KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TÜRKİYE'DE GRACE VE GRACE-FO UYDULARI İLE YERALTI SUYU DEĞİŞİMLERİNİN İZLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Murat BEKTAŞOĞLU

MART 2024
TRABZON

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TÜRKİYE'DE GRACE VE GRACE-FO UYDULARI İLE YERALTI SUYU DEĞİŞİMLERİNİN İZLENMESİ

Murat BEKTAŞOĞLU

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce
"HARİTA YÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 15 / 02 / 2024
Tezin Savunma Tarihi : 25 / 03 / 2024

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Emine TANIR KAYIKÇI

Trabzon 2024

ÖNSÖZ

"Türkiye'de GRACE ve GRACE-FO Uyduları ile Yeraltı Suyu Değişimlerinin İzlenmesi" isimli bu tez Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Programı'nda hazırlanmıştır.

Tez çalışmam boyunca hiçbir desteğini esirgemeyen ve bilim insanı olma yolundaki ilk adımlarımı atarken kıymetli bilgileriyle ve tecrübesiyle yolumu aydınlatan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Emine TANIR KAYIKÇI'ya teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca, yapıcı eleştirileri ve önerileri ile tezime büyük katkıları bulunan saygıdeğer hocam Sayın Dr. Cansu BEŞEL'e, eğitim öğretim hayatımda katkısı olan tüm hocalarıma teşekkür ederim.

Tez çalışması sürecinde Erasmus+ Staj kapmasında Alman Yer Bilimleri Araştırma Merkezi'nde bulunduğum süre içerisinde desteklerini esirgemeyen Prof. Dr. Harald SCHUH ve ekibindeki tüm değerli hocalara ve asistan arkadaşlara teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca aldığım tüm kararlarda bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım ve her kararımda arkamda olan, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen ve bugünlere gelmemde en büyük paya sahip olan anneme, babama, kardeşlerime şükranlarımı sunarım. Ayrıca eniştem Dr. Öğr. Üyesi Fatih AKDENİZ'e, kuzenim Dr. Öğr. Üyesi Arda ÜSTÜBİOĞLU'na teşekkür eder, minnettarlığımı sunarım.

Bu tez çalışmasının bundan sonraki çalışmalara katkı sağlamasını temenni ederim.

Murat BEKTAŞOĞLU

Trabzon 2024

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum "Türkiye'de GRACE ve GRACE-FO Uyduları ile Yeraltı Suyu Değişimlerinin İzlenmesi" başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Emine TANIR KAYIKÇI'nın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kullanıcı erişimine açık olarak veri sağlayan "JPL PODAAC, GravIS ve GES DISC" resmi adreslerinden edindiğimi, ilgili verilerle analizleri KTÜ Mühendislik Fakültesi Eğitim Lisanslı MATLAB 2023b üzerinden yazdığım program kodlarıyla yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 25/03/2024

Murat BEKTAŞOĞLU

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ IV
İÇİNDEKİLER V
ÖZET VII
ŞEKİLLER DİZİNİ IX
TABLOLAR DİZİNİ XV
KISALTMALAR DİZİNİ XVII
1. GENEL BİLGİLER 1
1.1. Problemin Tanımı 4
1.2. Çalışmanın Amacı 5
1.3. Literatür Özeti 6
1.4. GRACE ve GRACE-FO Uydu Misyonları 18
1.4.1. GRACE/-FO Uydu Mekanizması 20
1.4.2. GRACE/-FO Uydu Ölçme Prensibi 23
1.5. GRACE/-FO Uydu Veri Sistemi 24
1.5.1. Seviye-1 Veri İşleme Adımları 27
1.5.2. Seviye-2 Veri İşleme Adımları 31
1.5.3. Seviye-3 Veri İşleme Adımları 35
1.6. Su Kütlesi Tahmin Parametreleri 41
1.6.1. Toplam Su Kütlesi (Total Water Storage-TWS) 42
1.6.2. Yeraltı Su Kütlesi (Groundwater Storage-GWS) 43
1.7. GRACE/-FO Gözlemlerinden Toplam ve Yeraltı Su Kütlesi Hesabı 44
1.7.1. COST-G (Combination Service for Time-Variable Gravity Fields) 44
1.7.2. G3P (Global Gravity-Based Groundwater Product) 47
1.7.3. GLDAS (Global Land Data Assimilation System) 49
1.8. Zaman Serileri Analizleri 50
1.8.1. Zaman Serilerinde Doğrusal Enterpolasyonla Boşluk Doldurma 52
1.8.2. Zaman Serilerinde Basit Doğrusal Regresyon ile Trend Analizi 53
1.8.3. Zaman Serilerinde Korelasyon Testi 63
1.8.4. Zaman Serilerinde Tanımlayıcı İstatistiklerle Değişim Analizi 65

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR 69
2.1. Çalışma Bölgesi 71
2.2. Kullanılan Veriler 75
2.3. GRACE/-FO Tabanlı TWS Değişim Analizleri 77
2.3.1. GRACE/-FO Analiz Merkezlerinde Elde Edilen TWS Zaman Serilerinden Boşluk Doldurma 77
2.3.2. GRACE/-FO Analiz Merkezlerinden Elde Edilen TWS Değişimlerinin Trend Analiz ile İncelenmesi 78
2.3.3. GRACE/-FO Kombinasyon Merkezi COST-G'den Elde Edilen TWS Değişimlerinin Trend Analizi ile İncelenmesi 93
2.3.4. GRACE/-FO Analiz Merkezlerinin Kombinasyonu ile Hesaplanan TWS Değişimlerinin Trend Analizi ile İncelenmesi 101
2.3.5. GRACE/-FO Analiz Merkezlerinde, COST-G Kombinasyon Merkezinden Elde Edilen ve Kombinasyonla Hesaplanan TWS Değişimlerinin Tanımlayıcı İstatistiklerle İncelenmesi 113
2.3.6. COST-G ve Bağımsız Analiz Merkezlerinden Elde Edilen TWS Farklarının Analizi 147
2.3.7. COST-G TWS ve Bağımsız Analiz Merkezlerinden Elde Edilen TWS Verilerinin Korelasyon Analizi 149
2.4. GRACE/-FO Tabanlı GWS Değişim Analizleri 157
2.4.1. G3P GWS Zaman Serilerinde Boşluk Doldurma 158
2.4.2. G3P Modeliyle Elde Edilen GWS Değişimlerinin Trend Analizi ile İncelenmesi 158
2.4.3. GLDAS Model Verileriyle Hesaplanan GWS Değişimlerinin Trend Analizi ile İncelenmesi 166
2.4.4. G3P ve GLDAS Model Verileriyle Elde Edilen/Hesaplanan GWS Verilerinin Korelasyon Analizi 176
2.4.5. G3P ve GLDAS GWS Farklarının Analizi 184
3. BULGULAR VE TARTIŞMA 185
4. SONUÇLAR 194
5. ÖNERİLER 201
6. KAYNAKLAR 203
ÖZGEÇMİŞ

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

TÜRKİYE'DE GRACE VE GRACE-FO UYDULARI İLE YERALTI SUYU DEĞİŞİMLERİNİN İZLENMESİ

Murat BEKTAŞOĞLU

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Emine TANIR KAYIKÇI
2024, 213 Sayfa

GRACE/-FO uydu misyonları Dünya'nın yerçekimi alanını izleyerek son 25 yıldır su kaynaklarındaki değişimler, deniz seviyesindeki değişimler, buzullardaki kütle değişimi, depremlerin neden olduğu yerçekimi alanındaki değişimler hakkında yüksek doğrulukta bilgiler sunmaktadır. Tezimizin amacı, DSİ tarafından resmi olarak belirlenen ve Türkiye'de bulunan 12 havza üzerine denk gelen gridlerde 1) TWS ve GWS verilerinin değişim analizlerinin yapılması; 2) G3P ve GLDAS tabanlı GWS verilerinin Türkiye üzerinde uygulanabilirliğinin araştırılmasıdır. Bu amaçlar doğrultusunda, DSİ kayıtlarına göre Türkiye belirlenen 25 havzanın 12'sinde toplam 14 gridde; 1) GRACE/-FO misyonlarına ait GFZ, JPL ve CSR TWS, bunların ortalaması hesaplanarak elde edilen ort_TWS verileri ve COST-G TWS verileri, 2) G3P ve GLDAS GWS verileri kullanılmıştır. TWS ve GWS değişimlerinin analizi değerlendirilmesi ve irdelenmesi aşamasında 1) Zaman serilerinde trend kestirimi, anlamlılık ve eşdeğerlik testleri, 2) Korelasyon analizi ve anlamlılık testleri 3) Zaman serilerinde tanımlayıcı istatistiklerle değişim analizi yöntemleri kullanılmıştır. Tez konusu çevre bilimleri için önemli bir araştırma konusu olsa da tez kapsamında jeodezik yöntemlerle konuya yaklaşılmış ve sonuçlar yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: GRACE/-FO, GLDAS, G3P, Toplam Su Kütlesi, Yer Altı Su Kütlesi, Zaman Serisi, Zaman Serilerinde Boşluk Doldurma, Trend Analizi, Korelasyon Analizi, Tanımlayıcı İstatistik, Havza.

MSc. Thesis

SUMMARY

MONITORING GROUNDWATER CHANGES IN TURKEY BY GRACE AND GRACE-FO SATELLITE MISSIONS

Murat BEKTAŞOĞLU

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Geomatics Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Emine TANIR KAYIKÇI
2024, 213 Pages

GRACE/-FO satellite missions have been monitoring the Earth's gravitational field and providing high-accuracy information about changes in water resources, changes in sea level, mass changes in glaciers, and changes in the gravitational field caused by earthquakes for the last 25 years. The aim of our thesis is to 1) Analyze change analysis of TWS and GWS data in the grids corresponding to 12 basins in Turkey, officially determined by DSI; 2) Investigate the applicability of G3P and GLDAS based GWS data on Türkiye. For these purposes, in 14 grids representing 12 basins; 1) GFZ, JPL and CSR TWS of GRACE/-FO missions, avg_TWS data obtained by calculating their average and COST-G TWS data, 2) G3P and GLDAS GWS data were used. In the analysis, evaluation and examination of TWS and GWS changes, 1) Trend estimation, significance and equivalence tests in time series, 2) Correlation analysis and significance tests, 3) Descriptive statistics and change analysis methods in time series were used. The thesis examined this topic, which is also important for environmental sciences, with geodetic methods and evaluated the results.

Key Words: GRACE/-FO, GLDAS, G3P, Total Water Storage, Groundwater Storage, Time Series, Gap Filling in Time Series, Trend Analysis, Correlation Analysis, Descriptive Statistics, Basin.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1. Küresel su döngüsünü gösteren diyagram (URL-1, 2024) 1

Şekil 2. Sırasıyla CHAMP, GOCE ve GRACE uydu misyonlarının yörünge görüntüleri (URL-2, URL-3 ve URL-4, 2024) 2

Şekil 3. MAGIC misyon görseli 3

Şekil 4. GRACE uydusunun yörüngedeki görüntüsü 19

Şekil 5. GRACE-FO uydusunun yörüngedeki görüntüsü 20

Şekil 6. GRACE uydu mekanizması 21

Şekil 7. Yerçekimi alanındaki değişimin GRACE ve GRACE-FO uydularına etkileri (GRACE-FO Mission Brochure) 24

Şekil 8. GRACE ve GRACE-FO uydu misyonlarına ait genel veri işlem adımları 25

Şekil 9. GRACE ve GRACE-FO uydu misyonlarının Seviye-0 verisi 26

Şekil 10. GRACE ve GRACE-FO uydu misyonlarına ait Seviye-1 Veri İşleme adımları 27

Şekil 11. GRACE (a) ve GRACE-FO (b) uydularında yer alan KBR ve LRI sistemlerinin gösterimi 29

Şekil 12. GRACE ve GRACE-FO uydu misyonlarına ait Seviye-2 Veri İşleme adımları 35

Şekil 13. GRACE ve GRACE-FO uydu misyonlarına ait Seviye-3 Veri İşleme adımları 36

Şekil 14. Gauss Filtresiyle farklı filtre yarıçapları ile filtrelenen GRACE aylık su anomalilerinden türetilen haritaları 37

Şekil 15. COST-G kombinasyon işlem akışı (URL-11, 2023) 46

Şekil 16. COST-G kombinasyon adımında farklı analiz merkezleri tarafından sunulan bireysel çözümlerin gösterimi ve elde edilen hataların giderildiği çıktı ürün 47

Şekil 17. NLDAS (Kuzey Amerika Kara Veri Asimilasyon Sistemi), NCA-LDAS (Ulusal İklim Değerlendirmesi-Kara Veri Asimilasyon Sistemi), FLDAS (Kıtlık Erken Uyarı Ağı Kara Veri Asimilasyon Sistemi) 50

Şekil 18. Zaman serisi grafiği 51

Şekil 19. Orijinal bir zaman serisinin bileşenlerine ayrılmasıyla elde edilen bileşenler 52

Şekil 20. Soldaki durağan olman zaman serisine ait grafik, sağdaki durağan bir zaman serisine ait grafik 52

Şekil 21. Trend çeşitleri (Özek, 2010) 54
Şekil 22. İki değişken arasında pozitif yönde %65 değerinde korelasyonun grafik gösterimi 64
Şekil 23. Türkiye'nin sahip olduğu havzalar 72
Şekil 24. Kırmızı renkli olanlar bu çalışma için seçilen gridler 74
Şekil 25. GRACE/-FO misyonlarındaki veri boşluklarını gösteren zaman serisi grafiği 78
Şekil 26. 2 No'lu gride ait GFZ, JPL, CSR TWS zaman serisi grafikleri 79
Şekil 27. 7 No'lu gride ait GFZ, JPL, CSR TWS zaman serisi grafikleri 80
Şekil 28. 28 No'lu gride ait GFZ, JPL, CSR TWS zaman serisi grafikleri 81
Şekil 29. 31 No'lu gride ait GFZ, JPL, CSR TWS zaman serisi grafikleri 82
Şekil 30. 34 No'lu gride ait GFZ, JPL, CSR TWS zaman serisi grafikleri 83
Şekil 31. 38 No'lu gride ait GFZ, JPL, CSR TWS zaman serisi grafikleri 84
Şekil 32. 41 No'lu gride ait GFZ, JPL, CSR TWS zaman serisi grafikleri 85
Şekil 33. 50 No'lu gride ait GFZ, JPL, CSR TWS zaman serisi grafikleri 86
Şekil 34. 84 No'lu gride ait GFZ, JPL, CSR TWS zaman serisi grafikleri 87
Şekil 35. 88 No'lu gride ait GFZ, JPL, CSR TWS zaman serisi grafikleri 88
Şekil 36. 56 No'lu gride ait GFZ, JPL, CSR TWS zaman serisi grafikleri 89
Şekil 37. 61 No'lu gride ait GFZ, JPL, CSR TWS zaman serisi grafikleri 90
Şekil 38. 64 No'lu gride ait GFZ, JPL, CSR TWS zaman serisi grafikleri 91
Şekil 39. 93 No'lu gride ait GFZ, JPL, CSR TWS zaman serisi grafikleri 92
Şekil 40. 2 No'lu gride ait COST-G TWS zaman serisi grafiği 93
Şekil 41. 7 No'lu gride ait COST-G TWS zaman serisi grafiği 94
Şekil 42. 28 No'lu gride ait COST-G TWS zaman serisi grafiği 94
Şekil 43. 31 No'lu gride ait COST-G TWS zaman serisi grafiği 95
Şekil 44. 34 No'lu gride ait COST-G TWS zaman serisi grafiği 96
Şekil 45. 38 No'lu gride ait COST-G TWS zaman serisi grafiği 96
Şekil 46. 41 No'lu gride ait COST-G TWS zaman serisi grafiği 97
Şekil 47. 50 No'lu gride ait COST-G TWS zaman serisi grafiği 97
Şekil 48. 84 No'lu gride ait COST-G TWS zaman serisi grafiği 98
Şekil 49. 88 No'lu gride ait COST-G TWS zaman serisi grafiği 99
Şekil 50. 56 No'lu gride ait COST-G TWS zaman serisi grafiği 99
Şekil 51. 61 No'lu gride ait COST-G TWS zaman serisi grafiği 100
Şekil 52. 64 No'lu gride ait COST-G TWS zaman serisi grafiği 100
Şekil 53. 93 No'lu gride ait COST-G TWS zaman serisi grafiği 101

