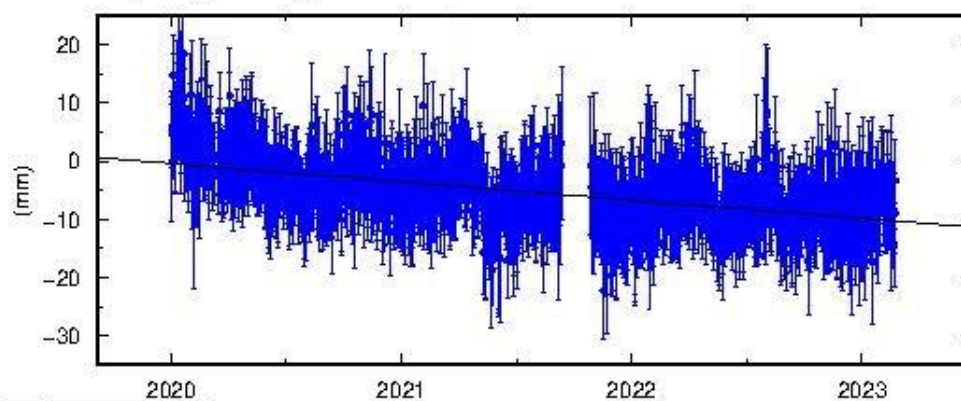
MOBS\_2PS East Offset 12746843.278 m

rate(mm/yr)=  $15.75 \pm 0.06$  nrms= 1.27 wrms= 2.4 mm # 1077



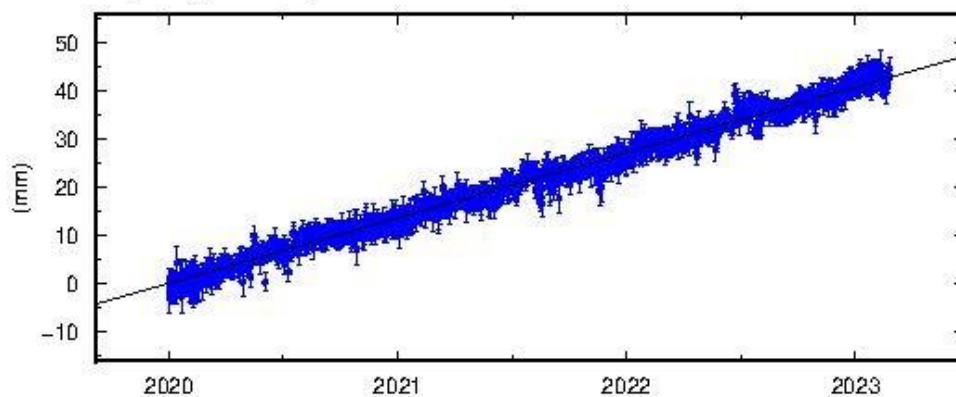
MOBS\_2PS Up Offset 40.574 m

rate(mm/yr)=  $-3.14 \pm 0.23$  nrms= 0.60 wrms= 4.2 mm # 1077



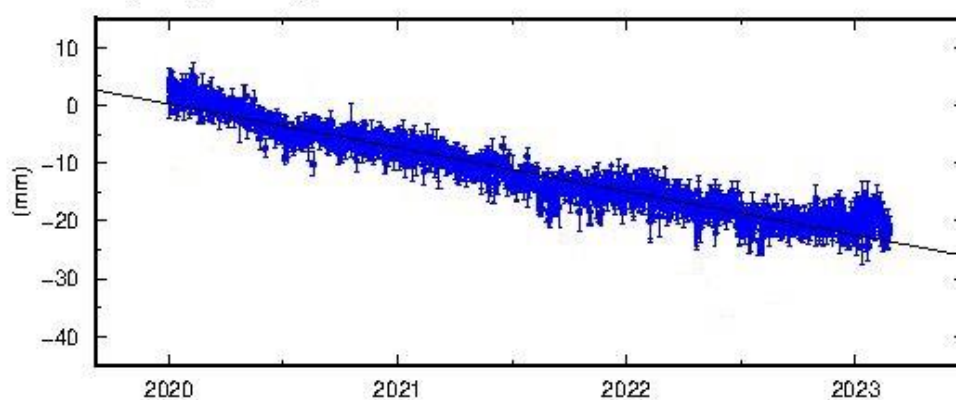
MGUE\_2PS North Offset -3982716.363 m

rate(mm/yr)=  $13.57 \pm 0.07$  nrms= 0.69 wrms= 1.4 mm # 1138



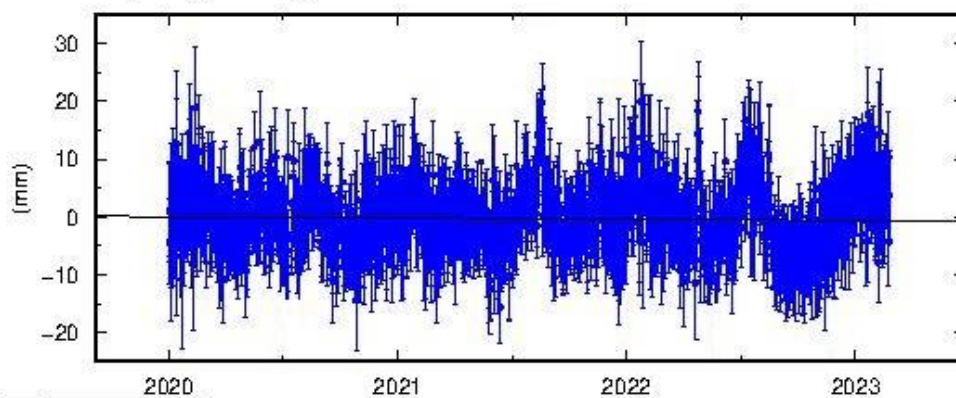
MGUE\_2PS East Offset 26244729.845 m

rate(mm/yr)=  $-7.55 \pm 0.06$  nrms= 0.90 wrms= 1.7 mm # 1138

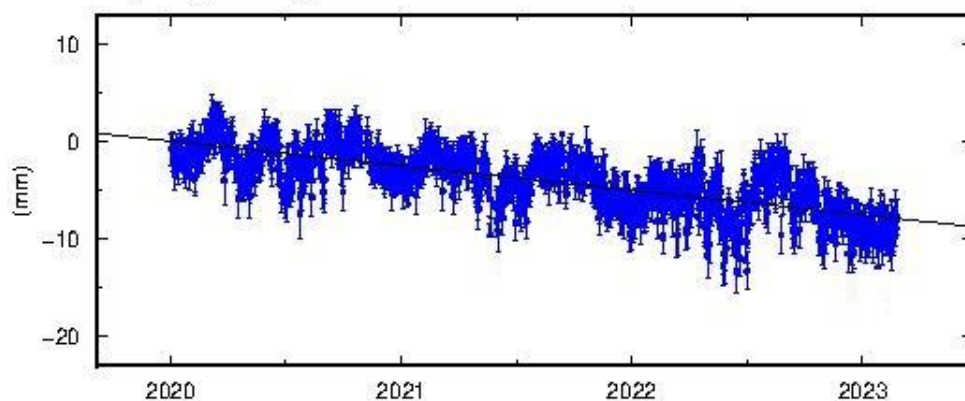


MGUE\_2PS Up Offset 1553.720 m

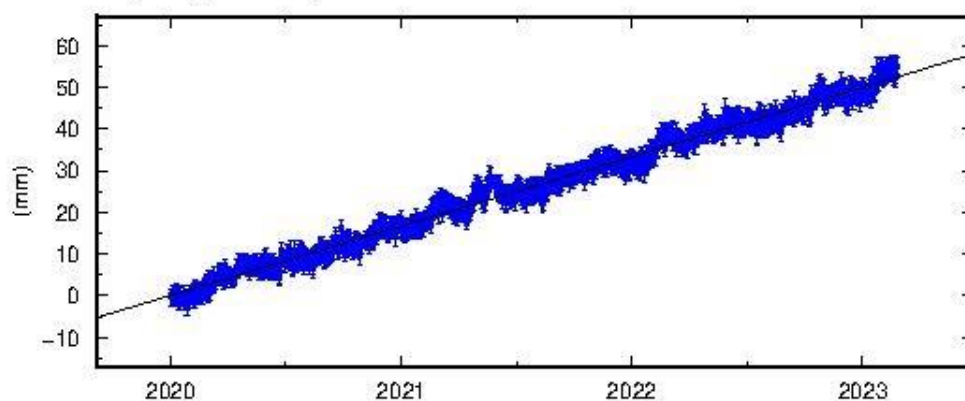
rate(mm/yr)=  $-0.22 \pm 0.23$  nrms= 0.76 wrms= 5.2 mm # 1138



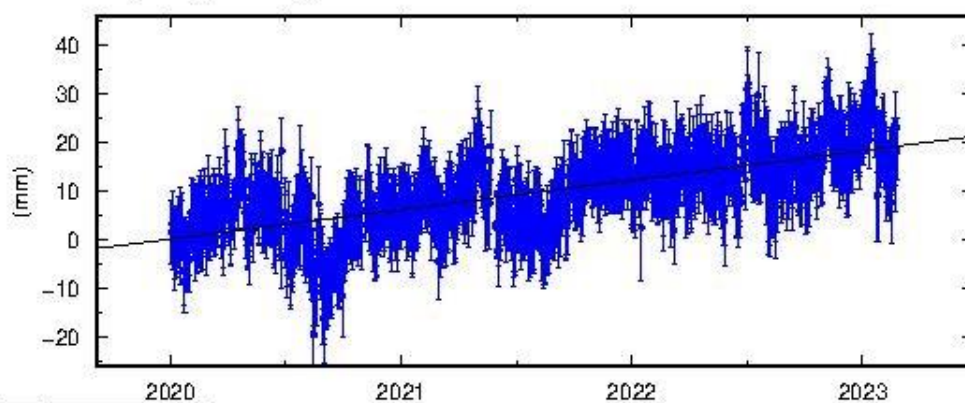
MCAR North Offset -8496148.032 m  
 rate(mm/yr)=  $-2.53 \pm 0.06$  nrms= 1.16 wrms= 2.0 mm # 1114



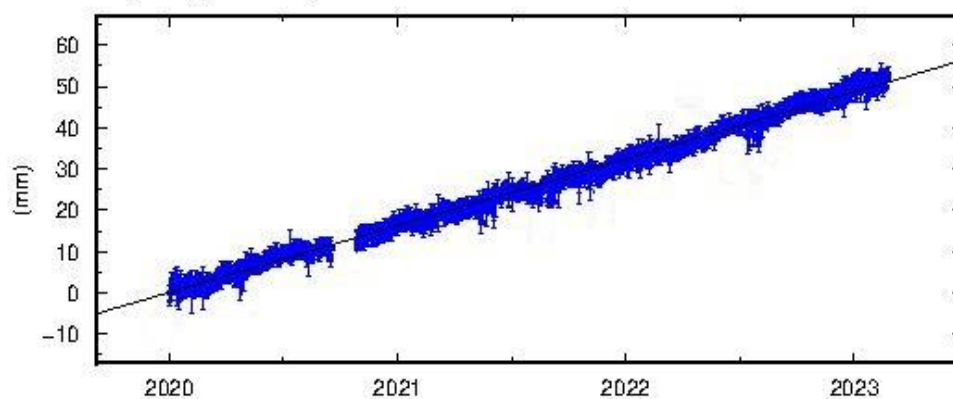
MCAR East Offset 5678201.221 m  
 rate(mm/yr)=  $16.63 \pm 0.07$  nrms= 0.75 wrms= 1.6 mm # 1114



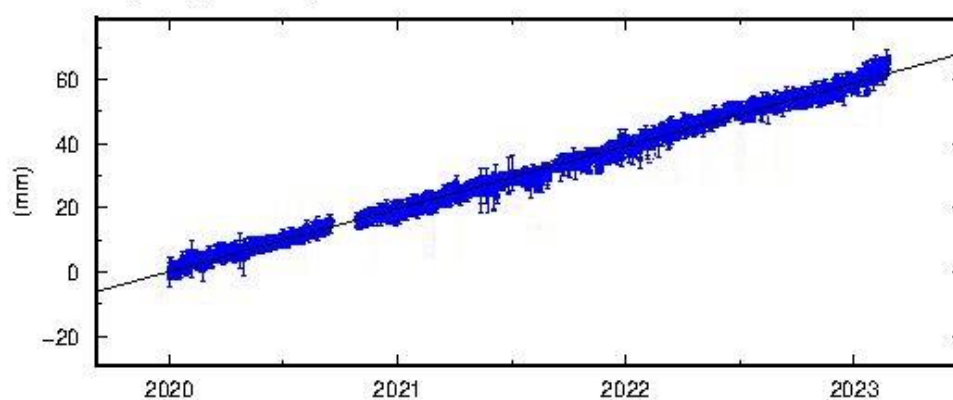
MCAR Up Offset 964.882 m  
 rate(mm/yr)=  $6.06 \pm 0.22$  nrms= 0.81 wrms= 5.4 mm # 1114



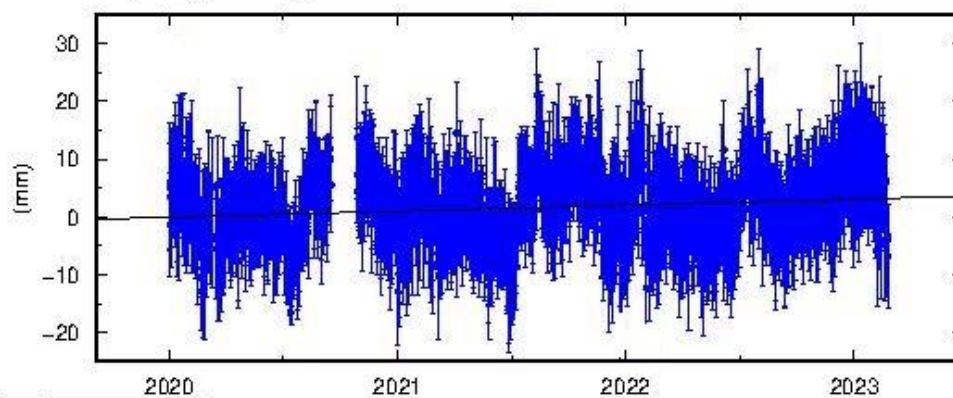
IOQE\_6PS North Offset -2256840.098 m  
 rate(mm/yr)=  $16.18 \pm 0.06$  nrms= 0.63 wrms= 1.2 mm # 1075



IOQE\_6PS East Offset 30268804.495 m  
 rate(mm/yr)=  $19.57 \pm 0.07$  nrms= 0.63 wrms= 1.4 mm # 1075

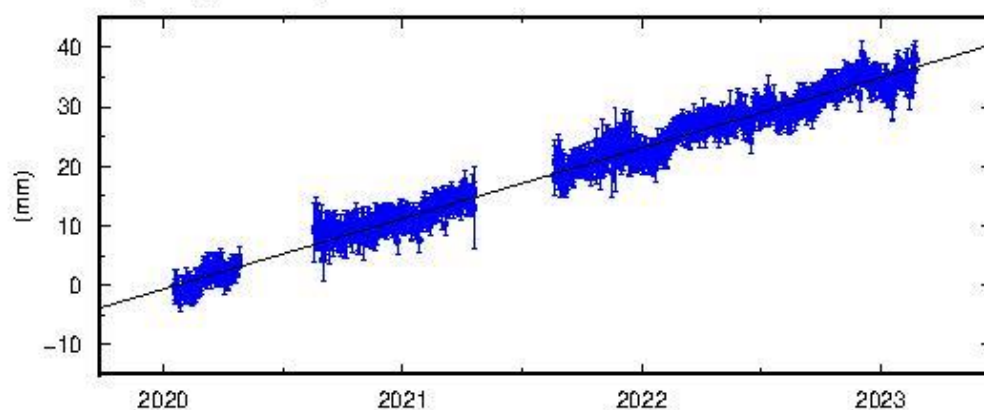


IOQE\_6PS Up Offset 38.974 m  
 rate(mm/yr)=  $1.04 \pm 0.29$  nrms= 0.66 wrms= 5.5 mm # 1075



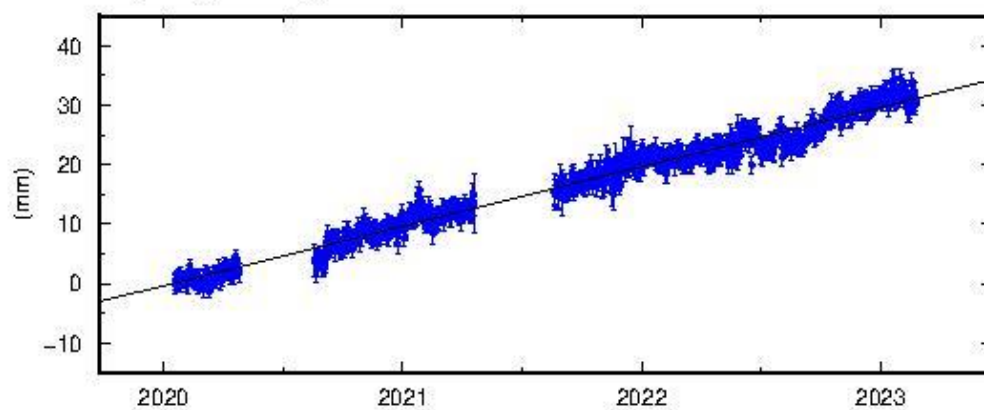
HTON North Offset -8246548.622 m

rate(mm/yr)=  $11.85 \pm 0.08$  nrms= 0.59 wrms= 1.3 mm # 876



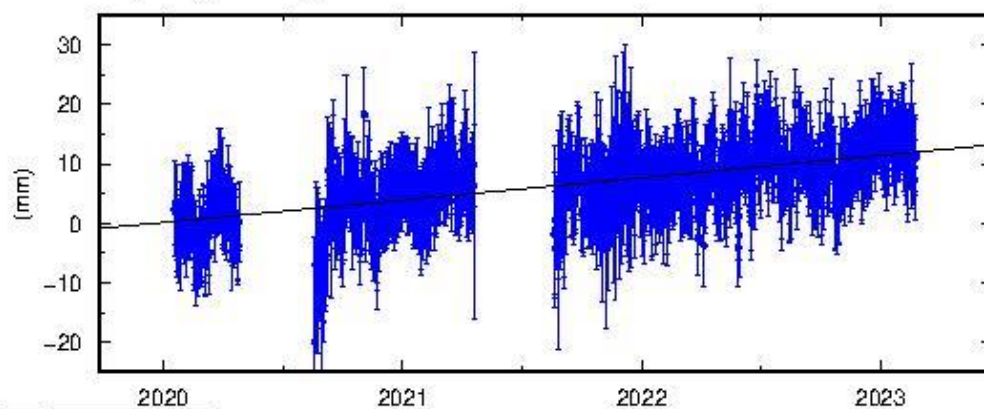
HTON East Offset 9107029.097 m

rate(mm/yr)=  $9.99 \pm 0.05$  nrms= 0.93 wrms= 1.4 mm # 876



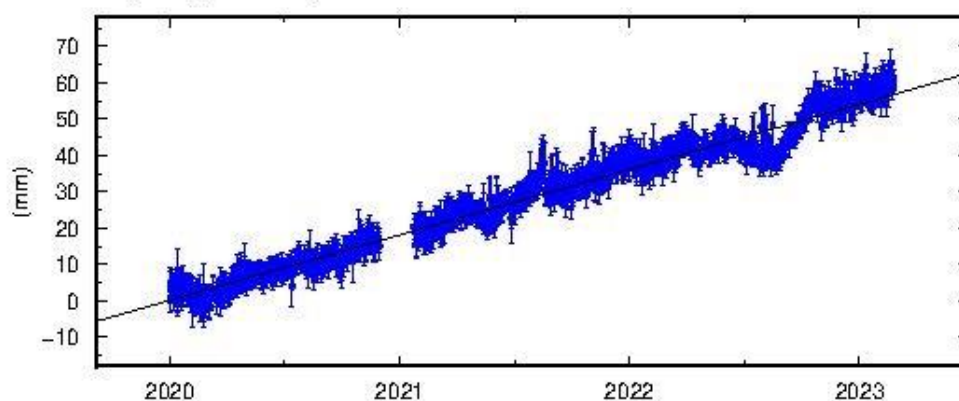
HTON Up Offset 950.464 m

rate(mm/yr)=  $3.76 \pm 0.24$  nrms= 0.60 wrms= 3.9 mm # 876



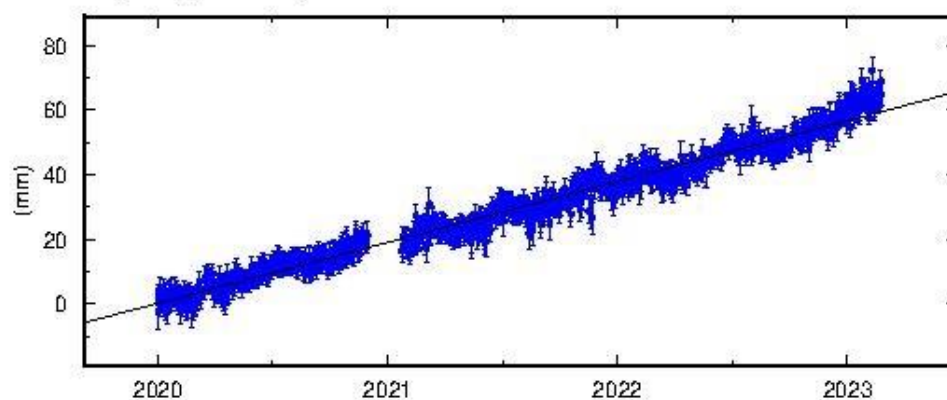
HARB\_3PS North Offset -2881723.253 m

rate(mm/yr)=  $17.97 \pm 0.10$  nrms= 0.98 wrms= 2.9 mm # 1078



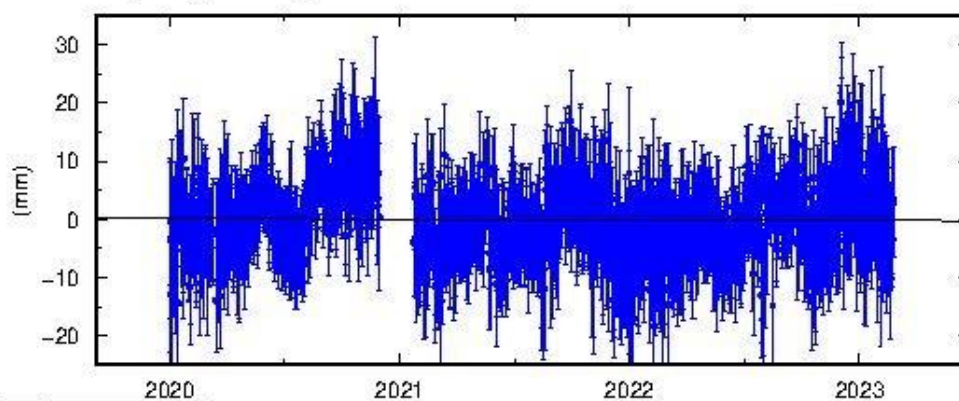
HARB\_3PS East Offset 2774875.703 m

rate(mm/yr)=  $18.82 \pm 0.10$  nrms= 0.83 wrms= 2.5 mm # 1078



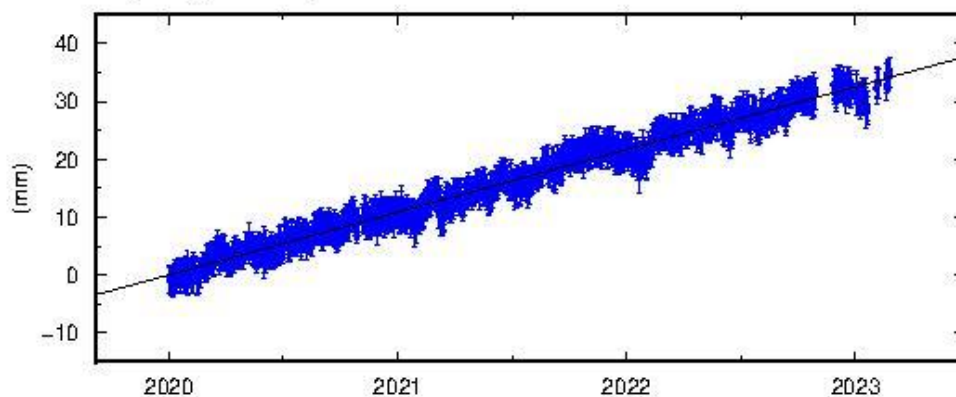
HARB\_3PS Up Offset 1558.078 m

rate(mm/yr)=  $-0.12 \pm 0.26$  nrms= 0.73 wrms= 5.6 mm # 1078



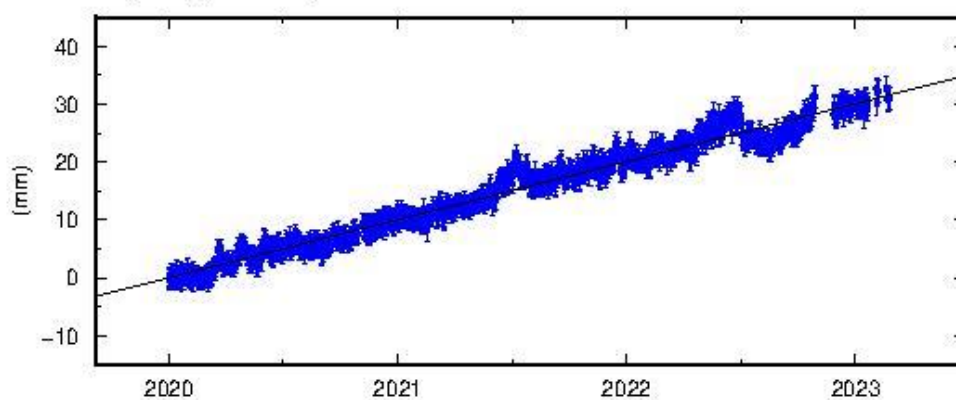
HAAG North Offset -8575836.587 m

rate(mm/yr)=  $10.84 \pm 0.08$  nrms= 0.53 wrms= 1.3 mm # 1074



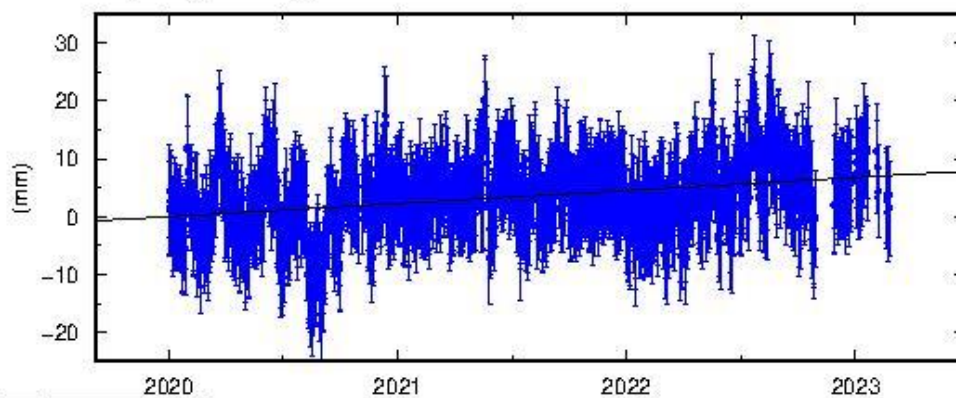
HAAG East Offset 7034627.836 m

rate(mm/yr)=  $10.03 \pm 0.06$  nrms= 0.87 wrms= 1.5 mm # 1074

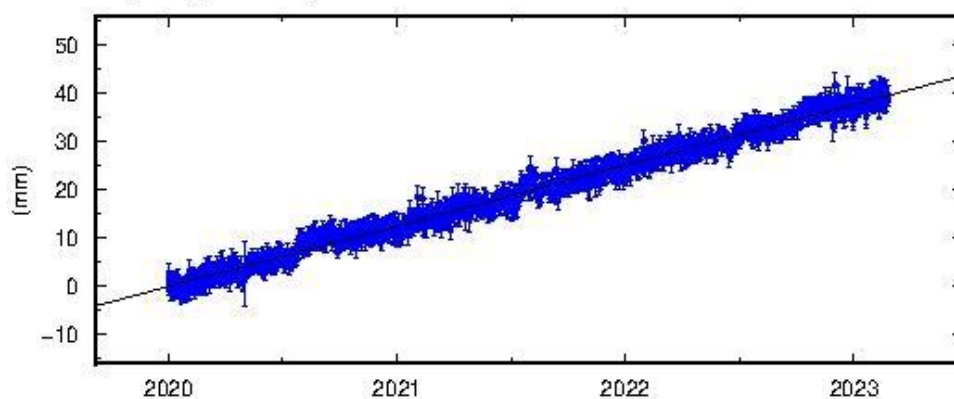


HAAG Up Offset 1171.805 m

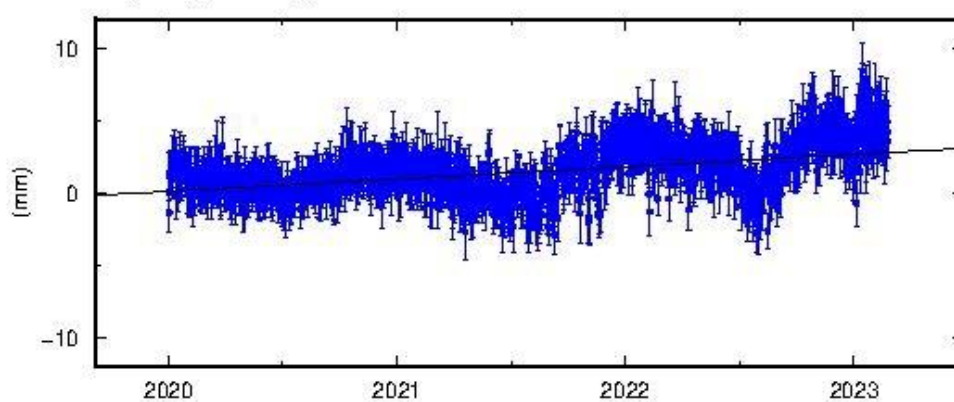
rate(mm/yr)=  $2.25 \pm 0.28$  nrms= 0.64 wrms= 5.0 mm # 1074



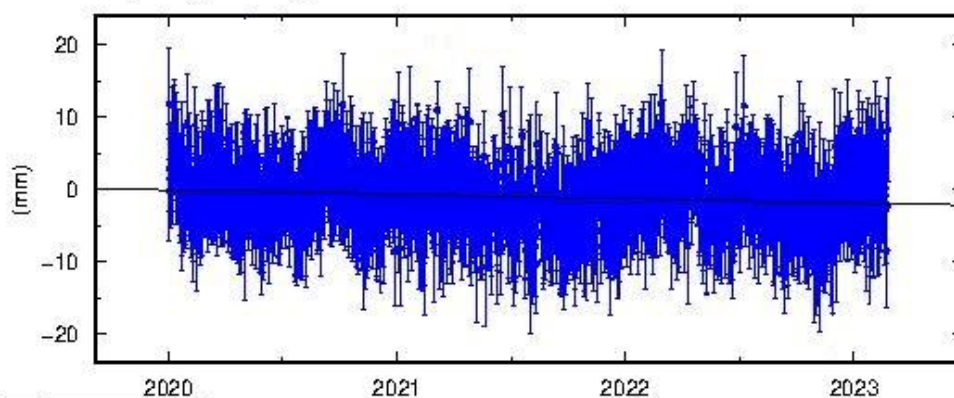
FALK\_3PS North Offset -5754510.892 m  
rate(mm/yr)=  $12.57 \pm 0.07$  nrms= 0.57 wrms= 1.2 mm # 1146



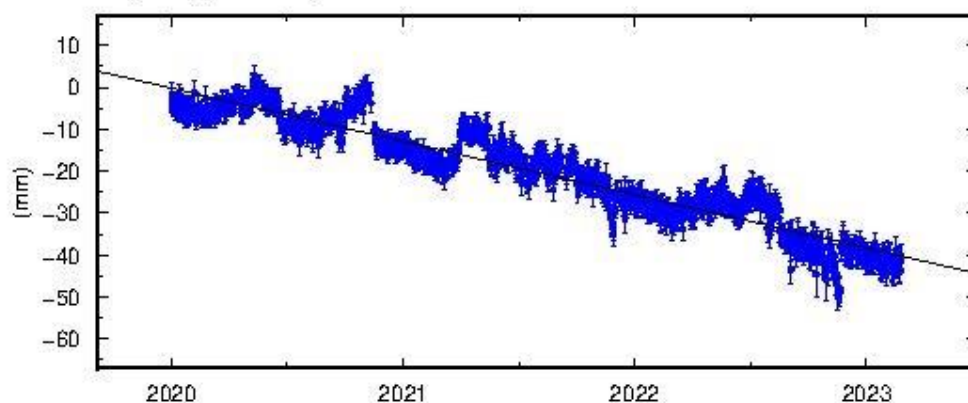
FALK\_3PS East Offset 20848193.320 m  
rate(mm/yr)=  $0.85 \pm 0.05$  nrms= 0.98 wrms= 1.5 mm # 1146



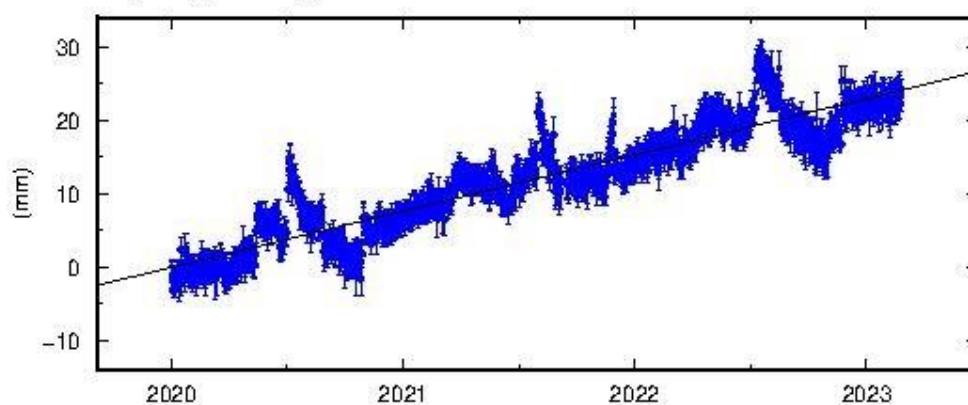
FALK\_3PS Up Offset 50.825 m  
rate(mm/yr)=  $-0.59 \pm 0.22$  nrms= 0.53 wrms= 3.6 mm # 1146



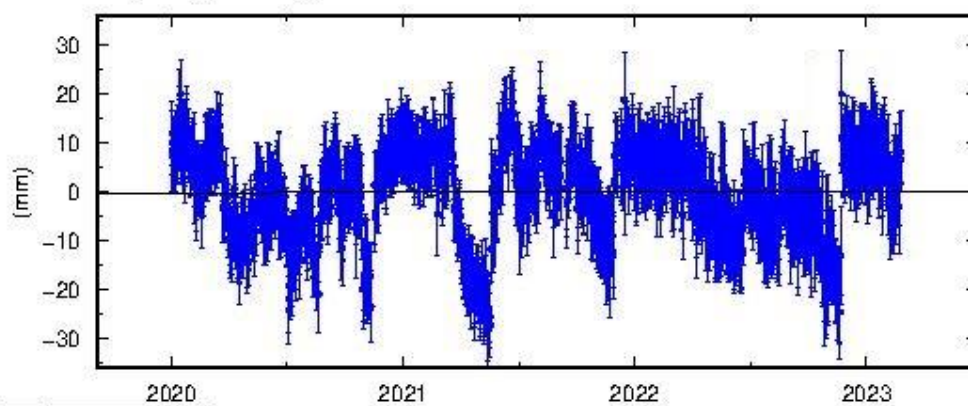
DUMG North Offset -7421134.481 m  
rate(mm/yr)=  $-12.71 \pm 0.08$  nrms= 1.44 wrms= 3.7 mm # 1122



DUMG East Offset 6173595.685 m  
rate(mm/yr)=  $7.66 \pm 0.06$  nrms= 1.43 wrms= 2.7 mm # 1122

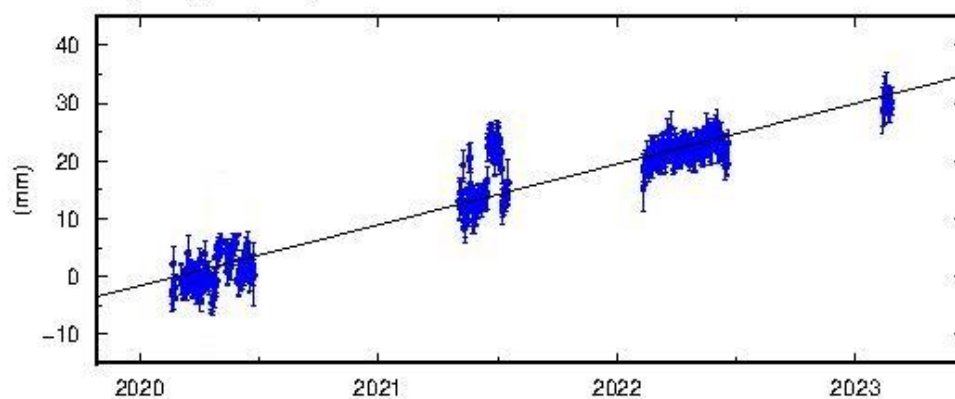


DUMG Up Offset -1.635 m  
rate(mm/yr)=  $0.04 \pm 0.25$  nrms= 1.20 wrms= 9.0 mm # 1122



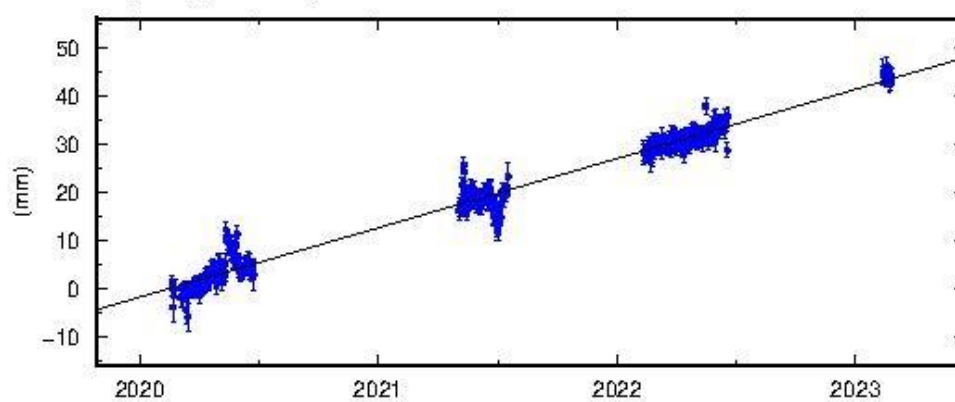
DISM North Offset -7579870.017 m

rate(mm/yr)=  $10.52 \pm 0.13$  nrms= 1.52 wrms= 3.4 mm # 337



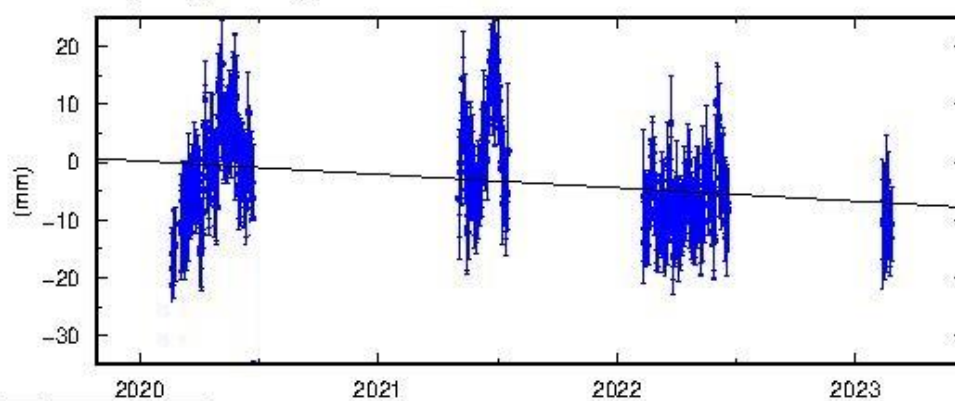
DISM East Offset 12093979.476 m

rate(mm/yr)=  $14.39 \pm 0.10$  nrms= 1.22 wrms= 2.0 mm # 337

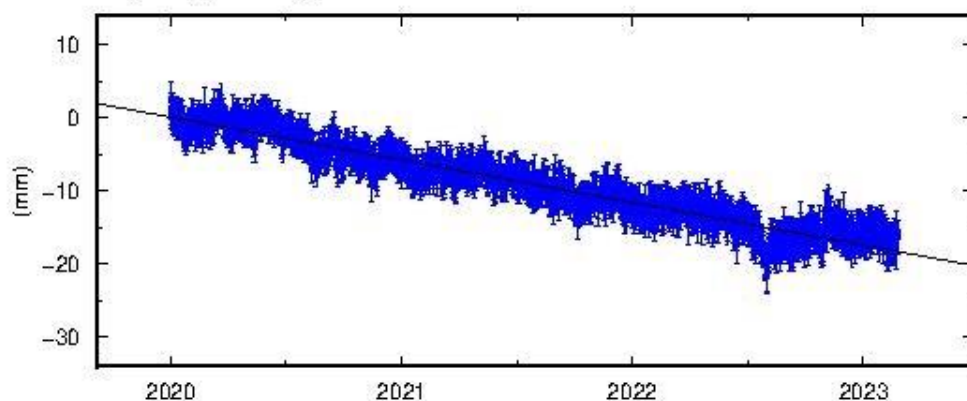


DISM Up Offset 37.325 m

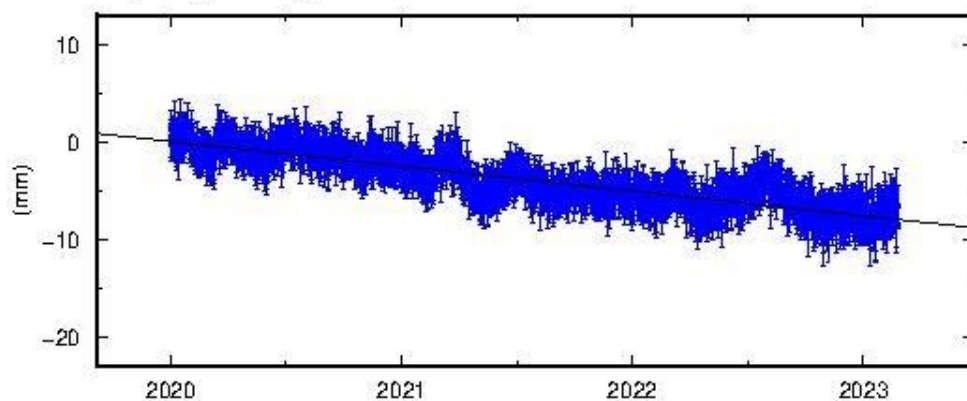
rate(mm/yr)=  $-2.32 \pm 0.40$  nrms= 1.10 wrms= 7.4 mm # 337



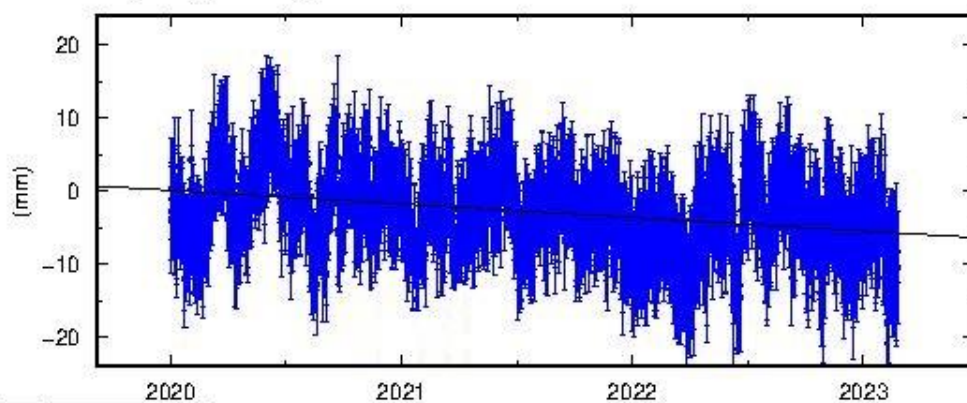
DAV1\_5PS North Offset -7633992.759 m  
rate(mm/yr)=  $-5.84 \pm 0.07$  nrms= 0.63 wrms= 1.4 mm # 1134



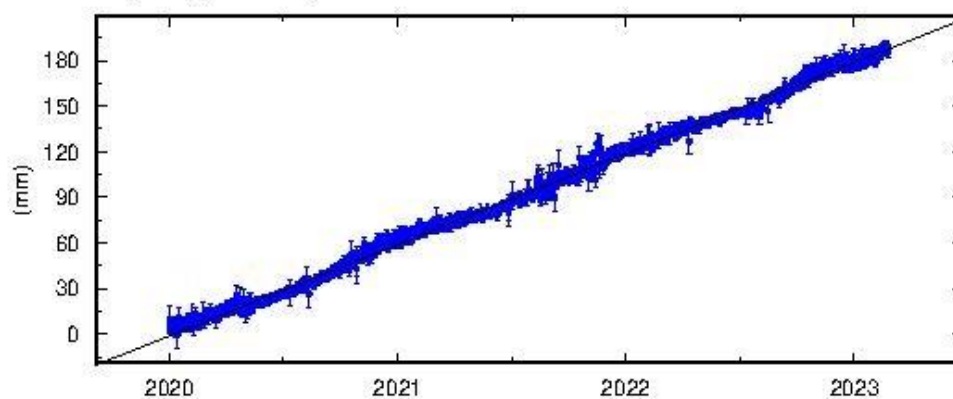
DAV1\_5PS East Offset 3170252.841 m  
rate(mm/yr)=  $-2.54 \pm 0.07$  nrms= 0.61 wrms= 1.2 mm # 1134



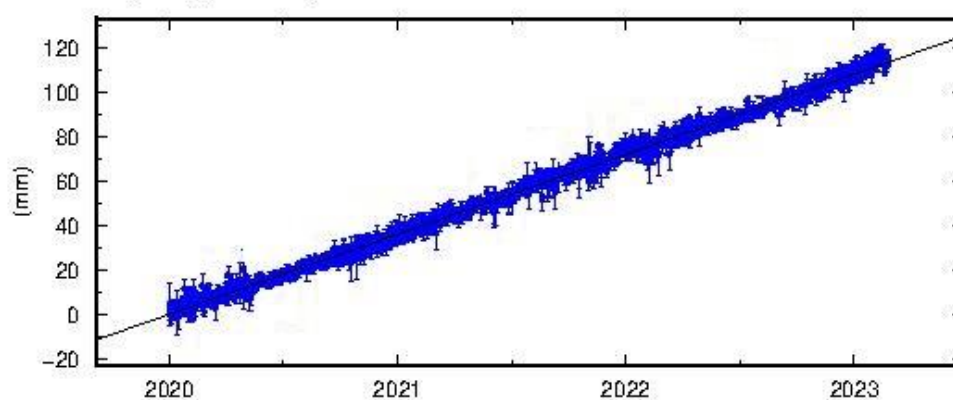
DAV1\_5PS Up Offset 44.391 m  
rate(mm/yr)=  $-1.85 \pm 0.23$  nrms= 0.66 wrms= 4.6 mm # 1134



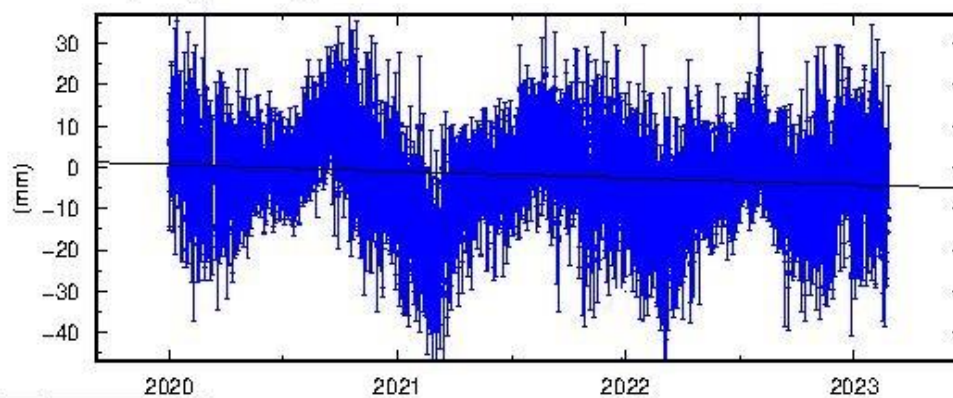
DARW\_6PS North Offset -1429753.774 m  
 rate(mm/yr)=  $59.85 \pm 0.09$  nrms= 0.99 wrms= 2.8 mm # 1126



DARW\_6PS East Offset 14232435.255 m  
 rate(mm/yr)=  $35.98 \pm 0.10$  nrms= 0.57 wrms= 1.7 mm # 1126

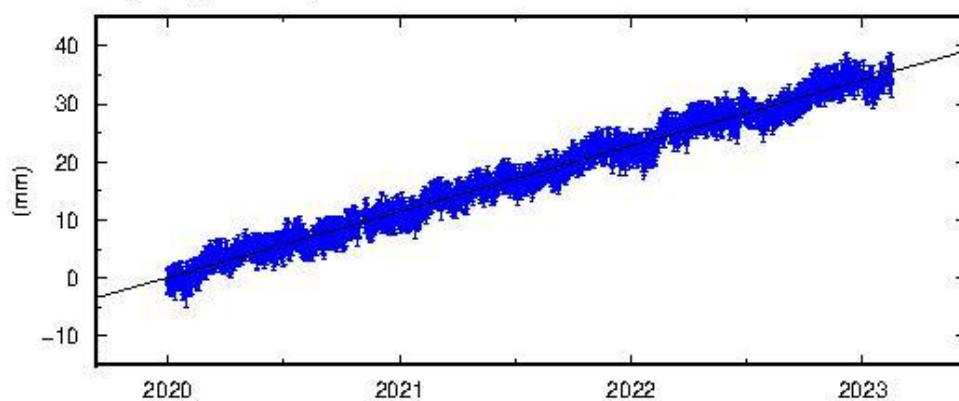


DARW\_6PS Up Offset 125.106 m  
 rate(mm/yr)=  $-1.64 \pm 0.42$  nrms= 0.67 wrms= 8.4 mm # 1126



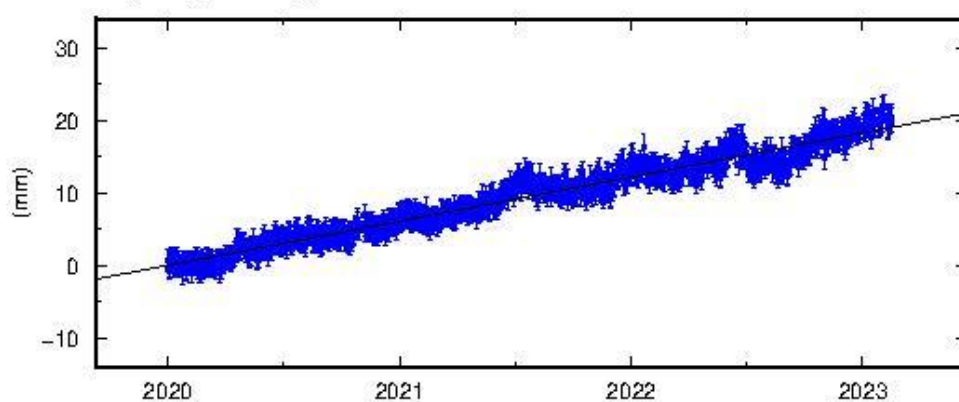
CRDI North Offset -9224102.312 m

rate(mm/yr)=  $11.34 \pm 0.07$  nrms= 0.55 wrms= 1.1 mm # 1107



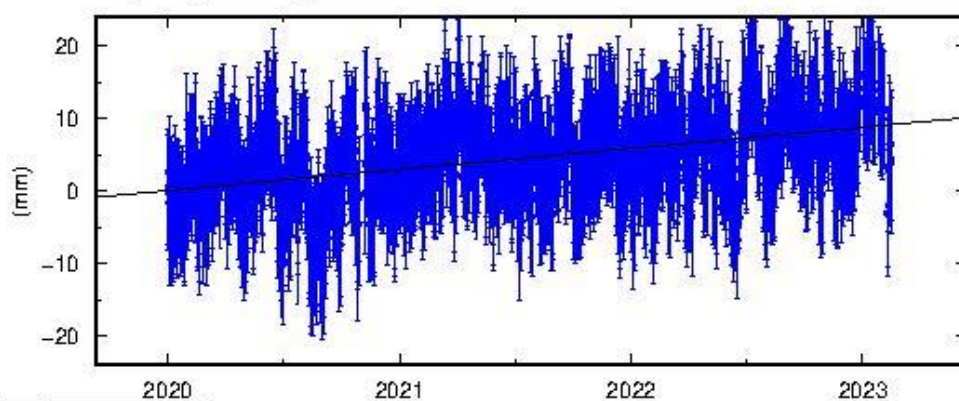
CRDI East Offset 4244201.882 m

rate(mm/yr)=  $6.09 \pm 0.05$  nrms= 0.74 wrms= 1.1 mm # 1107



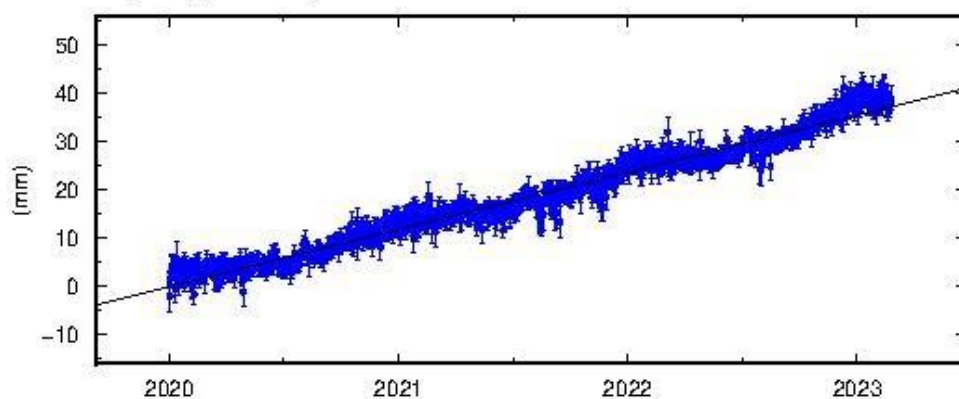
CRDI Up Offset 945.312 m

rate(mm/yr)=  $2.91 \pm 0.27$  nrms= 0.58 wrms= 4.7 mm # 1107



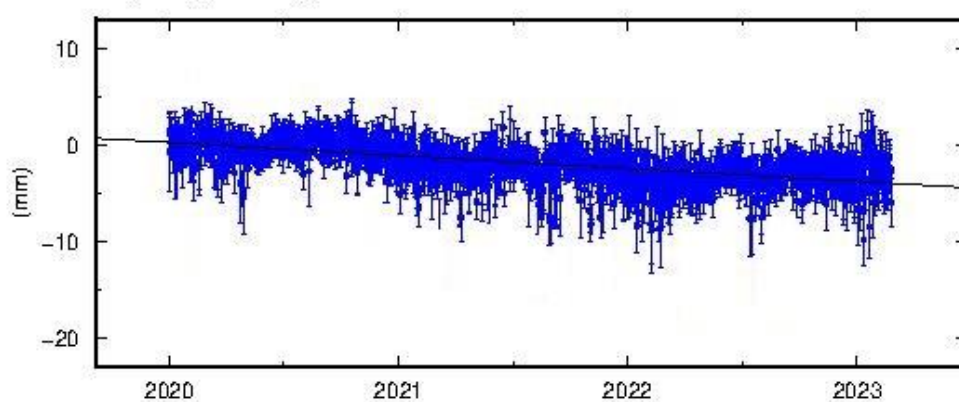
CORD\_4PS North Offset -3509729.158 m

rate(mm/yr)=  $11.84 \pm 0.06$  nrms= 0.87 wrms= 1.6 mm # 1137



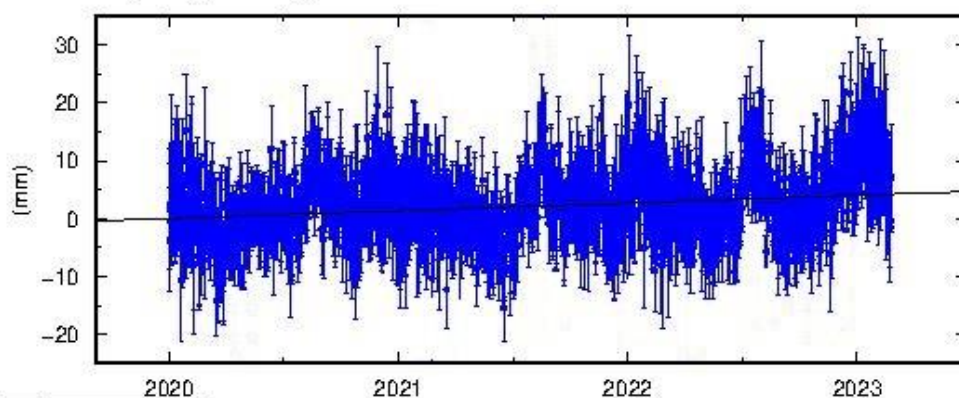
CORD\_4PS East Offset 28042196.521 m

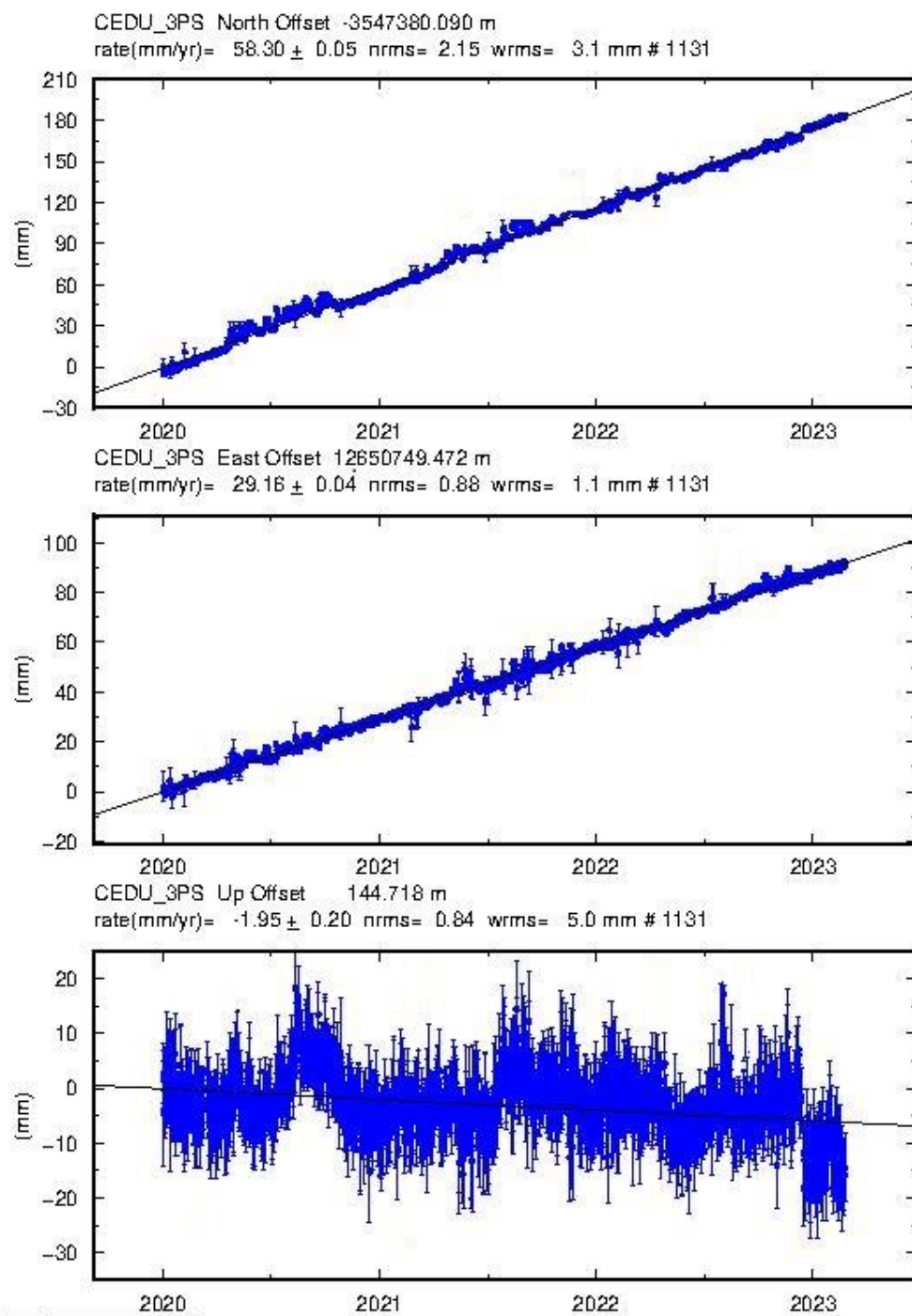
rate(mm/yr)=  $-1.34 \pm 0.06$  nrms= 0.78 wrms= 1.4 mm # 1137



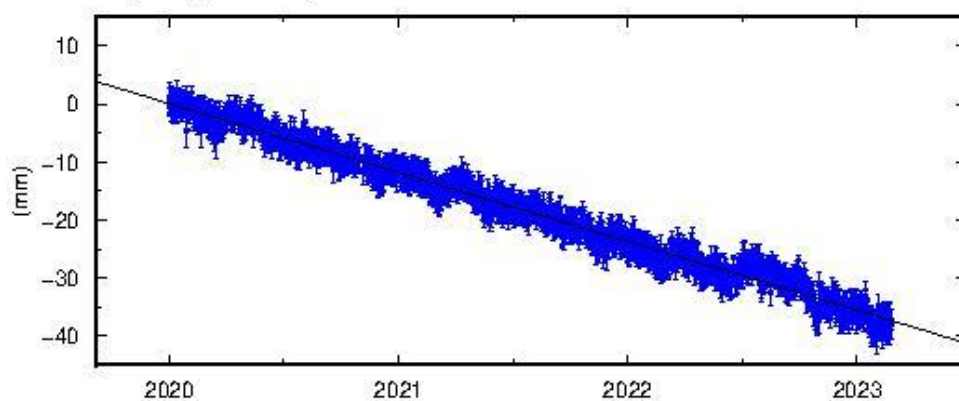
CORD\_4PS Up Offset 746.832 m

rate(mm/yr)=  $1.34 \pm 0.23$  nrms= 0.80 wrms= 5.4 mm # 1137

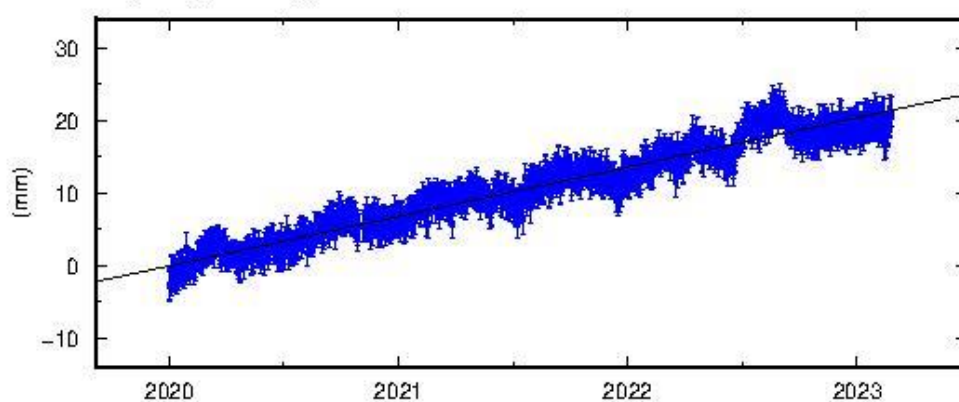




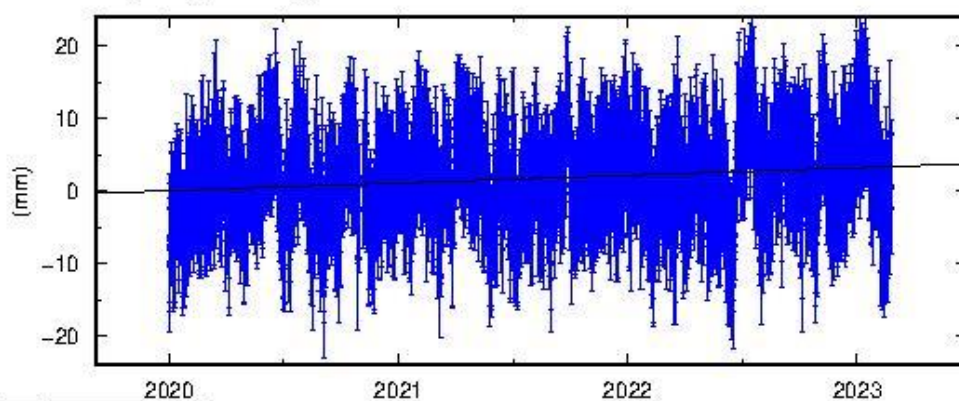
BURI North Offset -8810652.508 m  
rate(mm/yr)=  $-11.87 \pm 0.08$  nrms= 0.56 wrms= 1.3 mm # 1140



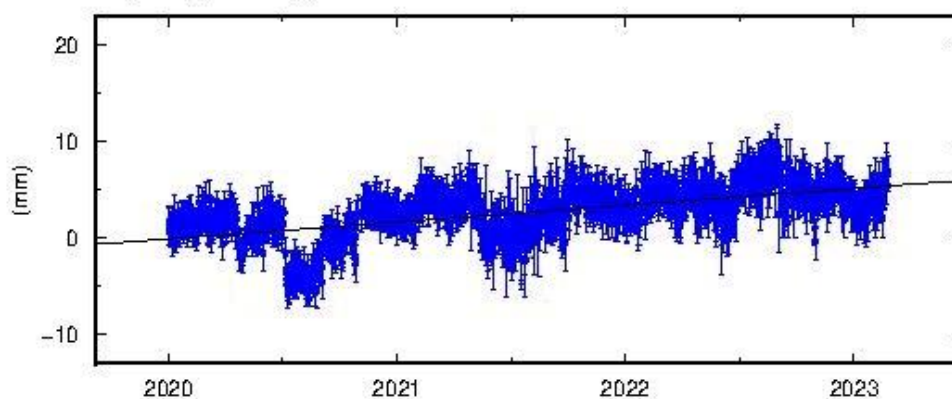
BURI East Offset 3267117.491 m  
rate(mm/yr)=  $6.81 \pm 0.06$  nrms= 0.72 wrms= 1.4 mm # 1140



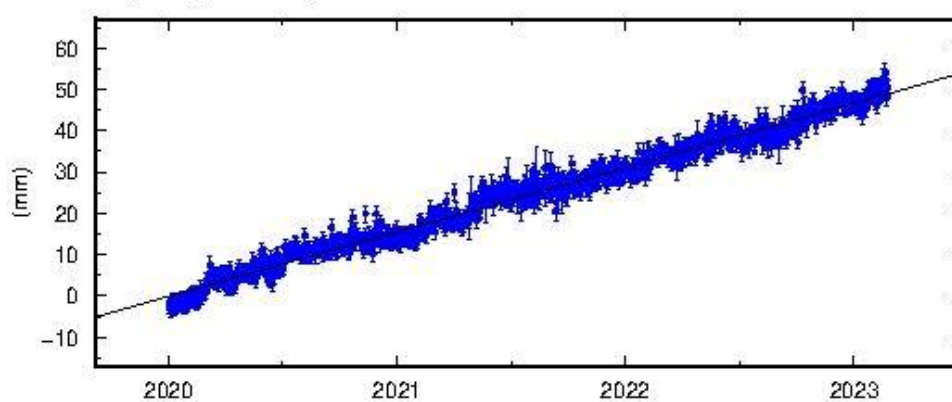
BURI Up Offset 2006.297 m  
rate(mm/yr)=  $1.06 \pm 0.29$  nrms= 0.54 wrms= 4.8 mm # 1140



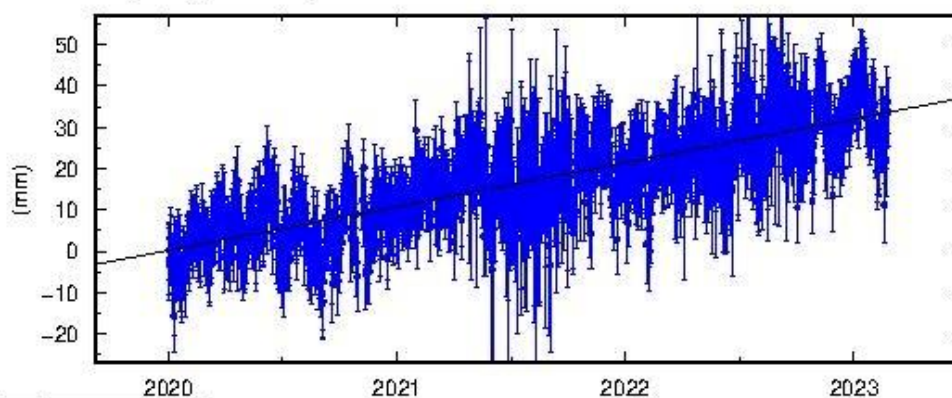
BENN North Offset -9438385.329 m  
rate(mm/yr)=  $1.75 \pm 0.06$  nrms= 1.21 wrms= 2.1 mm # 1128



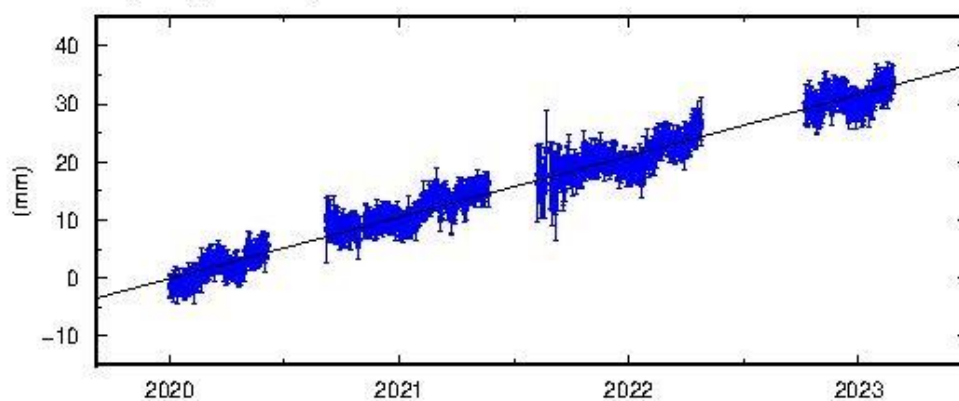
BENN East Offset 2463478.310 m  
rate(mm/yr)=  $15.57 \pm 0.06$  nrms= 0.96 wrms= 1.8 mm # 1128



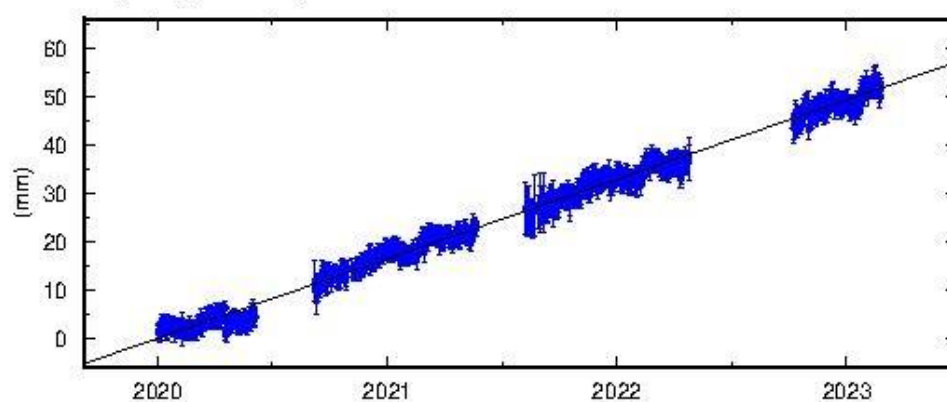
BENN Up Offset 1416.426 m  
rate(mm/yr)=  $10.60 \pm 0.27$  nrms= 0.74 wrms= 6.4 mm # 1128



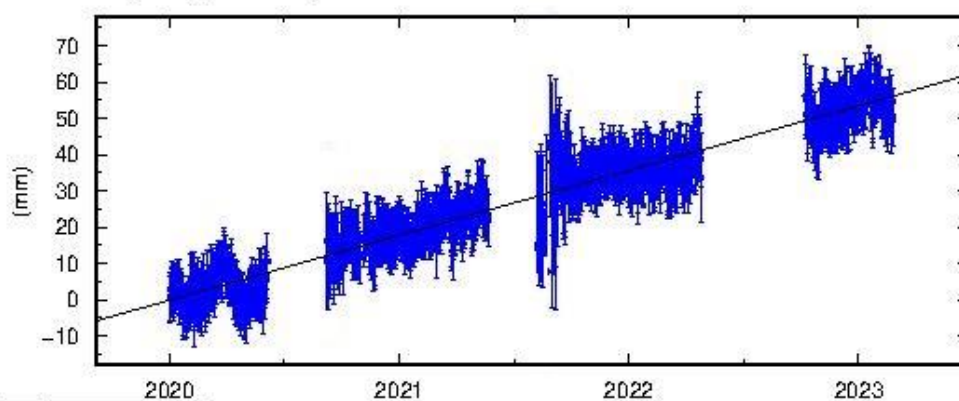
BACK North Offset -8285558.758 m  
rate(mm/yr)=  $10.57 \pm 0.08$  nrms= 0.64 wrms= 1.4 mm # 782



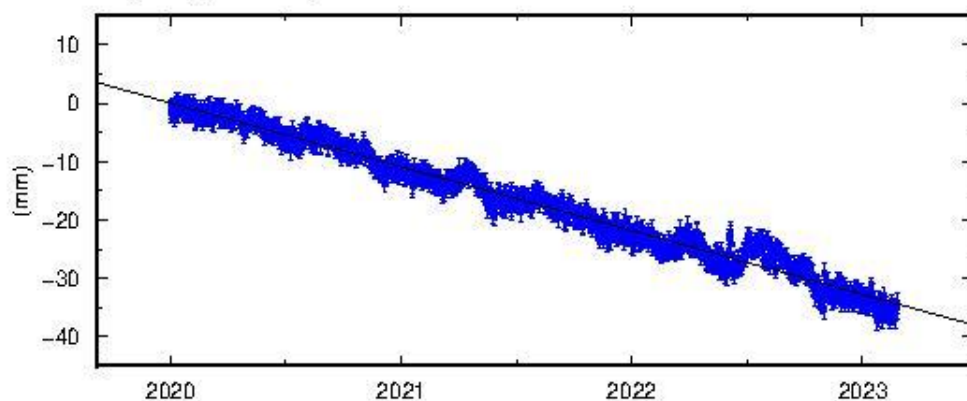
BACK East Offset 7694578.300 m  
rate(mm/yr)=  $16.42 \pm 0.07$  nrms= 0.75 wrms= 1.4 mm # 782