Şekil 54. 2 No'lu gride ait Ortalama TWS zaman serisi grafiği 102
Şekil 55. 7 No'lu gride ait Ortalama TWS zaman serisi grafiği 102
Şekil 56. 28 No'lu gride ait Ortalama TWS zaman serisi grafiği 103
Şekil 57. 31 No'lu gride ait Ortalama TWS zaman serisi grafiği 104
Şekil 58. 34 No'lu gride ait Ortalama TWS zaman serisi grafiği 104
Şekil 59. 38 No'lu gride ait Ortalama TWS zaman serisi grafiği 105
Şekil 60. 41 No'lu gride ait Ortalama TWS zaman serisi grafiği 105
Şekil 61. 50 No'lu gride ait Ortalama TWS zaman serisi grafiği 106
Şekil 62. 84 No'lu gride ait Ortalama TWS zaman serisi grafiği 106
Şekil 63. 88 No'lu gride ait Ortalama TWS zaman serisi grafiği 107
Şekil 64. 56 No'lu gride ait Ortalama TWS zaman serisi grafiği 107
Şekil 65. 61 No'lu gride ait Ortalama TWS zaman serisi grafiği 108
Şekil 66. 64 No'lu gride ait Ortalama TWS zaman serisi grafiği 108
Şekil 67. 93 No'lu gride ait Ortalama TWS zaman serisi grafiği 109
Şekil 68. 2 No'lu gride ait aylık ve yıllık ortalamalarının değişim grafikleri 118
Şekil 69. 7 No'lu gride ait aylık ve yıllık ortalamalarının değişim grafikleri 120
Şekil 70. 28 No'lu gride ait aylık ve yıllık ortalamalarının değişim grafikleri 122
Şekil 71. 31 No'lu gride ait aylık ve yıllık ortalamalarının değişim grafikleri 124
Şekil 72. 34 No'lu gride ait aylık ve yıllık ortalamalarının değişim grafikleri 126
Şekil 73. 34 No'lu gride ait aylık ve yıllık ortalamalarının değişim grafikleri 128
Şekil 74. 41 No'lu gride ait aylık ve yıllık ortalamalarının değişim grafikleri 130
Şekil 75. 50 No'lu gride ait aylık ve yıllık ortalamalarının değişim grafikleri 132
Şekil 76. 84 No'lu gride ait aylık ve yıllık ortalamalarının değişim grafikleri 134
Şekil 77. 88 No'lu gride ait aylık ve yıllık ortalamalarının değişim grafikleri 136
Şekil 78. 56 No'lu gride ait aylık ve yıllık ortalamalarının değişim grafikleri 138
Şekil 79. 61 No'lu gride ait aylık ve yıllık ortalamalarının değişim grafikleri 140
Şekil 80. 64 No'lu gride ait aylık ve yıllık ortalamalarının değişim grafikleri 142
Şekil 81. 93 No'lu gride ait aylık ve yıllık ortalamalarının değişim grafikleri 144
Şekil 82. 2002-2023 GRACE/-FO GFZ TWS aylık ortalamaların Türkiye'deki değişimi 145
Şekil 83. 2002-2023 GRACE/-FO JPL TWS aylık ortalamaların Türkiye'deki değişimi 145
Şekil 84. 2002-2023 GRACE/-FO CSR TWS aylık ortalamaların Türkiye'deki değişimi 146
Şekil 85. 2002-2023 GRACE/-FO COST-G TWS aylık ortalamaların Türkiye'deki değişimi 146

Şekil 86. 2002 - 2023 GRACE/-FO GFZ ve COST-G TWS fark dağılımı 148
Şekil 87. 2002 - 2023 GRACE/-FO JPL ve COST-G TWS fark dağılımı 148
Şekil 88. 2002 - 2023 GRACE/-FO CSR ve COST-G TWS fark dağılımı 149
Şekil 89. 2 No'lu gride ait korelasyon grafikleri 150
Şekil 90. 7 No'lu gride ait korelasyon grafikleri 150
Şekil 91. 28 No'lu gride ait korelasyon grafikleri 151
Şekil 92. 31 No'lu gride ait korelasyon grafikleri 151
Şekil 93. 34 No'lu gride ait korelasyon grafikleri 152
Şekil 94. 38 No'lu gride ait korelasyon grafikleri 152
Şekil 95. 41 No'lu gride ait korelasyon grafikleri 153
Şekil 96. 50 No'lu gride ait korelasyon grafikleri 153
Şekil 97. 84 No'lu gride ait korelasyon grafikleri 154
Şekil 98. 88 No'lu gride ait korelasyon grafikleri 154
Şekil 99. 56 No'lu gride ait korelasyon grafikleri 155
Şekil 100. 61 No'lu gride ait korelasyon grafikleri 155
Şekil 101. 64 No'lu gride ait korelasyon grafikleri 156
Şekil 102. 93 No'lu gride ait korelasyon grafikleri 156
Şekil 103. GRACE/-FO misyonlarındaki veri boşluklarını gösteren zaman serisi grafiği 158
Şekil 104. 2 No'lu gride ait G3P GWS değişiminin zaman serisi grafiği 159
Şekil 105. 7 No'lu gride ait G3P GWS değişiminin zaman serisi grafiği 159
Şekil 106. 28 No'lu gride ait G3P GWS değişiminin zaman serisi grafiği 160
Şekil 107. 31 No'lu gride ait G3P GWS değişiminin zaman serisi grafiği 160
Şekil 108. 34 No'lu gride ait G3P GWS değişiminin zaman serisi grafiği 161
Şekil 109. 38 No'lu gride ait G3P GWS değişiminin zaman serisi grafiği 161
Şekil 110. 41 No'lu gride ait G3P GWS değişiminin zaman serisi grafiği 162
Şekil 111. 50 No'lu gride ait G3P GWS değişiminin zaman serisi grafiği 162
Şekil 112. 84 No'lu gride ait G3P GWS değişiminin zaman serisi grafiği 163
Şekil 113. 88 No'lu gride ait G3P GWS değişiminin zaman serisi grafiği 164
Şekil 114. 56 No'lu gride ait G3P GWS değişiminin zaman serisi grafiği 164
Şekil 115. 61 No'lu gride ait G3P GWS değişiminin zaman serisi grafiği 165
Şekil 116. 64 No'lu gride ait G3P GWS değişiminin zaman serisi grafiği 165
Şekil 117. 93 No'lu gride ait G3P GWS değişiminin zaman serisi grafiği 166
Şekil 118. 2 No'lu gride ait GLDAS GWS değişiminin zaman serisi grafiği 167
Şekil 119. 7 No'lu gride ait GLDAS GWS değişiminin zaman serisi grafiği 167

Şekil 120. 28 No'lu gride ait GLDAS GWS değişiminin zaman serisi grafiği 168
Şekil 121. 31 No'lu gride ait GLDAS GWS değişiminin zaman serisi grafiği 168
Şekil 122. 34 No'lu gride ait GLDAS GWS değişiminin zaman serisi grafiği 169
Şekil 123. 38 No'lu gride ait GLDAS GWS değişiminin zaman serisi grafiği 169
Şekil 124. 41 No'lu gride ait GLDAS GWS değişiminin zaman serisi grafiği 170
Şekil 125. 50 No'lu gride ait GLDAS GWS değişiminin zaman serisi grafiği 170
Şekil 126. 84 No'lu gride ait GLDAS GWS değişiminin zaman serisi grafiği 171
Şekil 127. 88 No'lu gride ait GLDAS GWS değişiminin zaman serisi grafiği 171
Şekil 128. 56 No'lu gride ait GLDAS GWS değişiminin zaman serisi grafiği 172
Şekil 129. 61 No'lu gride ait GLDAS GWS değişiminin zaman serisi grafiği 173
Şekil 130. 64 No'lu gride ait GLDAS GWS değişiminin zaman serisi grafiği 173
Şekil 131. 93 No'lu gride ait GLDAS GWS değişiminin zaman serisi grafiği 174
Şekil 132. 2 No'lu gride ait G3P ve GLDAS tabanlı GWS değişiminin zaman serisi grafiği 176
Şekil 133. 7 No'lu gride ait G3P ve GLDAS tabanlı GWS değişiminin zaman serisi grafiği 177
Şekil 134. 28 No'lu gride ait G3P ve GLDAS tabanlı GWS değişiminin zaman serisi grafiği 177
Şekil 135. 31 No'lu gride ait G3P ve GLDAS tabanlı GWS değişiminin zaman serisi grafiği 178
Şekil 136. 34 No'lu gride ait G3P ve GLDAS tabanlı GWS değişiminin zaman serisi grafiği 178
Şekil 137. 38 No'lu gride ait G3P ve GLDAS tabanlı GWS değişiminin zaman serisi grafiği 179
Şekil 138. 41 No'lu gride ait G3P ve GLDAS tabanlı GWS değişiminin zaman serisi grafiği 179
Şekil 139. 50 No'lu gride ait G3P ve GLDAS tabanlı GWS değişiminin zaman serisi grafiği 180
Şekil 140. 84 No'lu gride ait G3P ve GLDAS tabanlı GWS değişiminin zaman serisi grafiği 180
Şekil 141. 88 No'lu gride ait G3P ve GLDAS tabanlı GWS değişiminin zaman serisi grafiği 181
Şekil 142. 56 No'lu gride ait G3P ve GLDAS tabanlı GWS değişiminin zaman serisi grafiği 181
Şekil 143. 61 No'lu gride ait G3P ve GLDAS tabanlı GWS değişiminin zaman serisi grafiği 182
Şekil 144. 64 No'lu gride ait G3P ve GLDAS tabanlı GWS değişiminin zaman serisi grafiği 182

Şekil 145. 93 No'lu gride ait G3P ve GLDAS tabanlı GWS değişiminin zaman serisi grafiği 183

TABLOLAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1. GRACE/-FO uluslararası literatür tablosu 7

Tablo 2. GRACE/-FO ulusal tez literatür tablosu 9

Tablo 3. GRACE ve GRACE-FO uydusu yörünge bilgileri (GRACE-FO uydusu için Misyon Sonundaki Değerleri mevcut değildir.) 18

Tablo 4. GRACE ve GRACE-FO uydu misyonlarına ait Seviye-0 veriler (~, belirsiz anlamına gelmektedir.) (Watkins vd., 2000) 26

Tablo 5. GRACE ve GRACE-FO uydu misyonlarına ait Seviye-1A veriler (SNR sinyal gürültü oranını temsil eder.) 28

Tablo 6. GRACE ve GRACE-FO uydu misyonlarına ait Seviye-1B veriler 28

Tablo 7. GRACE ve GRACE-FO uydu misyonlarına ait Seviye-2 veriler (* SDS sorumluluğunda değildir.) 34

Tablo 8. G3P hizmetinde kullanılan veriler 48

Tablo 9. Türkiye'nin sahip olduğu havzalar 73

Tablo 10. Çalışmada kullanılan gridler ve enlem, boylam bilgileri 74

Tablo 11. Çalışmada kullanılan veriler ve özellikleri 76

Tablo 12. GRACE/-FO TWS verilerinin anlamlılık tablosu 111

Tablo 13. TWS verilerinin m_0^2 düzeyindeki eşdeğerlik testleri sonuçları 112

Tablo 14. TWS verilerinin $m_{a_1}^2$ düzeyindeki eşdeğerlik testleri sonuçları 112

Tablo 15. TWS verilerinin havza bazında aylık ortalamaların minimum değerleri 114

Tablo 16. TWS verilerinin havza bazında aylık ortalamaların maksimum değerleri 115

Tablo 17. TWS verilerinin havza bazında aylık ortalamaların ortalama değerleri 116

Tablo 18. Aylık ortalama TWS verilerinin minimum ve maksimum değerlerini aldığı aylar 147

Tablo 19. COST-G TWS ile GFZ, JPL, CSR ve ort_TWS verileri arasındaki korelasyon değerleri ve anlamlılığı 157

Tablo 20. GWS verilerinin trend anlamlılık testi tablosu 175

Tablo 21. GWS verilerinin m_0^2 düzeyindeki eşdeğerlik testleri sonuçları 175

Tablo 22. GWS verilerinin $m_{a_1}^2$ düzeyindeki eşdeğerlik testleri sonuçları 176

Tablo 23. G3P ve GLDAS tabanlı elde edilen GWS değerleri arasındaki korelasyon değerleri ve anlamlılık test sonuçları 183

Tablo 24. G3P GWS ve GLDAS tabanlı GWS verileri arasında hesaplanan fark değerlerinin istatistikleri 184
Tablo 25. GRACE/-FO TWS verileri a_1 trend katsayısı anlamsız olan gridler 188
Tablo 26. TWS verilerinin eşdeğerlik testi sonuçları 189
Tablo 27. GWS verileri a_1 trend katsayısı anlamsız olan gridler 192
Tablo 28. GWS verilerinin eşdeğerlik testi sonuçları 193
Tablo 29. Gridlere (2,88) ait GFZ, JPL ve CSR a_1 trend katsayıları (cm/ay) 195
Tablo 30. 2, 7, 28 ve 31 No'lu gridlere ait GFZ, JPL, CSR ve COST-G a_1 trend katsayıları (cm/ay) 196
Tablo 31. 2, 84 ve 88 No'lu gridlere ait COST-G TWS a_1 trend katsayıları (cm/ay) 196
Tablo 32. 2, 84 ve 88 No'lu gridlere ait ort_TWS a_1 trend katsayıları (cm/ay) 197
Tablo 33. 2, 31, 34, 84 ve 84 No'lu gridlerin G3P ve GLDAS GWS verilerine ait a_1 trend katsayıları (cm/ay) 199
Tablo 34. 2, 34, 84, 88 No'lu gride ait GWS fark ve korelasyon değerleri 200