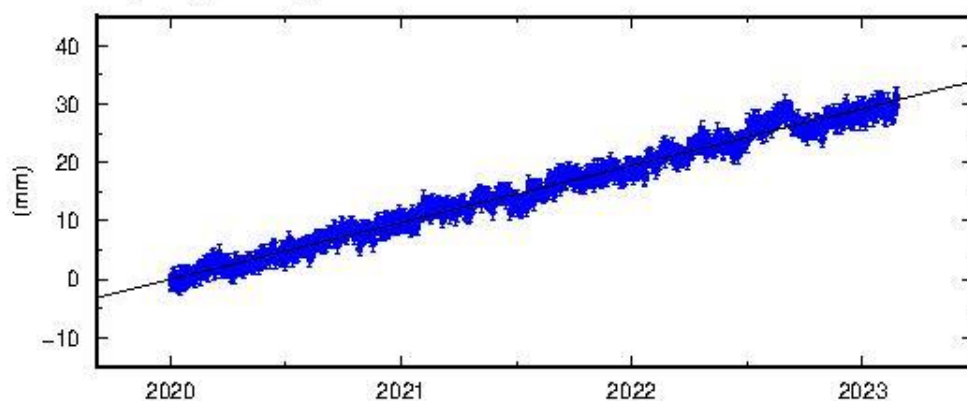
BACK Up Offset 33.304 m  
rate(mm/yr)=  $17.86 \pm 0.28$  nrms= 0.48 wrms= 3.6 mm # 782



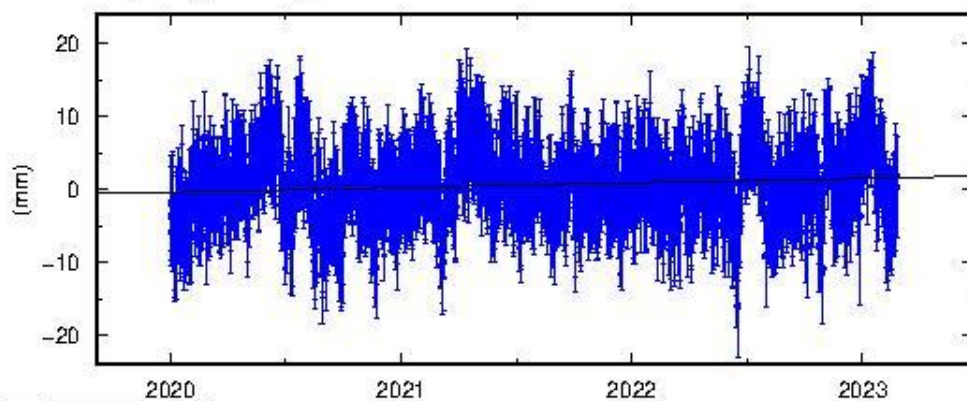
ARHT North Offset -8663933.268 m  
rate(mm/yr)=  $-10.92 \pm 0.05$  nrms= 0.92 wrms= 1.4 mm # 1148



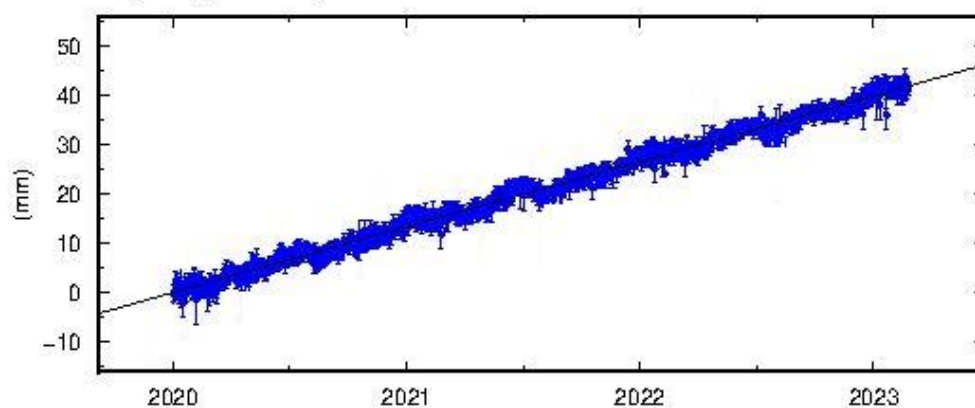
ARHT East Offset 3910942.759 m  
rate(mm/yr)=  $9.75 \pm 0.04$  nrms= 0.85 wrms= 1.1 mm # 1148



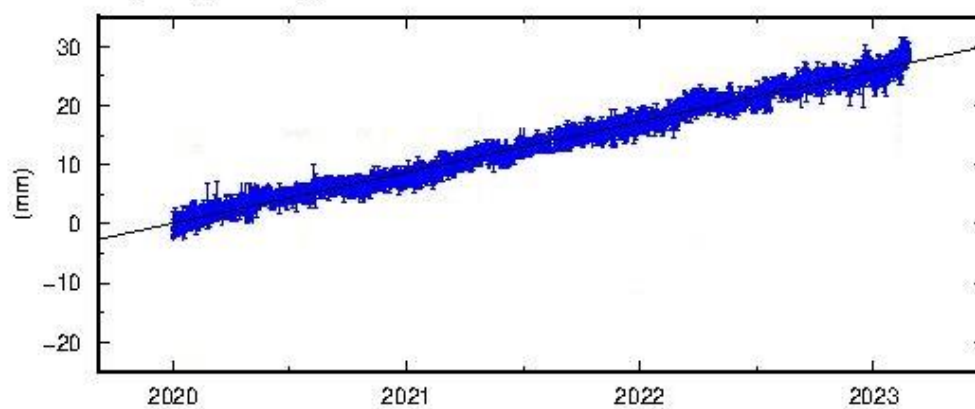
ARHT Up Offset 135.330 m  
rate(mm/yr)=  $0.63 \pm 0.20$  nrms= 0.65 wrms= 4.0 mm # 1148



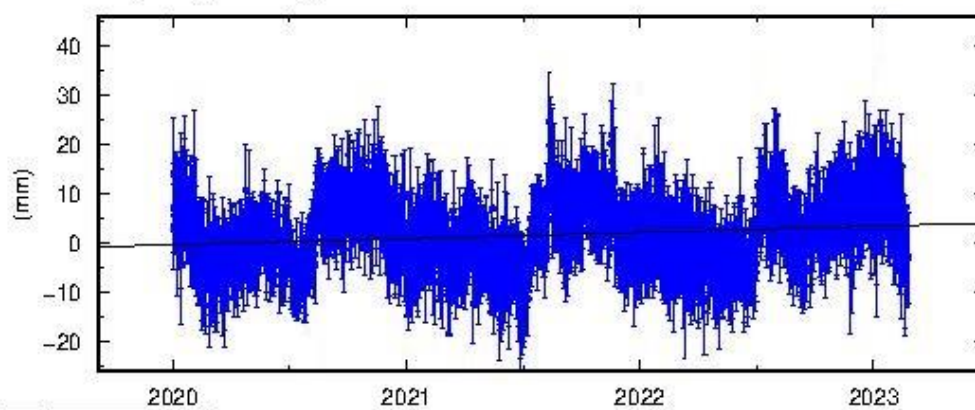
AREQ\_9PS North Offset -1832932.809 m  
rate(mm/yr)=  $13.30 \pm 0.05$  nrms= 0.74 wrms= 1.1 mm # 1140



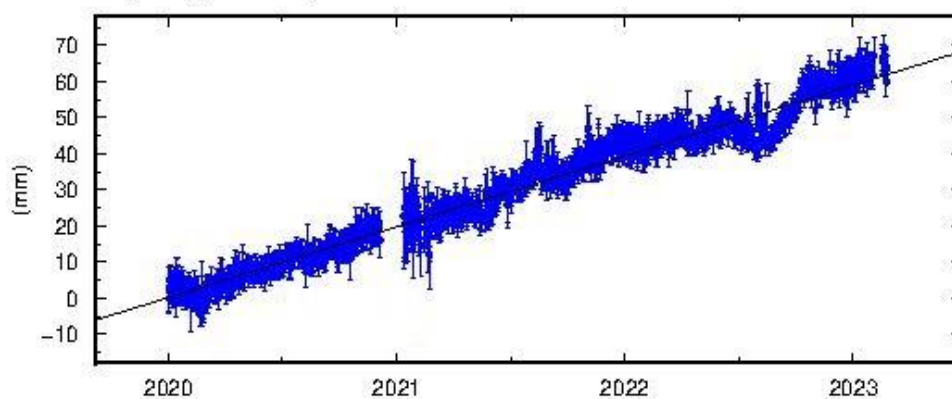
AREQ\_9PS East Offset 30799610.998 m  
rate(mm/yr)=  $8.60 \pm 0.04$  nrms= 0.72 wrms= 0.9 mm # 1140



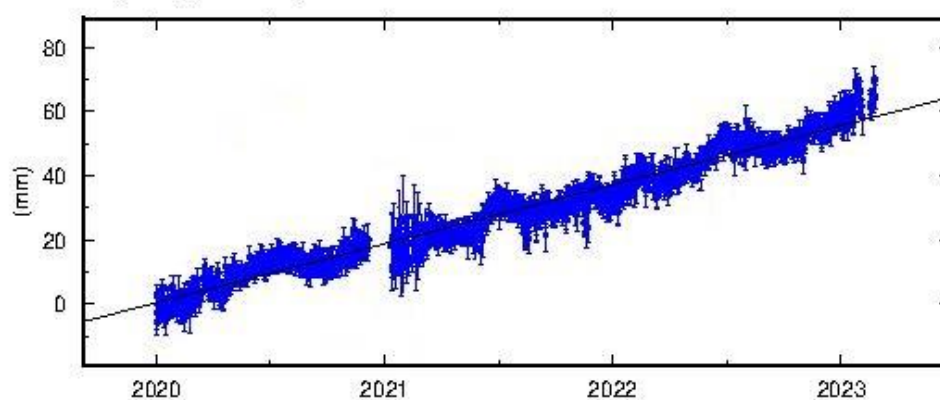
AREQ\_9PS Up Offset 2488.940 m  
rate(mm/yr)=  $1.26 \pm 0.27$  nrms= 0.76 wrms= 6.3 mm # 1140



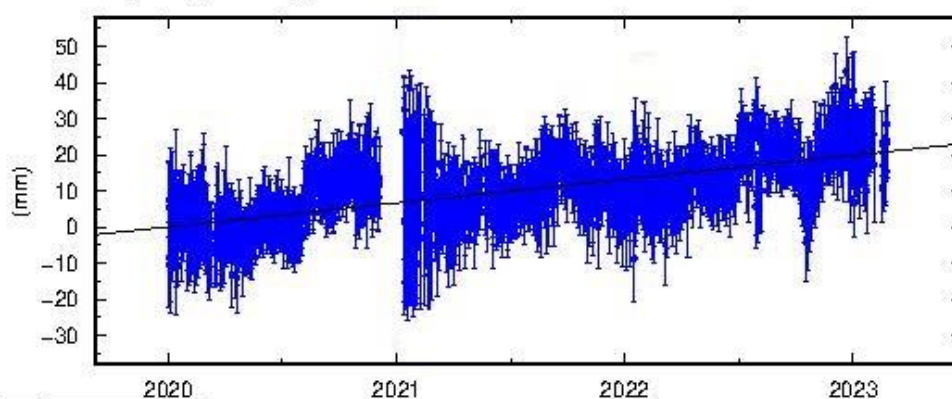
WIND\_3PS North Offset -2513028.329 m  
rate(mm/yr)=  $19.59 \pm 0.11$  nrms= 0.95 wrms= 3.0 mm # 1072



WIND\_3PS East Offset 1756625.322 m  
rate(mm/yr)=  $18.38 \pm 0.11$  nrms= 0.98 wrms= 3.2 mm # 1072

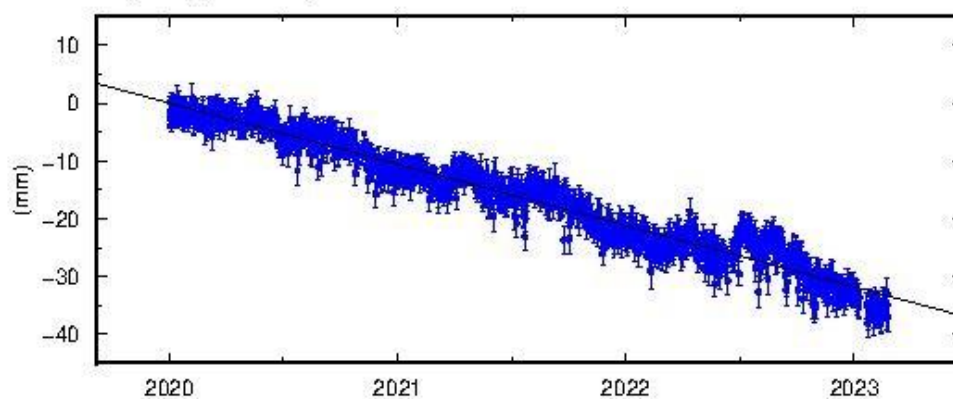


WIND\_3PS Up Offset 1734.662 m  
rate(mm/yr)=  $6.62 \pm 0.29$  nrms= 0.73 wrms= 6.2 mm # 1072



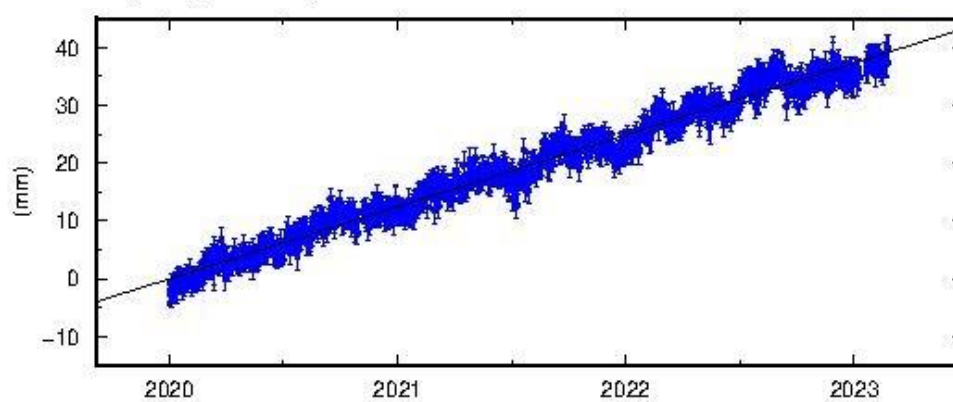
VL01 North Offset -8065112.556 m

rate(mm/yr)=  $-10.60 \pm 0.07$  nrms= 0.95 wrms= 2.1 mm # 1092



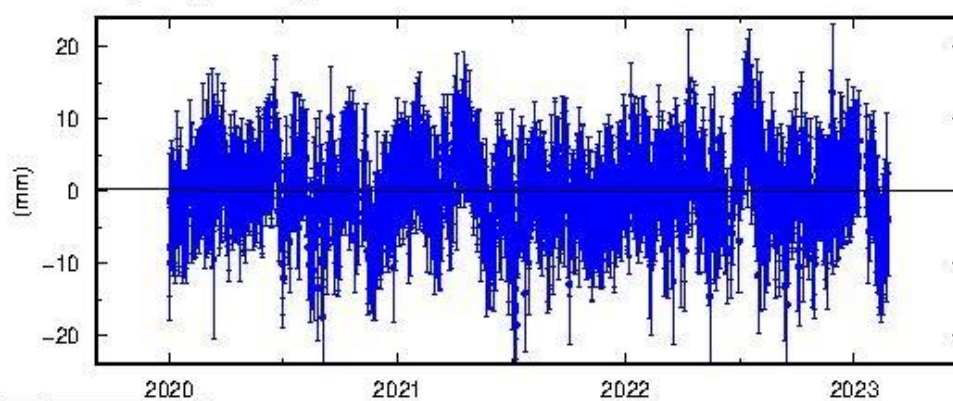
VL01 East Offset 5696942.970 m

rate(mm/yr)=  $12.44 \pm 0.06$  nrms= 0.83 wrms= 1.6 mm # 1092



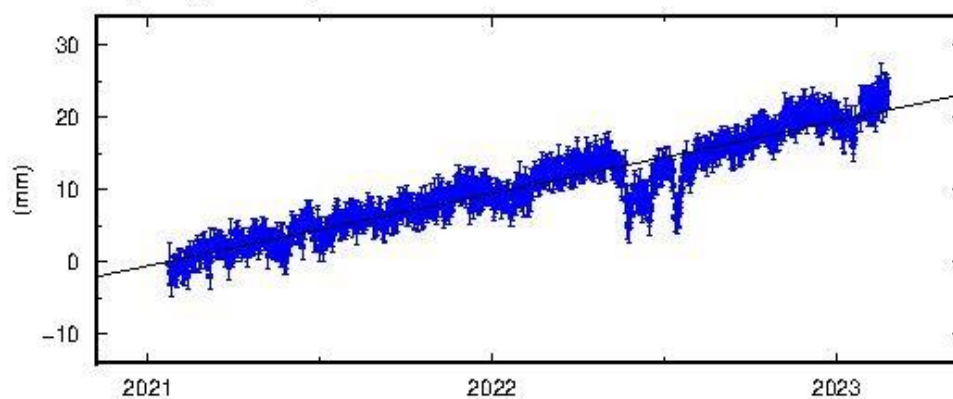
VL01 Up Offset 596.885 m

rate(mm/yr)=  $-0.06 \pm 0.23$  nrms= 0.67 wrms= 4.7 mm # 1092



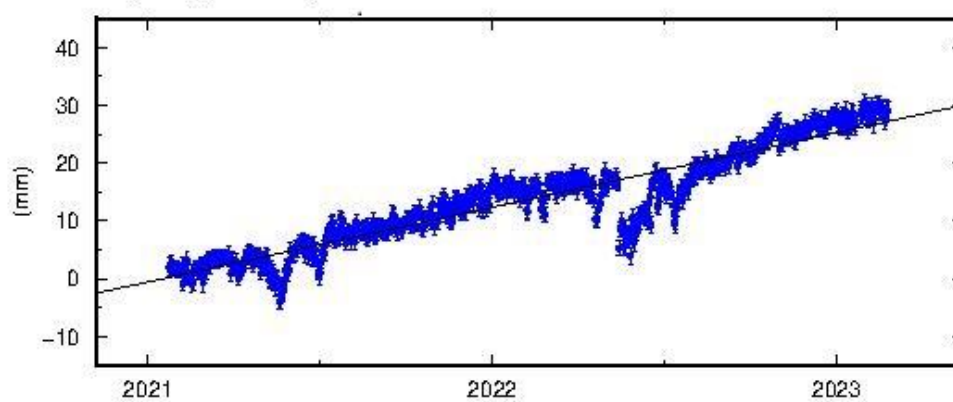
TRVE North Offset -7791120.202 m

rate(mm/yr)=  $10.02 \pm 0.11$  nrms= 0.99 wrms= 1.8 mm # 758



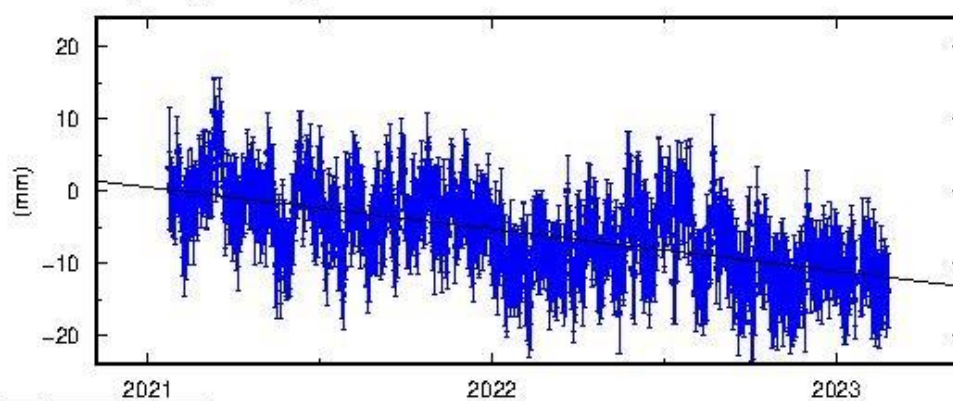
TRVE East Offset 11139826.763 m

rate(mm/yr)=  $12.91 \pm 0.08$  nrms= 2.13 wrms= 2.7 mm # 758



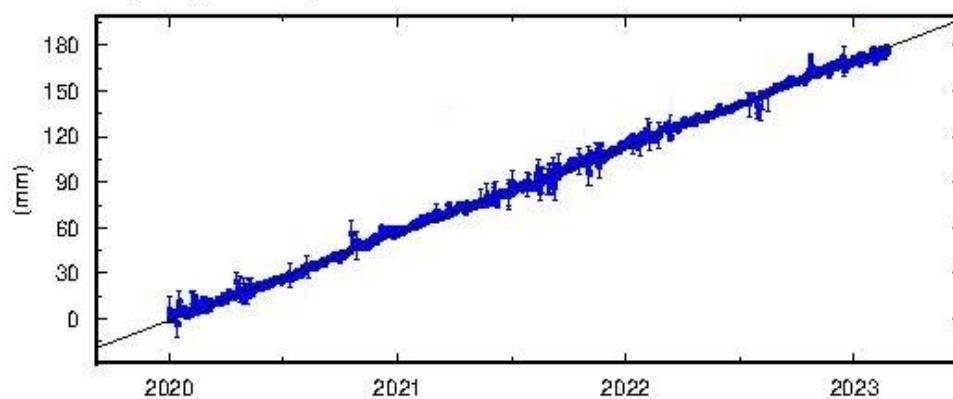
TRVE Up Offset 1064.365 m

rate(mm/yr)=  $-5.80 \pm 0.31$  nrms= 0.81 wrms= 4.2 mm # 758



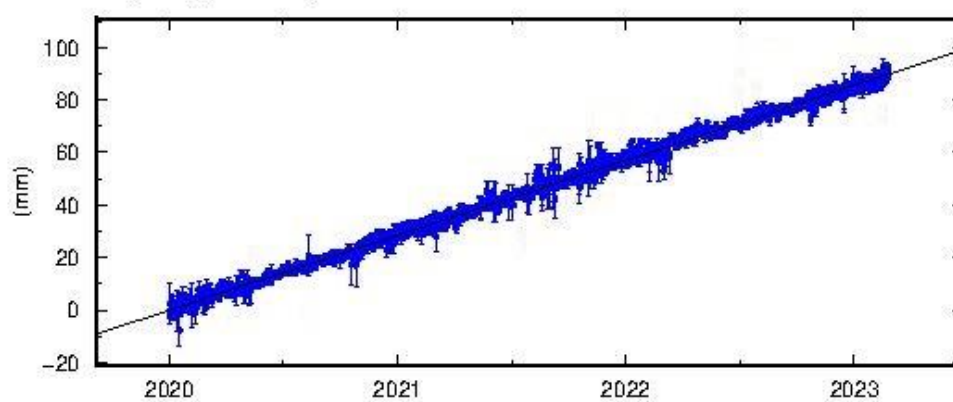
TOW2\_2PS North Offset -2145045.584 m

rate(mm/yr)=  $56.99 \pm 0.05$  nrms= 1.15 wrms= 1.7 mm # 1128



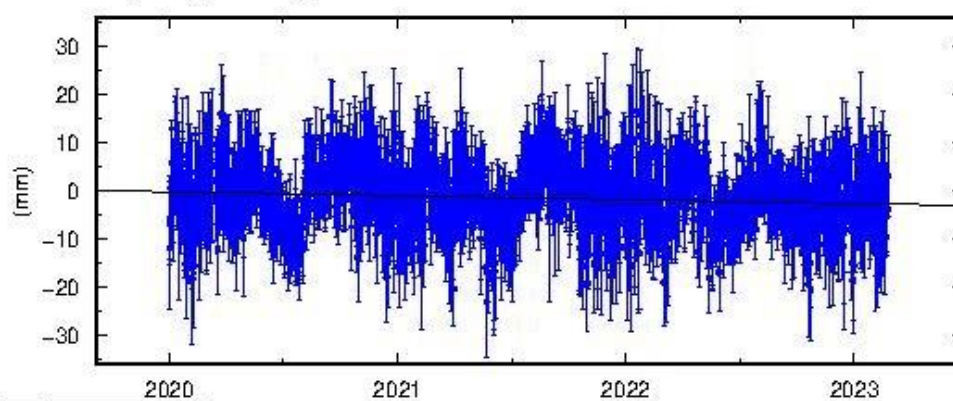
TOW2\_2PS East Offset 15453122.880 m

rate(mm/yr)=  $28.51 \pm 0.06$  nrms= 0.74 wrms= 1.2 mm # 1128

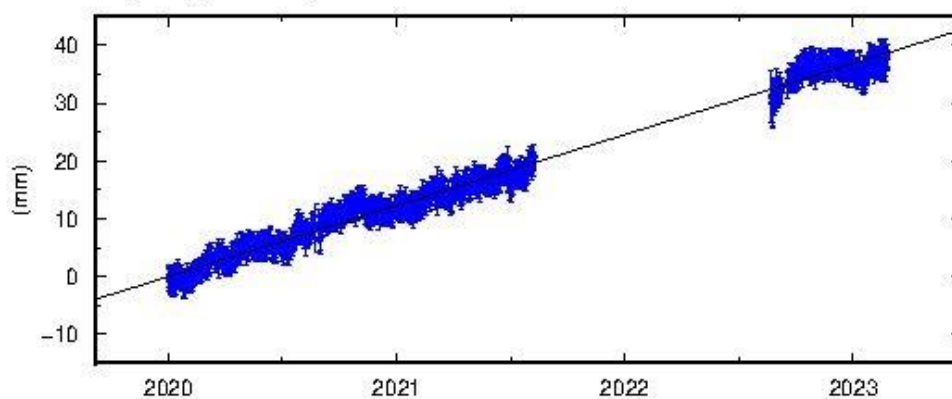


TOW2\_2PS Up Offset 88.084 m

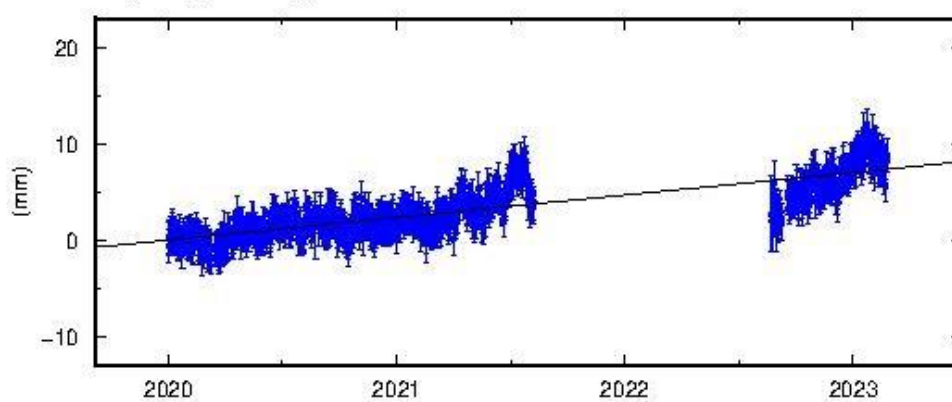
rate(mm/yr)=  $-0.80 \pm 0.27$  nrms= 0.78 wrms= 6.2 mm # 1128



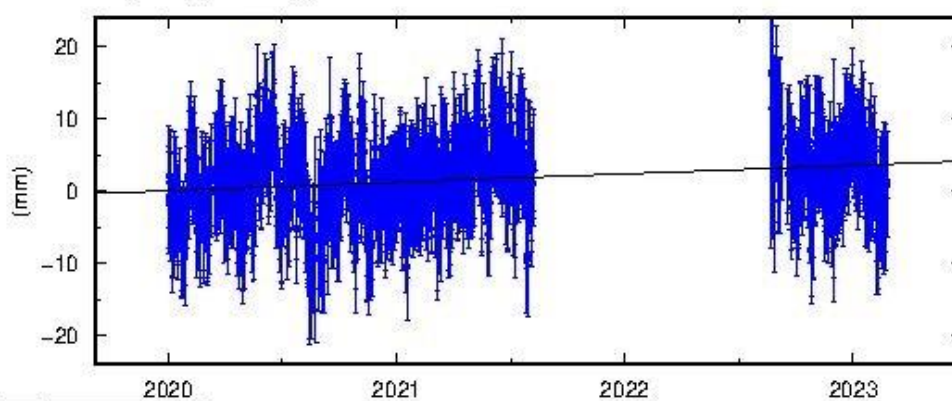
THRO North Offset -8808342.682 m  
rate(mm/yr)=  $12.29 \pm 0.08$  nrms= 0.65 wrms= 1.3 mm # 742



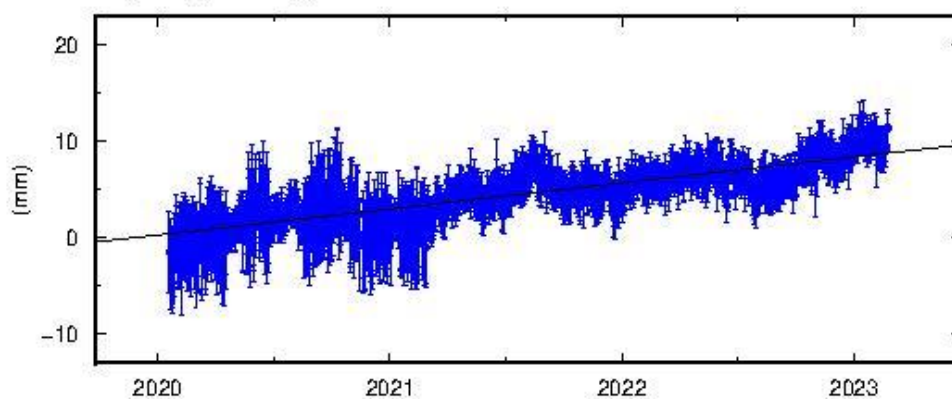
THRO East Offset 6965637.691 m  
rate(mm/yr)=  $2.34 \pm 0.06$  nrms= 0.85 wrms= 1.4 mm # 742



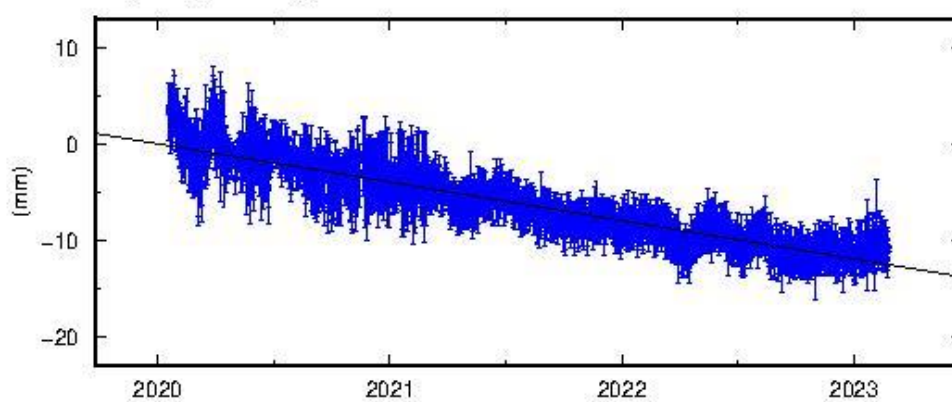
THRO Up Offset 1058.131 m  
rate(mm/yr)=  $1.17 \pm 0.28$  nrms= 0.63 wrms= 4.6 mm # 742



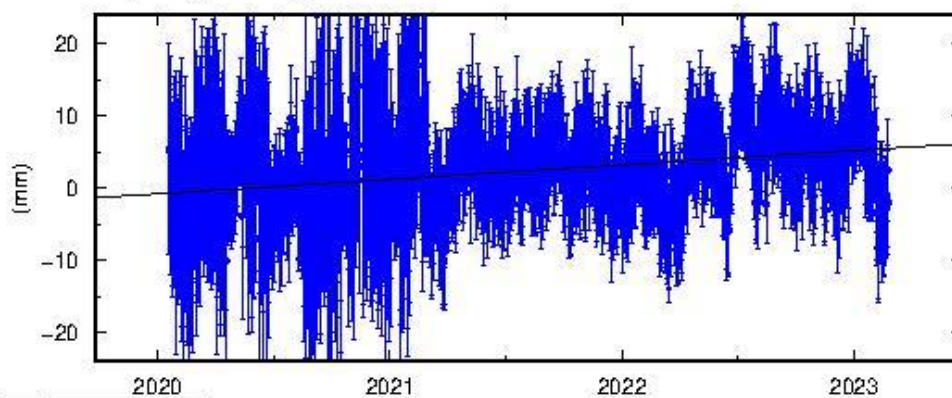
SYOG\_6PS North Offset -7681819.304 m  
 rate(mm/yr)=  $2.70 \pm 0.07$  nrms= 0.69 wrms= 1.4 mm # 1103



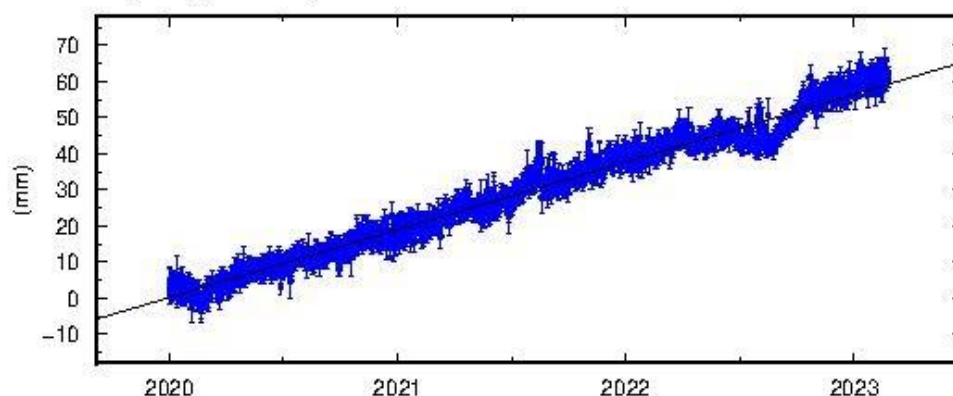
SYOG\_6PS East Offset 1578607.229 m  
 rate(mm/yr)=  $-3.98 \pm 0.07$  nrms= 0.56 wrms= 1.2 mm # 1103



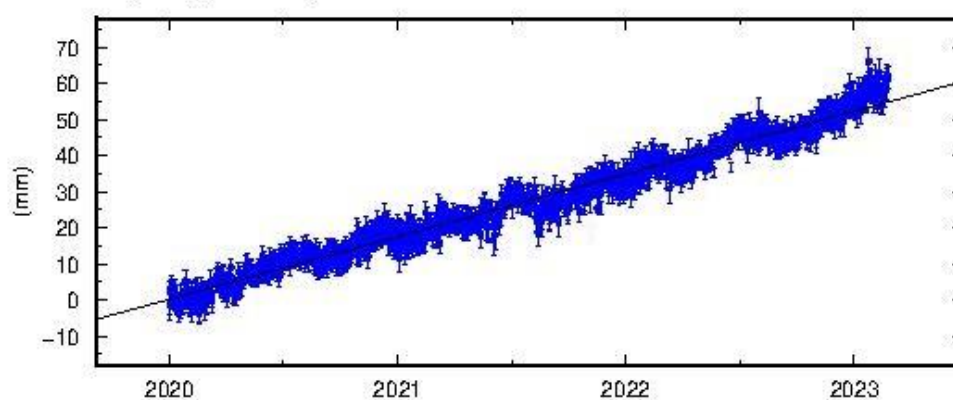
SYOG\_6PS Up Offset 49.993 m  
 rate(mm/yr)=  $1.99 \pm 0.28$  nrms= 0.61 wrms= 4.6 mm # 1103



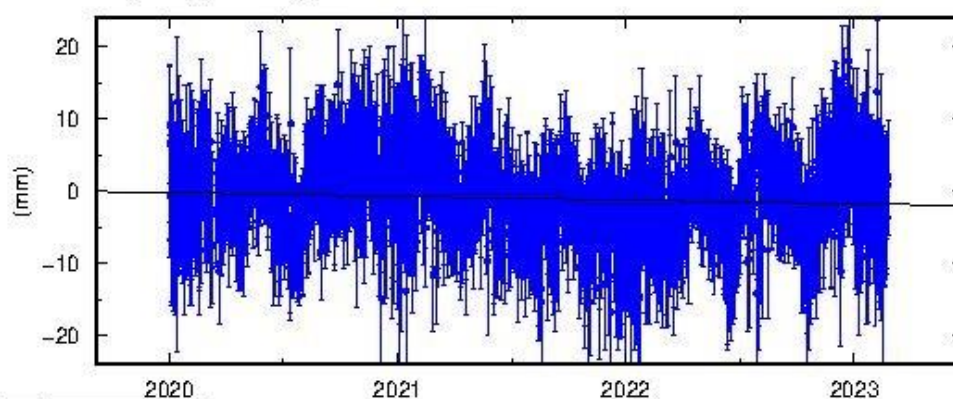
SUTM\_4PS North Offset -3604684.456 m  
rate(mm/yr)=  $18.75 \pm 0.09$  nrms= 0.88 wrms= 2.4 mm # 1133



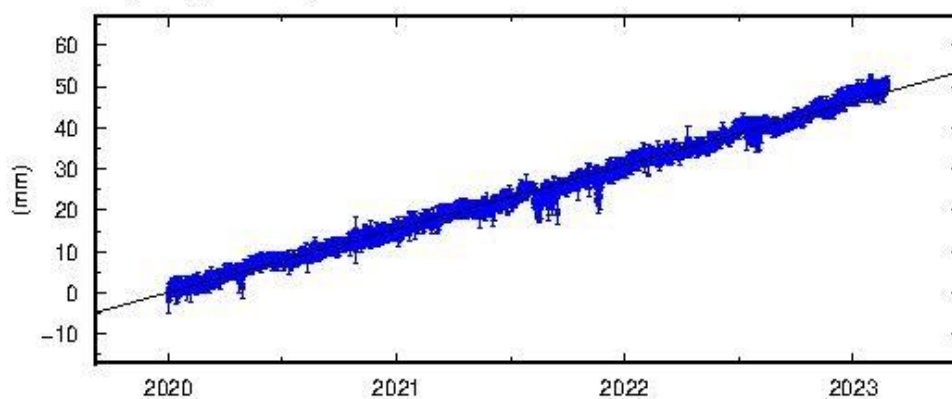
SUTM\_4PS East Offset 1956434.255 m  
rate(mm/yr)=  $17.34 \pm 0.09$  nrms= 0.90 wrms= 2.5 mm # 1133



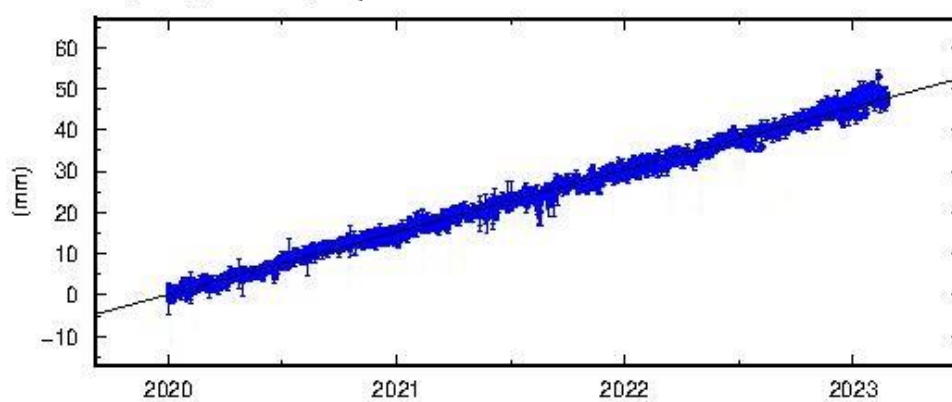
SUTM\_4PS Up Offset 1797.623 m  
rate(mm/yr)=  $-0.51 \pm 0.24$  nrms= 0.68 wrms= 5.0 mm # 1133



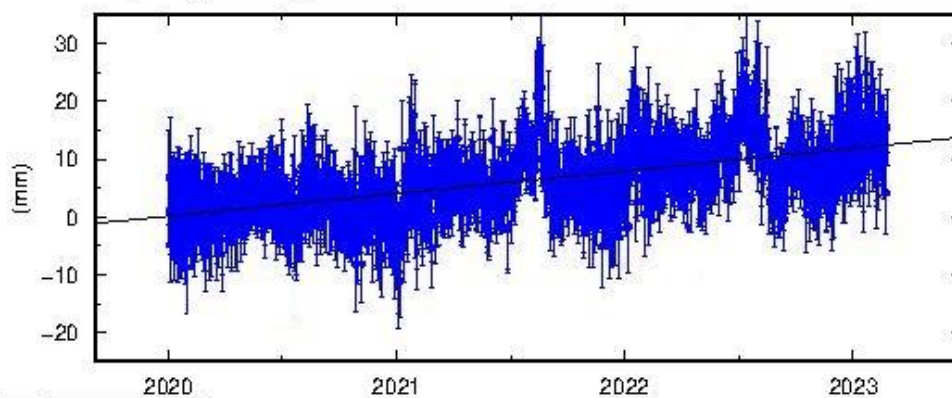
SANT\_8PS North Offset -3690273.110 m  
rate(mm/yr)=  $15.40 \pm 0.05$  nrms= 0.67 wrms= 1.0 mm # 1135



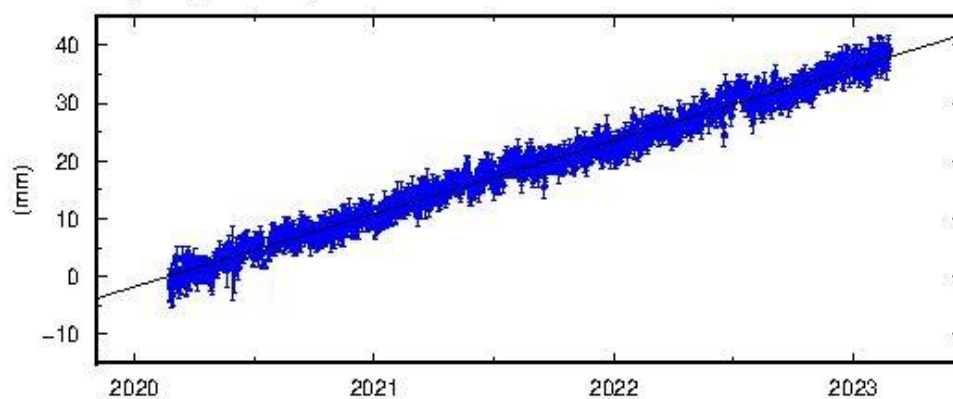
SANT\_8PS East Offset 26965600.777 m  
rate(mm/yr)=  $15.10 \pm 0.04$  nrms= 0.76 wrms= 1.0 mm # 1135



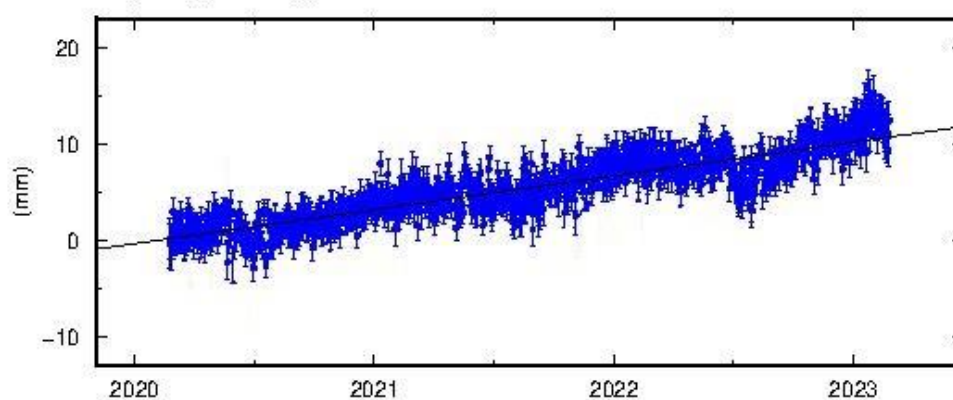
SANT\_8PS Up Offset 723.111 m  
rate(mm/yr)=  $3.92 \pm 0.20$  nrms= 0.73 wrms= 4.4 mm # 1135



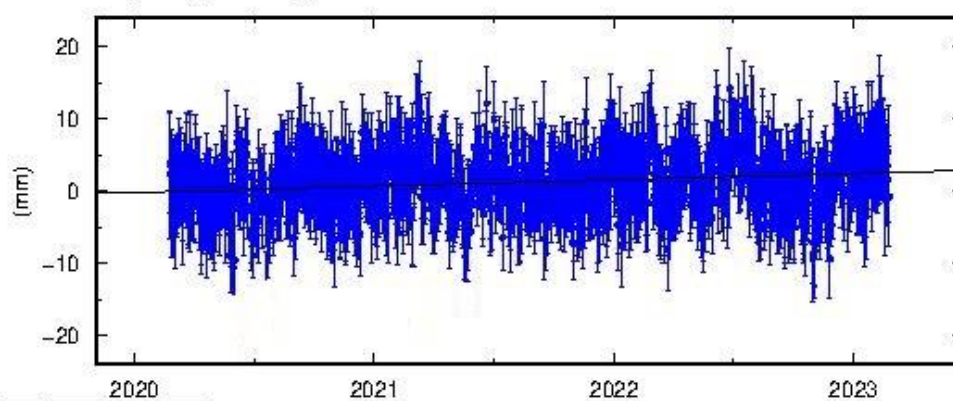
RIO2\_3PS North Offset -5987371.167 m  
rate(mm/yr)=  $12.62 \pm 0.06$  nrms= 0.75 wrms= 1.3 mm # 1081



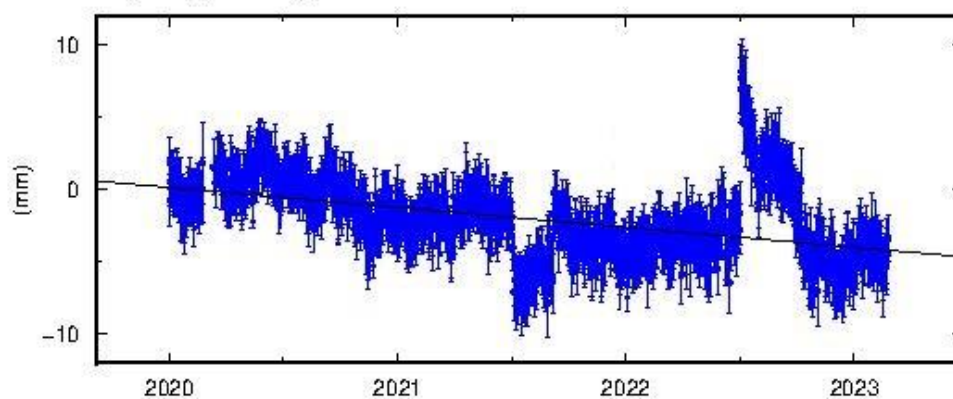
RIO2\_3PS East Offset 19220300.870 m  
rate(mm/yr)=  $3.51 \pm 0.05$  nrms= 1.15 wrms= 1.5 mm # 1081



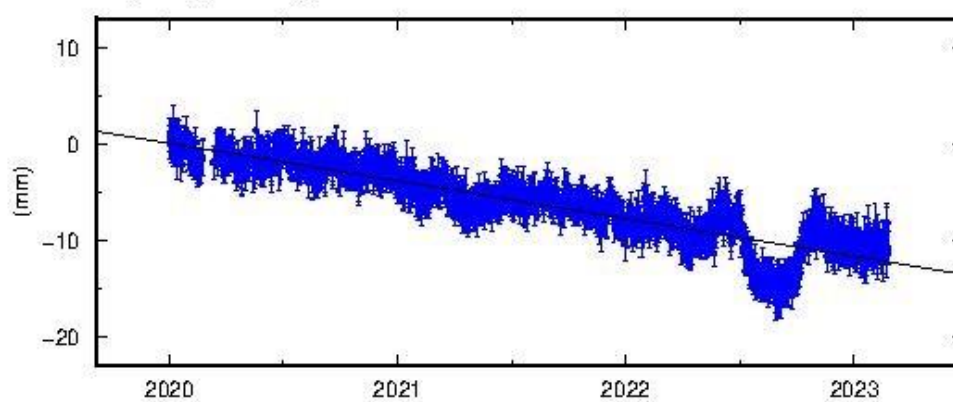
RIO2\_3PS Up Offset 32.026 m  
rate(mm/yr)=  $0.88 \pm 0.19$  nrms= 0.70 wrms= 3.7 mm # 1081



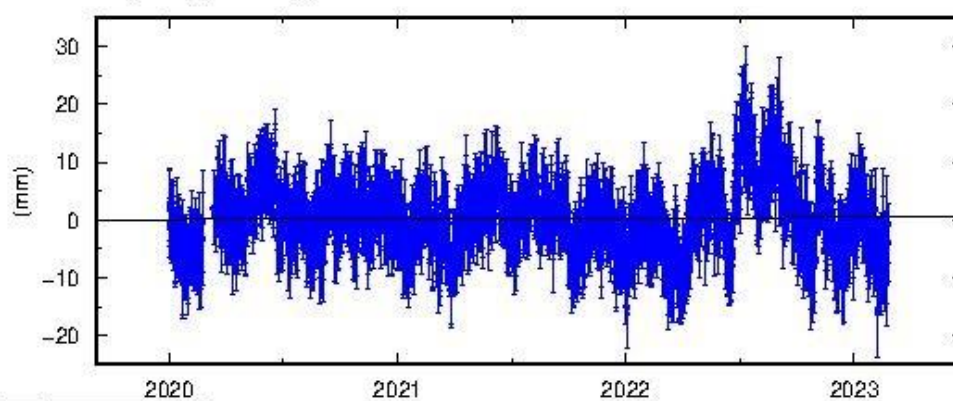
MAW1 North Offset -7525728.226 m  
 rate(mm/yr)=  $-1.38 \pm 0.06$  nrms= 1.26 wrms= 2.2 mm # 1122



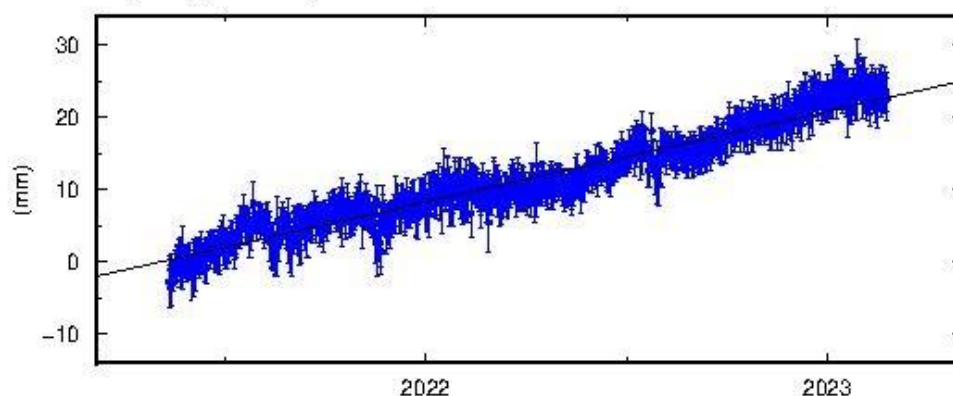
MAW1 East Offset 2666615.557 m  
 rate(mm/yr)=  $-3.91 \pm 0.06$  nrms= 0.90 wrms= 1.5 mm # 1122



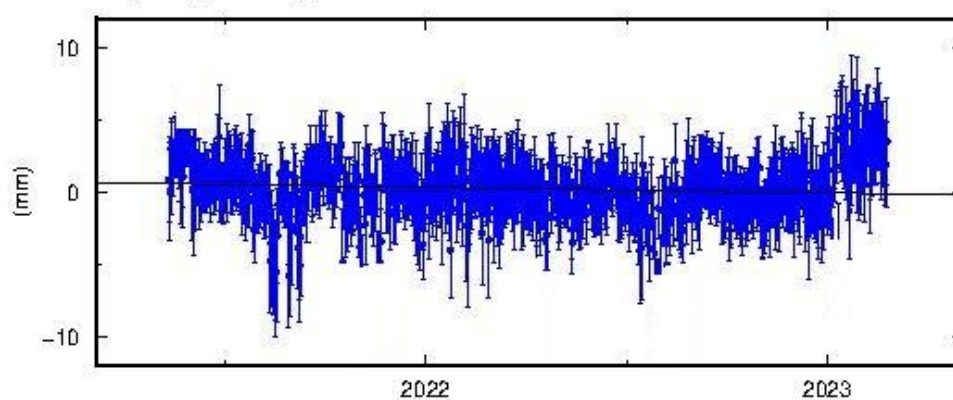
MAW1 Up Offset 59.116 m  
 rate(mm/yr)=  $0.12 \pm 0.22$  nrms= 0.81 wrms= 5.3 mm # 1122



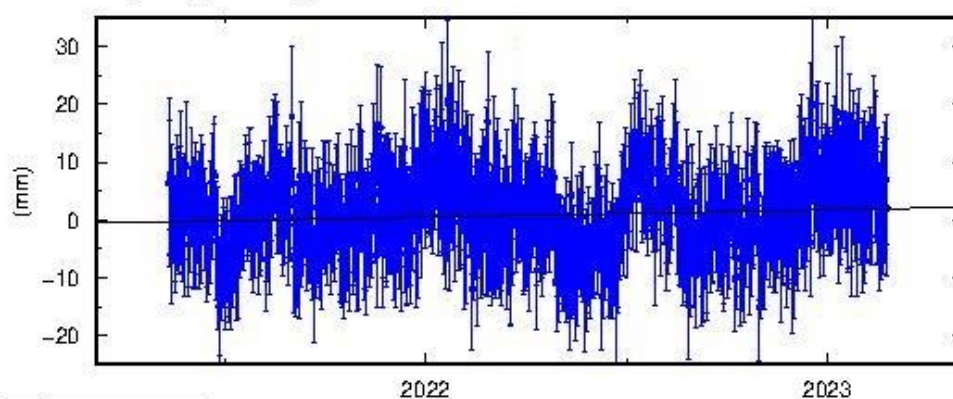
LPGS\_9PS North Offset -3885800.917 m  
 rate(mm/yr)=  $12.53 \pm 0.19$  nrms= 0.68 wrms= 1.6 mm # 647



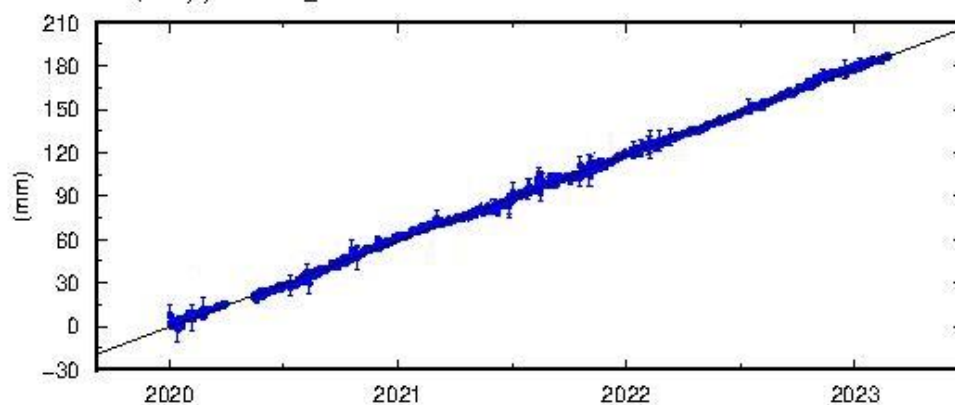
LPGS\_9PS East Offset 27575871.717 m  
 rate(mm/yr)=  $-0.38 \pm 0.18$  nrms= 0.76 wrms= 1.8 mm # 647



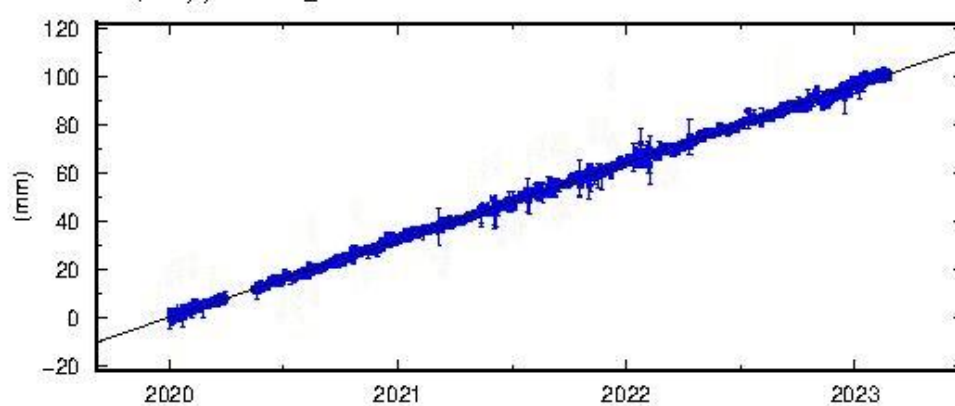
LPGS\_9PS Up Offset 29.871 m  
 rate(mm/yr)=  $1.26 \pm 0.75$  nrms= 0.59 wrms= 5.8 mm # 647



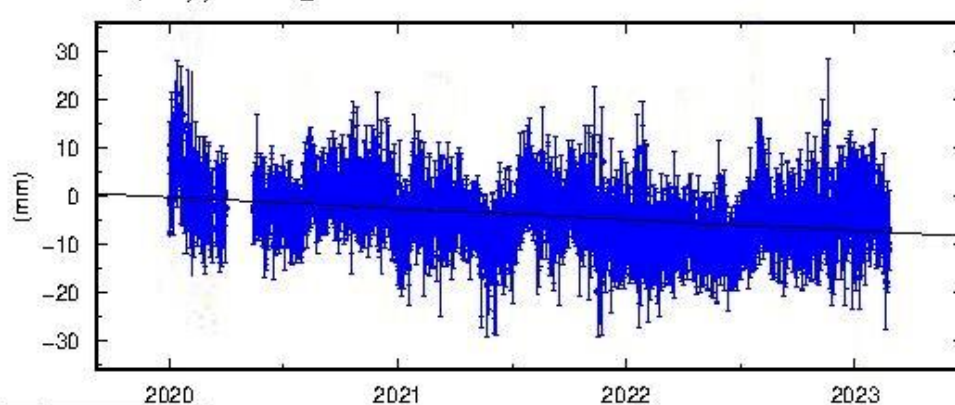
ALIC\_2PS North Offset -2634944.599 m  
rate(mm/yr)=  $59.41 \pm 0.05$  nrms= 0.98 wrms= 1.4 mm # 1085



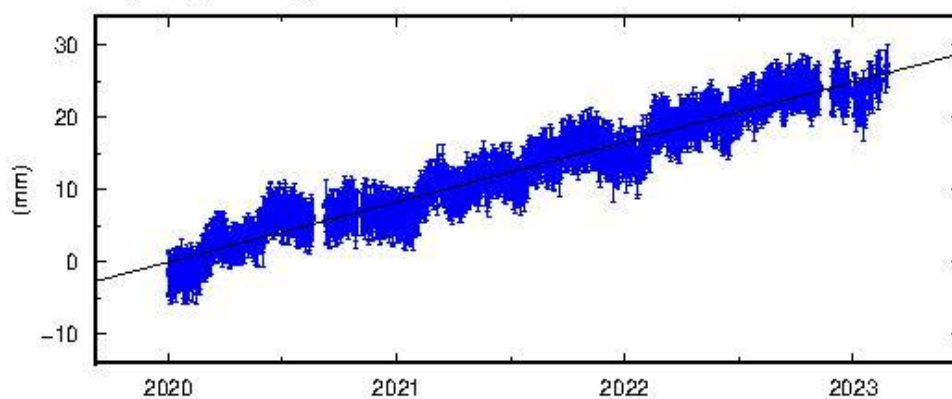
ALIC\_2PS East Offset 13650326.779 m  
rate(mm/yr)=  $32.05 \pm 0.05$  nrms= 0.57 wrms= 0.8 mm # 1085



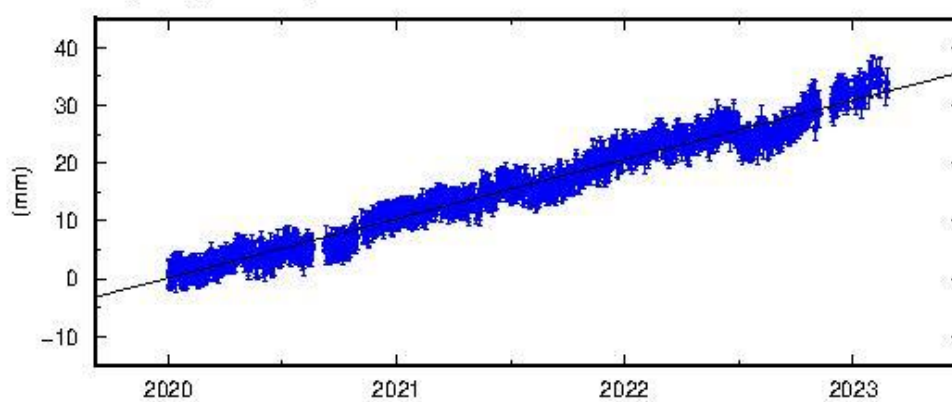
ALIC\_2PS Up Offset 603.234 m  
rate(mm/yr)=  $-2.32 \pm 0.27$  nrms= 0.60 wrms= 4.6 mm # 1085



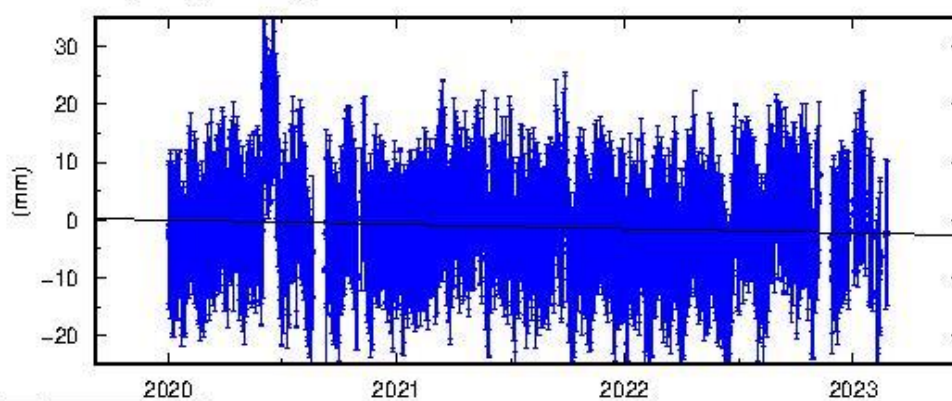
STEW North Offset -9371655.626 m  
rate(mm/yr)=  $8.30 \pm 0.10$  nrms= 0.55 wrms= 1.6 mm # 1074



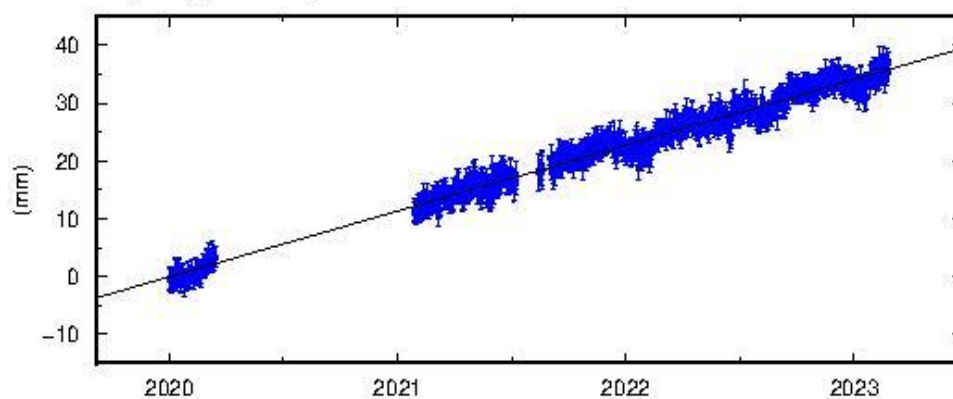
STEW East Offset 3086065.351 m  
rate(mm/yr)=  $10.25 \pm 0.08$  nrms= 0.64 wrms= 1.4 mm # 1074



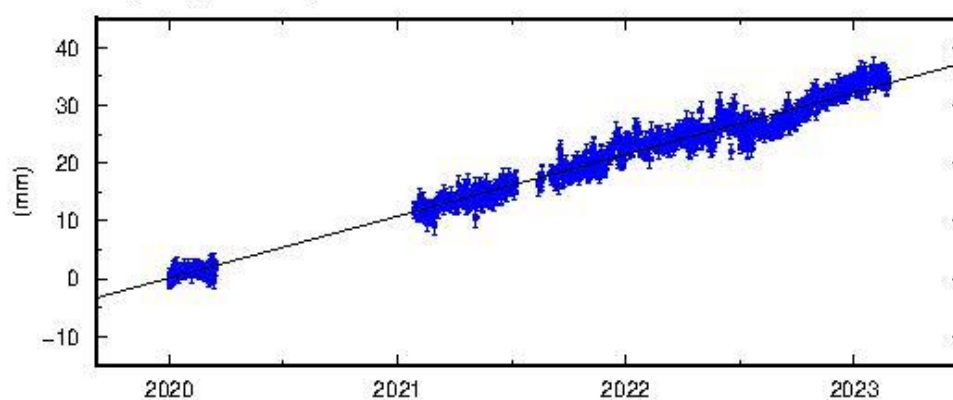
STEW Up Offset 1587.052 m  
rate(mm/yr)=  $-0.75 \pm 0.43$  nrms= 0.46 wrms= 5.7 mm # 1074



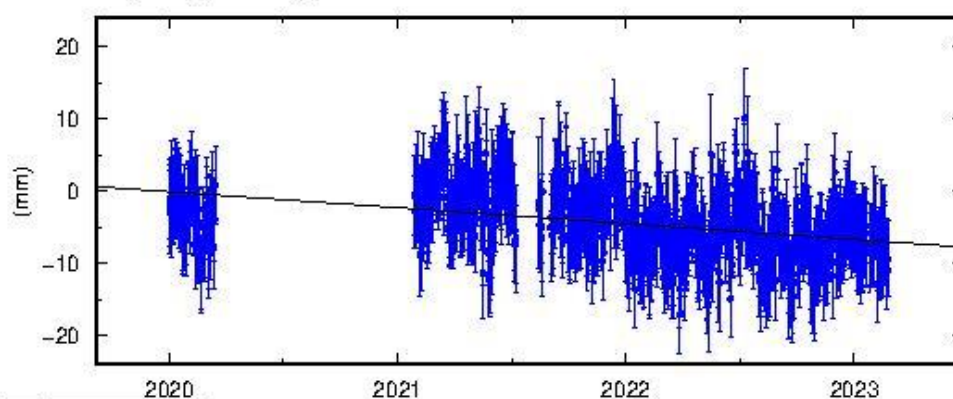
WLCH North Offset -7873555.652 m  
rate(mm/yr)=  $11.38 \pm 0.08$  nrms= 0.65 wrms= 1.2 mm # 766



WLCH East Offset 10881501.493 m  
rate(mm/yr)=  $10.70 \pm 0.06$  nrms= 1.06 wrms= 1.4 mm # 766



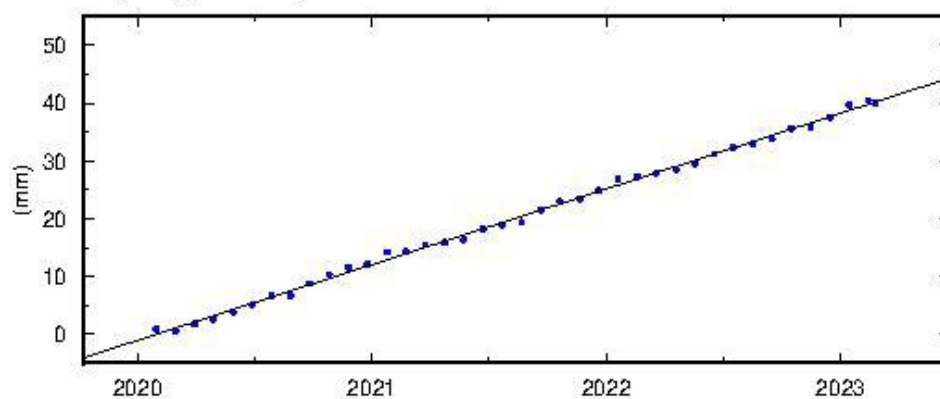
WLCH Up Offset 1534.130 m  
rate(mm/yr)=  $-2.20 \pm 0.24$  nrms= 0.76 wrms= 4.1 mm # 766



**EK-2** GNSS İstasyonlarının Aylık Zaman Serileri

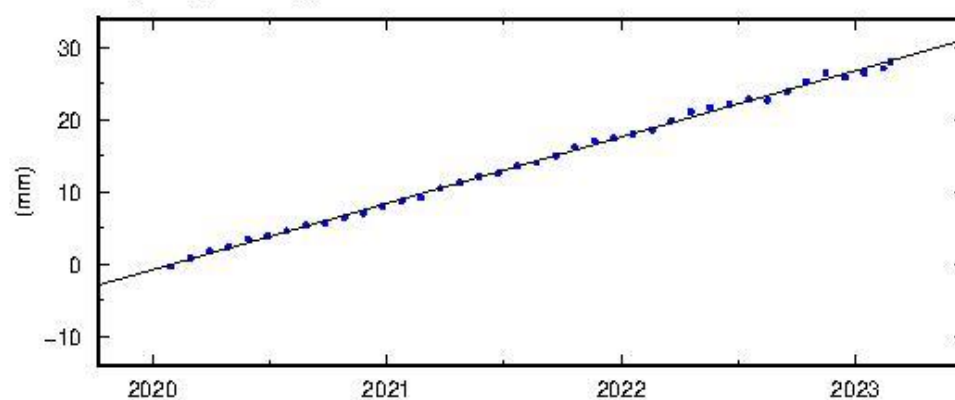
AREQ\_9PS North Offset -1832932.802 m

rate(mm/yr)=  $13.10 \pm 0.05$  nrms= 2.27 wrms= 0.6 mm # 39



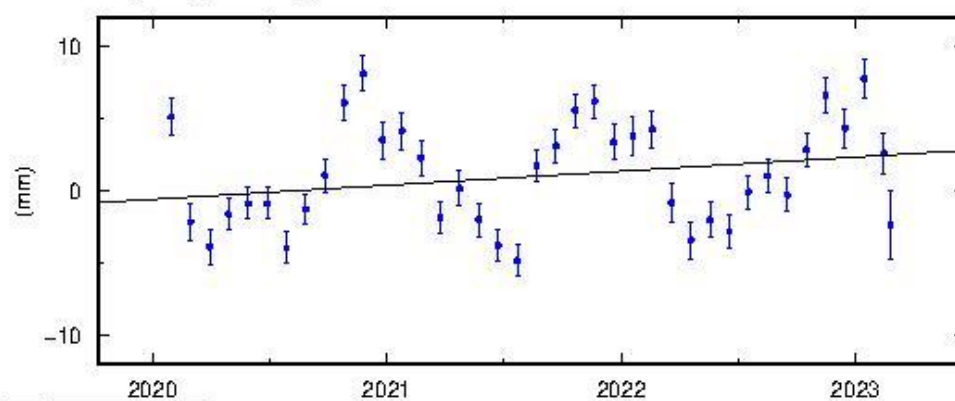
AREQ\_9PS East Offset 30799611.003 m

rate(mm/yr)=  $9.19 \pm 0.03$  nrms= 2.13 wrms= 0.4 mm # 39



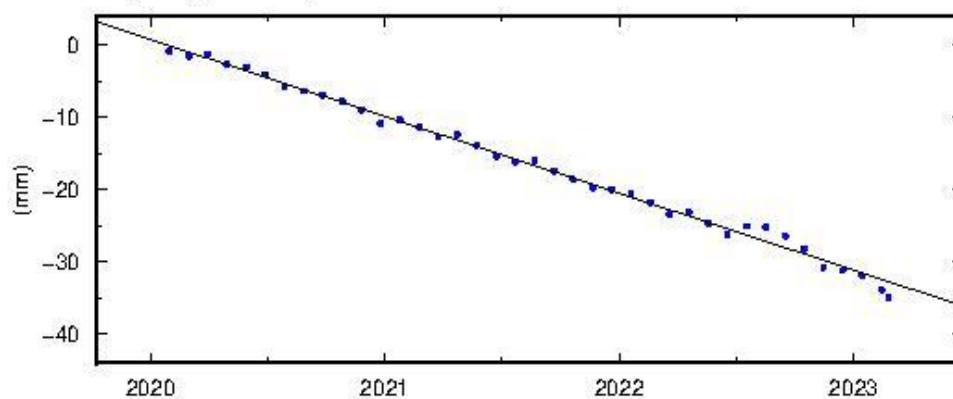
AREQ\_9PS Up Offset 2488.931 m

rate(mm/yr)=  $0.98 \pm 0.22$  nrms= 2.92 wrms= 3.5 mm # 39



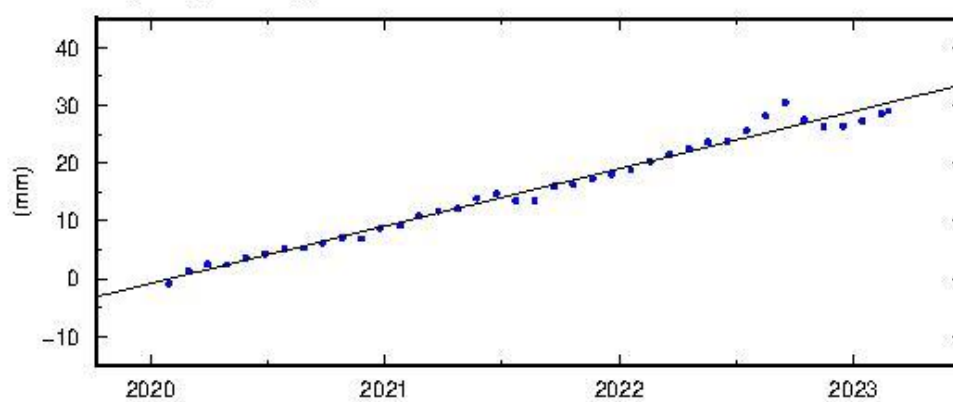
ARHT North Offset -8663933.268 m

rate(mm/yr)=  $-10.64 \pm 0.04$  nrms= 3.26 wrms= 0.8 mm # 39



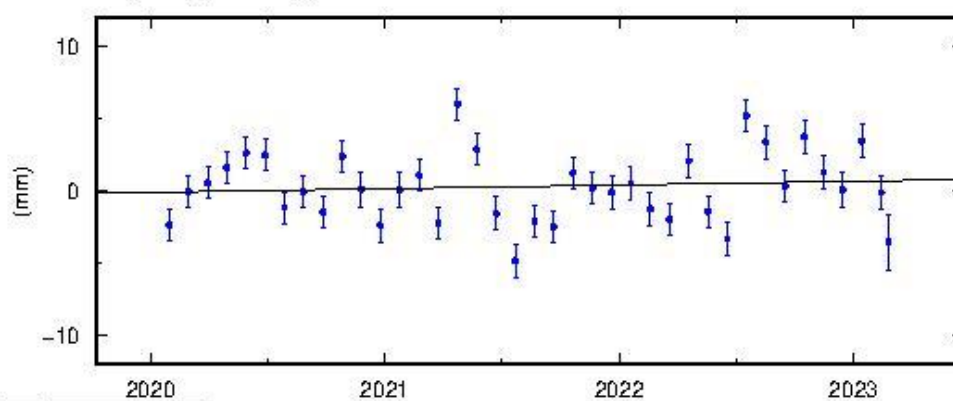
ARHT East Offset 3910942.759 m

rate(mm/yr)=  $9.93 \pm 0.05$  nrms= 4.92 wrms= 1.2 mm # 39

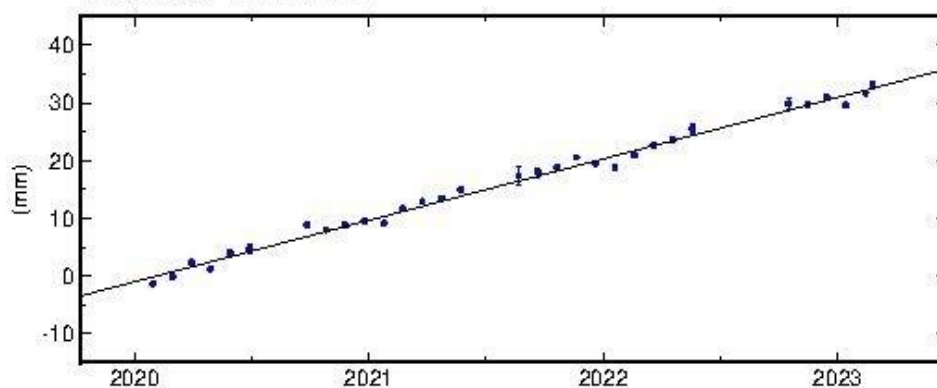


ARHT Up Offset 135.332 m

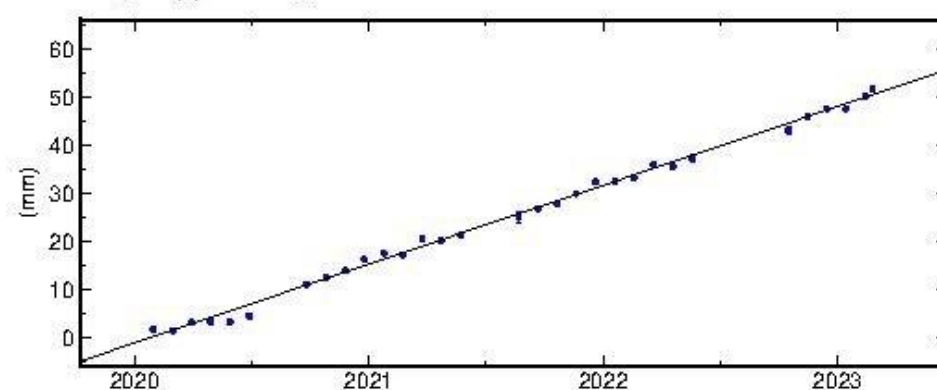
rate(mm/yr)=  $0.26 \pm 0.20$  nrms= 2.14 wrms= 2.4 mm # 39