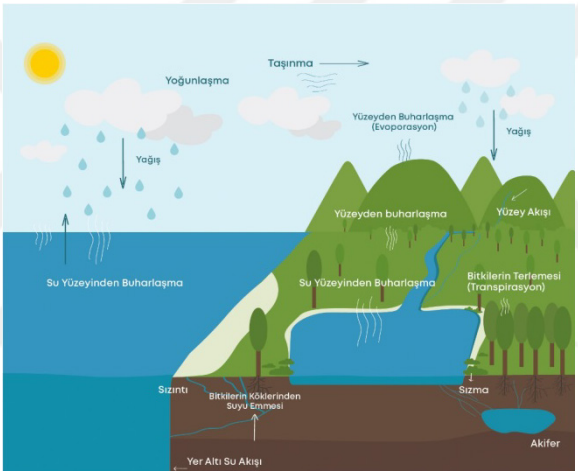
KISALTMALAR DİZİNİ

ACC : SuperSTAR Accelerometer
AIUB : Astronomical Institute, University of Bern
AOC : Antenna Offset Correction
AOD : Atmosphere and Ocean De-aliasing
CHAMP : Challenging Minisatellite Payload
CHIRPS : Climate Hazards Infrared Precipitation with Stations
CLM : Community Land Model
CLS : Collecte Localisation Satellites SA
CLSM : Catchment Land Surface Model
CNES : Centre National d'Etudes Spatiales
COST-G : Combination Service for Time-Variable Gravity Fields
CRI : Coastal Resolution Improvement
CSR : The University Of Texas Center For Space Research
DDK : Decorrelation Kernel
DLR : Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
DOWR : Dual One Way Range
DSİ : Devlet Su İşleri
EKK : En Küçük Kareler
ENSO : El Niño–Southern Oscillation
EPOS : Earth Parameter and Orbit System
ESA : European Space Agency
EWT : Equivalent Water Thickness
FMI : Finnish Meteorological Institute
GFZ : German Research Centre for Geosciences
GIA : Glacial Isostatic Adjustment
GIUZ : Department of Geography Universität Zürich
GLDAS : Global Land Data Assimilation System
GOCE : Gravity Field and Steady-State Ocean Circulation Explorer
GPS : Global Positioning System
GRACE : Gravity Recovery and Climate Experiment

GRACE-FO : Gravity Recovery and Climate Experiment-Follow On
GSFC : Goddard Space Flight Center
GWS : Groundwater Storage
G3P : Global Gravity-based Groundwater Product
IAG : International Association of Geodesy
ICGEM : International Centre for Global Earth Models
IGFS : International Gravity Field Service
IGRAC : International Groundwater Resources Assessment Center
IMD : Hindistan Meteoroloji Merkezi
ISDC : Information System and Data Center
JPL : NASA Jet Propulsion Laboratory
KBR : K Band Ranging System
LDAS : Kara Veri Asimilasyon Sistemi
LEGOS : Laboratoire d'Études en Géophysique et Océanographie Spatiales
LRI : Lazer Mesafe İnterferometrisi
LRR : Laser Retro Reflector
MAGIC : Mass-change And Geosciences International Constellation
MWI : Micro Wave Instrument
NAO : North Atlantic Oscillation
NASA : National Aeronautics and Space Administration
NCEP : National Centers for Environmental Prediction
SCA : Star Camera Assembly
SCPDSI : Self-calibrating Palmer Drought Severity
SNR : Sinyal Gürültü Oranı
TRMM : Tropical Rainfall Measuring Mission
TWR : Two Way Range
TWS : Total Water Storage
TWSA : Total Water Storage Anomaly
TUW : Technischen Universität Wien
USO : Ultra Stable Oscillator
VIC : Variable Infiltration Capacity

1. GENEL BİLGİLER

Su kaynakları, Dünya'nın yaşamsal bir bileşeni olup insan yaşamının devamı için hayati öneme sahiptir. Tarım, sanayi, enerji üretimi gibi birçok sektörde vazgeçilmez bir kaynak olan su kaynaklarının nitelik ve niceliği küresel ısınma, iklim değişikliği ve insan faaliyetlerinden olumsuz etkilenmektedir. Buzulların erimesi, yağış rejimlerindeki değişimler öncelikle Dünya'nın sahip olduğu su döngüsünde; daha sonra yer yüzündeki ve yer altındaki su kaynaklarının miktarında ve dağılımında değişimlere neden olmaktadır (Şekil 1).

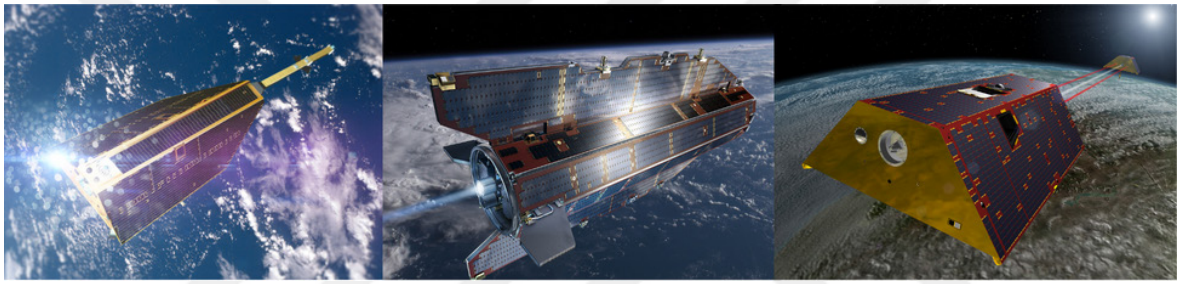


Şekil 1. Küresel su döngüsünü gösteren diyagram (URL-1, 2024)

Küresel nüfus artışı, endüstrileşme ve iklim değişikliği gibi faktörler, su kaynakları üzerindeki talebi artırmaktadır. Su kaynaklarının etkin ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilmemesi, gelecekte su krizlerine ve çeşitli alanlarda sorunlara neden olabilir. Bu nedenle, suyun sürdürülebilir yönetimi, suyun verimli kullanımı, su kaynaklarının korunması ve iyileştirilmesi için yenilikçi çözümler geliştirilmesi gerekmektedir. Uluslararası iş birliği ve politika oluşturma süreçlerinde, su kaynaklarının sürdürülebilirliği öncelikli bir konu olarak ele alınmalıdır. Böylece, küresel düzeyde daha sağlıklı ve dengeli bir gelecek için önemli bir adım atılmış olacaktır.

Su kaynaklarının izlenmesi için yerinde gözlemler ve uzaktan algılama teknikleri kullanılmaktadır. Yerinde gözlemler ile yapılan çalışmalar zaman ve maliyet açısından pek tercih edilen yöntem değildir. Çalışma alanında kurulacak olan aletlerin maliyeti, ölçümleri

yapan kişiden kaynaklı olası hatalar yerinde yapılan çalışmalar için dezavantajdır. Ancak farklı teknikler kullanılarak yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçların değerlendirilmesinde çokça tercih edilmektedir. Uzaktan algılama teknikleri ile yapılan çalışmalar ise hem zaman-maliyet hem de ölçüm hassasiyeti bakımından daha verimlidir. Bu önem doğrultusunda geçmişte görevini tamamlamış CHAMP (Challenging Minisatellite Payload), GOCE (Gravity Field and Steady-State Ocean Circulation Explorer), GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment) ve günümüzde görevine devam eden GRACE-FO (Gravity Recovery and Climate Experiment-Follow-On) yakın yer uydu gravite misyonları yer altı su kaynaklarının izlenmesine yönelik verilerin elde edilmesine de olanak sağlamaktadır (Bektaşoğlu & Kayıkçı, 2023) (Şekil 2).



Şekil 2. Sırasıyla CHAMP, GOCE ve GRACE uydu misyonlarının yörünge görüntüleri (URL-2, URL-3 ve URL-4, 2024)

1997 yılında NASA (National Aeronautics and Space Administration) Dünya'nın zamana bağlı olarak değişmekte olan yerçekimi alanını incelemek adına uydudan uyduya izleme tekniğini kullanmak üzere Dünya Sistem Yol Bulucu Programı (Earth System Science Pathfinder Program) kapsamında GRACE uydu misyonunun temelini atmıştır. 2000 yılına gelindiğinde Dornier Satellitensysteme tarafından inşa edilen ve GFZ (German Research Centre for Geosciences-Alman Yerbilimleri Araştırma Merkezi) tarafından yürütülen CHAMP misyonu başlatılmıştır. CHAMP ile Dünya'nın yerçekimi ve manyetik alanlarına ait hassas ölçümler elde edilmiştir. Ayrıca atmosferi ve iyonosferi incelemek için GPS (Global Positioning System) uydularının kullanımını test etmiştir. Jeodezi alanında yerçekimi konusunda önemli derecede ilerleme kaydeden CHAMP misyonunun çözünürlük adına geliştirilmesi gerektiği düşünülmüştür. Bu sayede CHAMP misyonunun devamı niteliğinde GRACE uydu misyonu geliştirilmiştir. GRACE ikiz uydu sistemi ile bir ilk olurken hem kara hem de deniz üzerindeki yerçekimi alanının küresel ölçekte CHAMP misyonuna göre çok daha hassas bir şekilde elde etmeyi başarmıştır (NASA, GRACE-FO

Launch Press Kit, 2018). Bu uydu misyonları sayesinde Dünya'nın yerçekimi alanının hassas bir şekilde modellenmesi mümkün hale gelmiştir. Öte yandan bu misyonlar; uydu yörüngelerinin yerçekimi alanından etkilenmesi ve değişimlerinin belirlenmesi ile birlikte yerçekimi alanının bölgesel ve küresel ölçekte yüksek doğrulukla haritalanması, jeodezi, iklim, hidroloji, okyanus akımları, buzul hareketleri, yer kabuğu deformasyonları, yeraltı su kaynakları gibi yerçekimi alanı ile ilişkilendirilebilen birçok araştırma için önemli veriler sağlamaktadırlar (Bektaşoğlu & Kayıkçı, 2022a).

MAGIC (Mass-change And Geosciences International Constellation) NASA ve ESA (European Space Agency) ortaklaşa misyon olup henüz hayata geçirilmemiştir. Misyonun ana amacı önceki gravite misyonlarından elde edilen zaman serilerini doğruluk, zamansal ve konumsal çözünürlük bakımından iyileştirmek ve geleceğin gravite misyonu haline gelmektir. Çiftler halinde dört uydudan oluşacak olan bu misyon üç güne kadar zamansal çözünürlük ve daha yüksek konumsal çözünürlük sağlayarak GRACE uydu misyonlarını hem çözünürlük hem de doğruluk anlamında geride bırakmayı hedeflemektedir (Şekil 3) (URL-6, 2024). Bu sayede gözlemlenebilir kütle değişim sayısı artacaktır. MAGIC misyonundan beklenen söz konusu iyileştirmelerin, ekstrem olayların izlenmesi, kuraklık ve sel olayları ile jeolojik tehlikelere karşı uyarı verilmesi gibi yeni bilimsel ve operasyonel uygulamaların önünü açacağı düşünülmektedir (URL-16, 2024).



Şekil 3. MAGIC misyon görseli

1.1. Problemin Tanımı

Dünya'nın yerçekimi alanı, mevcut kütle dağılımına bağlı olarak değişmektedir. İklimsel değişimler, buzul hareketleri, deniz seviyesindeki değişimler yerçekimi alanındaki değişimleri tetiklemektedir. Su kaynaklarındaki değişimin yerçekimi alanındaki değişimi daha iyi açıklanmasının nedeni katı kütlelerine göre daha hareketli olmasıdır. İklim değişikliği, kuraklık ve seller gibi aşırı hidrolojik olaylar su döngüsünü büyük ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle bölgesel veya global ölçekte yerçekimi alanındaki ve su kütlelerindeki değişimler, hidrolojik olayların incelenmesi ve jeoit yüksekliğindeki değişimlerin incelenmesi adına 2002 yılında GRACE ve 2018 yılında GRACE-FO uydusu hayata geçirilmiştir. Öte yandan bu uydu misyonları yeryüzündeki su kaynakları ve buna bağlı olarak sel, taşkın ve kuraklık araştırmaları yapmanın önünü açılmıştır. Buna ek olarak deniz seviyesindeki değişimler ve bunu tetikleyen buzullardaki erimeler ve hareketler izlenebilmektedir. Yeraltı su rezervlerine ulaşmak için GRACE/GRACE-FO uydu verileri ve Avrupa Birliği'nin uydu gözlem verileri ile Copernicus programından elde edilen Buzul Kütle Değeri, Yüzey Suyu, Kar Suyu, Toprak Nemi verileri kullanılmaktadır. G3P (Global Gravity-based Groundwater Product), 2002 yılından günümüze GRACE/-FO uydu misyonlarından elde edilen Toplam Su Kütlesi (Total Water Storage-TWS) ve Copernicus hizmetinden elde edilen yukarıda bahsedilen verilerin kullanılmasıyla küresel kapsamda aylık çözünürlüğe sahip Yeraltı Suyu Kütlesindeki (Ground Water Storage-GWS) değişimini gösterir. Ayrıca GLDAS (Global Land Data Assimilation System) modelinden elde edilen hidrolojik parametreler yardımıyla GWS değişimlerine erişmek mümkündür (Bektaşoğlu & Kayıkçı, 2022b). Türkiye'de yaşanan kuraklıkların izlenmesi, geleceğe yönelik tahminlerin yapılması ve önlemlerin alınması son derece önemlidir. Bunun için Türkiye'ye ait zamansal ve konumsal olarak değişen su kütlelerinin izlenmesi gerekmektedir. Türkiye'de son dönemlerde yağışların azalmasından kaynaklanan meteorolojik kuraklıktan öte toprak neminin eksikliğinden kaynaklanan tarımsal kuraklığın varlığı konuşulmaktadır. Sonuç olarak Türkiye'yi kapsayacak şekilde GRACE tabanlı TWS, GWS ve ayrıca modellerden elde edilen hidrolojik parametreleri izlenerek Türkiye'nin kuraklık süreci hakkında bilgiler edinilebilir. Parametrelerin trend eğilimlerine bakılarak gelecekteki senaryonun nasıl olabileceği hakkında yorum yapmak da olanaklıdır.

1.2. Çalışmanın Amacı

Bu tez çalışmasının temel amacı;

1. Türkiye'de Devlet Şu İşleri (DSİ) kayıtlarına göre mevcut 12 havzada Yeraltı Su Kütlesi (GWS) ve Toplam Su Kütlesi (TWS) değişimlerinin belirlenmesi,

2. Global hidrolojik modellere dayalı GWS verisi sağlayan G3P ve GLDAS modellerinin Türkiye için uygulanabilirliğinin araştırılmasıdır.