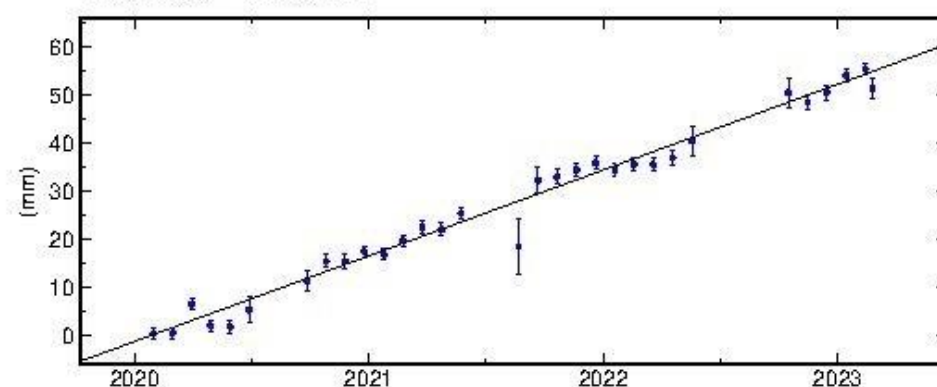
BACK North Offset -8285558.758 m  
 rate(mm/yr)=  $10.92 \pm 0.08$  nrms= 2.33 wrms= 1.0 mm # 31



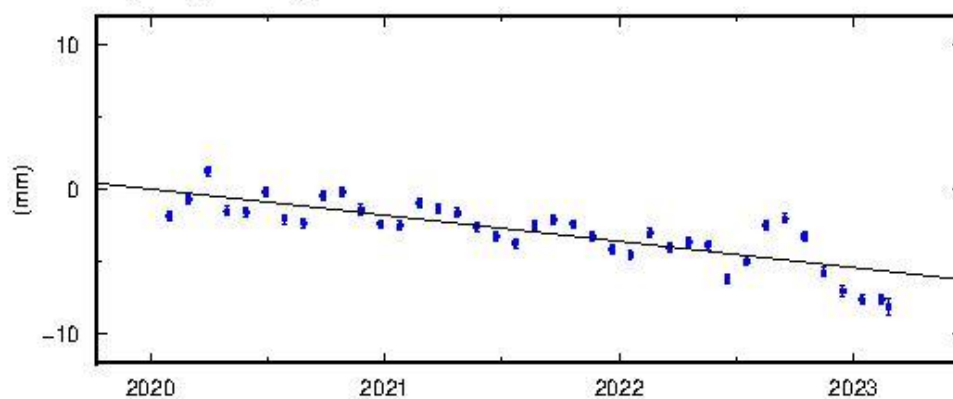
BACK East Offset 7694578.301 m  
 rate(mm/yr)=  $15.49 \pm 0.07$  nrms= 2.78 wrms= 1.0 mm # 31



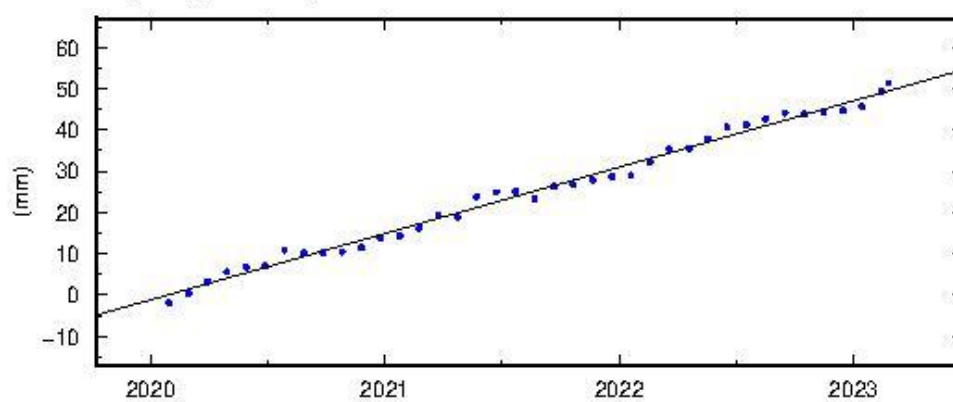
BACK Up Offset 33.304 m  
 rate(mm/yr)=  $17.51 \pm 0.28$  nrms= 1.39 wrms= 2.1 mm # 31



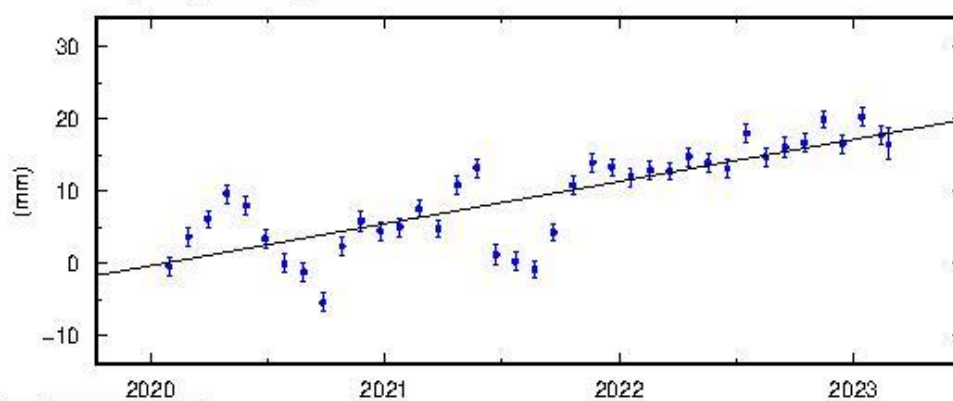
MCAR North Offset -8496148.033 m  
 rate(mm/yr)=  $-1.81 \pm 0.06$  nrms= 3.77 wrms= 1.2 mm # 39



MCAR East Offset 5678201.220 m  
 rate(mm/yr)=  $16.08 \pm 0.06$  nrms= 4.51 wrms= 1.5 mm # 39

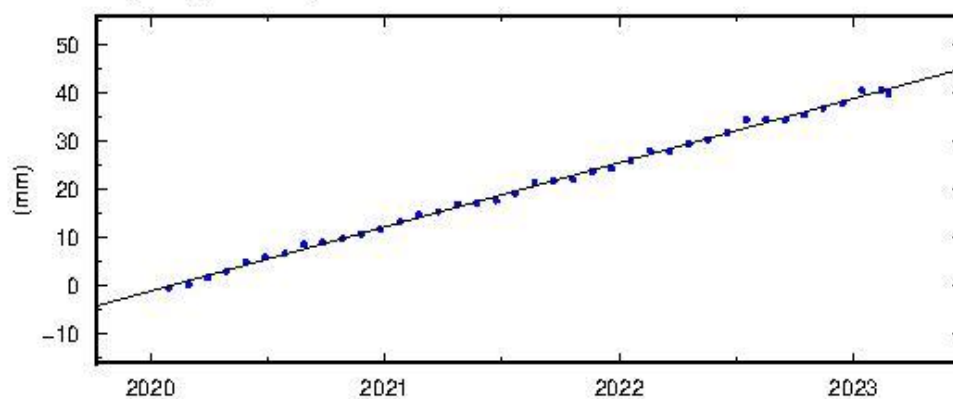


MCAR Up Offset 964.878 m  
 rate(mm/yr)=  $5.83 \pm 0.23$  nrms= 3.24 wrms= 4.1 mm # 39



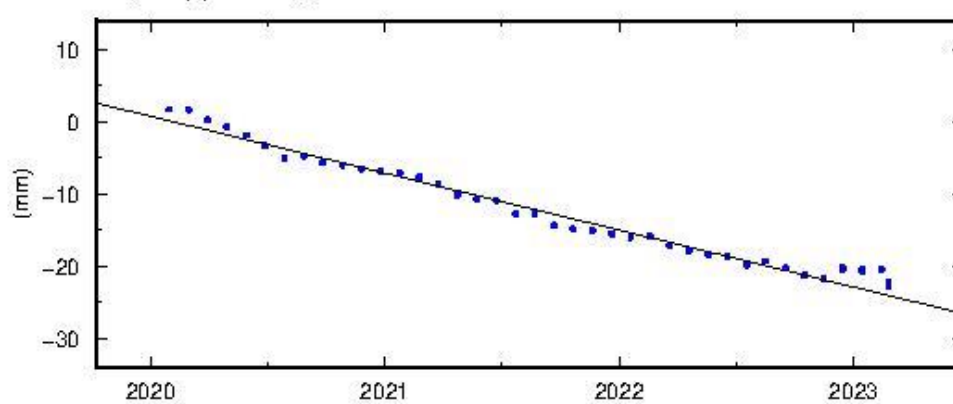
MGUE\_2PS North Offset -3982716.359 m

rate(mm/yr)=  $13.33 \pm 0.07$  nrms= 1.65 wrms= 0.6 mm # 39



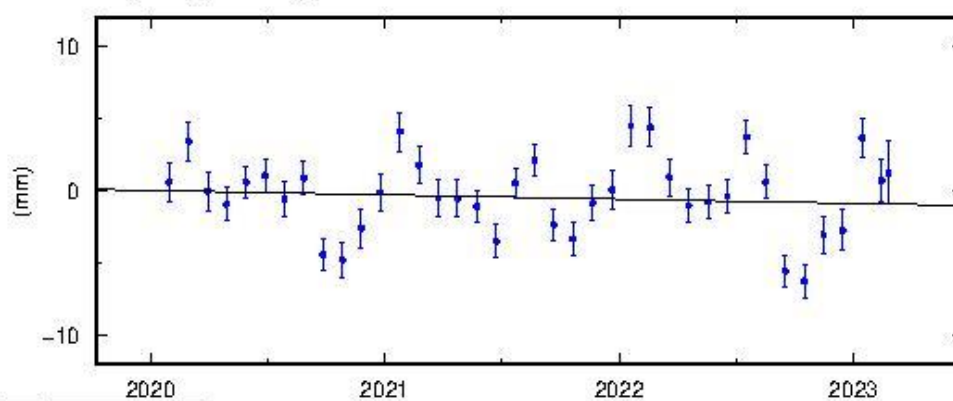
MGUE\_2PS East Offset 26244729.845 m

rate(mm/yr)=  $-7.88 \pm 0.06$  nrms= 3.09 wrms= 1.0 mm # 39

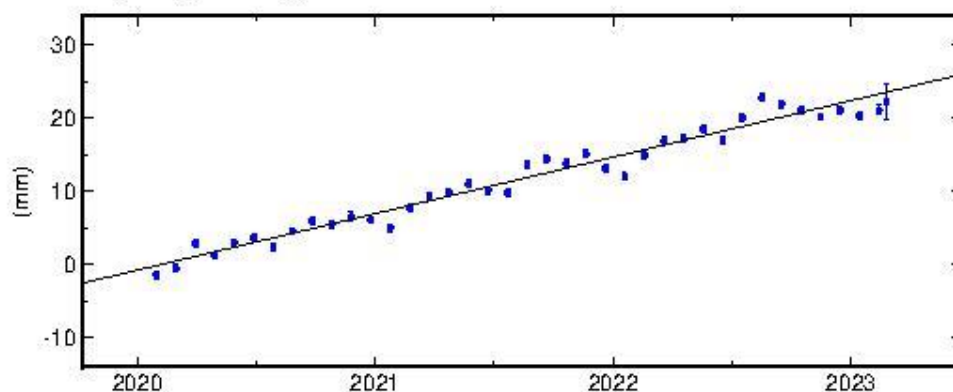


MGUE\_2PS Up Offset 1553.719 m

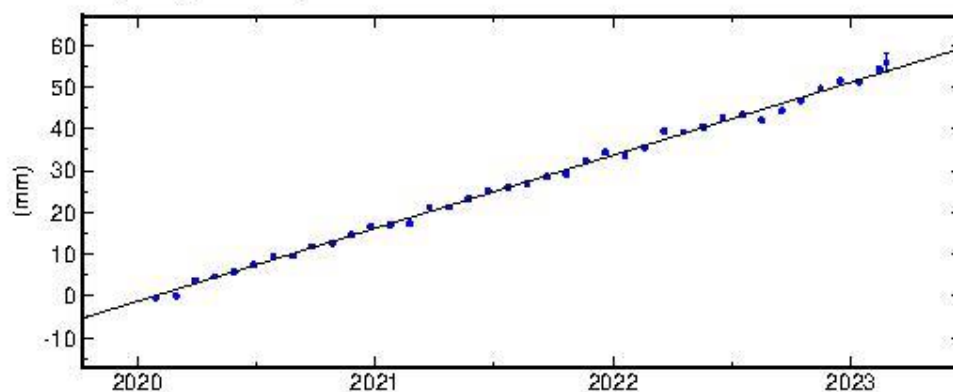
rate(mm/yr)=  $-0.30 \pm 0.22$  nrms= 2.22 wrms= 2.7 mm # 39



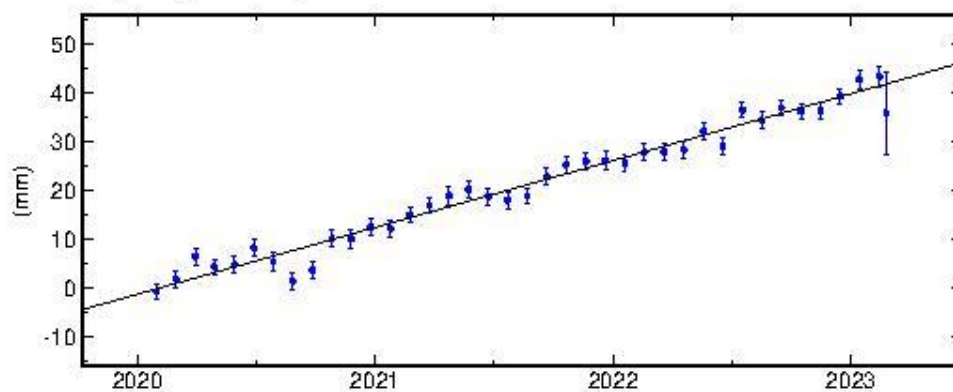
MRTP North Offset -8257724.931 m  
 rate(mm/yr)=  $7.72 \pm 0.09$  nrms= 2.75 wrms= 1.4 mm # 39



MRTP East Offset 7431551.084 m  
 rate(mm/yr)=  $17.47 \pm 0.09$  nrms= 1.87 wrms= 0.9 mm # 39

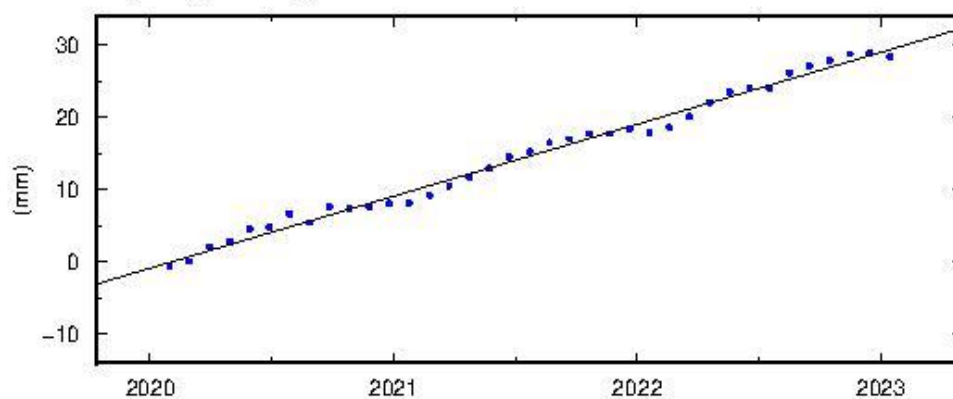


MRTP Up Offset 96.370 m  
 rate(mm/yr)=  $13.69 \pm 0.31$  nrms= 1.23 wrms= 2.1 mm # 39



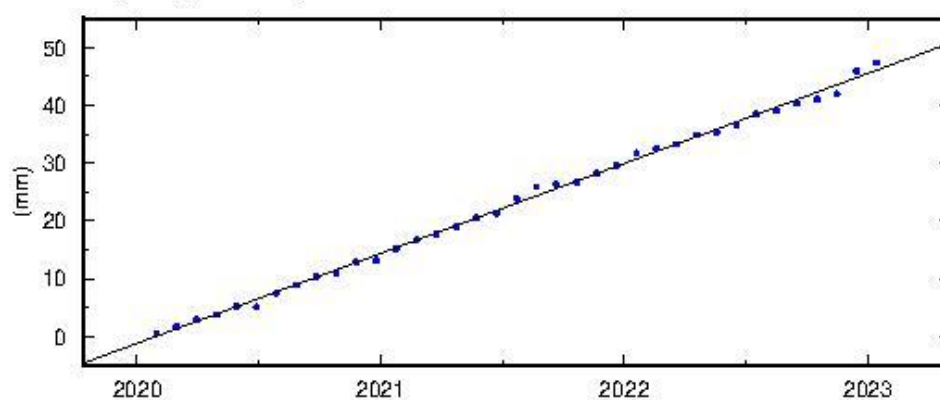
OHI3\_6PS North Offset -7048871.625 m

rate(mm/yr)=  $9.96 \pm 0.06$  nrms= 2.96 wrms= 0.9 mm # 37



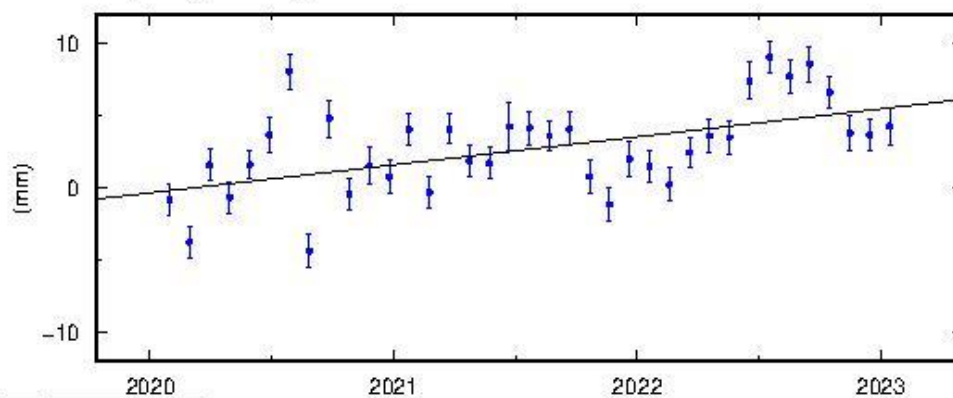
OHI3\_6PS East Offset 15099532.875 m

rate(mm/yr)=  $15.56 \pm 0.05$  nrms= 2.79 wrms= 0.7 mm # 37

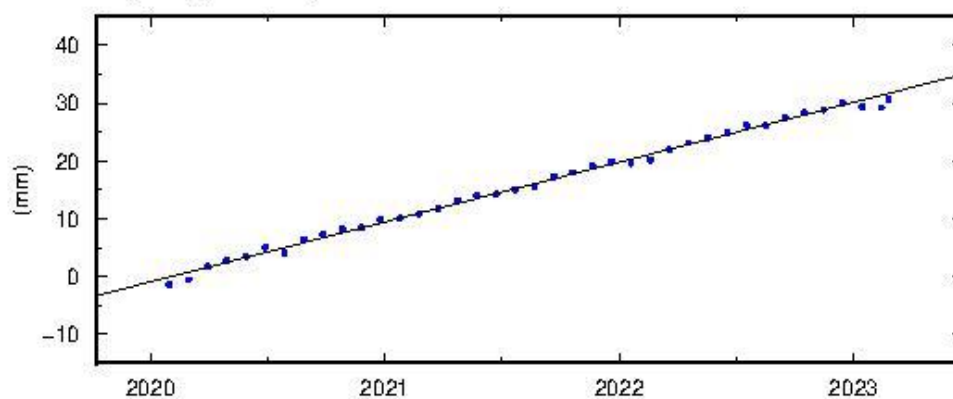


OHI3\_6PS Up Offset 32.631 m

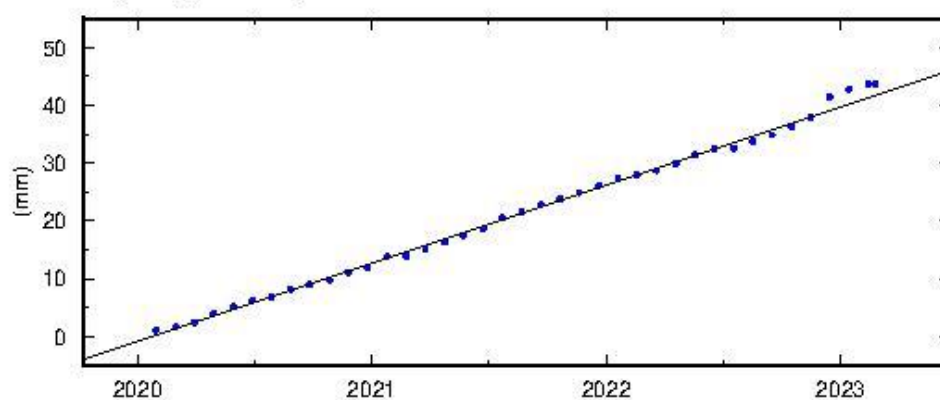
rate(mm/yr)=  $1.94 \pm 0.21$  nrms= 2.33 wrms= 2.6 mm # 37



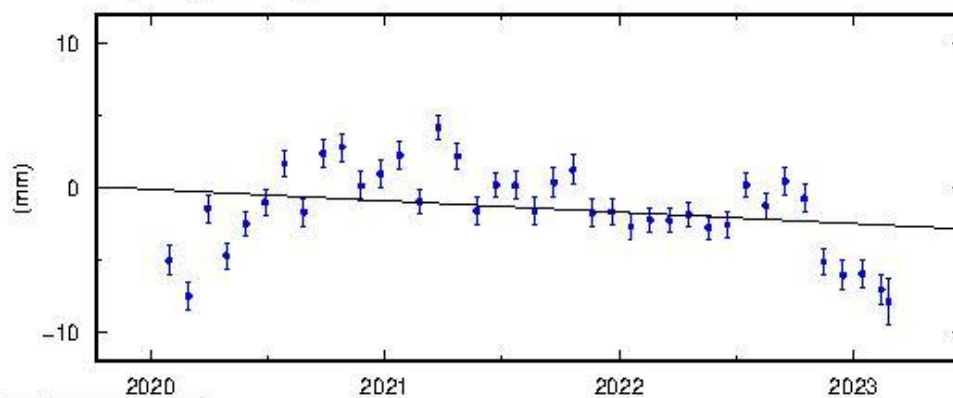
PALM\_5PS North Offset -7210729.890 m  
rate(mm/yr)=  $10.36 \pm 0.05$  nrms= 2.57 wrms= 0.6 mm # 39



PALM\_5PS East Offset 14039756.396 m  
rate(mm/yr)=  $13.51 \pm 0.04$  nrms= 3.42 wrms= 0.7 mm # 39

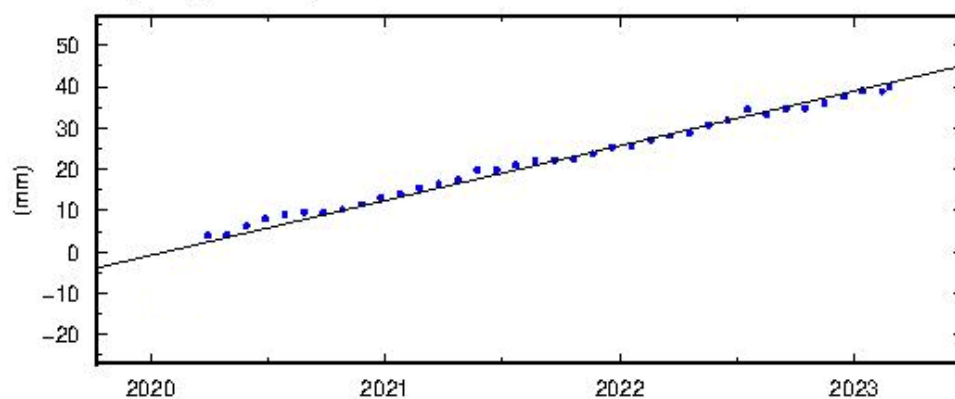


PALM\_5PS Up Offset 31.138 m  
rate(mm/yr)=  $-0.79 \pm 0.17$  nrms= 2.91 wrms= 2.7 mm # 39



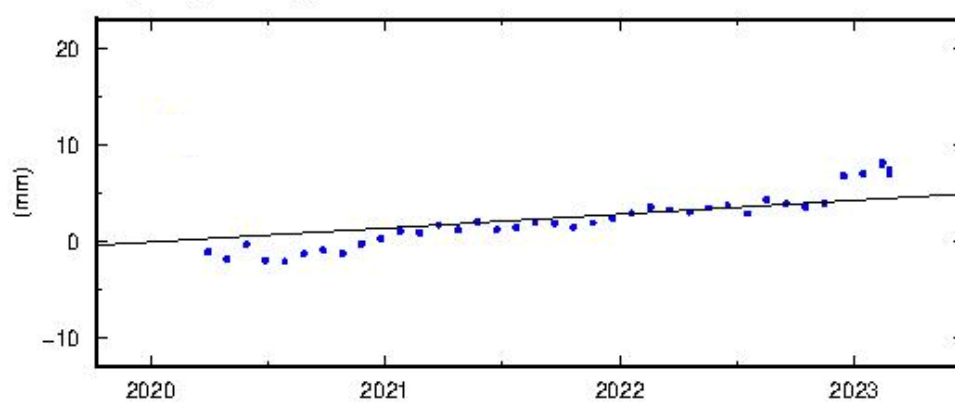
RIO2 North Offset -5987371.179 m

rate(mm/yr)=  $13.26 \pm 0.05$  nrms= 7.88 wrms= 2.4 mm # 39



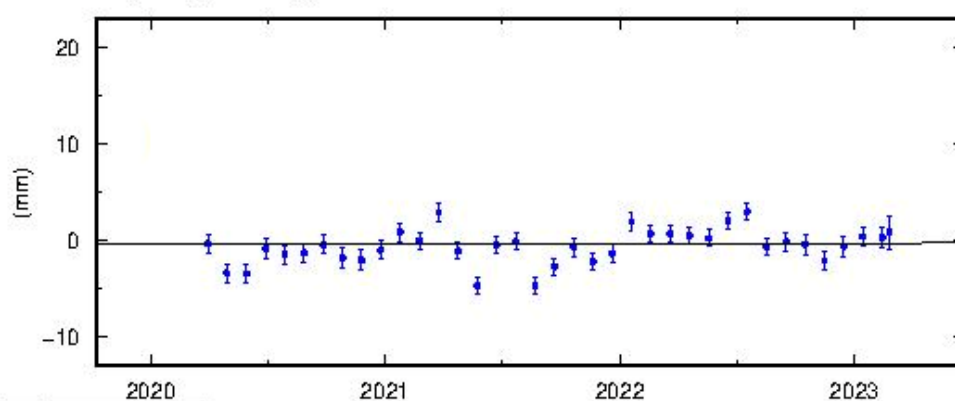
RIO2 East Offset 19220300.885 m

rate(mm/yr)=  $1.44 \pm 0.05$  nrms= 10.99 wrms= 2.7 mm # 39



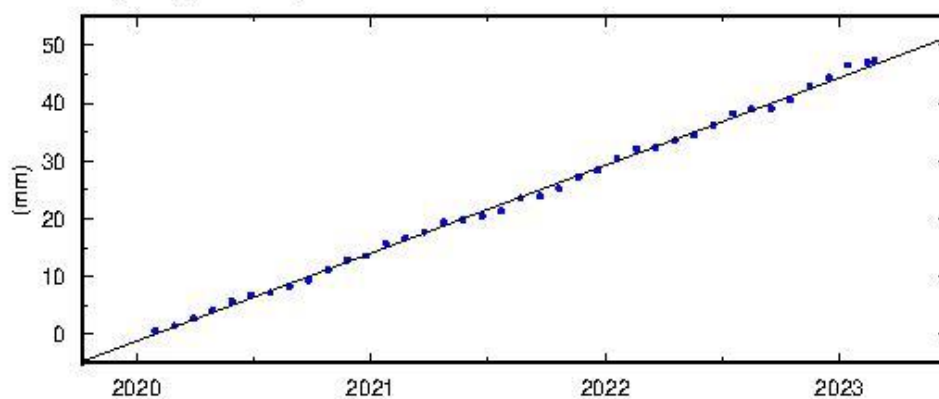
RIO2 Up Offset 32.034 m

rate(mm/yr)=  $0.04 \pm 0.17$  nrms= 2.69 wrms= 2.5 mm # 39



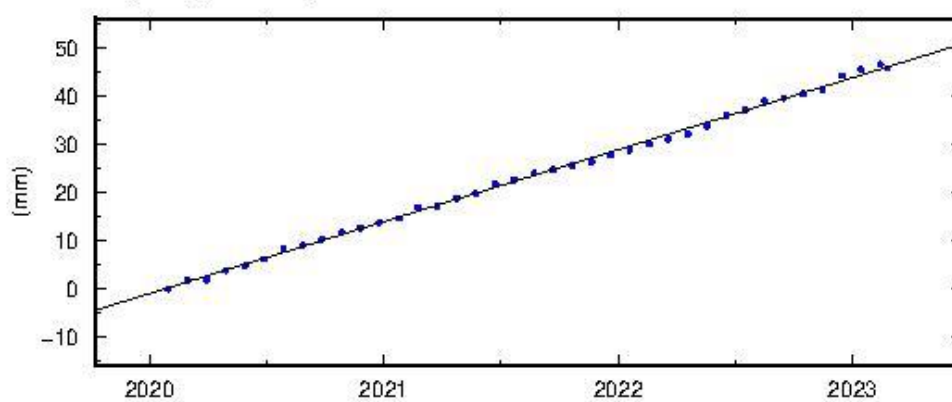
SANT\_8PS North Offset -3690273.106 m

rate(mm/yr)=  $15.19 \pm 0.05$  nrms= 2.24 wrms= 0.6 mm # 39



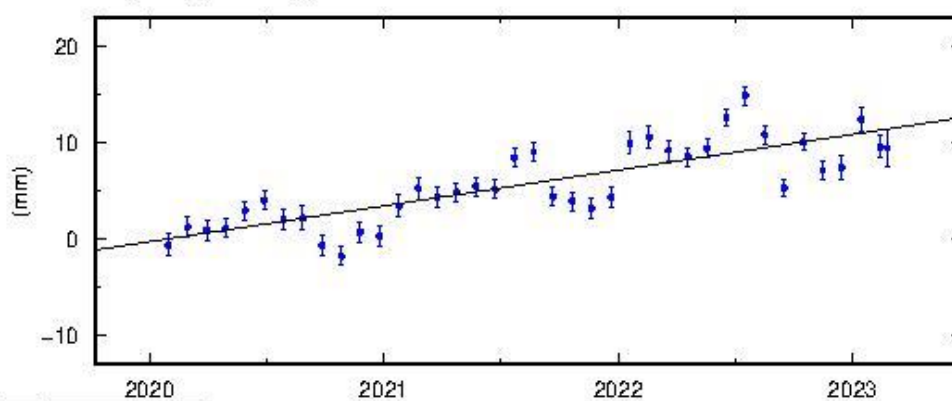
SANT\_8PS East Offset 26965600.779 m

rate(mm/yr)=  $14.94 \pm 0.05$  nrms= 2.18 wrms= 0.5 mm # 39

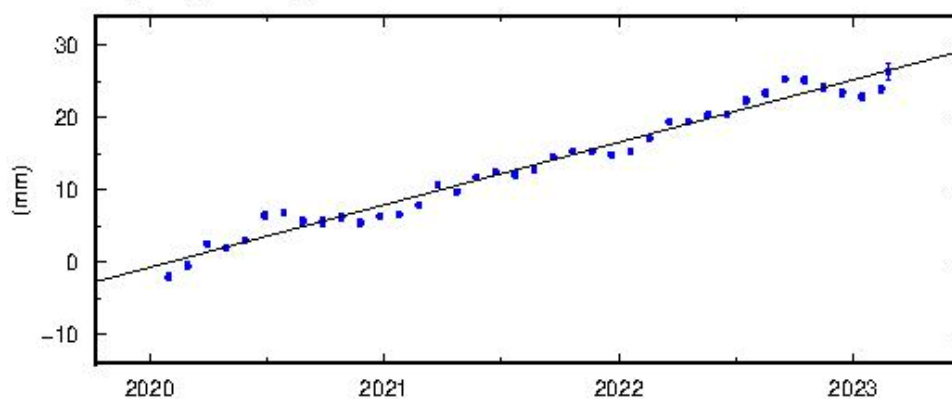


SANT\_8PS Up Offset 723.104 m

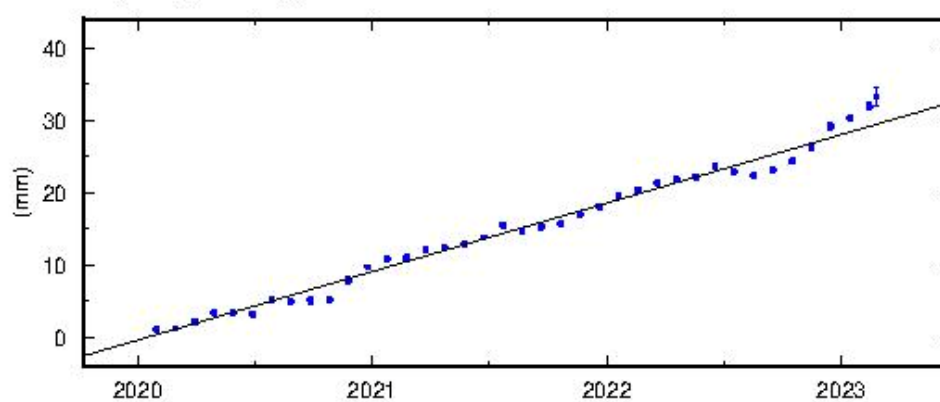
rate(mm/yr)=  $3.71 \pm 0.18$  nrms= 2.44 wrms= 2.5 mm # 39