Bu amaçla; 25 Havzaya denk gelen 1x1 derece enlem - boylam genişlikli toplam 14 gridde önemli düzeyde kuraklıkların yaşandığı 2007-2008, 2013-2014, 2020-2021 dönemlerinde GRACE/-FO uydu misyonları verilerini sağlayan bağımsız analiz merkezleri, Copernicus hidrolojik verilerine dayalı çalışan G3P modeli ve GLDAS hidrolojik model verileriyle çalışan COST-G modelinden elde edilen GWS ve TWS aylık, mevsimlik ve yıllık ortalamalarının değişiminin izlenmesi hedeflenmiştir. Tezimizin temel amacına/amaçlarına yönelik olarak; belirlenen söz konusu üç ayrı kuraklık döneminde 25 havzaya denk gelen 14 gridde;

1. GRACE ve GRACE-FO uydu misyonları GFZ (GeoForschungsZentrum), JPL (NASA Jet Propulsion Laboratory) ve CSR (The University Of Texas Center For Space Research) Bağımsız Analiz Merkezlerinden elde edilen aylık TWS verileri,

2. Bağımsız Analiz Merkezleri TWS sonuçlarının kombinasyon verilerini sağlayan COST-G modelinden elde edilen aylık TWS verileri,

3. GLDAS modelinden toprak nemi, kar suyu, yüzey suyu hidrolojik parametreleri ve COST-G birleştirilmiş TWS verileri ile elde edilen GLDAS aylık GWS verileri,

4. G3P modelinden elde edilen aylık GWS verileri

kullanılarak oluşturulan zaman serileri oluşturulmuş;

1. GRACE ve GRACE-FO uydu misyonu dönemlerine karşılık gelen zaman serilerindeki veri boşluklarını doldurmak Doğrusal Enterpolasyon Yöntemiyle Boşluk Doldurma (Gap Filling),

2. TWS ve GWS değişim analizleri için Basit Doğrusal Regresyon Modeliyle Trend kestirimi ve anlamlılık testleri,

3. TWS ve GWS verilerinin birim ağırlıklı varyans m_0^2 ve $m_{a_1}^2$ trend katsayısı eşdeğerlik testleri,

4. Bağımsız analiz merkezleri ve G3P/COST-G modellerinden elde edilen TWS/GWS verilerinin birbirlerine göre değişimlerinin yorumlanabilmesi için Korelasyon analizi ve anlamlılık testleri,

5. Farklı zamansal çözünürlükte (aylık/yıllık) verilerin değişimini yorumlayabilmek için zaman serilerinde tanımlayıcı istatistiklerle (minumum, maksimum, ortalama) değişim analizi

uygulamaları yapılmıştır.

1.3. Literatür Özeti

GRACE ve GRACE-FO uydu misyonları tarafından sağlanan veriler başlıca yeraltı/toplam su kütlesi değişimi ve tahmini, buzul kütle değişimi, sel potansiyeli, küresel ve bölgesel ölçekte deniz seviyesindeki değişimler, depremlerin yerçekimine etkisi gibi konularda küresel ve bölgesel ölçekte birçok iklimsel çalışmada kullanılmaktadır.

GRACE ve GRACE-FO uydu misyonları, yeraltı ve su kütlesi değişimi ve tahmini (Rodell vd., 2007; Rodell vd., 2009; Feng vd., 2013; Sun, A.Y., 2013; Long vd., 2015; Richey vd., 2015; Chen vd., 2016; Iqbal vd., 2016; Thomas vd., 2017; Li vd., 2019), buzul kütle değişimi (Velicogna ve Wahr, 2013; Ciracì vd., 2020; Landerer vd., 2020; Velicogna vd., 2020), sel potansiyeli (Reager vd., 2009; Molodtsova vd., 2016; Xiong vd., 2021), kuraklık (Zaitchik vd., 2008; Houborg vd., 2012; Long vd., 2013; Liu vd., 2020; Vishwakarma, B.D., 2020; Elameen vd., 2024), küresel ve bölgesel ölçekte deniz seviyesindeki değişimleri (Llovel vd., 2014; Volkov vd., 2016; Amin vd., 2020; Dobslaw vd., 2020; Barnoud vd., 2021; Yang vd., 2022), depremlerin yerçekimine etkisi (De Linage vd., 2009; Ghobadi-Far vd., 2020; Tang vd., 2020; Zhang vd., 2020; Panet vd., 2022) gibi bilimsel araştırma alanlarında kendine yer bulmuştur. GRACE/-FO uydu misyonları birçok araştırmacı tarafından tercih edilerek hem küresel hem de bölgesel ölçekte çeşitli iklimsel ve gözlem modelleri ile birlikte kullanılarak yaşanan iklim değişimi, kuraklık, sel gibi olayların irdelenmesi ve yorumlanmasına katkı sağlamıştır. Buna ek olarak GRACE tabanlı TWS ve GWS verilerinin yerinde kuyu gözlemleri ile uyumunun incelenmesi de yapılmaktadır (Swenson vd., 2006; Ramillien vd., 2008; Schmidt vd., 2008; Zhong vd., 2018; Bhanja vd., 2020; Nazari vd., 2023).

GRACE ve GRACE-FO uydu misyonlarında veri sağlanamayan aylar bulunmaktadır. GRACE misyonu döneminde (2002 - 2017) 21 ay veri boşluğu varken GRACE-FO misyonu

döneminde (2018 - günümüz) 2 ay veri boşluğu bulunmaktadır. Bunlara ek olarak iki misyon arasında 11 aylık veri boşluğu da bulunmaktadır. Bu boşlukların doldurulması ve doğruluğunun analiz edilmesi için çeşitli makine öğrenmesi algoritmaları kullanılabilir (Yi ve Sneeuw, 2021; Gyawali vd., 2022; Zhang vd., 2022). Ayrıca SWARM uydu misyonundan da yararlanarak misyonlar arasındaki boşluğun doldurulması konusunda çalışmalar da bulunmaktadır (Uz vd., 2022; Yang vd., 2023; Wan vd., 2023; Gu vd., 2024).

Literatür özeti Tablo 1 ve Tablo 2'de de görüldüğü üzere yıllara göre azalan şekilde sıralanmıştır.

Tablo 1. GRACE/-FO uluslararası literatür tablosu

Yayın	Yöntem	Parametre	Çalışma Bölgesi
Elameen vd., 2024	Yeraltı Su Kütlesi Değişiminin İzlenmesi, Kuraklık İndeksi Oluşturma	GRACE, WSDI, WWSDI, TRMM, MOD16A2, PDSI, ENSO, IOD, WGHM	Afrika (Havza Bazında)
Gu vd., 2024	Boşluk Doldurma	GRACE, CLSM	Küresel
Nazari vd., 2023	Yeraltı Su Kütlesi Değişiminin İzlenmesi	GRACE, GLDAS, Yerinde Gözlem Verileri	Afganistan Helmand Havzası
Wan vd., 2023	Boşluk Doldurma	GRACE, GLDAS, ERA5-Kara, SWARM	Küresel
Yang vd., 2023	Boşluk Doldurma	GRACE, GLDAS, ERA5-Kara	Küresel (Havza Bazında)
Gyawali vd., 2022	Boşluk Doldurma	GRACE, Yağış, Sıcaklık, Buharlaşma, GLDAS, NDVI, ENSO	Küresel
Uz vd., 2022	Boşluk Doldurma	GRACE, SWARM, ERA5-Kara	Küresel
Zhang vd., 2022	Boşluk Doldurma	GRACE, ERA5-Kara, GLDAS	Küresel
Okay Ahi ve Öncel Çekim, 2021	Boşluk Doldurma	GRACE	Küresel (Havza Bazında)
Yi ve Sneeuw, 2021	Boşluk Doldurma	GRACE, SWARM	Küresel
Bhanja vd., 2020	Yeraltı Su Kütlesi Değişiminin İzlenmesi	GRACE, Yağış, Yerinde Gözlem Verileri	Hindistan (22 Havza)
Liu vd., 2020	Yeraltı Su Kütlesi Değişiminin İzlenmesi, Kuraklık İndeksi Oluşturma	GRACE, SPI, PDSI, SRI	Çin (Havza Bazında)

Tablo 1'in devamı

Li vd., 2019	Yeraltı Su Kütlesi Değişiminin İzlenmesi, Kuraklık İndeksi Oluşturma	GRACE, CLSM, SPI	Küresel
Okay Ahi ve Jin, 2019	Yeraltı Su Kütlesi Değişiminin İzlenmesi, Kuraklık İncelemesi	GRACE, GLDAS, TRMM, SCPDIS, ENSO, NAO	Türkiye
Okay Ahi, 2019	Filtreleme	GRACE	Küresel
Zhong vd., 2018	Yeraltı Su Kütlesi Değişiminin İzlenmesi	GRACE, GLDAS, Yerinde Gözlem Verileri	Batı Liaohe Havzası
Thomas vd., 2017	Yeraltı Su Kütlesi Değişiminin İzlenmesi, Kuraklık İndeksi Oluşturma	GRACE, Yerinde Gözlem Verileri	Kaliforniya Merkez Vadisi
Chen vd., 2016	Yeraltı Su Kütlesi Değişiminin İzlenmesi	GRACE, WGHM	Küresel Havzalar
Iqbal vd., 2016	Yeraltı Su Kütlesi Değişiminin İzlenmesi	GRACE, GLDAS, Yerinde Gözlem Verileri	İndus Havzası
Chinnasamy ve Agoramoorthy, 2015	Yeraltı Su Kütlesi Değişiminin İzlenmesi	GRACE, GLDAS	Tamil Nadu Eyaleti (Hindistan)
Long vd., 2015	Ölçek Faktörü	GRACE	Çin (Yangtze Havzası)
Feng vd., 2013	Yeraltı Su Kütlesi Değişiminin İzlenmesi	GRACE, GLDAS, CPC	Kuzey Çin
Lenk, 2013	Yeraltı Su Kütlesi Değişiminin İzlenmesi	GRACE, GLDAS, DSİ Kuyu Gözlem Verileri	Türkiye
Long vd., 2013	Yeraltı Su Kütlesi Değişiminin İzlenmesi, Kuraklık İncelemesi	GRACE, GLDAS, NLDAS	Teksas Eyaleti (ABD)
Sun, A.Y., 2013	Yeraltı Su Kütlesi Değişiminin İzlenmesi	GRACE, GLDAS, PRISM	Küresel
Houborg vd., 2012	Yeraltı Su Kütlesi Değişiminin İzlenmesi, Kuraklık İndeksi Oluşturma	GRACE, CLSM	Kuzey Amerika
Landerer ve Swenson, 2012	Ölçek Faktörü	GRACE	Küresel
Rodell vd., 2009	Yeraltı Su Kütlesi Değişiminin İzlenmesi	GRACE, GLDAS	Hindistan
Ramillien vd., 2008	Genel Bilgi	GRACE	Küresel

Tablo 1'in devamı

Schmidt vd., 2008	Filtreleme	GRACE	Küresel
Zaitchik vd., 2008	Yeraltı Su Kütlesi Değişiminin İzlenmesi	GRACE, CLSM	Mississippi Havzası
Rodell vd., 2007	Yeraltı Su Kütlesi Değişiminin İzlenmesi	GRACE, GLDAS, Yerinde Gözlem Verileri	Mississippi Havzası
Swenson vd., 2006	Filtreleme	GRACE, Yerinde Gözlem Verileri	Illinois Gözlem Ağı
Tapley vd., 2004	Filtreleme	GRACE, GLDAS	Amazon Nehri

Tablo 2. GRACE/-FO ulusal tez literatür tablosu

Tezler	**Yöntem**	**Parametre**	**Çalışma Bölgesi**
Atlı, 2022	Filtreleme	GRACE	Küresel
Keleş, 2022	Boşluk Doldurma	GRACE, SWARM, ERA5-Kara	Küresel
Zeray Öztürk, 2022	Yeraltı Su Kütlesi Değişiminin İzlenmesi	GRACE, GLDAS	Konya Kapalı Havzası
Karasu, 2019	Yeraltı Su Kütlesi Değişiminin İzlenmesi	GRACE, GLDAS, Yerinde Gözlem Verileri	Küresel, Türkiye
Likando, 2019	Yeraltı Su Kütlesi Değişiminin İzlenmesi	GRACE, GLDAS, CHIRPS	Fırat Havzası
Yıldırım, 2015	Su Kütlesi Değişiminin İzlenmesi	GRACE, GLDAS	Türkiye, Zambezi Havzası
Atayer, 2012	Filtreleme	GRACE	Küresel

Elameen vd. (2024), Ocak 2003 - Aralık 2016 döneminde GRACE-WSDI (GRACE-Water Storage Deficit Index)'den geliştirilen GRACE-WWSDI (Weighted Water Storage Defcit Index) kullanarak 2003 - 2016 döneminde Afrika'daki büyük havzalardaki kuraklık durumunu değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Bunun için TRMM (Tropical Rainfall Measurement Mission) yağış, MOD16A2 sensöründen potansiyel buharlaşma, Palmer Kuraklık İndeksi, ENSO (El Niño Southern Oscillation Index), IOD (Indian Ocean Dipole), WGHM (WaterGAP Global Hydrology Model) ve GRACE TWS verilerini kullanmıştır. WWSDI modelinden elde edilen sonuçlar, en şiddetli kuraklıkların sırasıyla 2006, 2012, 2006, 2006 ve 2003 yıllarında Nil, Kongo, Nijer, Zambezi ve Orange havzalarında meydana geldiğini göstermiştir.

Gu vd. (2024), Temel Bileşen Analizine (Principal Compenent Analysis-PCA) dayalı bir spektral alan boşluk doldurma yaklaşımı önermiştir. Bu çalışma kapsamında

gerçekleştirilen analizler, PCA boşluk doldurma tekniğinin, küresel kütle değişimini başarılı bir şekilde yeniden yapılandırmak ve çoğu havza için gerçek sinyalleri 2 cm'den daha düşük bir doğrulukla doğru bir şekilde yakalamak için önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Küresel havzaların çoğu için tekil spektrum analizi ve gelişmiş çok kanallı tekil spektrum analiz yöntemi gibi daha önce yayınlanmış boşluk doldurma yaklaşımlarıyla oldukça tutarlı sonuçlar elde edilmiştir. Çalışmada 2002 - 2022 dönemini kapsayan GRACE TWS ve GLDAS CLSM kar, kanopi ve toprak suyu verileri kullanılmıştır.

Nazari vd. (2023), 2003 - 2021 döneminde Afganistan'da bulunan Helmand Havzası'nın yeraltı su kütlesi değişimini GRACE ve GLDAS verilerini kullanarak incelemiştir. GRACE ve GLDAS çıktılarının sonuçlarını doğrulamak için ise gözlem kuyularının verileri kullanılmıştır. Sonuçlar, 2003 - 2021 döneminde ortalama yeraltı suyu kütlesindeki değişimlerin $-98{,}6 \pm 226{,}84$ mm veya $-1{,}9 \pm 4{,}38$ km^3/yıl olduğunu ve yeraltı suyu seviyesi düşüşü -2,6 metre olduğunu göstermiştir. Çalışma, GRACE uydusundan türetilen veriler ile doğrudan yerinde ölçümler arasında 0,75 nispeten güçlü bir korelasyon olduğunu göstermektedir.

Wan vd. (2023), GRACE/-FO misyonları arasındaki boşluğun doldurulması için GLDAS Noah TWS, ERA5-Kara modelinden yağış ve sıcaklık verilerini kullanmıştır. Çalışmada MLP (Multilayer Perceptron), GBM (Gradient Boosting Machine) ve TCN (Temporal Convolutional Network) teknikleri kullanılmıştır. Yapılan tahminler SWARM misyonundan elde edilen yerçekimi alanı verileri ile karşılaştırılmıştır.

Yang vd. (2023), GRACE ve GRACE-FO TWS arasındaki 11 aylık veri boşluğunu doldurmak için ERA5-Kara modelinden yağış, sıcaklık verileri ve GLDAS Noah modeliyle simüle edilen TWS tahmin edici olarak kullanan iki aşamalı doğrusal bir model geliştirdi. Tahmin edilen verilerin performansı hem küresel hücre ölçeğinde hem de 72 küresel nehir havzasında değerlendirildi. Tahmin edilen değerlerin GRACE/-FO ölçümleriyle tutarlı olduğu görülmüştür. Ayrıca tahmin edilen verilerin performansı nemli bölgelerde benzer olsa da kurak bölgelerde belirgin şekilde farklılık gösterdiğini de fark edilmiştir.

Gyawali vd. (2022), 2002 - 2020 döneminde GRACE TWS verilerinde bulunan veri boşluklarını doldurmak için makine öğrenmesi algoritmaları olan Derin Öğrenme Sinir Ağları (Deep-learning Neural Networks-DNN), Genelleştirilmiş Doğrusal Model (Generalized Linear Model-GLM), Gradient Boosting Machine (GBM) yöntemlerini kullanmıştır. Çalışmada hem grid bazlı hem de havza bazlı boşlukların doldurulması içi 8

iklimsel ve hidrolojik girdi parametresi (yağış, sıcaklık, buharlaşma, GLDAS TWS, NDVI, ENSO İklim İndeksi, GRACE ve GLDAS tabanlı yıllık döngüler) kullanılmıştır.

Uz vd. (2022), GRACE ve GRACE-FO misyonları arasında yer alan 11 aylık veri boşluğunu doldurmak adına GRACE TWS, SWARM ve ERA5-Kara model verilerini kullanmıştır. Çalışmada CNN (Convolutional Neural Networks), DCAE (Deep Convolutional Autoencoders), BCNN (Bayesian convolutional neural networks) teknikleri kullanılmıştır. Doğrulamak adına yerinde gözlemler, önceki yapılan çalışmaların sonuçları, ekstrem hava olayları (sel ve kuraklık), InSAR kaynaklı veriler ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Sonuçlar performans metrikleri (Nash-Sutcliffe efficiency, Root Mean Square Error) ile karşılaştırıldığında DCAE tekniğinin daha başarılı olduğu görülmüştür.

Zhang vd. (2022), GRACE ve GRACE-FO misyonlar arasındaki veri boşluğunu doldurmak için hidrolojik model kullanımını araştırmıştır. Çalışmada GRACE/-FO uydu misyonlarına ati TWS verileri ve ERA-5 yağış, sıcaklık ve buharlaşma verileri kullanılmıştır. Atmosferik faktörler (yağış ve buharlaşma), hidrolojik koşullar (maksimum su kütlesi) ve kar dinamikleri, "abcd" modeli, Budyko hipotezi ve sıcaklığa dayalı kar bileşeninin bir kombinasyonu yoluyla boşluk doldurma modeline dahil edilmiştir. Hidrolojik model açıkça fiziksel süreçleri birleştirir ve trendi yok etmeden orijinal verileri kullanır; bu da TWS yeniden yapılandırmasını orijinal GRACE ve GRACE-FO ürünleriyle tutarlı kılmış olur. Hidrolojik modelin performansı deniz seviyesi değişimi ve GLDAS modelinden türetilen TWS verilerine göre bağımsız olarak karşılaştırılmıştır.

Okay Ahi & Öncel Çekim (2021), GRACE ve GRACE-FO uydularına ait GFZ analiz merkezinin ürettiği Seviye-3 verilerini kullanılarak 19 küresel havzada TWS değerlerinin nasıl değiştiği incelemiştir. Çalışmanın ana motivasyonu havzalardaki TWS değerlerinin 2019-2022 yılları arasının tahmin edilmesi için farklı makine öğrenmesi algoritmaları kullanılması oluşturmaktadır.

Yi & Sneeuw (2021), GRACE uydu verilerindeki veri boşluklarını doldurmak için Tekil Spektrum Analizi (Singular Spectrum Analysis-SSA) boşluk doldurma yöntemini kullanmıştır. SSA doldurma yöntemi, sırasıyla GRACE misyonu içindeki boşluklar, misyonlar arasındaki 11 aylık boşluk ve GRACE-FO misyonu içerisindeki iki aylık boşluk için kullanılmıştır. Boşluk doldurma sonucunu değerlendirmek için üç grup karşılaştırma yapmıştır. Grönland buz kütlesi dengesi durumuyla, küresel harmonik katsayılar ve okyanus kütle serileri açısından SWARM çözümleriyle ve konumsal dağılımını hidroloji açısından

incelemek için iklim kaynaklı su kütle değişiklikleri ile karşılaştırmıştır. SSA doldurma sonuçlarının GRACE gözlemleriyle benzer bir uyum gösterdiğini göstermektedir.

Bhanja vd. (2020), 2003 - 2014 dönemini kapsayacak şekilde gözlem kuyularından elde edilen yerinde veriler, yağış verileri ve GRACE uydusuna ait TWS verileri kullanarak Hindistan'da bulunan 22 büyük nehir havzasındaki yeraltı su kütlesi değişimini incelemiştir. GRACE ve yerinde gözlem kuyularından elde edilen yeraltı su kütlesi zaman serileri, çoğu havzada artışlarla birlikte benzer modeller sergilediği görülmüştür.

Liu vd. (2020), 2002 - 2017 dönemini kapsayacak şekilde Çin'de yer alan büyük havzalar için iklimsel olmayan faktörlerin kuraklık tahmini üzerindeki etkisini ortadan kaldırmak için, trend bileşeni çıkartılmış GRACE TWS zaman serisini kullanarak gerçek kuraklık koşullarını yansıtacak GRACE TWS bazlı kuraklık şiddet indeksi (Drought Severity Index-DSI) önermiştir. GRACE DSI zaman serisinin gözlemlenen davranışı, Palmer Kuraklık İndeksi, Standartlaştırılmış Yağış İndeksi ve Standartlaştırılmış Yüzey Akış İndeksi ile oldukça iyi bir uyum içinde olmasına rağmen, kuraklık göstergelerindeki içsel farklılıklar nedeniyle farklılıklar mevcut olduğu gözlenmiştir.

Li vd. (2019), genel olarak Dünya çapında GRACE veri asimilasyonunun, yerinde ölçümlerle karşılaştırıldığında yeraltı suyu kütle değişikliklerinin simülasyonunu iyileştirdiği ve bunun da sonuçların yeraltı suyu kuraklığının izlenmesi için uygulanmasında güven sağladığı sonucuna varmıştır. CLSM simüle edilmiş yeraltı suyu kuraklığının genel olarak Standart Yağış İndeksi (Standard Precipitation Indices-SPI) ile temsil edilen meteorolojik kuraklığı 12 ay geciktirdiğini, tropik bölgelerde daha hızlı tepkiler ve yüksek enlem bölgelerinde daha gecikmeli tepkiler verdiğini, iklim koşullarının ve hidrojeolojik özelliklerin kuraklığın yayılması üzerindeki etkisini yansıttığı gözlenmiştir.

Okay Ahi & Jin (2019), 2002 - 2016 yılları arasını kapsayacak şekilde GRACE CSR Seviye-3 verileri ayrıca Türkiye'de meydana gelen kuraklıkları incelemek adına da GLDAS, TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission), SCPDSI (self-calibrating Palmer Drought Severity), ENSO (El Niño–Southern Oscillation) ve NAO (North Atlantic Oscillation) model verilerini de kullanmıştır. Çalışmada GRACE verilerinin tarımsal ve hidrolojik kuraklığa daha duyarlı olduğu görülmüştür. Ek olarak yapılan analizler sonucunda Türkiye'de çalışmanın kapsadığı yıllar arasında ciddi kuraklıkların yaşandığı ve bu kuraklıkların tarımsal/hidrolojik kuraklığa dönüşmesinin sebebinin La Nina etkisi olduğu gözlenmiştir.

Okay Ahi (2019), GFZ, CSR ve JPL tarafından üretilen GRACE TWS verileri üzerinde uygulanan filtreleme işleminin etkisi gözlenmiştir. Çalışmada farklı yumuşatma yarıçapları seçilerek her bir analiz merkezinden elde edilen verilere Gauss filtresi uygulanmıştır ve sonuç olarak GFZ ve CSR verilerinin aralarında uyumlu olduğu JPL verilerinde ise filtreleme işlemiyle gürültülerin elemine edilmesinin zor olduğu görülmüştür.

Zhong vd. (2018), 2005 - 2011 döneminde, Batı Liaohe Havzası üzerindeki yeraltı su kütlesi değişimlerinin incelenmesi için GRACE TWS, GLDAS toprak nemi, kar suyu, yüzey suyu verileri ve yerinde gözlem kuyu verileri kullanmıştır. GRACE tabanlı elde edilen yeraltı su kütlesi değerlerinde -0,92 $\pm$ 0,49 km^3/yıl oranında düşüş tespit etmiştir. Yerinde gözlem kuyularından elde edilen yeraltı su kütlesi değerlerinde ise -0,96 $\pm$ 0,19 km^3/yıl oranında bir düşüşün olduğu görülmüştür. Sonuç olarak GRACE tabanlı ve yerinde gözlem verilerinden elde edilen yeraltı su kütlesi değişimleri birbirine göre tutarlı olduğu görülmüştür.

Thomas vd. (2017), Ekim 2003 - Mart 2016 döneminde Kaliforniya'da yer alan Merkez Vadisi'ndeki yeraltı su kütlesi kuraklığını incelemek adına GRACE TWS ve yerinde gözlem kuyu verilerini kullanmıştır. Çalışmada GRACE tabanlı yeraltı su kütlesi değişimleri elde edilerek GRACE Yeraltı Su Kütlesi Kuraklık İndeksi (GRACE Groundwater Drought Index-GGDI) oluşturulmuştur.

Chen vd. (2016), Ocak 2005 - Aralık 2009 döneminde Kuzey Batı Hindistan, Kaliforniya Merkez Vadisi, Güney Murray Darling Havzası, Kuzey Çin Ovası gibi yeraltı su kütlesi değerlerinde ciddi azalışların olduğu bölgelerde, GRACE TWS ve WGHM (WaterGAP Global Hydrology Model) yüzey suyu, kar suyu ve toprak nemi verileri kullanarak yeraltı su kütlesi değişimleri incelenmiştir.

Iqbal vd. (2016), 2003 - 2010 döneminde GRACE ve GLDAS model verileri kullanarak Pakistan'daki İndus Havzası için yeraltı su kütlesi değişimlerini incelemiştir. GRACE uydusundan türetilen yeraltı su kütlesi değerlerinin yerinde gözlem kuyu verilerinin eğilimleriyle uyumlu olduğu görülmüştür. Yeraltı suyunun yılda ortalama 8,5 mm oranında tükendiği ve 2003 - 2010 döneminde yaklaşık 7,43 km^3 toplam yeraltı suyu kaybı olduğunu tahmin etmişlerdir.

Chinnasamy & Agoramoorthy (2015), 2002 - 2012 döneminde GRACE TWS ve GLDAS model verilerini kullanarak Tamil Nadu Hindistan eyaletinde yeraltı su kütlesindeki değişimleri incelemişlerdir. Sonuçlar yeraltı su kütlesinin 21.4 km^3/yıl oranında tükendiğini ve yeraltı suyunun bölgedeki yeniden beslenme oranından %8 daha fazla olduğu

görülmüştür. En fazla yeraltı su kütlesindeki tükenmenin 2008; en az tükenmenin 2002 yılında yaşandığını incelemişlerdir.

Long vd. (2015), alçak geçişli filtrelemeyi temel alarak ölçeklendirme faktörleri oluşturmak için yüzey suyu depolama değişikliklerini, doğal ve insan kaynaklı yeraltı suyu depolama değişikliklerini ve yüzey suyu ile yüzey altı suyu arasındaki etkileşimleri simüle eden PCR-GLOBWB küresel hidrolojik modelini kullandı. GRACE verilerindeki sinyal kayıpları PCR-GLOBWB modelinden alınan ölçeklendirme faktörleriyle onarıldı. PCR-GLOBWB ölçeklendirme faktörleriyle uygulanan filtrelenmiş GRACE TWS değişiklikleri, Çin'in Yangtze Havzasındaki diğer kara yüzeyi modellerinden alınan ölçeklendirme faktörlerine kıyasla TWS değişikliklerinin su kütlesi tahminleriyle daha yakın bir uyum gösterdiği incelenmiştir.

Feng vd. (2013), Ocak 2003 - Aralık 2010 döneminde Kuzey Çin'de yer alan yeraltı su kütlesinin bölgesel değişimini incelemek için GRACE TWS, GLDAS toprak nemi ve kar suyu, CPC (Climate Prediction Center) modelinden sadece toprak nemi verilerini kullanmıştır. Buna ek olarak elde edilen yeraltı su kütlesi değişimlerini kuyu gözlemleri ile karşılaştırmıştır. Sonuç olarak Kuzey Çin'de 2003 - 2010 döneminde yeraltı suyu tükenme oranının 8.3 ± 1.1 km^3/yıl olduğunu ve yaklaşık olarak 50 km^3 yeraltı suyu kaybı yaşandığını görmüştür.

Lenk (2013), Doğrusal Trend Modeli'ni kullanarak Türkiye'ye ait 2003 - 2009 yılları arasındaki GRACE, GLDAS TWS verileri ve DSİ tarafından incelenmesi yapılan 31 kaynağın verisini kullanmıştır. Çalışmada GRACE tabanlı TWS değerlerinden GLDAS tabanlı hidrolojik verilerin (kar suyu ve toprak nemi) çıkartılmasıyla yeraltı suyu kütle değişimleri elde edilmiştir. Çalışmanın sonucunda Türkiye'de TWS ve GWS değerlerinde azalan bir trendin var olduğu gözlenmiştir.

Long vd. (2013), GRACE TWS değişimlerinin, büyük bölgeler için değerli bir kuraklık göstergesi için GRACE uydusunun kullanılabilirliği konusunda incelemeler yapmıştır. Teksas eyaletinde 2011 yılında GRACE TWS değerlerinde 62.3 ± 17.7 km^3 tükenme oranı hesaplamıştır. GLDAS ve NLDAS modellerinden toprak nemi ve yüzey suyu değerlerini kullanarak yeraltı su kütlesi değişimlerini elde etmiştir ve Teksas eyaletinde yer alan yerinde gözlem kuyuları ile karşılaştırma yapmıştır. Elde edilen TWS ve yeraltı su kütlesi değişimlerinin Palmer Kuraklık İndisi ile yüksek korelasyona sahip olduğu görülmüştür.

Sun (2013), Mart 2003 - Ağustos 2012 döneminde GRACE TWS, GLDAS ve PRISM (Parameter-elevation Regressions on Independent Slopes Model) verilerini kullanarak, gridlenmiş GRACE TWS verilerinin ölçek küçültmesi yapılarak yerinde gözlem değerlerine ulaşılması için yapay sinir ağı modelleri geliştirmiştir. Elde edilen sonuçlarda geliştirilen modellerin yerinde gözlem verilerine yakın sonuçlar elde ettiğini incelemiştir.