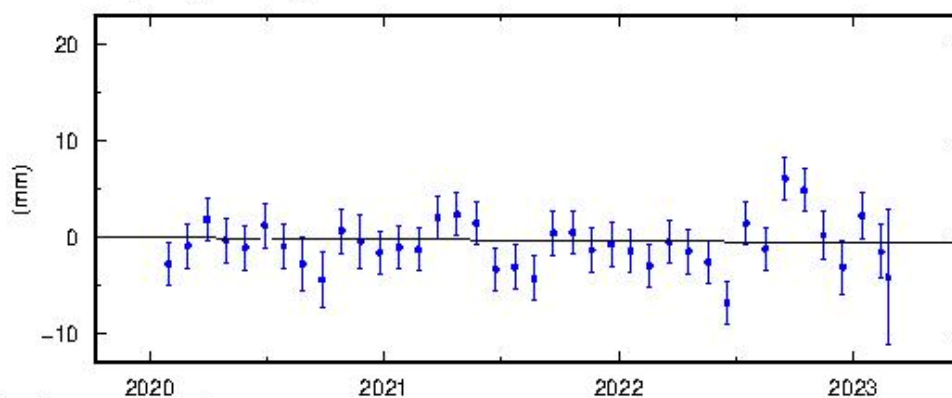
STEW North Offset -9371655.626 m  
rate(mm/yr)=  $8.65 \pm 0.08$  nrms= 3.13 wrms= 1.4 mm # 39



STEW East Offset 3086065.351 m  
rate(mm/yr)=  $9.48 \pm 0.07$  nrms= 2.70 wrms= 1.1 mm # 39

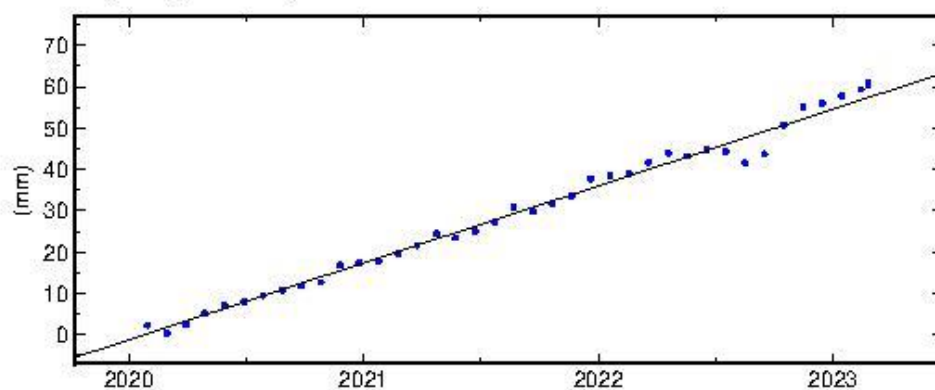


STEW Up Offset 1587.051 m  
rate(mm/yr)=  $-0.18 \pm 0.42$  nrms= 1.47 wrms= 3.4 mm # 39



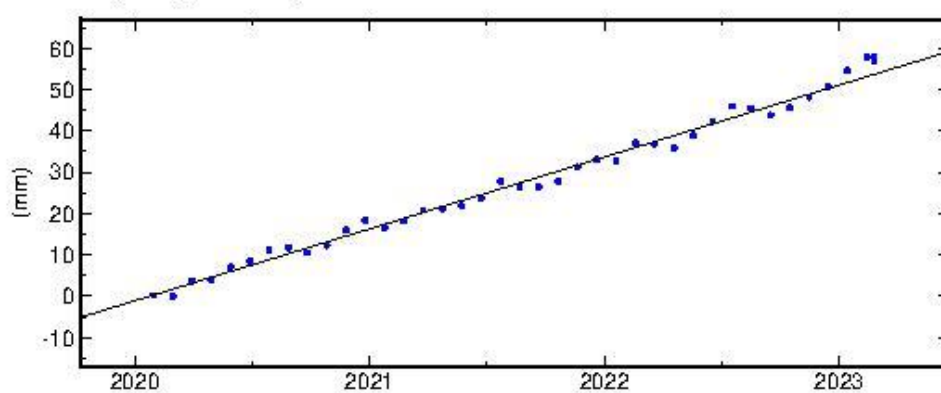
SUTM\_4PS North Offset -3604684.455 m

rate(mm/yr)=  $18.61 \pm 0.09$  nrms= 4.04 wrms= 2.0 mm # 39



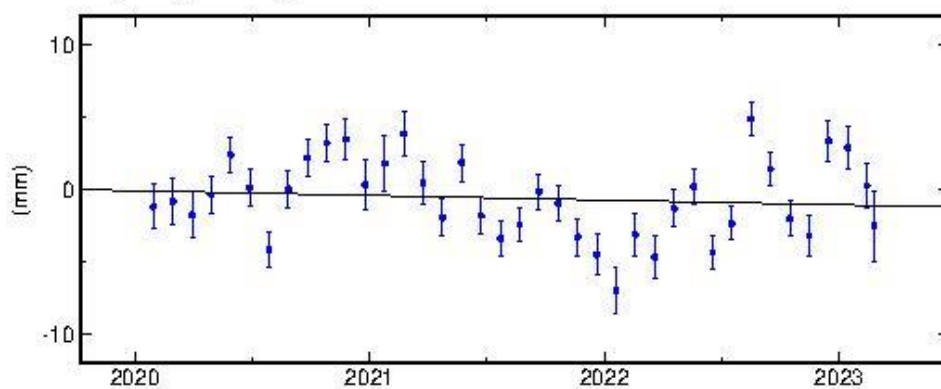
SUTM\_4PS East Offset 1956434.258 m

rate(mm/yr)=  $17.39 \pm 0.09$  nrms= 3.41 wrms= 1.7 mm # 39

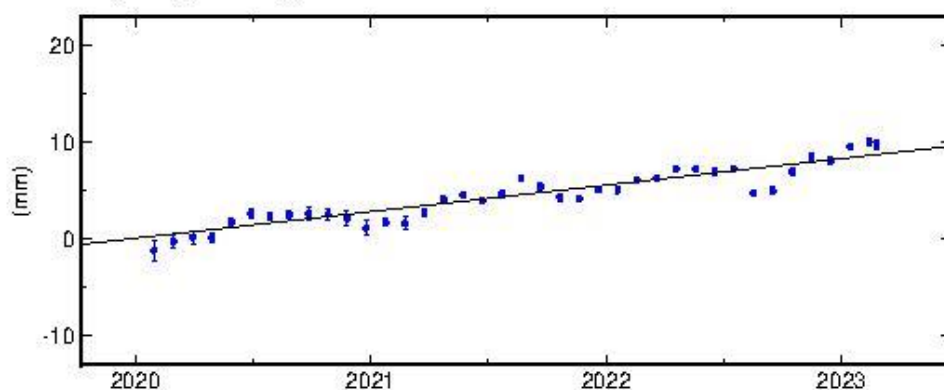


SUTM\_4PS Up Offset 1797.615 m

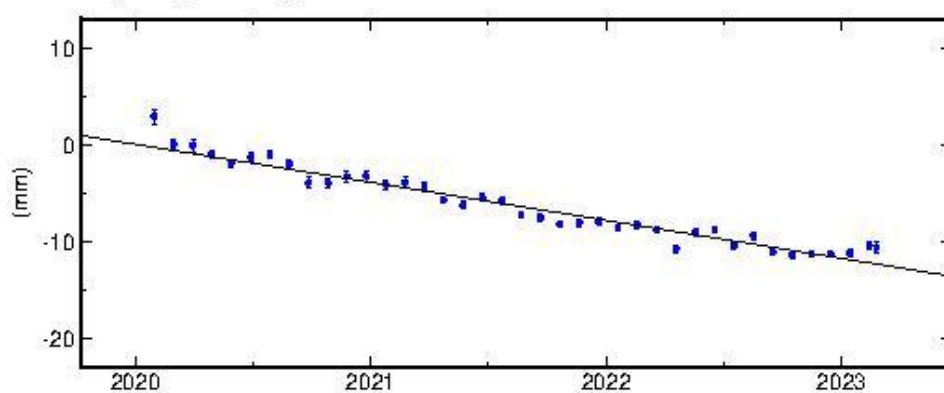
rate(mm/yr)=  $-0.32 \pm 0.24$  nrms= 2.05 wrms= 2.8 mm # 39



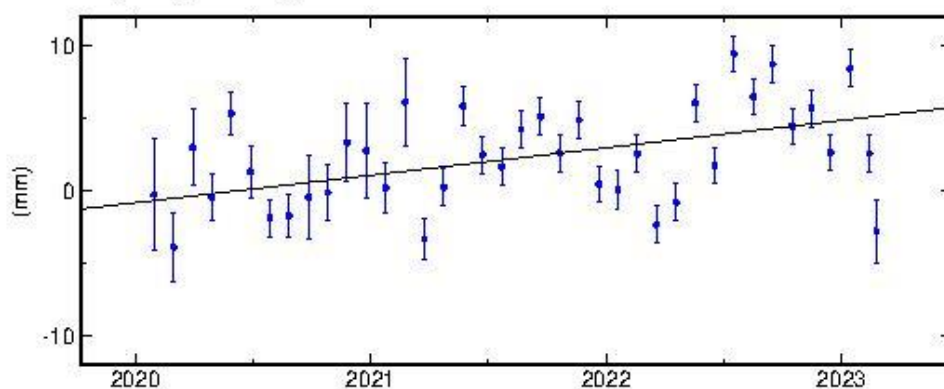
SYOG\_6PS North Offset -7681819.304 m  
 rate(mm/yr)=  $2.74 \pm 0.07$  nrms= 2.68 wrms= 1.0 mm # 39



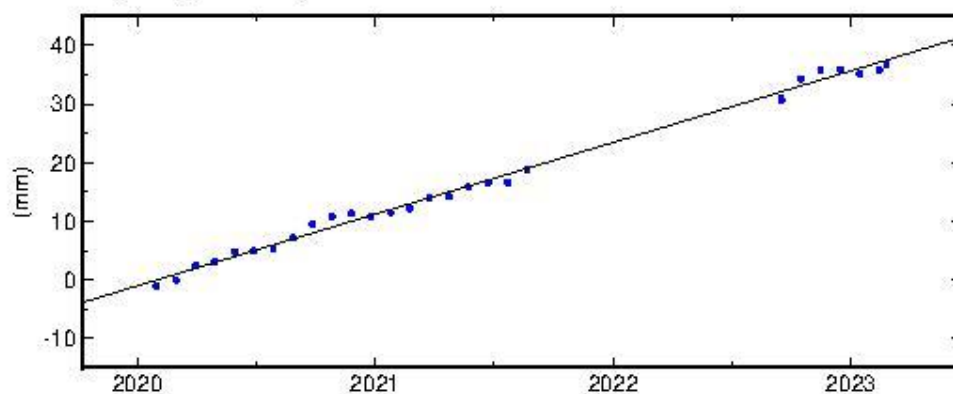
SYOG\_6PS East Offset 1578607.229 m  
 rate(mm/yr)=  $-3.93 \pm 0.07$  nrms= 2.07 wrms= 0.8 mm # 39



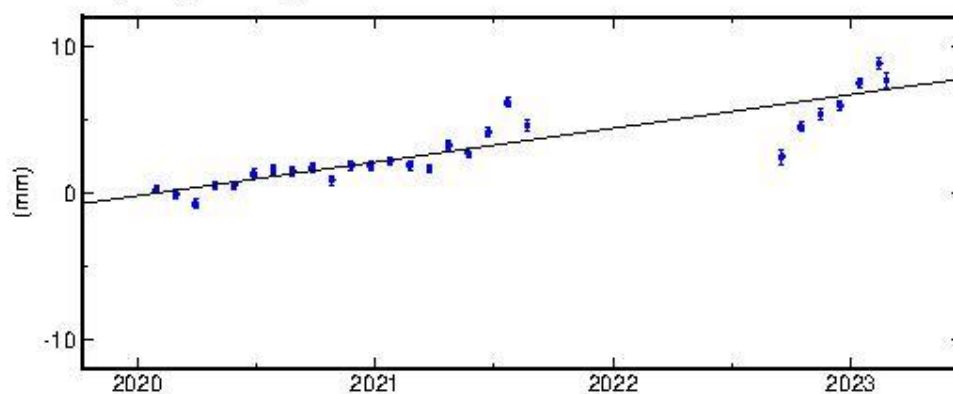
SYOG\_6PS Up Offset 49.988 m  
 rate(mm/yr)=  $1.89 \pm 0.28$  nrms= 2.15 wrms= 3.1 mm # 39



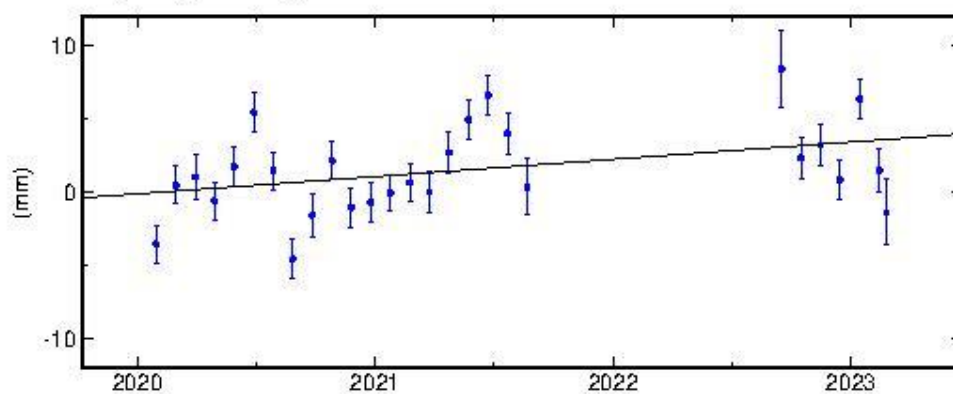
THRO North Offset -8808342.682 m  
rate(mm/yr)=  $12.23 \pm 0.08$  nrms= 2.64 wrms= 1.0 mm # 27



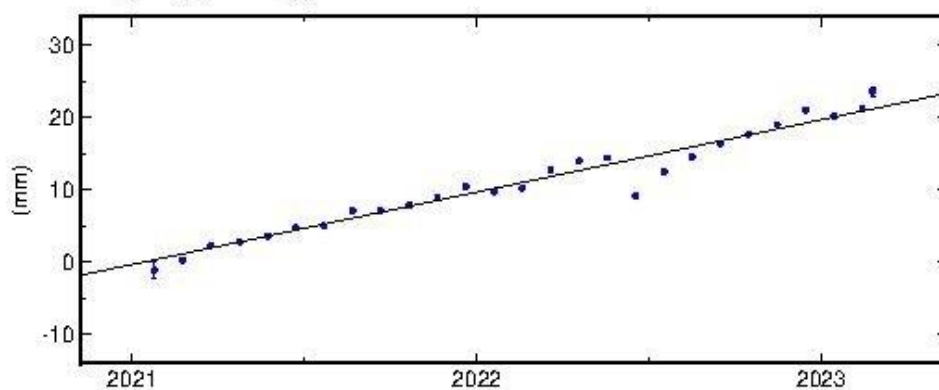
THRO East Offset 6965637.691 m  
rate(mm/yr)=  $2.30 \pm 0.06$  nrms= 3.25 wrms= 1.0 mm # 27



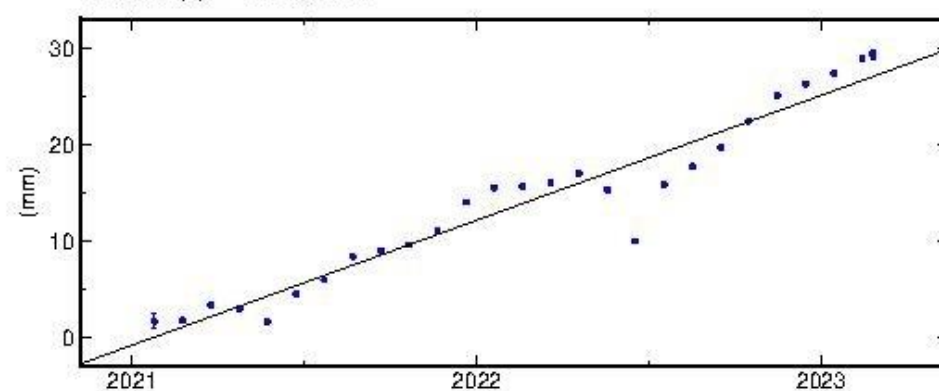
THRO Up Offset 1058.129 m  
rate(mm/yr)=  $1.18 \pm 0.28$  nrms= 1.93 wrms= 2.7 mm # 27



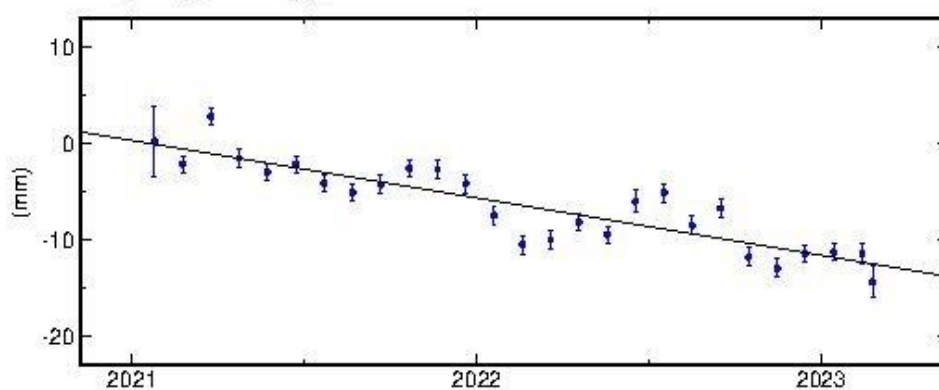
TRVE North Offset -7791120.203 m  
 rate(mm/yr)=  $9.89 \pm 0.09$  nrms= 3.95 wrms= 1.3 mm # 27



TRVE East Offset 11139826.763 m  
 rate(mm/yr)=  $11.65 \pm 0.08$  nrms= 9.26 wrms= 2.2 mm # 27

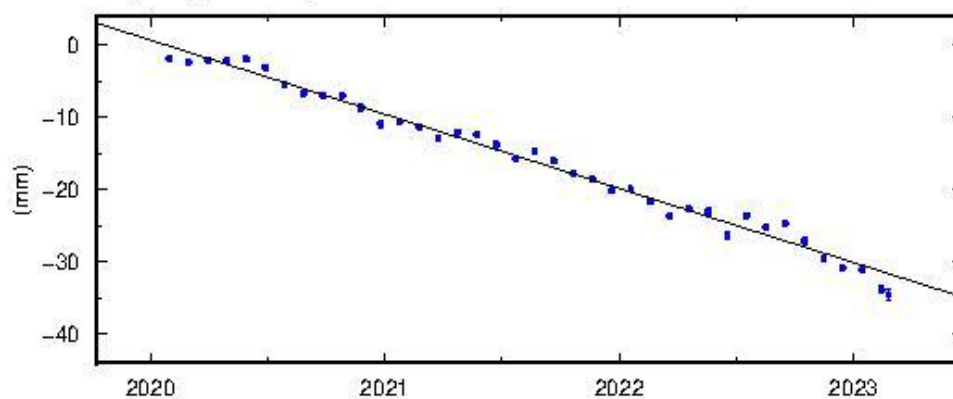


TRVE Up Offset 1064.363 m  
 rate(mm/yr)=  $-5.31 \pm 0.31$  nrms= 2.15 wrms= 2.1 mm # 27



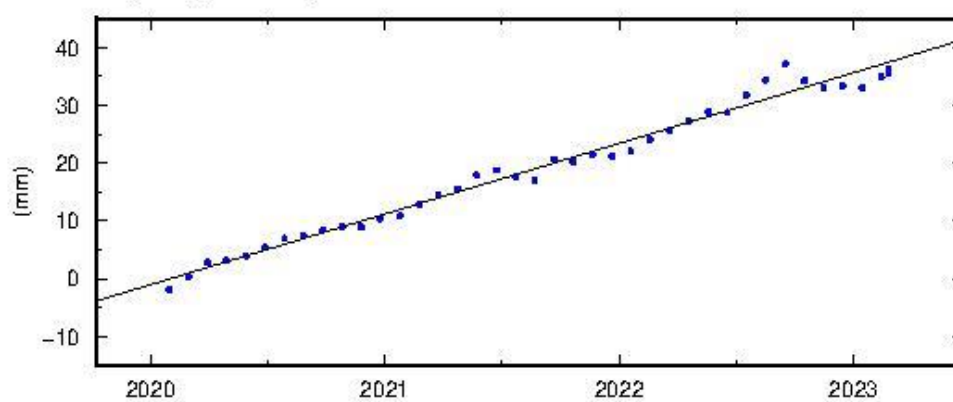
VL01 North Offset -8065112.556 m

rate(mm/yr)=  $-10.27 \pm 0.07$  nrms= 2.80 wrms= 1.1 mm # 39



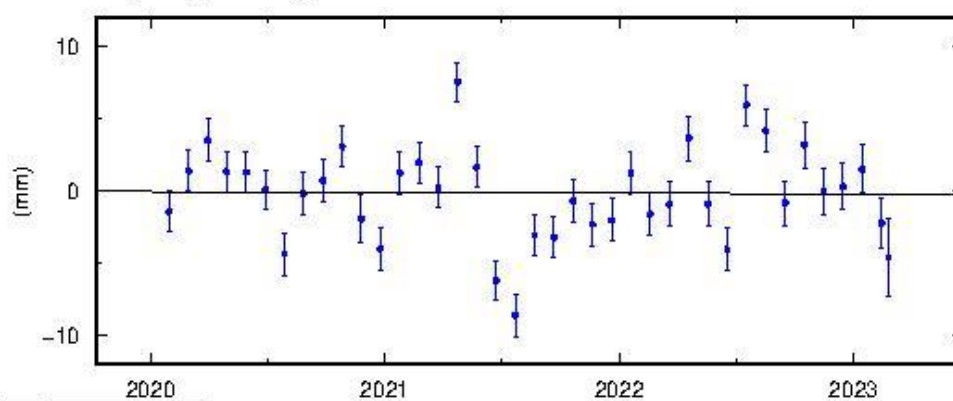
VL01 East Offset 5696942.970 m

rate(mm/yr)=  $12.23 \pm 0.07$  nrms= 4.05 wrms= 1.5 mm # 39



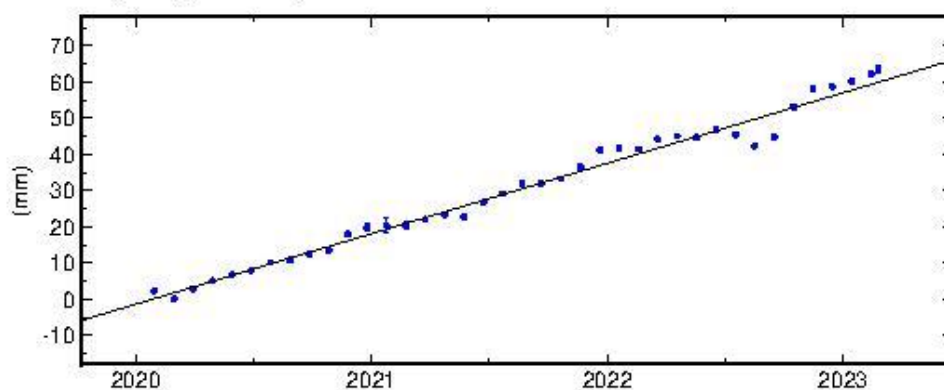
VL01 Up Offset 596.891 m

rate(mm/yr)=  $-0.05 \pm 0.27$  nrms= 2.24 wrms= 3.3 mm # 39



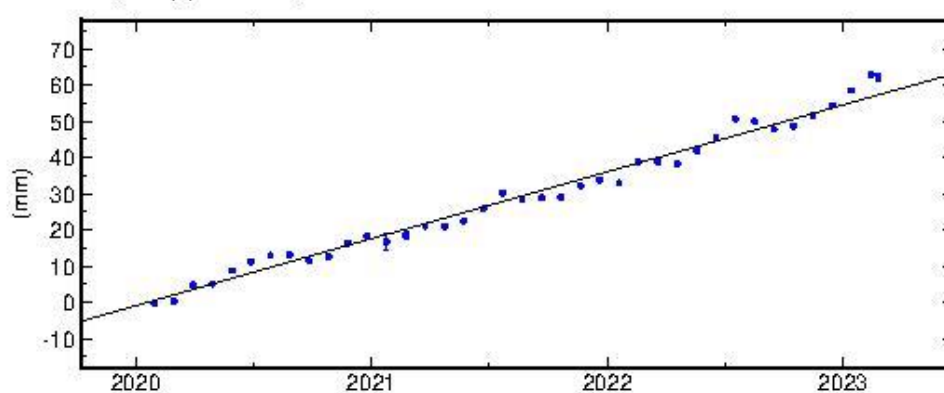
WIND\_3PS North Offset -2513028.327 m

rate(mm/yr)=  $19.46 \pm 0.10$  nrms= 4.32 wrms= 2.5 mm # 39



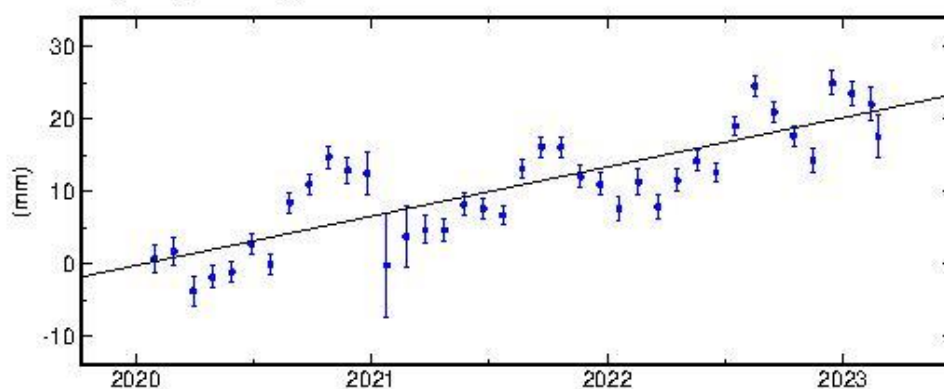
WIND\_3PS East Offset 1756625.326 m

rate(mm/yr)=  $18.47 \pm 0.11$  nrms= 3.94 wrms= 2.3 mm # 39



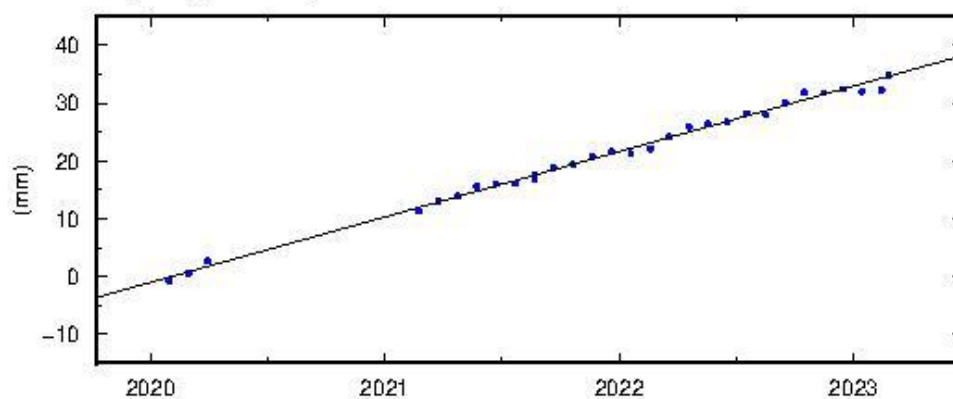
WIND\_3PS Up Offset 1734.657 m

rate(mm/yr)=  $6.80 \pm 0.29$  nrms= 2.71 wrms= 4.3 mm # 39



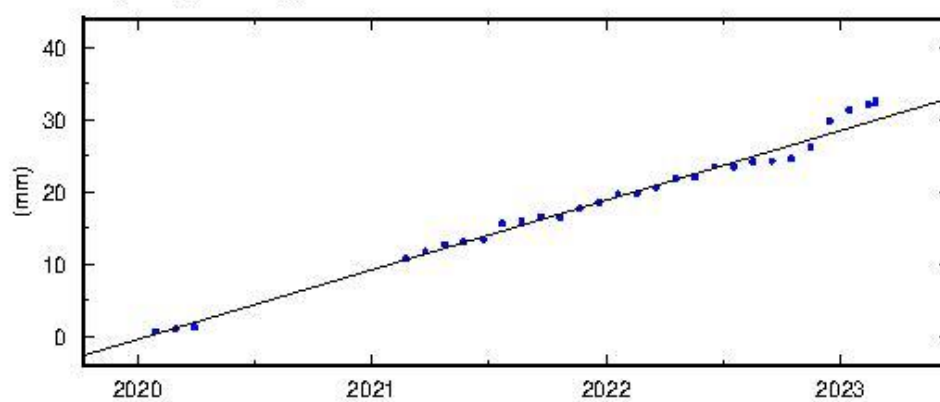
WLCH North Offset -7873555.653 m

rate(mm/yr)=  $11.32 \pm 0.07$  nrms= 2.32 wrms= 0.7 mm # 29



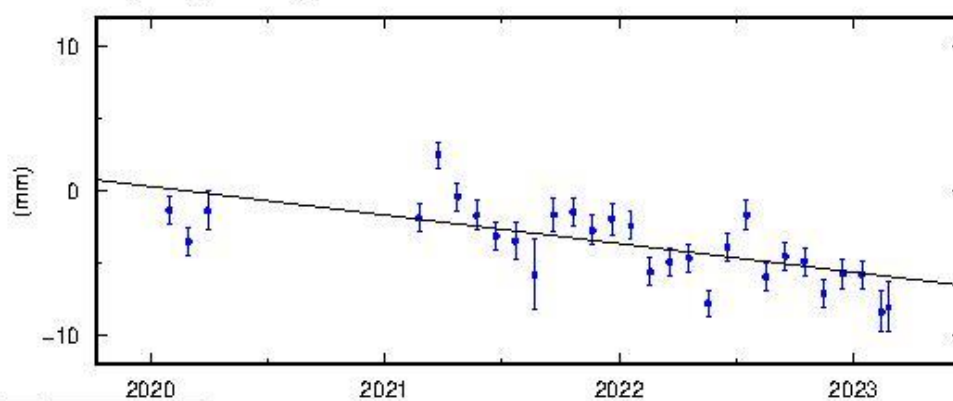
WLCH East Offset 10881501.494 m

rate(mm/yr)=  $9.64 \pm 0.06$  nrms= 3.79 wrms= 0.9 mm # 29

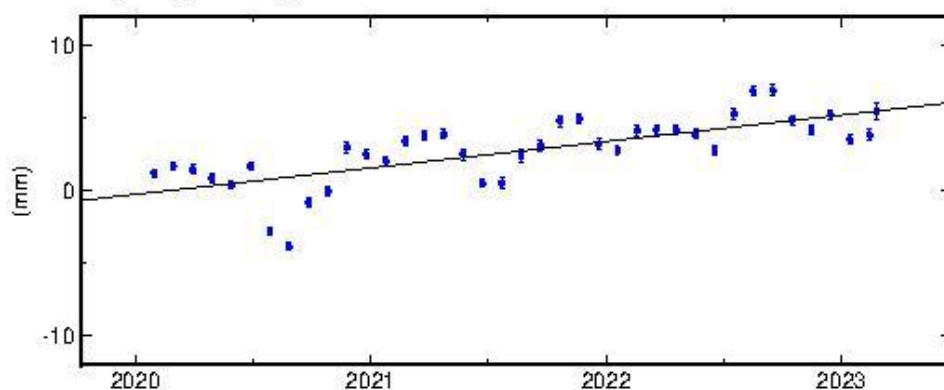


WLCH Up Offset 1534.129 m

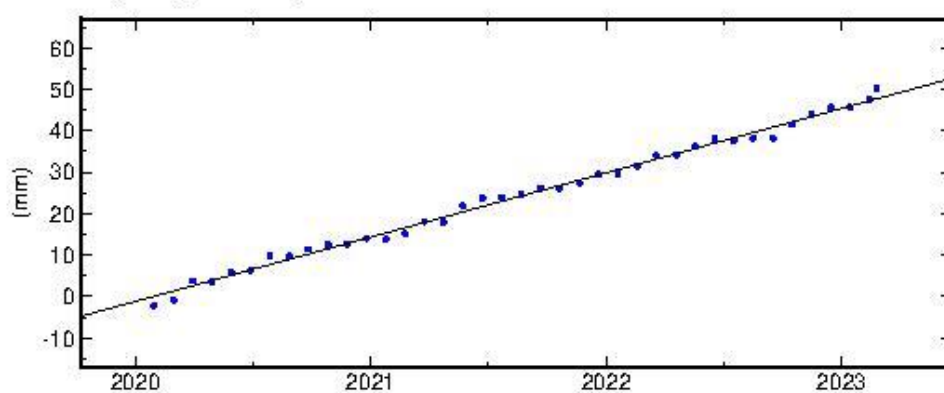
rate(mm/yr)=  $-1.98 \pm 0.24$  nrms= 1.86 wrms= 1.9 mm # 29



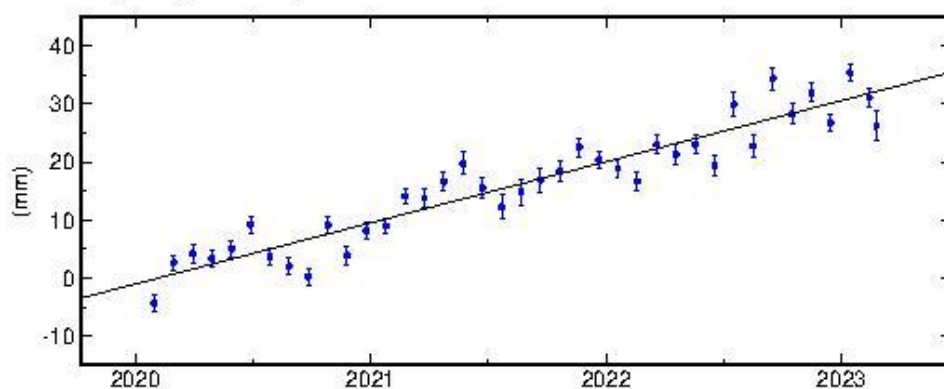
BENN North Offset -9438385.329 m  
rate(mm/yr)=  $1.82 \pm 0.06$  nrms= 5.27 wrms= 1.7 mm # 39



BENN East Offset 2463478.311 m  
rate(mm/yr)=  $15.52 \pm 0.06$  nrms= 3.44 wrms= 1.2 mm # 39

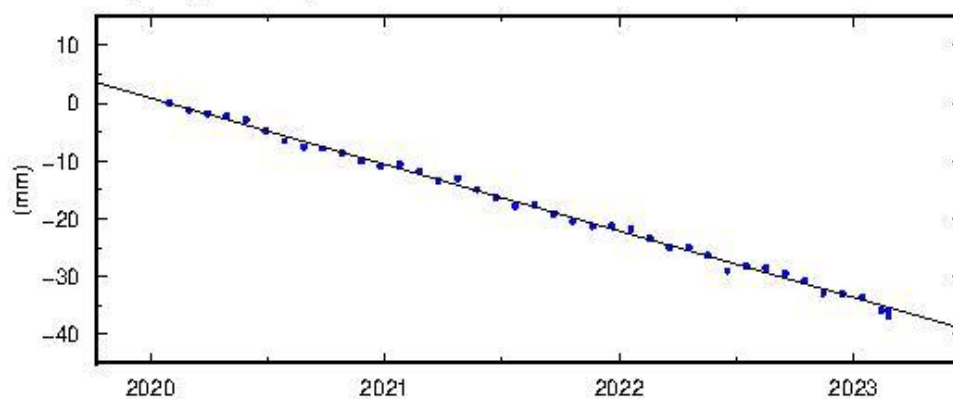


BENN Up Offset 1416.426 m  
rate(mm/yr)=  $10.53 \pm 0.27$  nrms= 2.10 wrms= 3.3 mm # 39