Houborg vd. (2012), Ağustos 2002 - Temmuz 2009 döneminde GRACE ve CLSM modeli temelli GRACE veri asimilasyon yöntemini (Zaitchik vd., 2008) kullanarak, Kuzey Amerika'da GRACE tabanlı kuraklık göstergeleri, konumsal, zamansal ve dikey olarak ayrıştırılmış GRACE verilerini entegre ederek bölgedeki kuraklık koşullarının daha kapsamlı ve objektif tanımlanması sağlamıştır.

Landerer & Swenson (2012), GRACE TWS verilerinin filtrelenmesi ve çeşitli düzeltmeleri yapılması sonucu gerçek sinyal değerlerinden kayıpların geri kazanmak amacıyla Ocak 2003 - Aralık 2009 döneminde 1 derece enlem × 1 derece boylam ızgara GRACE TWS verilerine uygulanan ölçek faktörü ve sızıntı hatalarının gideren teknikleri anlatmıştır.

Rodell vd. (2009), Ağustos 2002 - Ekim 2008 döneminde GRACE TWS ve GLDAS model verilerini kullanarak Hindistan'ın, 109 km^3'lük net yeraltı suyu kaybı yaşadığını hesaplamıştır. Yıllık yağışın toprak nemi, kar suyu ve yüzey suyu kadar azalışa etki etmediği, bunun aksine sulama gibi beşeri faaliyetlerin bu azalışa daha çok etki ettiği incelenmiştir.

Ramillien vd. (2008), GRACE uydu misyonu hakkında temel bilgilerin yanı sıra 400 km konumsal çözünürlüğün küçük boyuttaki bölgeler için sorun teşkil ettiğini bunun için ise maskon çözümlerin geliştirilmesi gerektiğinden bahsetmiştir.

Schmidt vd. (2008), geleneksel Ampirik Ortogonal Fonksiyon (Empirical Orthogonal Function-EOF) analizini temel bileşenlerden gelen rastgele periyotların sinüs dalgalarının belirlenmesiyle birleştiren bir yöntem kullanarak, temel yıllık frekanslarla sınırlı olmayan baskın periyodik modeller belirlemiştir. GRACE verilerinin korelasyonlu hataları açısından türetilmiş spektrumların önemini Monte Carlo tekniği aracılığıyla değerlendirilmiştir. Baskın periyodik su kütlesi değişimlerine göre hidrolojik modellerin havzaya özgü kalibrasyonuna pozitif etki ederek, yalnızca önemli terimleri içeren filtrelenmiş GRACE zaman serileri oluşturulmuştur. Çalışma, baskın yıllık sinyallerin yanı sıra altı aylık ve 2.1-2.5 yıl aralığındaki uzun periyodik dalgaların periyodik su kütle değişikliklerine katkıda bulunduğunu ortaya koymuştur.

Zaitchik vd. (2008), Ocak 2003 - Mayıs 2006 kapsayan dönemde, Kalman yumuşatma filtresi kullanarak GRACE TWS ve CLSM modelini simüle ederek TWS verisi hem konumsal hem zamansal ölçeklerinin küçültülmesi ve dikey bileşenlerinin ayrıştırılması ile toprak nemi, kar suyu ve yüzey suyu değerleri elde edilmiştir. Elde edilen parametreleri kullanarak Mississippi Havzası yeraltı su kütlesi değişimlerini incelemiştir.

Rodell vd. (2007), Mississippi Havzası'nda GRACE TWS ve GLDAS hidrolojik modelden toprak nemi ve kar suyu verileri kullanılarak yeraltı suyu değişimlerine erişilmiştir. Elde edilen yeraltı suyu değişimleri bölgede yer alan 58 kuyu gözlem verileri ile değerlendirilmiş olup büyük ölçekteki havzalarda GRACE-GLDAS tekniğinin daha iyi sonuçlar ürettiği gözlenmiştir.

Swenson vd. (2006), GRACE uydusundan elde edilen TWS verileri ilk defa doğrudan yerinde hidrolojik gözlemler olan Illinois gözlem ağından elde edilen toprak nemi ve yeraltı suyu ölçümleri ile karşılaştırılmıştır. Korelasyonlu hataların giderilmesi için çalışmada geliştirilen teknik sayesinde GRACE uydusunun su kütle tahminlerindeki konumsal çözünürlüğü önemli ölçüde arttırdığı ve yaklaşık 280 km^2'lik alanı kapsayan bölgede ortalaması alınan yerinde ölçümlerin GRACE TWS değerleri ile iyi uyum sağladığı gözlenmiştir.

Tapley vd. (2004), GRACE uydusunun Dünya'nın yerçekimi alanındaki değişimleri incelediğini ve bunun sayesinde birçok hidrolojik ve klimatolojik çalışmalarda kullanılabileceğinden genel olarak bahsetmiştir. Çalışmada GRACE TWS ve GLDAS TWS verilerini çeşitli yumuşatma filtreleri kullanılarak karşılaştırılmıştır. Amazon Nehri jeoit yüksekliğinin 2002 - 2003 dönemindeki aylık değişimleri incelenmiştir. Sonuç olarak 2002 yılındaki GRACE konumsal çözünürlüğünün 1000 km iken 2003 yılındaki yaklaşık konumsal çözünürlüğünün 400-600 km olduğu incelenmiştir.

Atlı (2022), ICGEM (International Centre for Global Earth Models) arayüzünden misyon içerisinde analiz merkezi olarak görev yapan araştırma merkezleri GFZ (GeoForschungsZentrum), JPL ve CSR (The University Of Texas Center For Space Research) tarafından yayınlanmış GRACE Seviye-2 verilerini incelemiştir. Çalışmada Seviye-2 verilerine ön işleme adımları uygulanarak DDK ve Gauss yumuşatma tekniği yarıçaplarının farklı bölgelerde veriler üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması yapılmıştır.

Keleş (2022), derin öğrenme algoritmaları kullanarak GRACE ve GRACE-FO uydu misyonları arasındaki veri boşluğunu doldurmuştur. Çalışmada farklı uydu tekniği olarak

SWARM kullanılmış olup ERA-5 Kara modelinden de yağış, sıcaklık ve kümülatif su kütlesi değişimleri gibi hidrolojik verilerden yararlanılmıştır.

Zeray Öztürk (2022), GRACE ve GLDAS kullanarak Konya Kapalı Havzası'ndaki TWS ve GWS değişimlerini incelemiştir. Her iki su kütlesinin de bölgede uzun dönemli azalış eğiliminde olduğu gözlenmiştir. Ayrıca TWS ile yağış ve sıcaklık gibi iklimsel parametreler karşılaştırılmış ve iki ve üç aylık gecikmeli korelasyonlarının yüksek değerler aldığı gözlenmiştir.

Karasu (2019), Orta Anadolu'yu kapsayan beş havza için Ocak 2013 ve Aralık 2015 tarihleri arasındaki GRACE uydu misyonundan elde edilen verilerin hassasiyeti ve yine bu verilerin yer gözlem verileri ile arasındaki korelasyon incelemiştir. Çalışmada GRACE verilerine ek olarak GLDAS modeli kullanılarak yeraltı suyu değerleri elde edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda yeraltı suyu değişimleri ile yerinde gözlemler arasında çalışılan havza bazında 0.48 ile 0.66 arasında korelasyon değerleri elde edilmiştir. Ayrıca GRACE verileri ile yapılan analiz sonucunda Türkiye genelinde yaşanan 2007, 2009 ve 2014 yıllarındaki kuraklıklarla örtüştüğü gözlenmiştir.

Likando (2019), GRACE uydu misyonunu, GLDAS ve CHIRPS (Climate Hazards Infrared Precipitation with Stations) klimatolojik modeller kullanarak Türkiye'de bulunan Fırat Havzası GWS değerlerindeki değişimlerin tahmin edilmesini ve yeniden geri kazanılmasının tahminini gerçekleştirmiştir. Hem GRACE hem de GLDAS modelinden elde edilen TWS değerlerinden GWS verilerine erişilmiştir. Çalışmada Fırat Havzası'nda hem TWS hem de GWS değerlerinin uzun dönemde azalış eğiliminde olduğu incelenmiştir.

Yıldırım (2015), GRACE uydu misyonu ve GLDAS modelini kullanarak uzun dönemli TWS değerlerindeki değişimleri Zambezi Havzası ve Türkiye için incelenmiştir.

Atayer (2012), CSR-RL04 Seviye 2 küresel harmonik katsayıları ile TWS, jeoit yüksekliği ve gravite değişimi gibi jeopotansiyel değişimleri GRACE verisine uygulanan çeşitli ön işlemelerden sonra elde etmiştir. Çalışmada özellikle Gauss yumuşatma filtresi ve DDK (decorrelation kernel) korelasyon etkisini giderici filtre kullanılmıştır. Filtrelerin yarıçapına göre hataların giderilip giderilmediğini ve verilerin sahip olduğu sinyallerdeki kayıplar irdelenmiştir.

Yukarıda "Literatür Özeti" bölümünde bahsedilen çalışmalar, yazılan bu yüksek lisans tezinde literatür taraması olarak kullanılmıştır. Tezin ana konusunun GWS ve değişimleri olduğundan daha çok bu alandaki çalışmalara yönelinmiştir. Yapılan çalışmada temel amaç Türkiye'de TWS ve GWS değişiminin nasıl olduğu, bu değişime etki eden iklimsel

parametreler olan toprak nemi, yüzey suyu, kar suyu, yağışın da nasıl değişim içerisinde olduğunu görmektir. Buna ek olarak GRACE/-FO uydu misyonlarına ait bilimsel alt yapının nasıl çalıştığı ve sağlamış olduğu verilerin ne tür işlemlerden geçtiği hakkında incelemeler de çalışmaya konu olmuştur.

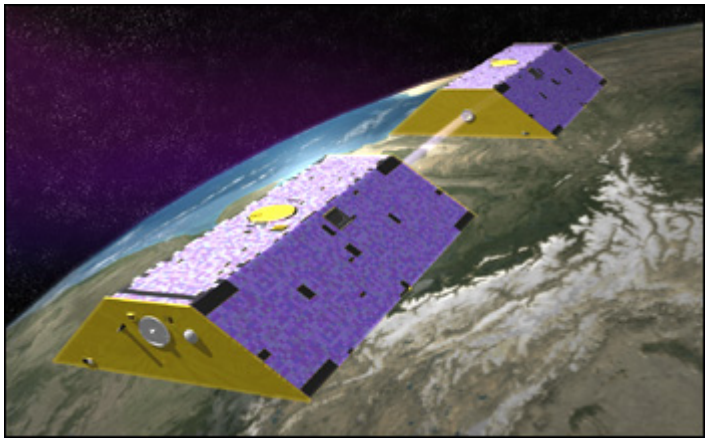
1.4. GRACE ve GRACE-FO Uydu Misyonları

GRACE uydu misyonu 17 Mart 2002 tarihinde NASA ve DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt) tarafından ortaklaşa olarak uzaya fırlatılmış olup hem yakıt hem de pil sorunları nedeniyle 27 Ekim 2017 tarihinde görevini tamamlamıştır (Bektaşoğlu & Kayıkçı, 2020). Ekvatora eğikliği 89 derece, yeryüzüne yüksekliği başlangıçta yaklaşık 500 km olacak şekilde görevine başlamıştır (Tablo 3). Ancak çeşitli etkenlerden dolayı özellikle de hava sürtünme kuvveti nedeniyle yeryüzünden yüksekliği görev sonunda yaklaşık 300 km'ye kadar gerilemiştir (GRACE Level 1B Data Product User Handbook, 2010).

Tablo 3. GRACE ve GRACE-FO uydusu yörünge bilgileri (GRACE-FO uydusu için Misyon Sonundaki Değerleri mevcut değildir.)

Yörünge Parametresi	**Başlangıç Değer**	**Tolerans**	**Misyon Sonunda**
Yarı Büyük Eksen	6878 km (500 km Yükseklik)	±10 km	6678 km (300 km Yükseklik)
Eksantriklik	< 0.005	N/A	< 0.005
Eğim	89 derece	±0.05 derece	89 derece

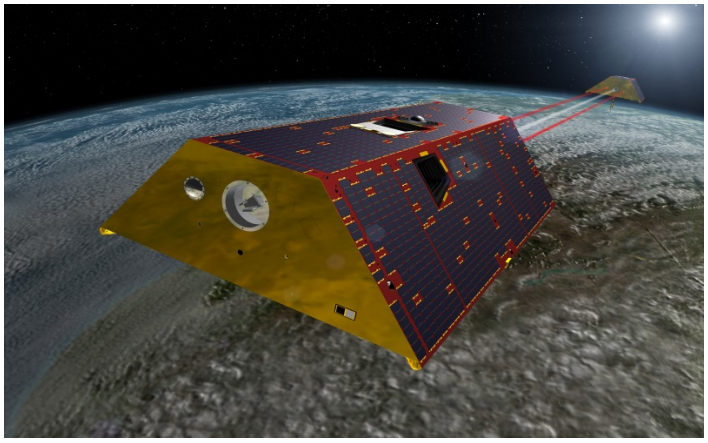
GRACE, aralarında yaklaşık olarak 220 km olarak biri önde diğeri arkada olacak şekilde yörüngede ikiz uydu sistemi şeklinde tasarlanmıştır (Şekil 4). Bu da GRACE uydusunu diğer gözlem uydularından ayıran temel farktır. GRACE misyonu sayesinde Dünya'nın sahip olduğu yerçekimi alanı yaklaşık 400 km kadar konumsal çözünürlükte haritası üretilebilmekte ve 2-3 milimetre hassasiyetinde jeoit yüksekliği sağlanabilmektedir. Fakat jeoit yüksekliği hassasiyeti bazı bölgelerde santimetre düzeyinde de olabilmektedir. (Tapley vd., 2004). Ölçülen yerçekimi alanındaki değişimler Dünya'nın sahip olduğu akışkan yapılarından (okyanus, atmosfer, kıtasal su depoları vb.) kaynaklanmaktadır ve TWS ile ilişkilendirilmektedir. (Frappart ve Ramillien, 2018). GRACE TWS değerlerinin yıllar arası değişimi, bölgesel ve küresel ölçekte yaşanan sel ve kuraklık gibi klimatolojik olayların izlerini taşımaktadır (Frappart vd., 2013).



Şekil 4. GRACE uydusunun yörüngedeki görüntüsü

GRACE uydu misyonunun temel amacı 5 yıl boyunca Dünya'nın yerçekimi alanındaki değişimleri izlemek ve yüksek doğrulukta bu değişimleri haritalamaktır. Bir diğer misyon amacı ise GPS radyo engelleme tekniğini kullanarak atmosferin günde yaklaşık 150 adet yüksek doğruluklu küresel olarak dağıtılmış dikey sıcaklık ve nem profilini elde etmektir. Bu profiller operasyonel olarak 7/24 (gün/saat) çeşitli sayısal hava durumu servislerine sağlanmıştır. Bu amaçlar doğrultusunda 15 yıl görevine devam eden GRACE uydusu 1700'den fazla yayında kullanılan uydu tekniği olarak yer alması ve GRACE veri arşiv merkezi olan ISDC (Information System and Data Center) üye sayısının 5500 üzerinde olması, GRACE misyonun Dünya çapında yapılan hidrolojik ve iklimsel çalışmalarda kilit noktada olduğunu göstermektedir (URL-8, 2023). Bu önem doğrultusunda GRACE uydu misyonu sonlanmasıyla varisi GRACE-FO uydu misyonu hayata geçirilmiştir.