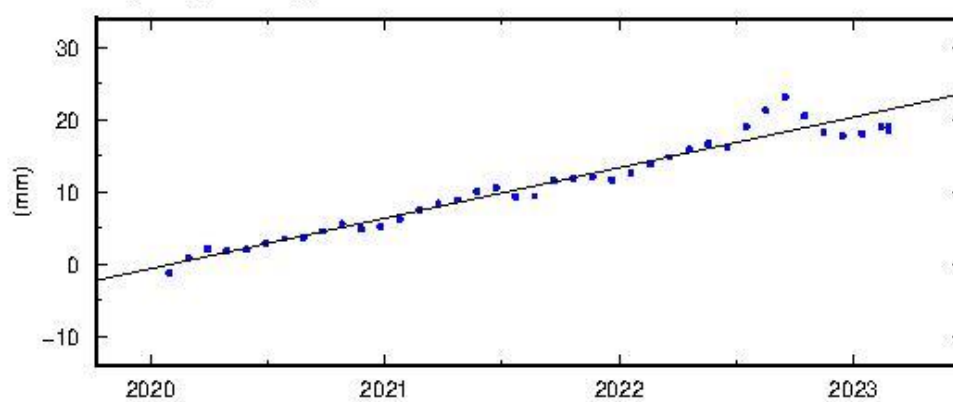
BURI North Offset -8810652.509 m

rate(mm/yr)=  $-11.51 \pm 0.07$  nrms= 1.63 wrms= 0.7 mm # 39



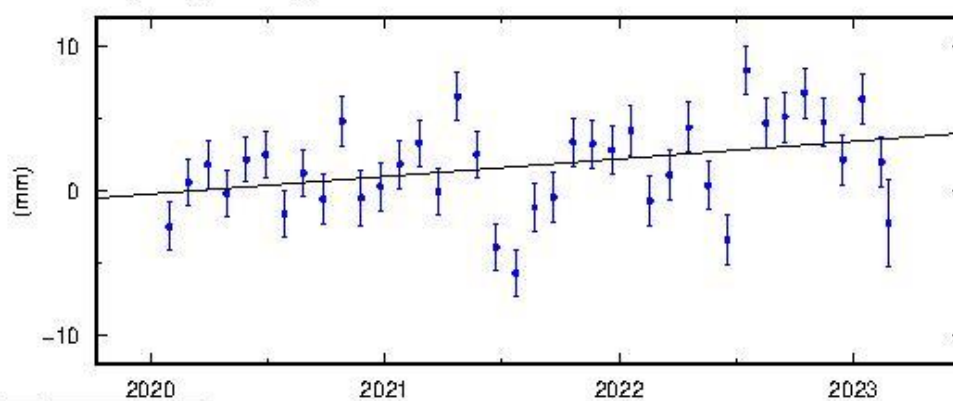
BURI East Offset 3267117.492 m

rate(mm/yr)=  $6.99 \pm 0.06$  nrms= 3.99 wrms= 1.4 mm # 39

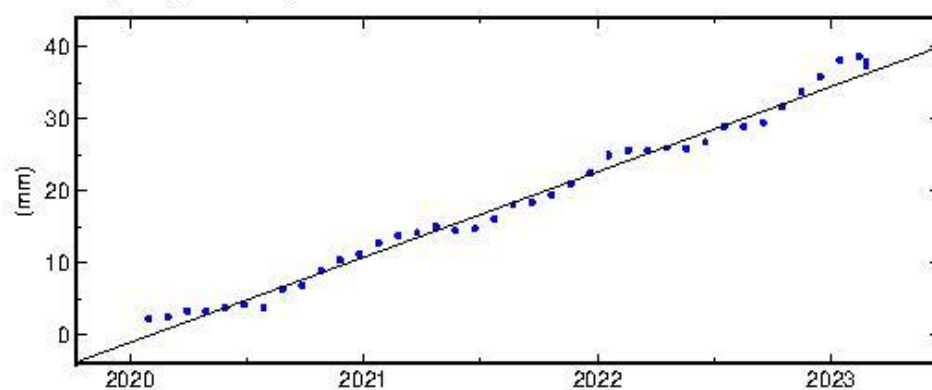


BURI Up Offset 2006.304 m

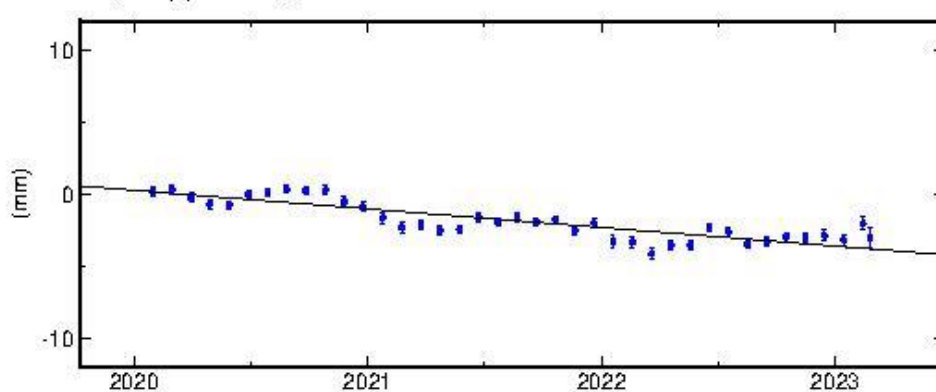
rate(mm/yr)=  $1.21 \pm 0.30$  nrms= 1.75 wrms= 3.0 mm # 39



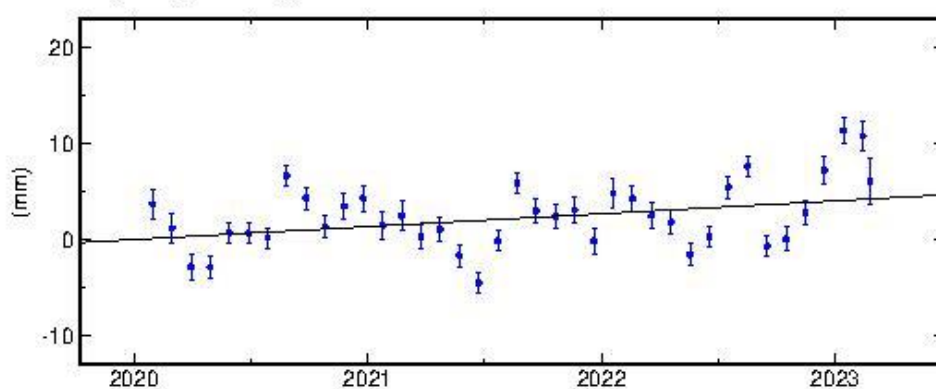
CORD\_4PS North Offset -3509729.153 m  
 rate(mm/yr)=  $11.84 \pm 0.06$  nrms= 3.79 wrms= 1.3 mm # 39



CORD\_4PS East Offset 28042196.522 m  
 rate(mm/yr)=  $-1.29 \pm 0.06$  nrms= 2.06 wrms= 0.7 mm # 39

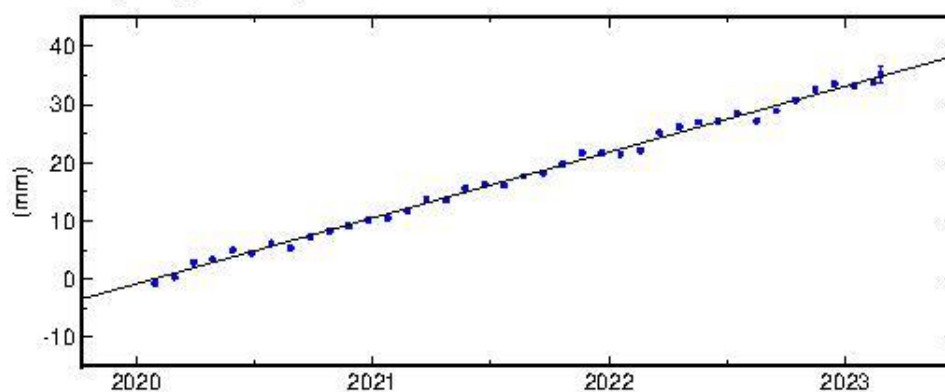


CORD\_4PS Up Offset 746.834 m  
 rate(mm/yr)=  $1.34 \pm 0.22$  nrms= 2.62 wrms= 3.3 mm # 39



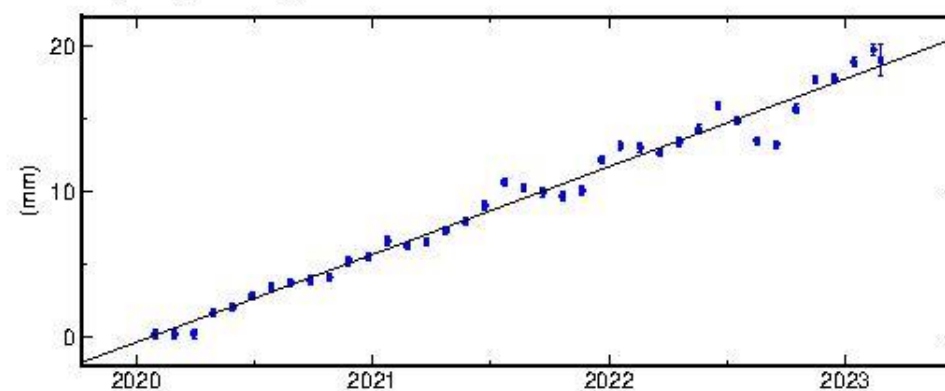
CRDI North Offset -9224102.312 m

rate(mm/yr)=  $11.32 \pm 0.07$  nrms= 1.95 wrms= 0.8 mm # 39



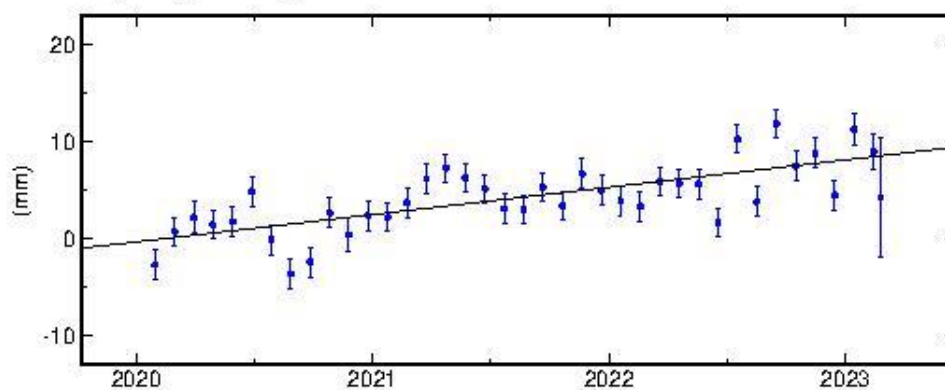
CRDI East Offset 4244201.882 m

rate(mm/yr)=  $6.04 \pm 0.05$  nrms= 3.05 wrms= 0.9 mm # 39

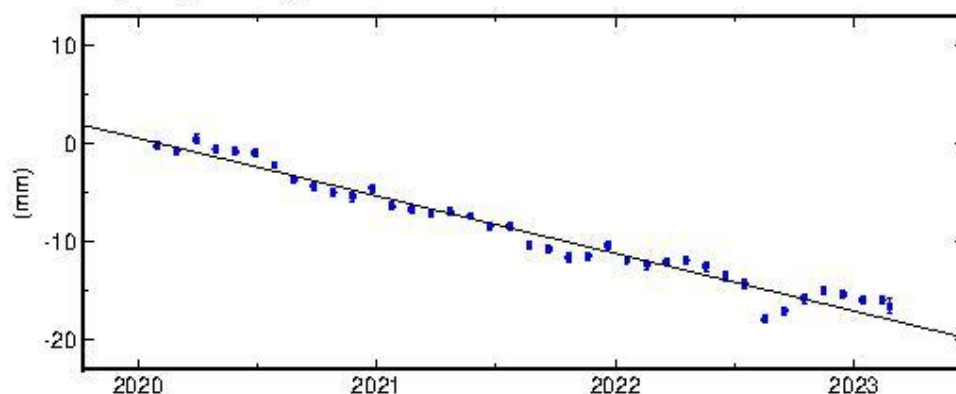


CRDI Up Offset 945.310 m

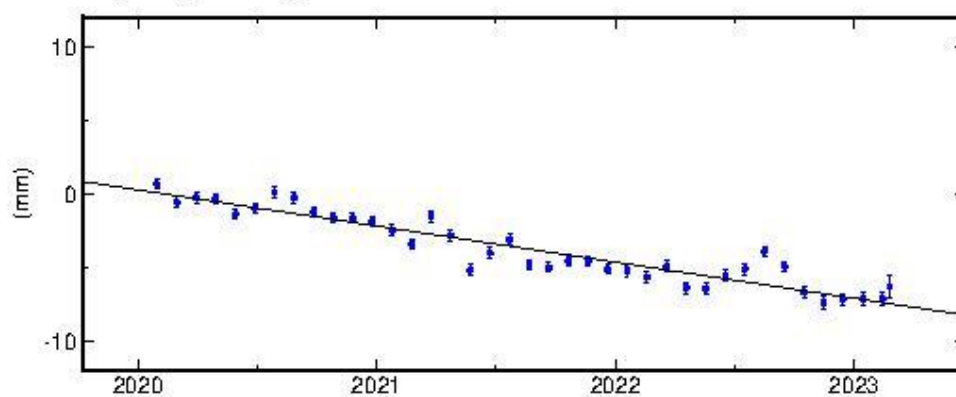
rate(mm/yr)=  $2.82 \pm 0.27$  nrms= 1.62 wrms= 2.5 mm # 39



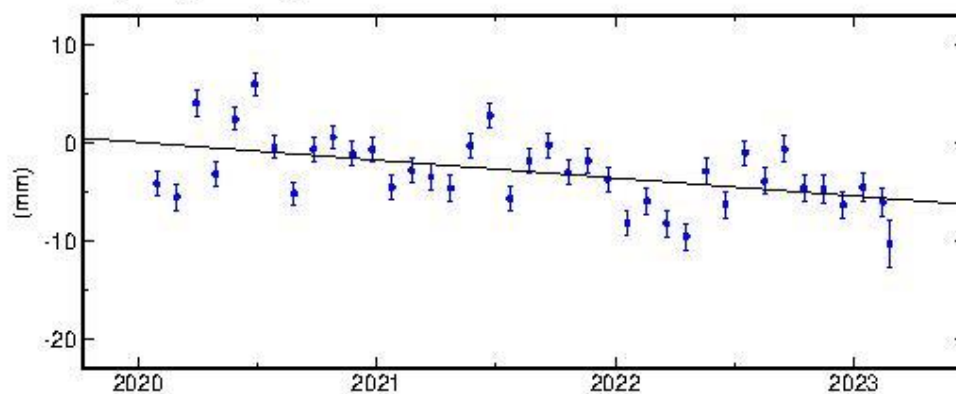
DAV1\_5PS North Offset -7633992.763 m  
rate(mm/yr)=  $-5.87 \pm 0.07$  nrms= 2.52 wrms= 1.0 mm # 39



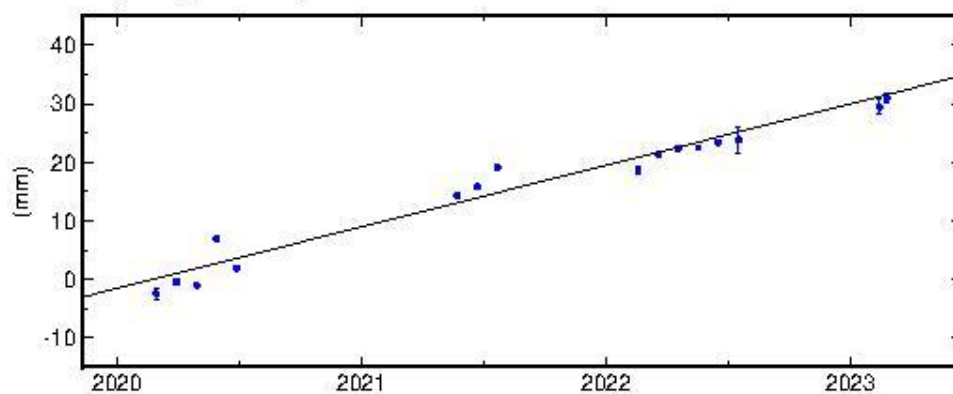
DAV1\_5PS East Offset 3170252.841 m  
rate(mm/yr)=  $-2.45 \pm 0.07$  nrms= 2.35 wrms= 0.8 mm # 39



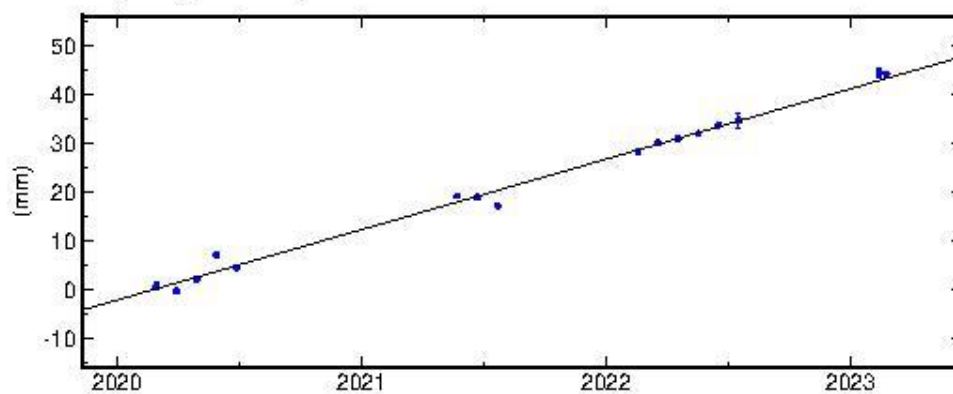
DAV1\_5PS Up Offset 44.391 m  
rate(mm/yr)=  $-1.83 \pm 0.23$  nrms= 2.39 wrms= 3.1 mm # 39



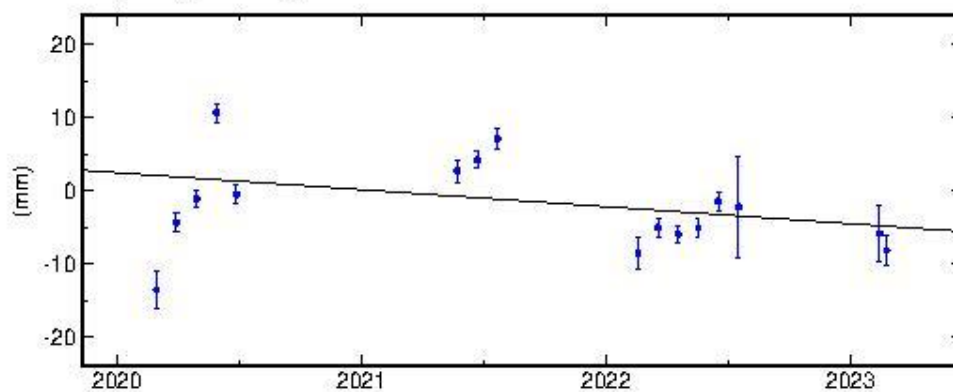
DISM North Offset -7579870.017 m  
rate(mm/yr)=  $10.51 \pm 0.13$  nrms= 4.86 wrms= 2.4 mm # 16



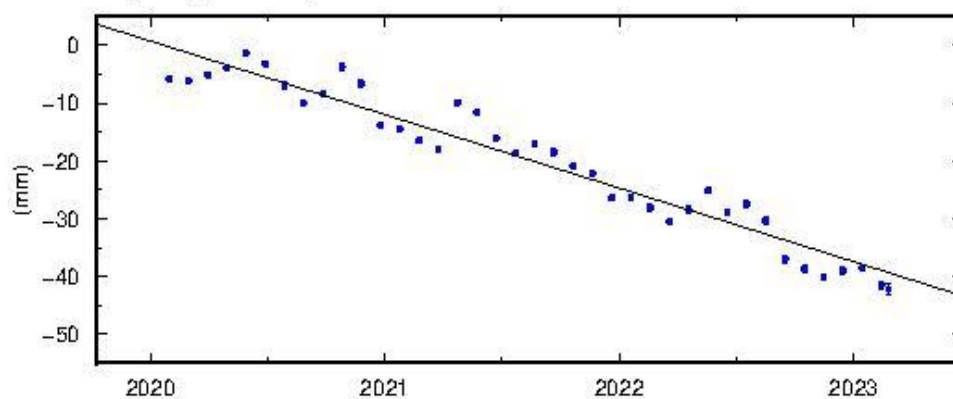
DISM East Offset 12093979.476 m  
rate(mm/yr)=  $14.44 \pm 0.10$  nrms= 4.24 wrms= 1.5 mm # 16



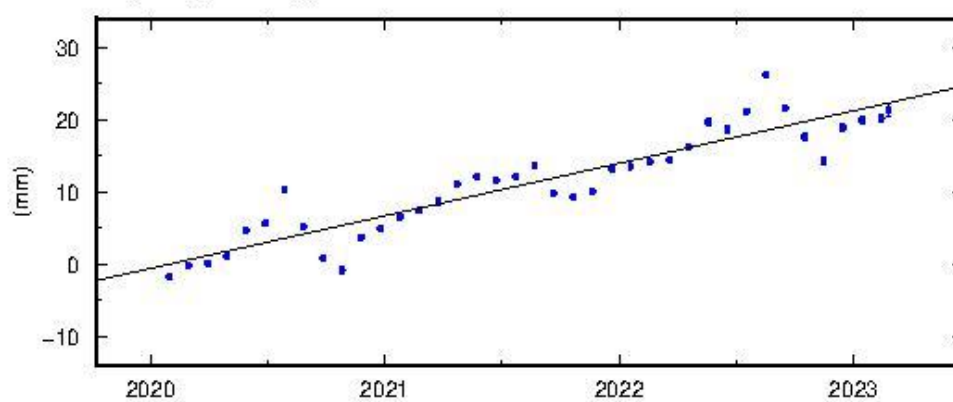
DISM Up Offset 37.330 m  
rate(mm/yr)=  $-2.32 \pm 0.39$  nrms= 3.82 wrms= 5.5 mm # 16



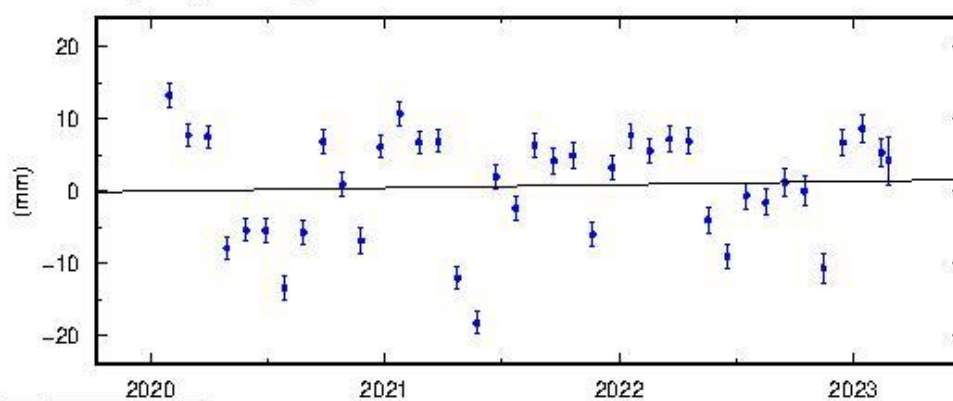
DUMG North Offset -7421134.484 m  
 rate(mm/yr)=  $-12.72 \pm 0.09$  nrms= 6.09 wrms= 3.2 mm # 39



DUMG East Offset 6173595.684 m  
 rate(mm/yr)=  $7.27 \pm 0.08$  nrms= 6.82 wrms= 2.9 mm # 39

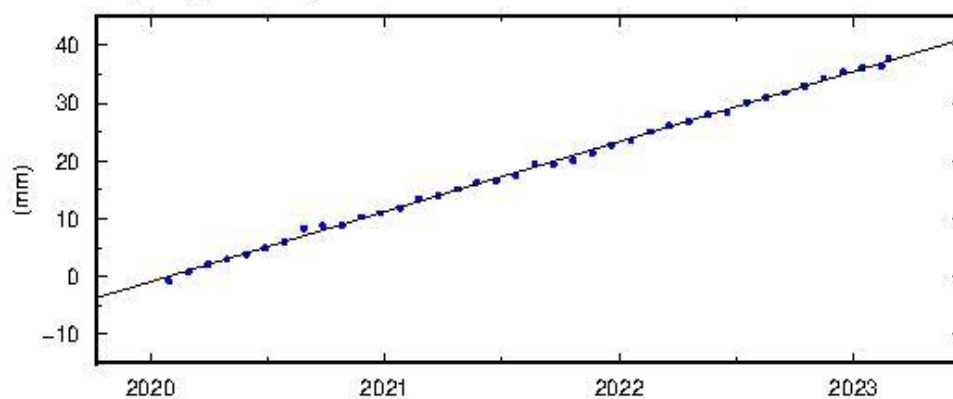


DUMG Up Offset -1.631 m  
 rate(mm/yr)=  $0.46 \pm 0.31$  nrms= 4.61 wrms= 7.9 mm # 39



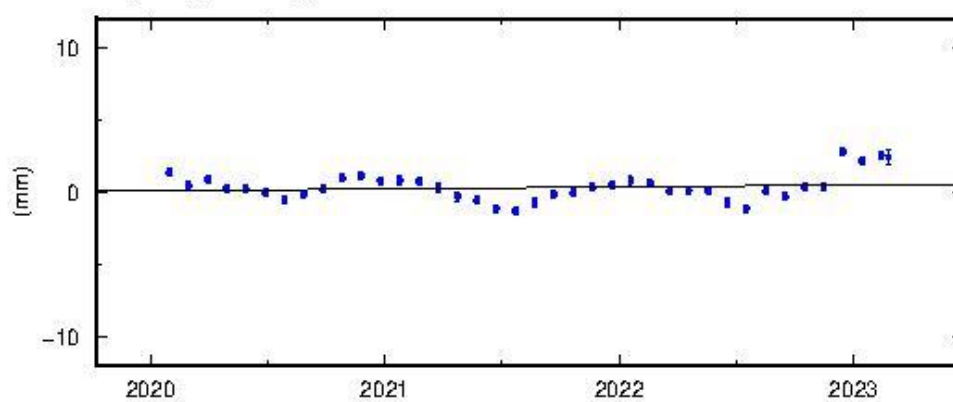
FALK\_3PS North Offset -5754510.892 m

rate(mm/yr)=  $12.12 \pm 0.06$  nrms= 1.28 wrms= 0.5 mm # 39



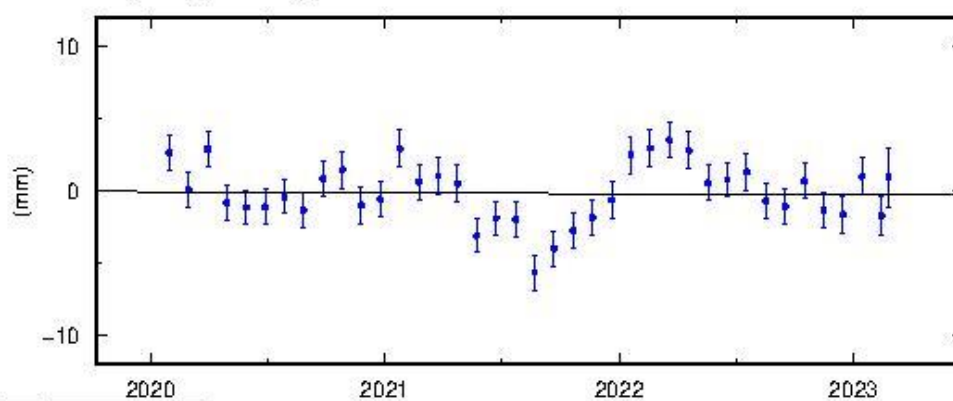
FALK\_3PS East Offset 20848193.323 m

rate(mm/yr)=  $0.14 \pm 0.05$  nrms= 3.26 wrms= 0.9 mm # 39



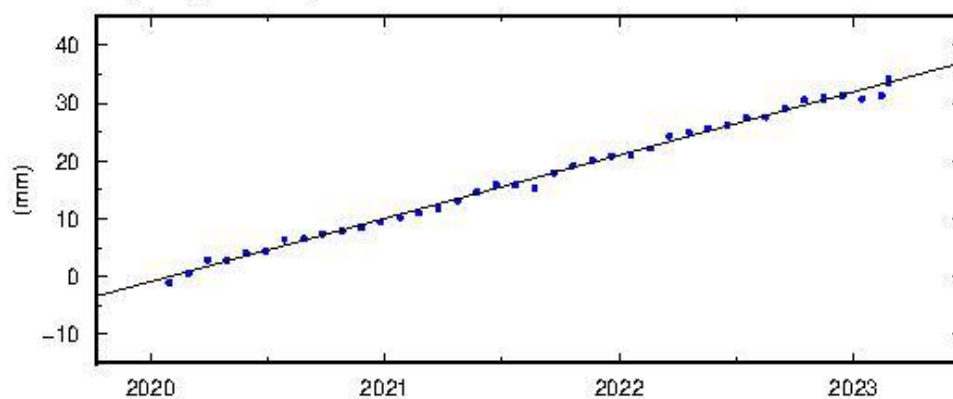
FALK\_3PS Up Offset 50.824 m

rate(mm/yr)=  $-0.07 \pm 0.22$  nrms= 1.68 wrms= 2.1 mm # 39



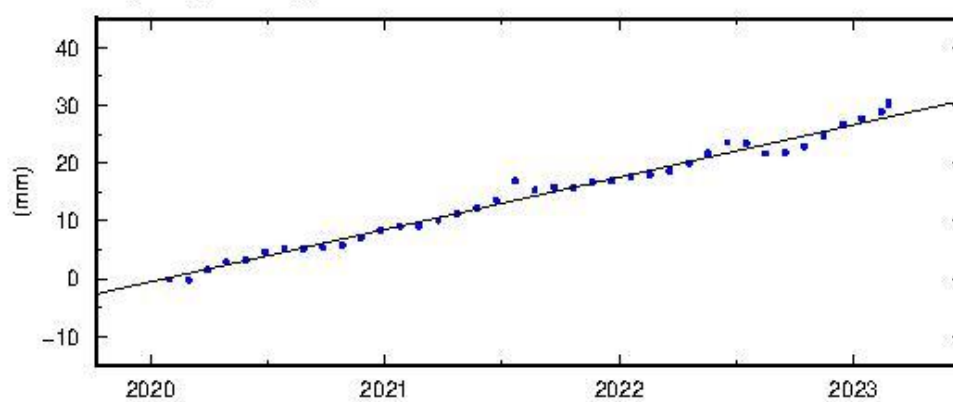
HAAG North Offset -8575836.587 m

rate(mm/yr)=  $10.94 \pm 0.07$  nrms= 1.88 wrms= 0.7 mm # 39



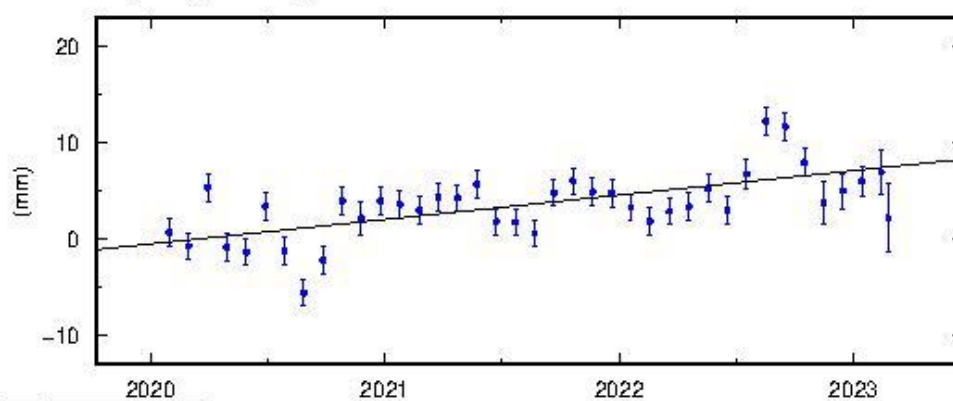
HAAG East Offset 7034627.837 m

rate(mm/yr)=  $9.05 \pm 0.06$  nrms= 3.43 wrms= 1.0 mm # 39

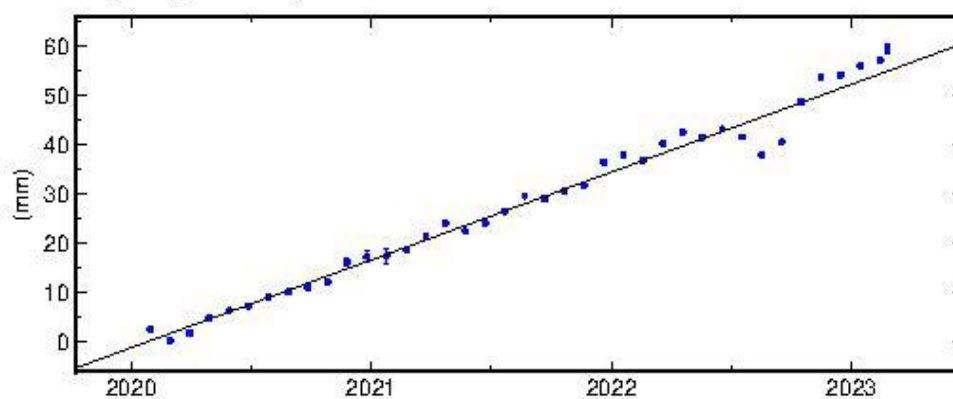


HAAG Up Offset 1171.804 m

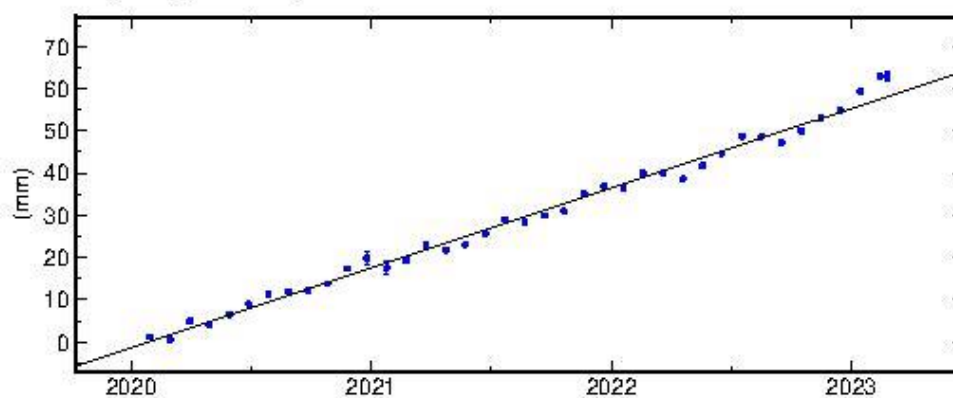
rate(mm/yr)=  $2.54 \pm 0.27$  nrms= 1.86 wrms= 2.7 mm # 39



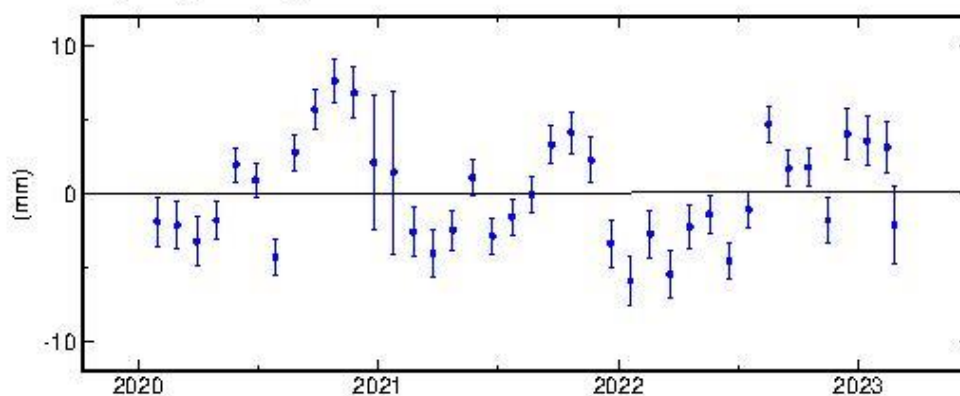
HARB\_3PS North Offset -2881723.252 m  
 rate(mm/yr)=  $17.82 \pm 0.10$  nrms= 4.51 wrms= 2.5 mm # 39



HARB\_3PS East Offset 2774875.708 m  
 rate(mm/yr)=  $18.88 \pm 0.10$  nrms= 3.07 wrms= 1.7 mm # 39

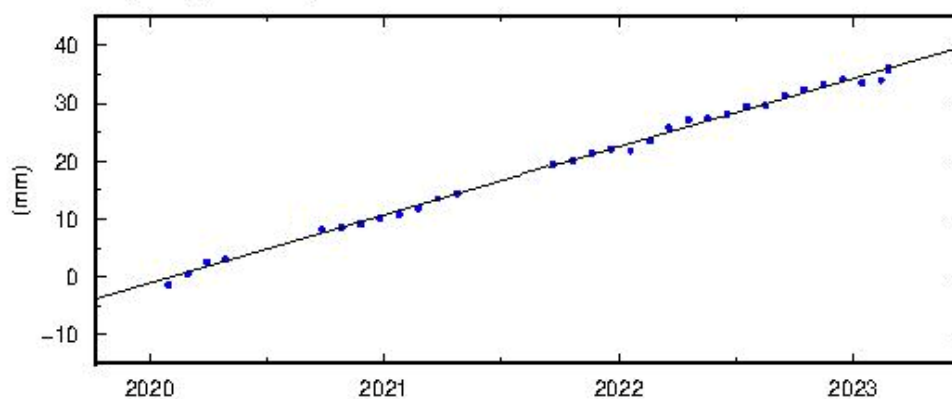


HARB\_3PS Up Offset 1558.080 m  
 rate(mm/yr)=  $0.05 \pm 0.26$  nrms= 2.40 wrms= 3.4 mm # 39



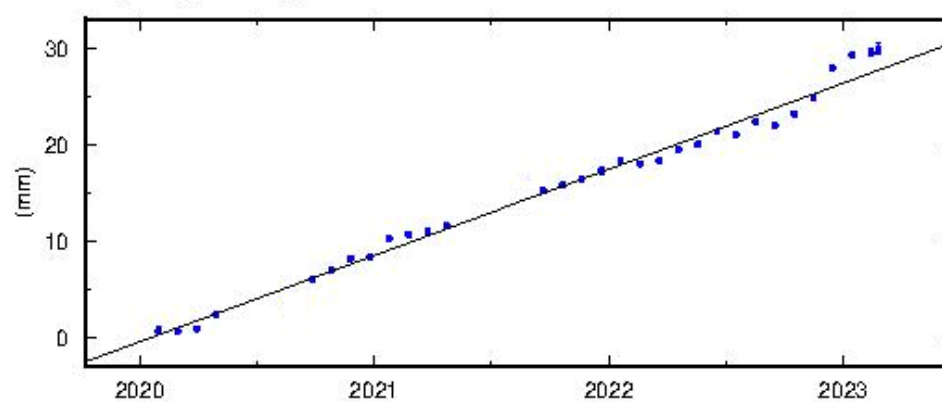
HTON North Offset -8246548.624 m

rate(mm/yr)=  $11.80 \pm 0.07$  nrms= 1.97 wrms= 0.7 mm # 33



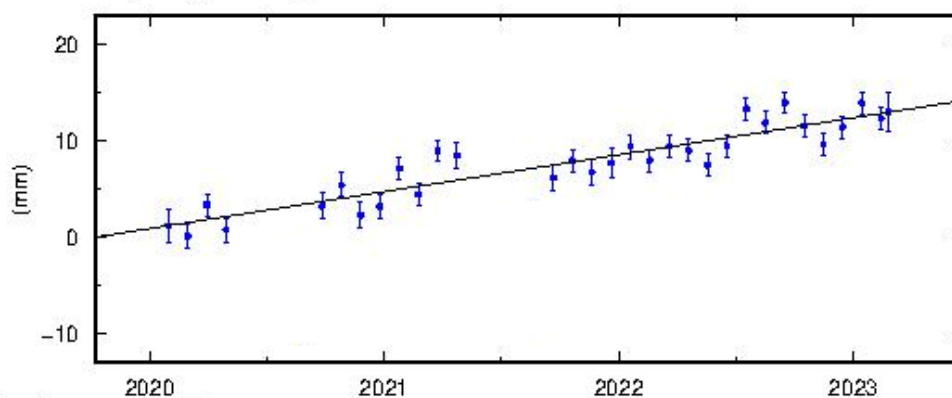
HTON East Offset 9107029.098 m

rate(mm/yr)=  $8.95 \pm 0.05$  nrms= 3.61 wrms= 1.0 mm # 33

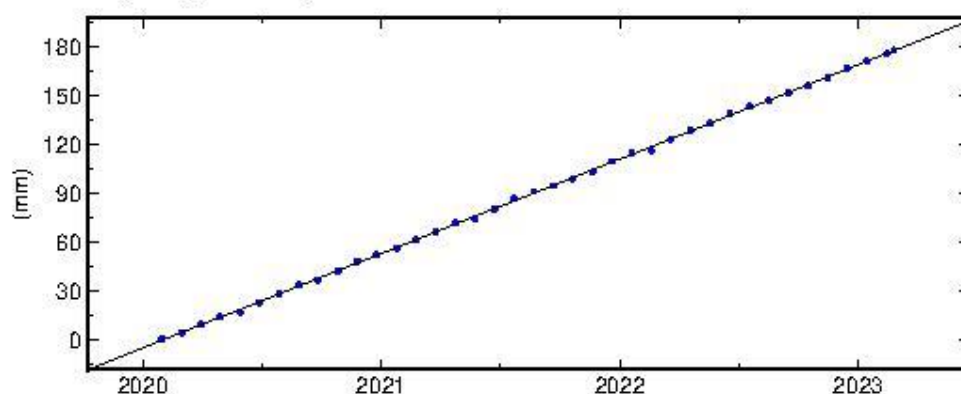


HTON Up Offset 950.462 m

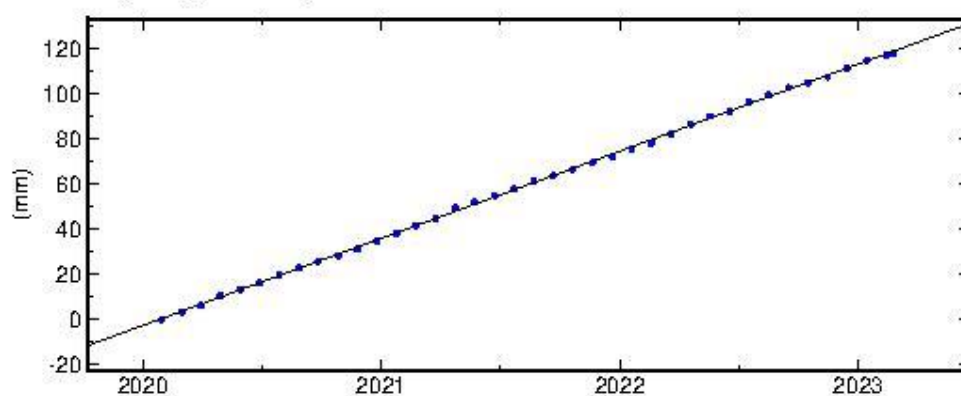
rate(mm/yr)=  $3.83 \pm 0.24$  nrms= 1.38 wrms= 1.7 mm # 33



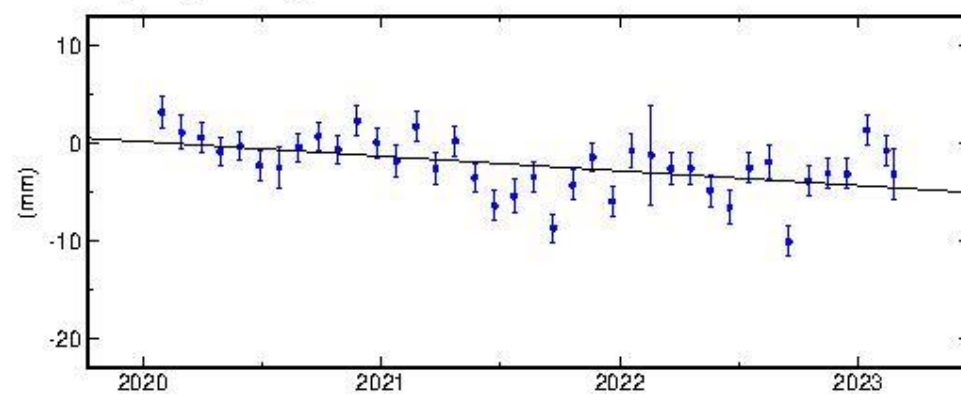
PERT\_8PS North Offset -3540177.759 m  
rate(mm/yr)=  $57.97 \pm 0.06$  nrms= 2.11 wrms= 0.7 mm # 39



PERT\_8PS East Offset 10963595.405 m  
rate(mm/yr)=  $38.66 \pm 0.06$  nrms= 1.80 wrms= 0.6 mm # 39

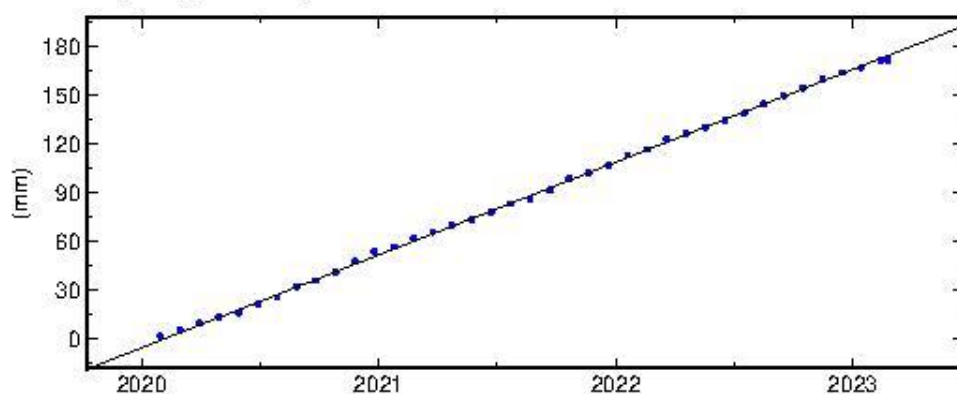


PERT\_8PS Up Offset 12.673 m  
rate(mm/yr)=  $-1.50 \pm 0.28$  nrms= 1.67 wrms= 2.7 mm # 39



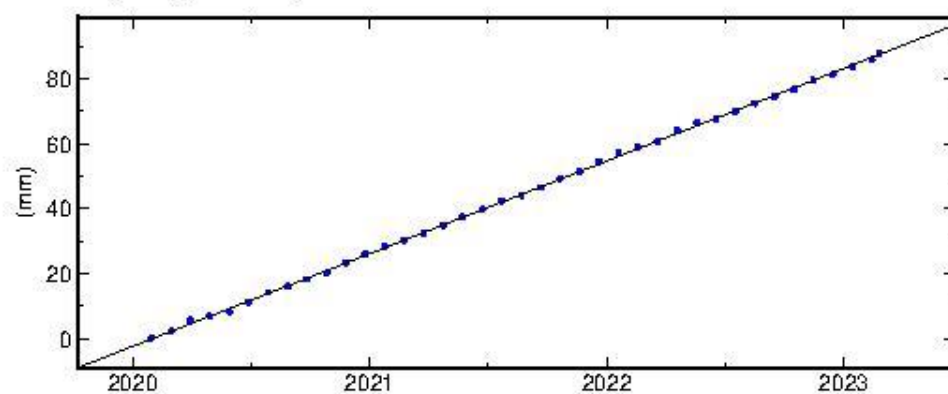
TOW2\_2PS North Offset -2145045.585 m

rate(mm/yr)=  $57.14 \pm 0.05$  nrms= 4.62 wrms= 1.2 mm # 39



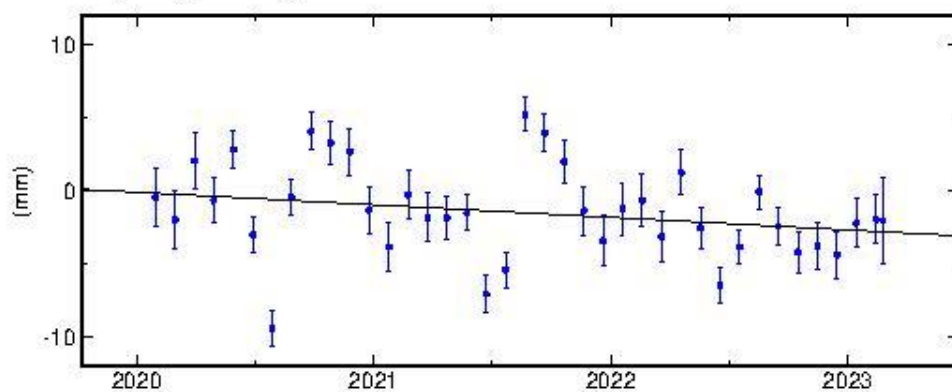
TOW2\_2PS East Offset 15453122.880 m

rate(mm/yr)=  $28.53 \pm 0.05$  nrms= 1.53 wrms= 0.5 mm # 39



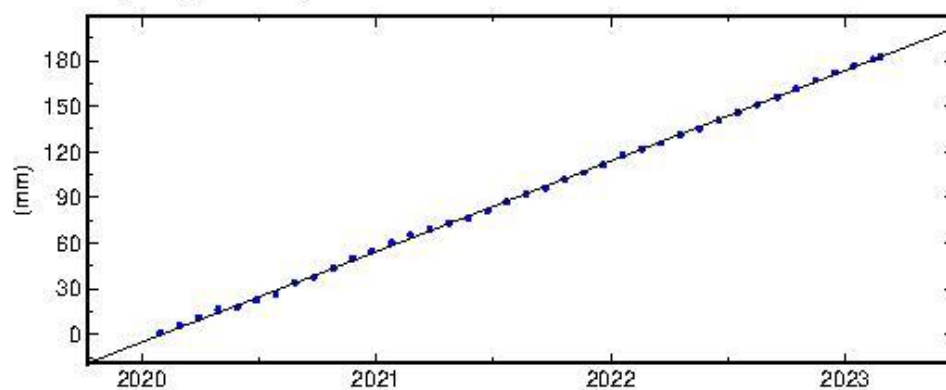
TOW2\_2PS Up Offset 88.096 m

rate(mm/yr)=  $-0.86 \pm 0.26$  nrms= 2.41 wrms= 3.5 mm # 39



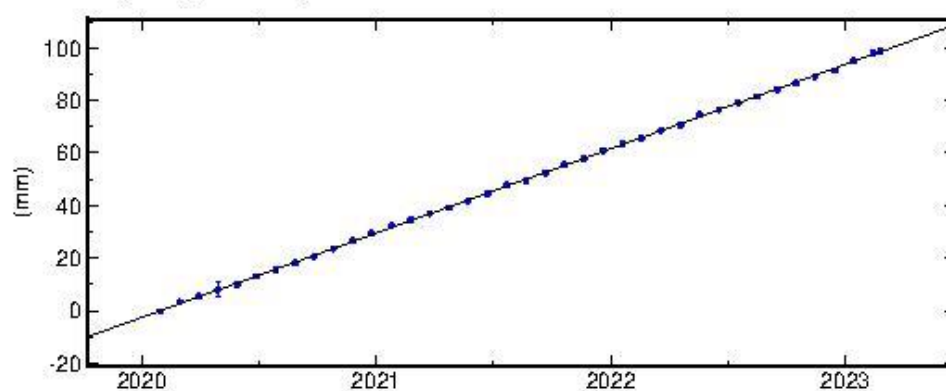
ALIC\_2PS North Offset -2634944.601 m

rate(mm/yr)=  $59.52 \pm 0.05$  nrms= 4.48 wrms= 1.2 mm # 39



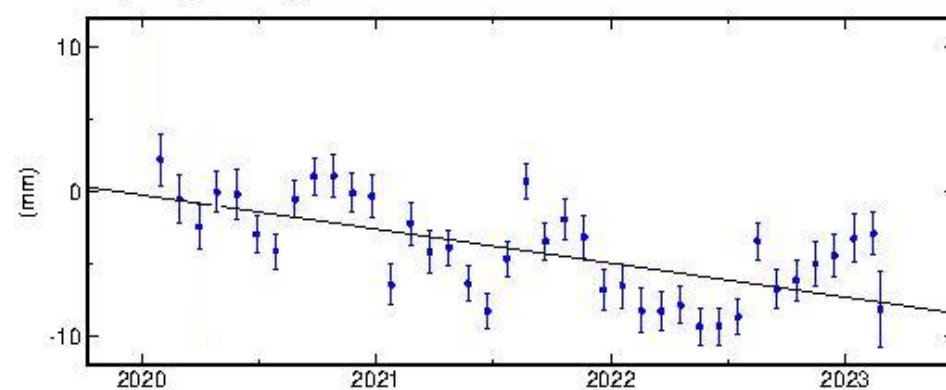
ALIC\_2PS East Offset 13650326.779 m

rate(mm/yr)=  $32.08 \pm 0.05$  nrms= 1.53 wrms= 0.4 mm # 39



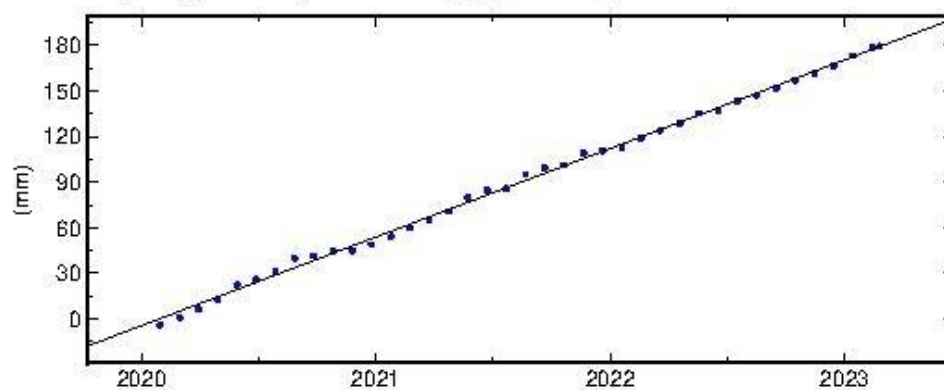
ALIC\_2PS Up Offset 603.248 m

rate(mm/yr)=  $-2.35 \pm 0.27$  nrms= 1.96 wrms= 2.8 mm # 39



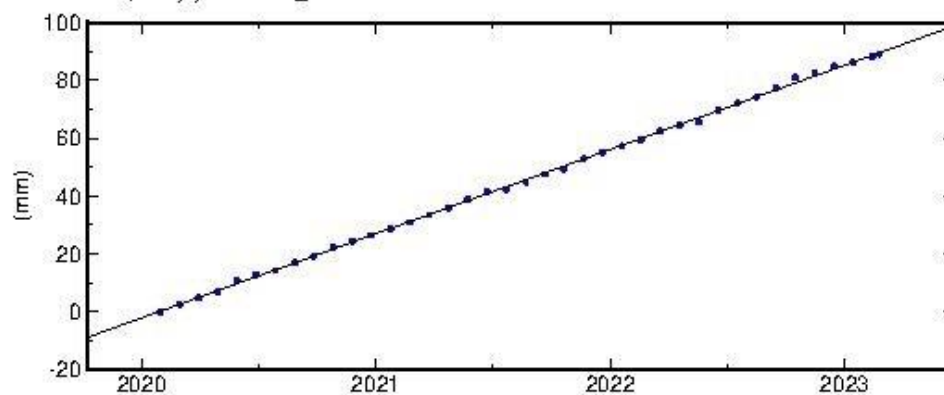
CEDU\_3PS North Offset -3547380.090 m

rate(mm/yr)=  $58.23 \pm 0.05$  nrms= 2.75 wrms= 0.6 mm # 39



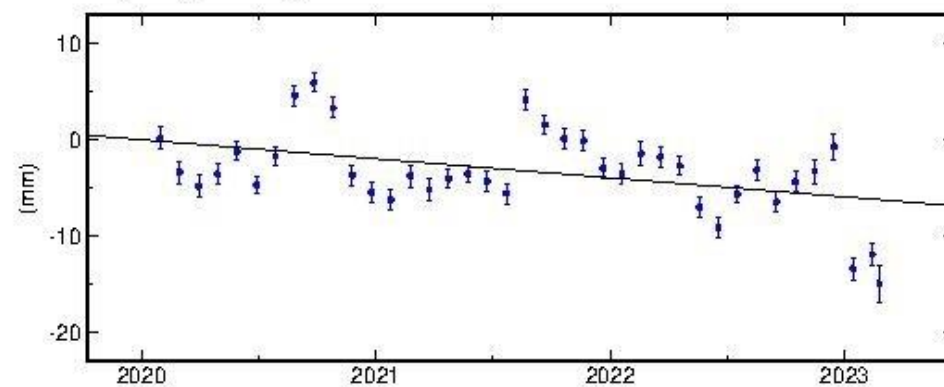
CEDU\_3PS East Offset 12650749.473 m

rate(mm/yr)=  $29.15 \pm 0.04$  nrms= 2.87 wrms= 0.6 mm # 39



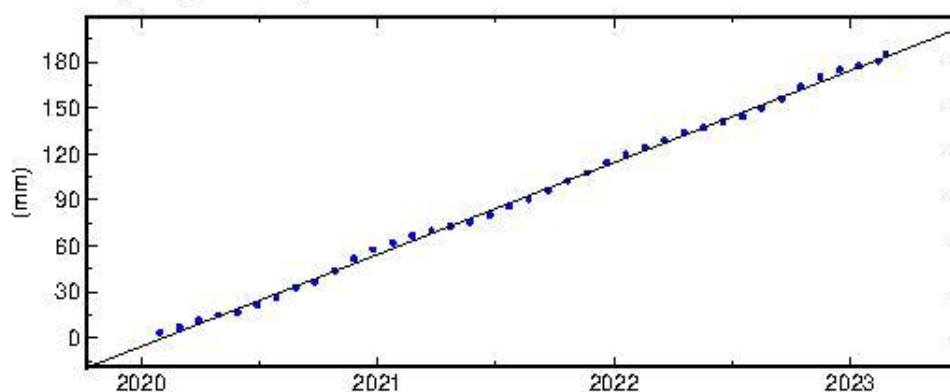
CEDU\_3PS Up Offset 144.723 m

rate(mm/yr)=  $-1.98 \pm 0.19$  nrms= 3.50 wrms= 3.7 mm # 39



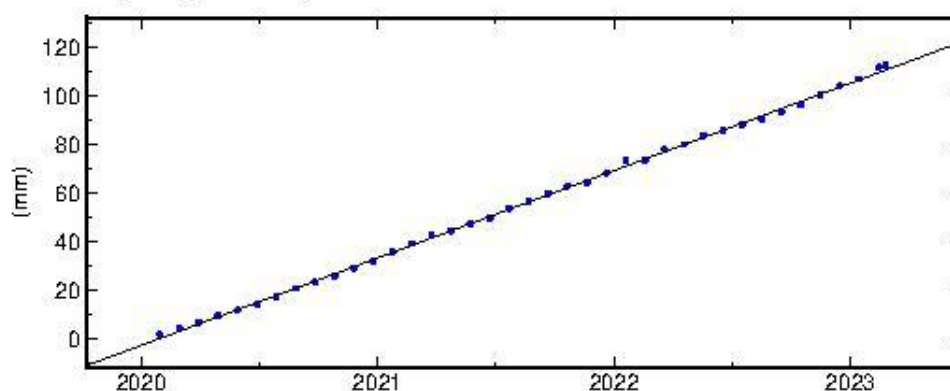
DARW\_6PS North Offset -1429753.776 m

rate(mm/yr)=  $59.95 \pm 0.09$  nrms= 4.63 wrms= 2.3 mm # 39



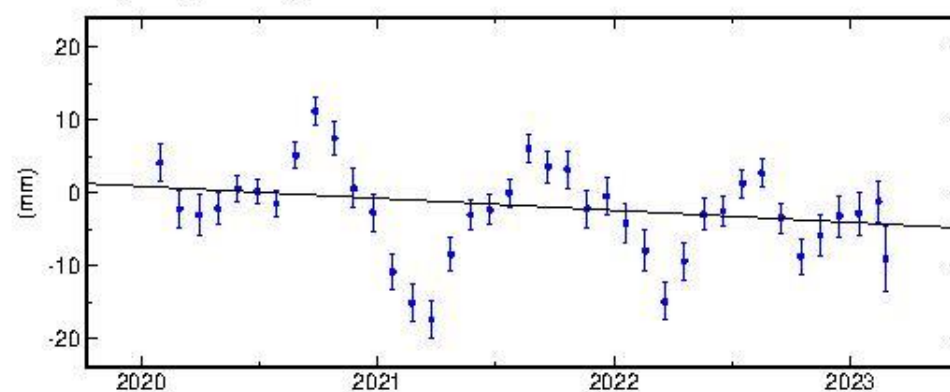
DARW\_6PS East Offset 14232435.255 m

rate(mm/yr)=  $35.98 \pm 0.10$  nrms= 1.59 wrms= 0.9 mm # 39



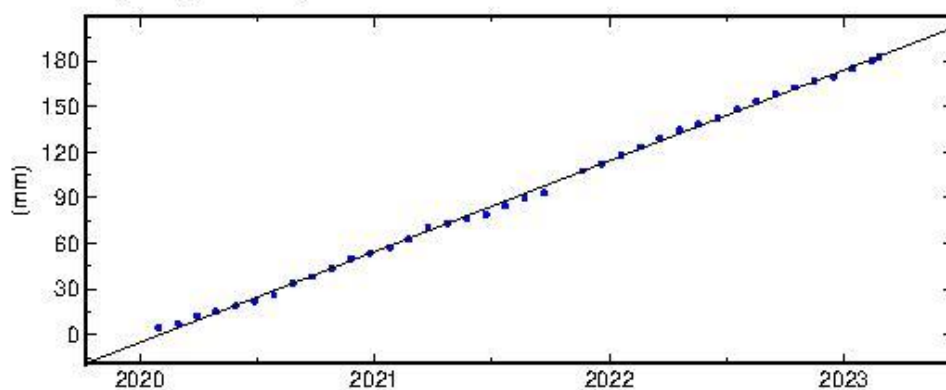
DARW\_6PS Up Offset 125.111 m

rate(mm/yr)=  $-1.65 \pm 0.41$  nrms= 2.52 wrms= 5.8 mm # 39



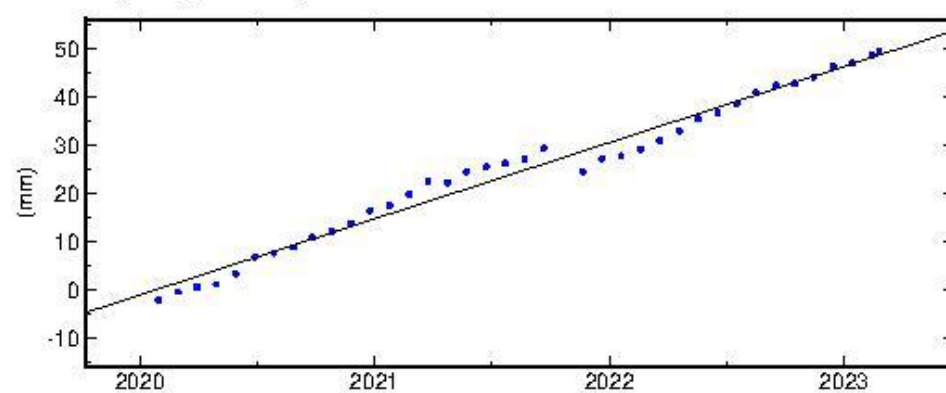
MOBS\_2PS North Offset -4211149.889 m

rate(mm/yr)=  $59.67 \pm 0.07$  nrms= 5.17 wrms= 2.0 mm # 38



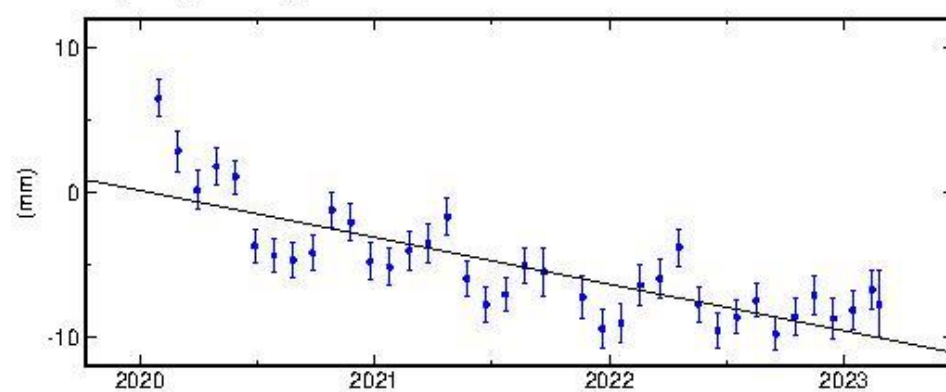
MOBS\_2PS East Offset 12746843.278 m

rate(mm/yr)=  $15.80 \pm 0.06$  nrms= 6.48 wrms= 2.2 mm # 38



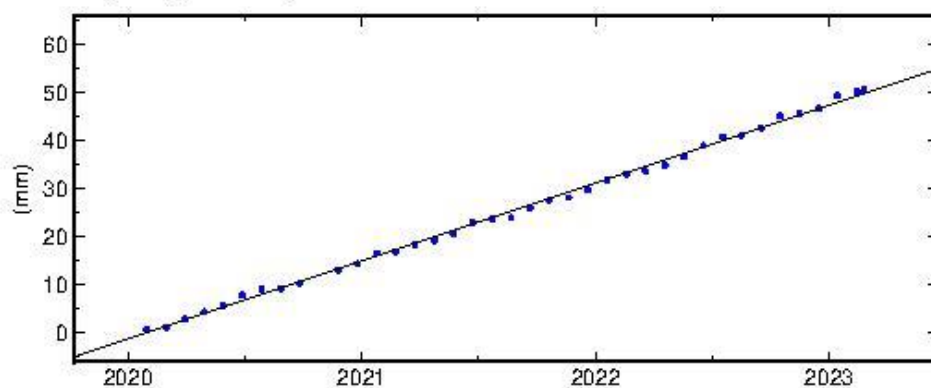
MOBS\_2PS Up Offset 40.580 m

rate(mm/yr)=  $-3.23 \pm 0.23$  nrms= 1.74 wrms= 2.2 mm # 38



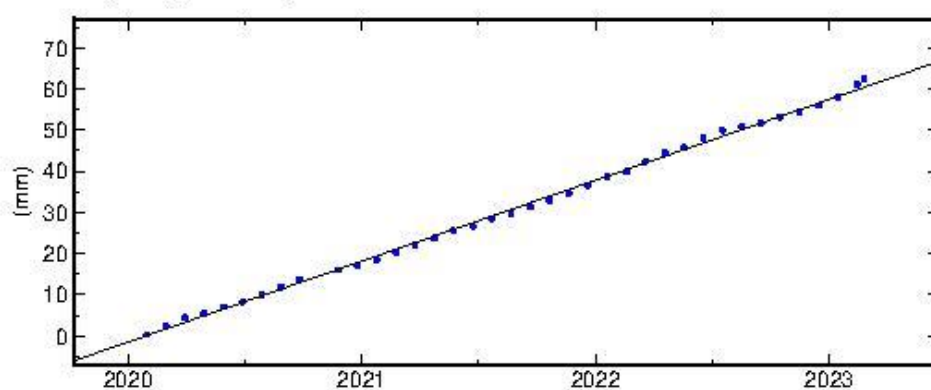
IOQE\_6PS North Offset -2256840.092 m

rate(mm/yr)=  $16.21 \pm 0.06$  nrms= 2.16 wrms= 0.7 mm # 38



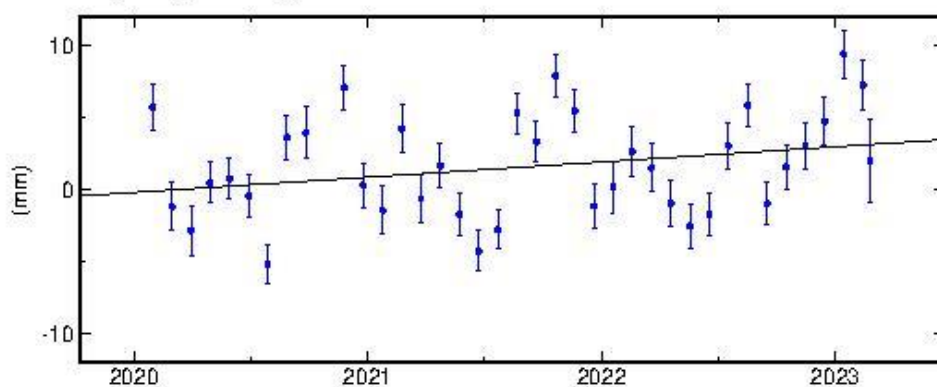
IOQE\_6PS East Offset 30268804.498 m

rate(mm/yr)=  $19.65 \pm 0.07$  nrms= 1.93 wrms= 0.8 mm # 38



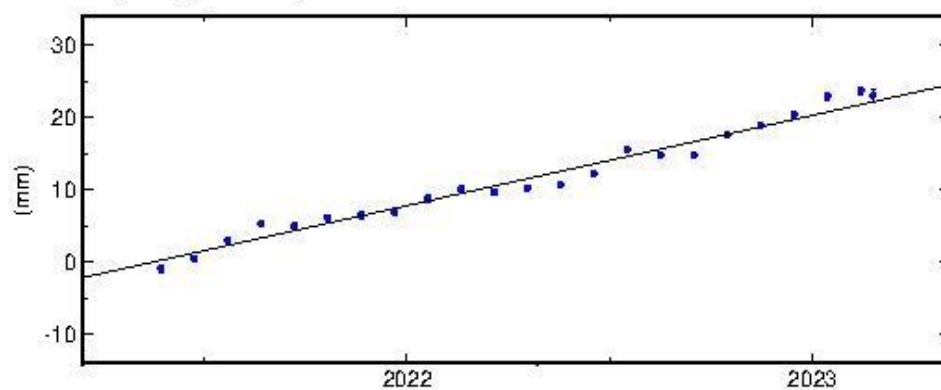
IOQE\_6PS Up Offset 38.975 m

rate(mm/yr)=  $1.06 \pm 0.28$  nrms= 2.27 wrms= 3.6 mm # 38



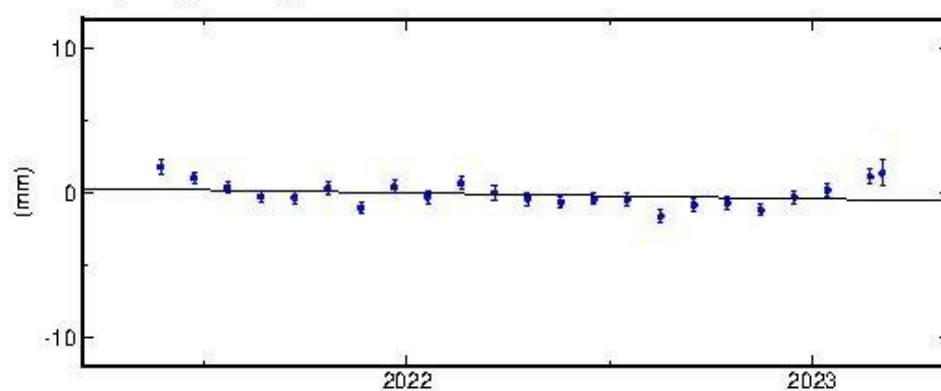
LPGS\_9PS North Offset -3885800.915 m

rate(mm/yr)=  $12.49 \pm 0.18$  nrms= 2.71 wrms= 1.2 mm # 23



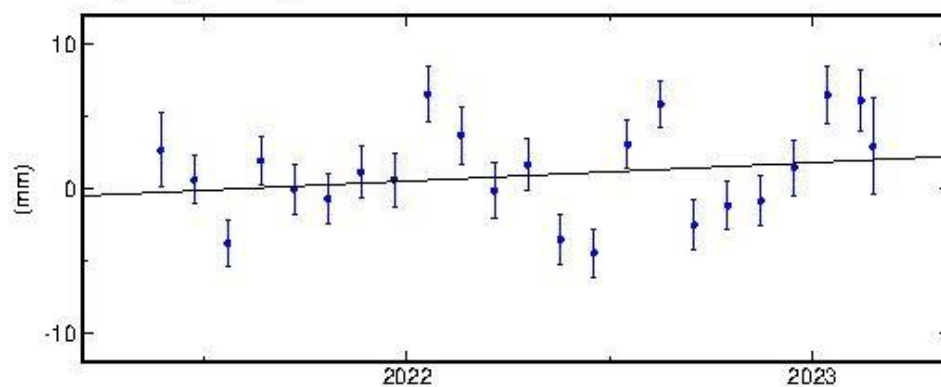
LPGS\_9PS East Offset 27575871.718 m

rate(mm/yr)=  $-0.41 \pm 0.17$  nrms= 2.23 wrms= 1.0 mm # 23

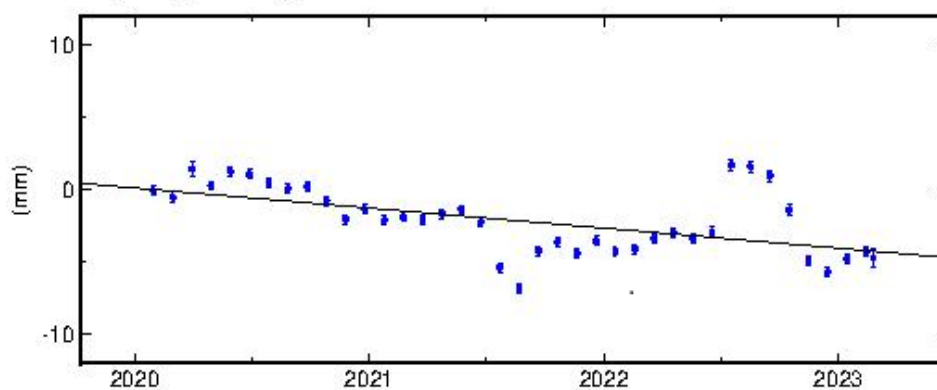


LPGS\_9PS Up Offset 29.867 m

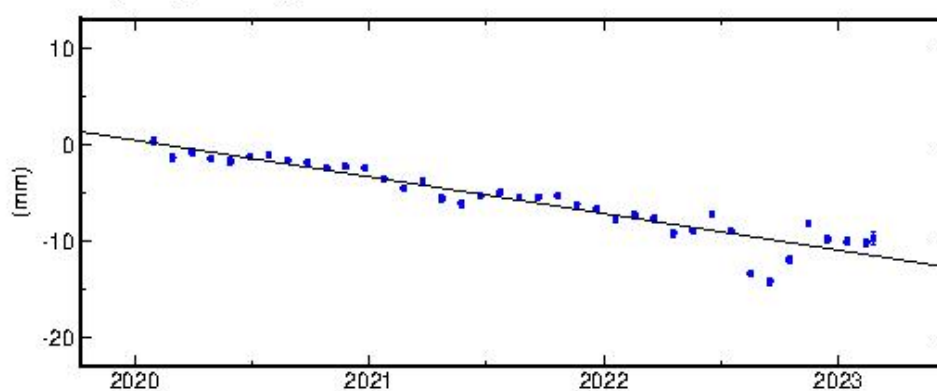
rate(mm/yr)=  $1.28 \pm 0.74$  nrms= 1.79 wrms= 3.3 mm # 23



MAW1 North Offset -7525728.227 m  
rate(mm/yr)=  $-1.39 \pm 0.06$  nrms= 5.88 wrms= 1.9 mm # 39



MAW1 East Offset 2666615.556 m  
rate(mm/yr)=  $-3.81 \pm 0.06$  nrms= 3.89 wrms= 1.2 mm # 39



MAW1 Up Offset 59.114 m  
rate(mm/yr)=  $0.13 \pm 0.22$  nrms= 3.27 wrms= 4.0 mm # 39