GRACE uydusunun devamı niteliğinde geliştirilmiş olan GRACE-FO uydu misyonu, 22 Mayıs 2018 tarihinde NASA ve GFZ tarafından ortaklaşa olarak başlatılmış olup günümüzde hala görevine devam etmektedir. GRACE-FO yeraltı su depolarındaki değişiklikleri, büyük göl ve nehirlerdeki su miktarını, toprak nemini, buz tabakalarını ve deniz seviyesinin neden olduğu değişiklikleri izlemek için Dünya'nın su hareketini takip etme çalışmalarına devam etmektedir. GRACE-FO uydu aracının özellikleri GRACE uydusu ile çok benzemektedir. Özellikle yeryüzünden yüksekliği yaklaşık 500 km, ikiz uydular arasındaki başlangıç mesafesi yaklaşık 200 km olup ekvatora eğikliği 89 derecedir (Şekil 5).

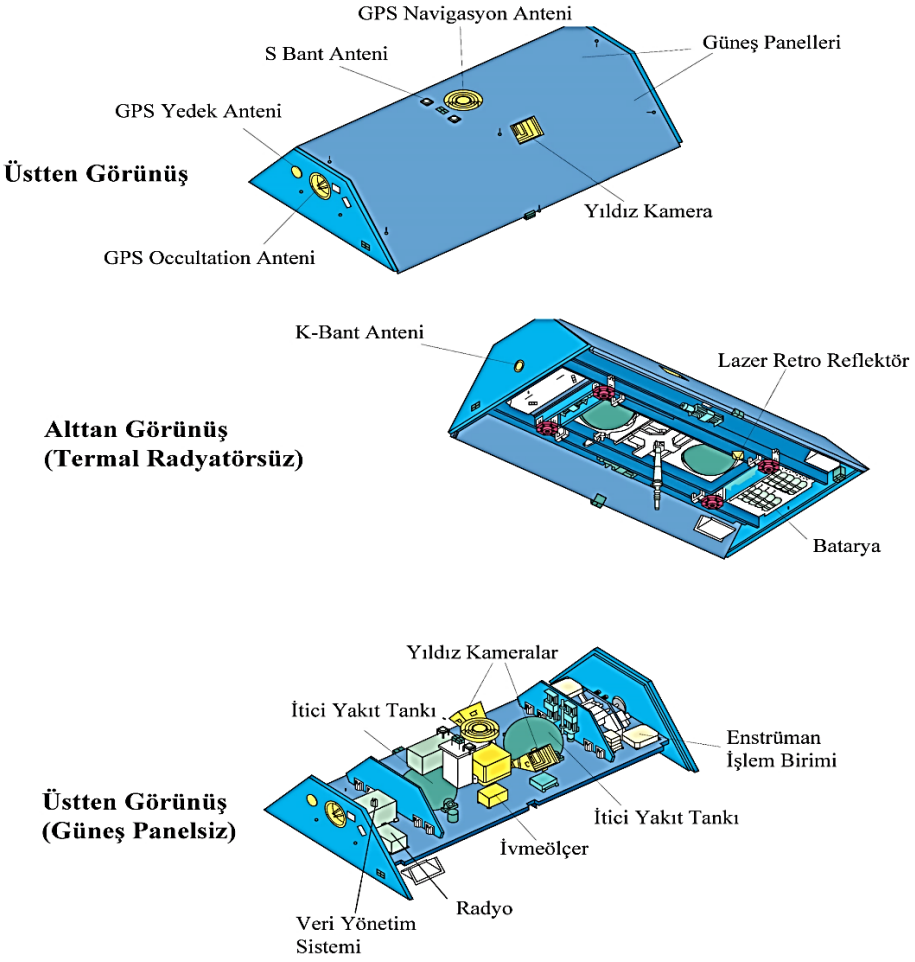


Şekil 5. GRACE-FO uydusunun yörüngedeki görüntüsü

GRACE-FO uydu misyonun temel amacı, beş yıllık bir süre boyunca GRACE misyonunun Dünya'nın yerçekimi alanı ve yüzey kütle değişikliklerine ilişkin yüksek çözünürlüklü aylık küresel haritalarına devam etmektir. Diğer amaçları ise (1) GRACE uydu enstrümanları içerisinde yer almayıp ilk defa GRACE-FO ile entegre çalışacak olan LRI (Lazer Mesafe İnterferometrisi) sayesinde ikiz uydular arasındaki mesafe değişimleri belirlemek ve (2) GRACE-FO, GPS uydularından gelen sinyallerin atmosferde dolaşırken ne kadar bozulduğunu gözlemleyerek dikey atmosferik sıcaklık ve nem profillerini ölçmek için uygun maliyetli bir teknik olan GPS takip sinyallerinin radyo örtülmesi ölçümlerini gerçekleştirerek Dünya atmosferinin yapısını ölçmektir. Bu amaç doğrultusunda her bir uydu başına 200-250 atmosfer sıcaklığı ve su buharı içerik profili sağlayacaktır.

1.4.1. GRACE/-FO Uydu Mekanizması

GRACE ve GRACE-FO uydu misyonları aşağıda maddeler halinde sıralanan parçalardan oluşmaktadır. GRACE-FO uydu misyonu ile GRACE arasındaki tek fark LRI sisteminin misyona dahil edilmesidir. Bu nedenle GRACE misyonunda LRI sistemi uydu mekanizmasında bulunmamaktadır (Şekil 6).



Şekil 6. GRACE uydu mekanizması

• K-Bant Mesafe Sistemi (K Band Ranging System-KBR), GRACE uydusunun temel bilimsel cihazıdır. KBR, ikiz uydular arasındaki mesafe değişimlerini gönderilen mikrodalga sinyallerin ölçülmesiyle elde eder. Bu sayede Dünya'nın yerçekimi alanındaki değişimleri de 10 µm (1/1000000 m, 10^{-6}m) hassasiyetinde ölçmüş olur. KBR Başlığı (KBR Horn) GRACE uyduları arasında K-Bandı (24 GHz) ve Ka-Bandı (32GHz) taşıyıcı sinyalleri iletir ve alır.

• Osilatörler (Ultra Stable Oscillator-USO) sayesinde ikiz uyduların her biri diğerine farklı frekansta sinyal gönderir.

• İvme Ölçer (SuperSTAR Accelerometer-ACC), uyduya etki eden yerçekimi alanı dışındaki kuvvetlerin ölçülmesini sağlar. Bu sayede yerçekimi etkileri diğer kuvvetlerin etkisinden ayırt edilebilir hale gelir.

• GPS alıcıları, yörüngedeki ikiz uydunun kesin konumunu belirlemek için kullanılır. Alıcılar GRACE ile GPS uyduları arasındaki mesafeleri ölçer. Uydu mekanizmasında

navigasyon bilgileri için bir adet, yedek navigasyon ve atmosferik engelleme verilerinin toplanması için iki adet, toplam 3 adet GPS anteni bulunur. Ayrıca sinyal işleme fonksiyonları sağlar.

- Yıldız Kamera (Star Camera Assembly-SCA), her uyduda yer alan ivmeölçerin yanında 2 adet olarak bulunmaktadır. Yıldız Kameralar yıldızlara göre göreceli konum hesaplar ve her bir uydu için kesin yön bilgisi sağlar.
- Lazer Retro Reflektör (Laser Retro Reflector-LRR), her ikiz uydunun birinde yer alır, yedekleme ve yörünge doğrulama amacıyla kullanılmaktadır.
- İşlem Birimi, uzay aracının bilim aletlerinin ana merkezidir. GPS sinyallerinin yanı sıra K ve Ka bant sinyalleri için dijital sinyal işleme fonksiyonlarını sağlar. Ayrıca uydu için çeşitli saatler sağlar ve yıldız kamera tutum kuaterniyonları için veri işleme gerçekleştirir.
- Veri Yönetim Sistemi, uzay aracı ve bilim ve donanımsal (housekeeping) verilerinin yönetimi için merkezi işlemci ve yığın bellek yazılım kaynakları sağlar. Tutum ve yörünge kontrol sistemi, güç ve termal sistem operasyonları için gerekli giriş ve çıkış yeteneklerini sağlar. Ayrıca arıza tespiti, izolasyon ve kurtarma operasyonları da dahil olmak üzere uzay aracı sağlık fonksiyonlarını yerine getirir.
- Radyo Frekansı Elektronik Aksamı, verileri yerleşik veri işleme sisteminden alır ve bunları yer veri sistemine S-Bandı iletimi için hazırlar. Telemetri ve telekomünikasyon sistemi, uyduların mikrodalga S-Bant spektrumundaki radyo sistemleri aracılığıyla Dünya ile iletişim kurmasına olanak sağlar. Her bir ikiz uydu, iletim ve alım için ayrı bir S-bant frekansı seti kullanır.
- Güç Sistemi, elektrik enerjisinin alet ve uydu veri yolu kullanıcı ihtiyaçlarına uygun olarak üretilmesi, depolanması, koşullandırılması ve dağıtımından sorumludur. Elektrik enerjisi, her uydunun dış kabuğunu kaplayan silikon güneş pili dizileri kullanılarak üretilir. Her uydu üzerinde dört panelden oluşurlar; ikisi her uydunun yan panellerine, ikisi de uydunun üstüne monte edilmiştir (URL-9, 2023).

Uydunun yönelimi ve yörünge kontrolü, sensörler, aktüatörler ve yazılımdan oluşan bir sistem tarafından kontrol edilir. Birincil sensör yıldız kameradır. Üç ek sensör de dahildir. Kaba Dünya/Güneş Sensörü, tüm görev aşamalarında kaba tutum belirleme sağlar. Jiroskop, uzay aracı acil durum modları sırasında tutum oranları sağlar. Manyetometre, yerleşik GPS konumu ve Dünya'nın manyetik alanı modeli tarafından belirlenen uydunun konumuna bağlı olarak kaba tutum sağlar.

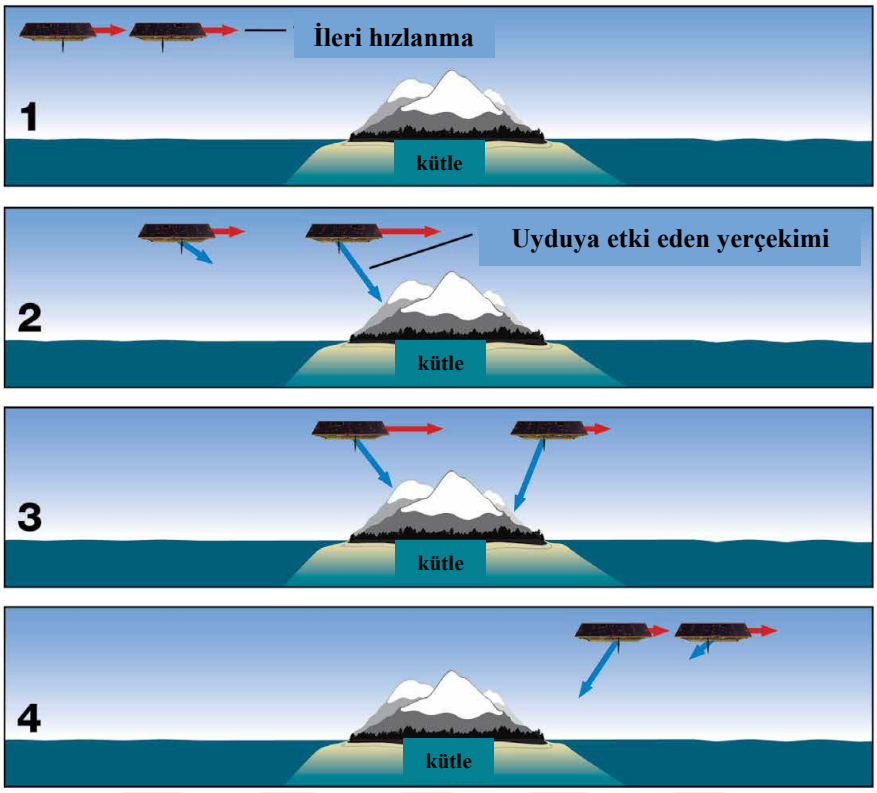
Kütle Trim Sistemi (Mass Trim System) uydunun kütle merkezi ile ivmeye dayanıklı kütle arasındaki farkı hassas bir şekilde ölçer ve uçuş sırasında kütle merkezini gerektiği gibi ayarlar. Termal Kontrol Sistemi, uydulardaki her bir bileşenin sıcaklığının izin verilen sınırlar dahilinde tutulmasından sorumludur.

Tüm bilimsel aletler, yakıt depoları, bataryalar ve diğer uydu alt sistemleri karbon fiberle güçlendirilmiş plastik bir platform üzerine monte edilmiştir. Çok düşük termal genleşme katsayısına sahip olduğu için iki uydu arasındaki mesafe değişiminde kararlı bir yapıdır (NASA, GRACE Launch Press Kit, 2002).

GRACE-FO uydu misyonunda GRACE uydusundan farklı olarak uydu mekanizmasında yer alan LRI sistemi mevcuttur. LRI sistemi ikiz uydu arasındaki mikrodalga sinyalleri yerine lazer sinyalleri kullanır. Bu sayede mesafe değişimi ölçümlerinin hassasiyetini 20 kat arttırarak yerçekimi alanındaki küçük ölçekteki değişimlerin tespit edilmesi mümkün hale getirilmesi hedeflenmiştir.

1.4.2. GRACE/-FO Uydu Ölçme Prensibi

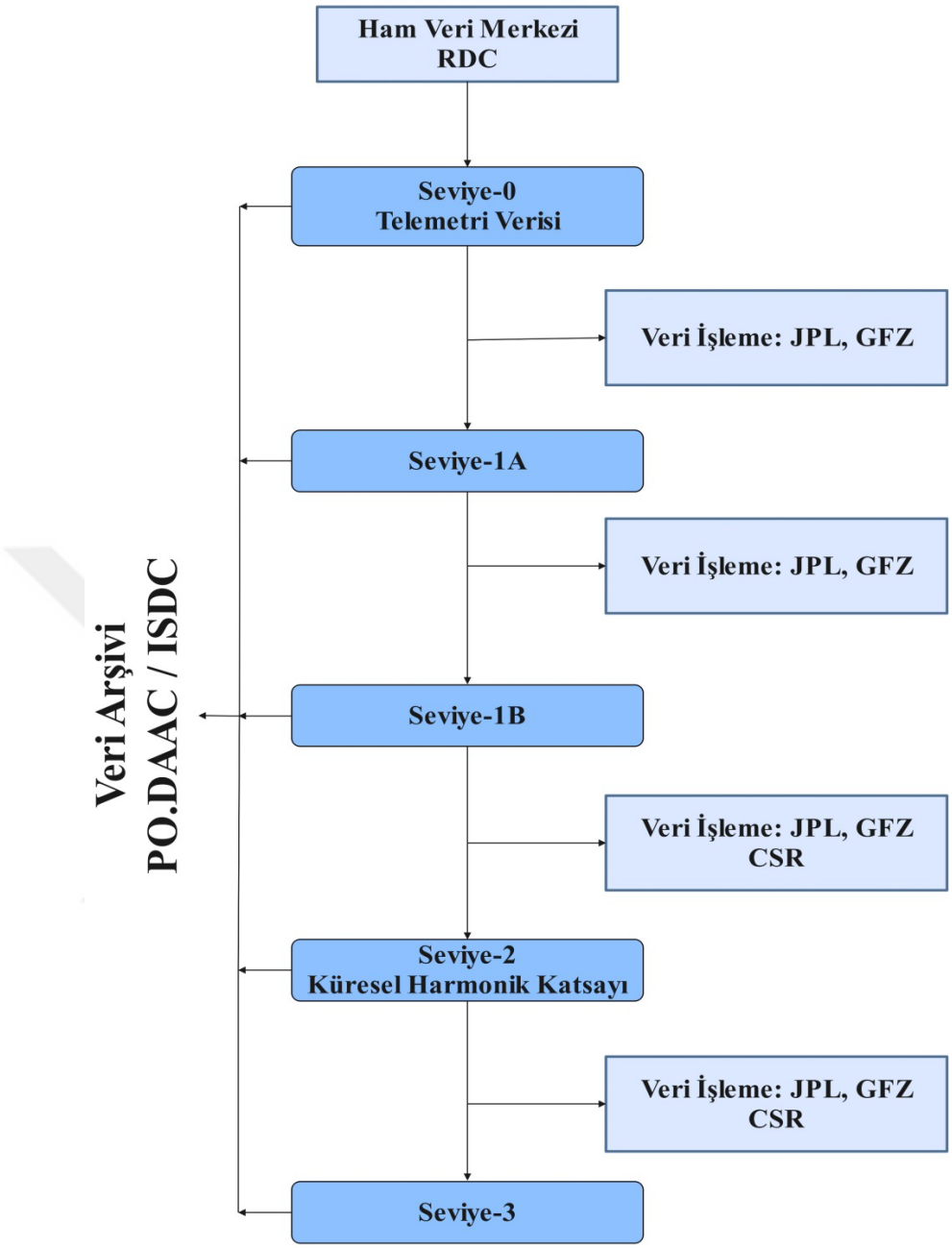
GRACE ve GRACE-FO uydu misyonları ikiz uydu sistemi şeklinde tasarlanmasından dolayı biri önde diğer arkada olacak şekilde birbirine bakarak yörüngede ilerler (Şekil 7). İkiz uydular arasındaki mesafe değişimi temel ölçüm prensibidir. Değişimlerin ölçülmesi ile birlikte gereken işlemler ve filtrelemeler sonucunda TWS değerlerine ulaşılır. GRACE/-FO ikiz uydu dünyanın çevresinde dönerken; (1) yerçekimi alanındaki güçlü artış öndeki uyduyu etkiler, (2) onu takip eden uyduyla arasındaki mesafeyi arttırır. (3) Bu sırada takip eden uydu yerçekimi alanından geçerken kendini öndeki uyduya yakınlaştırır. (4) Böylelikle ikiz uydu arasındaki mesafe değişimleri kaydedilmiş olur. Her 5 saniyede bir ikiz uydular arasında belirlenebilen mesafeler ve bu mesafelerdeki değişimler, yeryuvarındaki zamana bağlı kütle değişimlerinin belirlenmesine olanak sağlar (NASA, GRACE-FO Launch Press Kit, 2018).



Şekil 7. Yerçekimi alanındaki değişimin GRACE ve GRACE-FO uydularına etkileri (GRACE-FO Mission Brochure)

1.5. GRACE/-FO Uydu Veri Sistemi

GRACE/-FO Veri Sistemi, GRACE ve GRACE-FO uydu misyonlarından elde edilen verilere gereken işlemlerin yapılarak istenilen çıktı ürünlere ulaşmasını gerçekleştirir. Verilerin işlenmesinden arşivlenmesine kadar tüm adımlar Veri Sistemi'nin görevleri arasındadır. Bu görevi GFZ, JPL ve CSR analiz merkezleri üstlenmiştir. GRACE ve GRACE-FO uydu misyonları çıktıları ile 4 farklı seviyede veri üretilmektedir. Bunlar sırasıyla Seviye-0, Seviye-1, Seviye-2, Seviye-3'tür (Şekil 8).



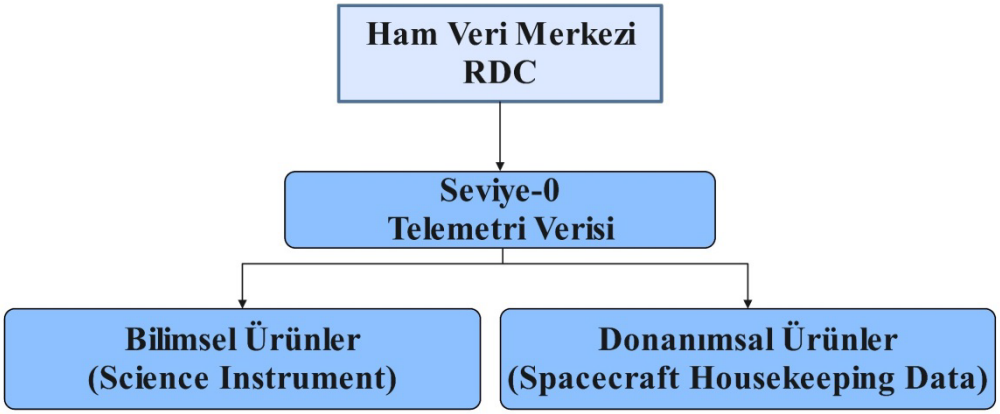
Şekil 8. GRACE ve GRACE-FO uydu misyonlarına ait genel veri işlem adımları

Seviye-0, GRACE ve GRACE-FO uydu misyonlarından elde edilen ham telemetri verilerdir. Bu veriler mühendislik biriminde olmayıp ikili kodlanmış biçimdedir. Seviye-0 verileri RDC (Raw Data Center) tarafından alınır, toplanır ve ayrıştırılır. Seviye-0 telemetri verileri ikiye ayrılır. Bunlar bilimsel ve donanımsal ürünlerdir (Şekil 9).

Seviye-1B, Seviye-0 verilerinden Seviye-1B verilerine dönüşüm Seviye-1 Veri İşleme adı altında gerçekleştirilir. Bu aşamada JPL ve GFZ hem işlem hem de arşiv görevini üstlenmektedir.

Seviye-2, Seviye-1B verilerinden Seviye-2 Küresel Harmonik Katsayılar ürünlerine dönüşüm Seviye-2 Veri İşleme olarak adlandırılır. Bu işlemi GRACE/-FO misyonlarının Veri Sistemi'nde görevli analiz merkezlerinin tümü (GFZ, JPL ve CSR) gerçekleştirebilmektedir.

Seviye-3; Seviye-2 verilerinden Seviye-3 verilerinin elde edilmesine ise Seviye-3 Veri İşleme adı verilmiştir. Yine bu işlem adımlarını tüm analiz merkezleri yapmaktadır. Ayrıca resmi analiz merkezleri dışında araştırmacı kurumlar ve üniversiteler de bu veri işleme adımını gerçekleştirmektedir. GRACE ve GRACE-FO uydu misyonları ile elde edilen tüm veriler JPL/NASA PODAAC (Physical Oceanography Distributed Active Data Center) ve GFZ ISDC veri arşiv merkezlerinde arşivlenmektedir.



Şekil 9. GRACE ve GRACE-FO uydu misyonlarının Seviye-0 verisi

Bilimsel ürünler uydu aracı üzerinde bulunan KBR, ACC, GPS, SCA araçlarından elde edilir (Tablo 4). Donanımsal ürünler ise uydu aracı üzerinde toplanan yapılan ölçümlerde düzeltmeler için kullanılan cihaz sağlığı ve kalibrasyon verilerinden oluşur.

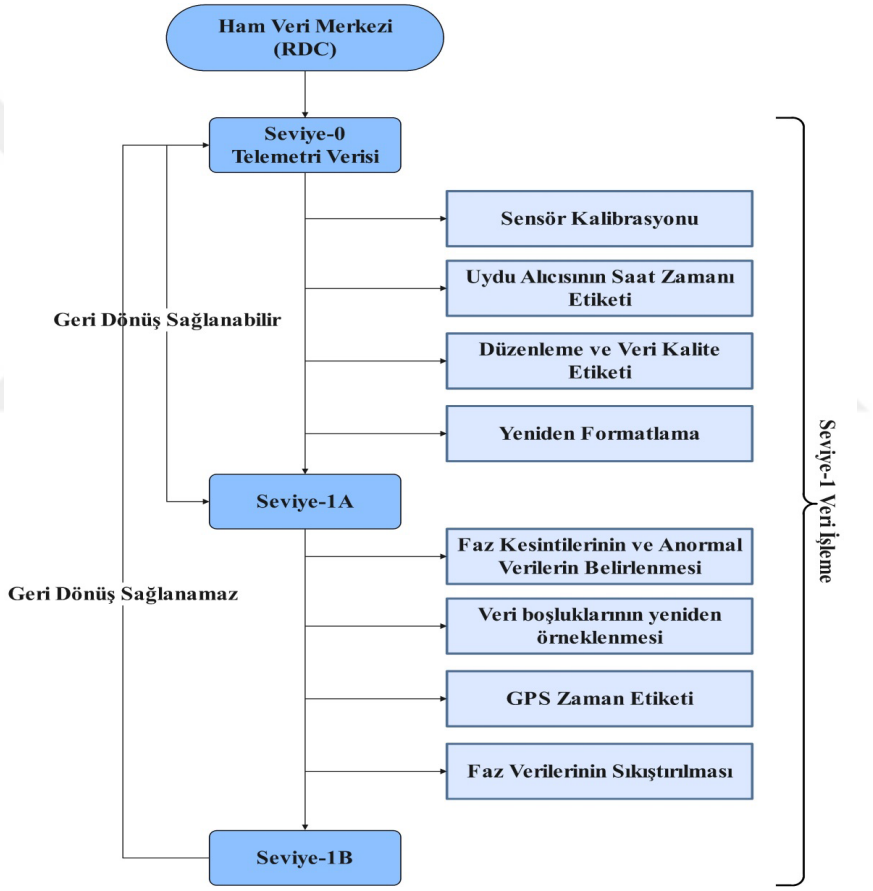
Tablo 4. GRACE ve GRACE-FO uydu misyonlarına ait Seviye-0 veriler (~, belirsiz anlamına gelmektedir.) (Watkins vd., 2000)

Ölçümler	**Örnekleme Oranı**	**Zaman Aralığı**
K-Bant Faz	10 Hz	Devamlı
GPS Yörünge	1 Hz	Devamlı
GPS Okültasyon	50 Hz	Kısa Aralıklar (<200/gün)
GPS İyonosfer	~	~
ACC İvme	10 Hz	Devamlı
SCA Kuarterniyonlar	1 Hz	Devamlı
Donanımsal Veri	Tüm	Devamlı

Seviye-0 verileri yukarıda Tablo 4'te gösterilen verilerin yanı sıra ikili kodlanmış ölçeklenmemiş cihaz iletişim verilerini de içerir. Bu cihaz iletişim verilerine ilgili cihaz ve uzay aracı tanımlama belgelerinde ayrıntılı olarak yer almaktadır (Bettadpur vd., 2012).

1.5.1. Seviye-1 Veri İşleme Adımları

Seviye-1 Veri İşleme Adımları iki adımda gerçekleşir (Şekil 10). Birinci adım Seviye-0 ile Seviye-1A arasındaki dönüşümü kapsar. Analiz merkezleri olan GFZ ve JPL bu dönüşümü yapar ve arşiv görevini gerçekleştirir.



Şekil 10. GRACE ve GRACE-FO uydu misyonlarına ait Seviye-1 Veri İşleme adımları

Ham telemetri verisi olan Seviye-0 verilerine sensör kalibrasyonu uygulanarak mühendislik birimlerine dönüştürülür. Buna ek olarak doğru zaman etiketleri kullanılır ve örnekleme hızını düşürerek yeniden formatlama işlemi gerçekleştirilir. Son olarak veri kalite etiketleri eklenir. Bu sayede Seviye-1A verileri elde edilmiş olur (Tablo 5). Seviye-1A verilerinden Seviye-0 verilerine geri dönüş sağlanabilir.

Tablo 5. GRACE ve GRACE-FO uydu misyonlarına ait Seviye-1A veriler (SNR sinyal gürültü oranını temsil eder.)

Ölçümler	Ürün	Örnekleme Oranı
K-Bant Mesafe	K ve Ka frekansı entegre taşıyıcı faz	0.1 sn
GPS Yörünge	SNR + Fazlar	1-0.1 Hz
GPS Radyo Okültasyon	SNR + Fazlar	50 Hz
ACC İvme	Doğrusal ve Açısal İvme	0.1 sn
SCA Kuarterniyonlar	SCA Eksenlerinin Yönelimi	0.5-5 sn

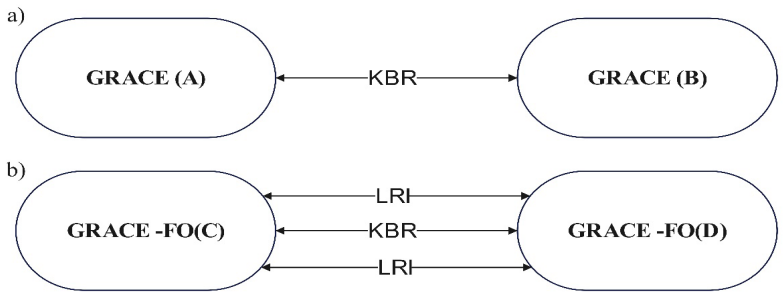
İkinci adım ise Seviye-1A verilerinden Seviye-1B verilerine dönüşümdür ve geri dönüşü olmayan işlemdir. GFZ ve JPL hem bu dönüşümün hem de çıktı ürünlerin arşivlenmesinden sorumludur. Girdi verilerinin (Seviye-1A) tümüne zaman etiketi düzeltmesi, anormal veri tespiti, veri boşluklarının doldurulması ve örnekleme oranının 5 sn yapılması işlemleri uygulanır. Seviye-1A KBR verilerinde faz kesintileri tespit edilip işaretlenir. Oluşan kesintiler sonucunda veri boşlukları meydana gelir. Oluşan boşluklar EKK (En Küçük Kareler) Tahmini, Doğrusal Enterpolasyon veya Kuadratik Enterpolasyon yöntemi ile doldurulmaya çalışılır. Ancak meydana gelen boşluk 21 sn ve üzerinde ise doldurulmaz. Faz kesintileri ile meydana gelen zaman etiketi bozulmaları giderilir. Mesafe verilerinin CRN dijital filtrelememesiyle (Thomas, 1999) birlikte DOWR (Dual One Way Range) veya TWR (Two Way Range) ve sırasıyla 1. ve 2. türevleri olan Mesafe Oranı (Range Rate) ve Mesafe İvmesi (Range Accelaration) verileri elde edilir.

Tablo 6. GRACE ve GRACE-FO uydu misyonlarına ait Seviye-1B veriler

Ölçümler	Ürün	Örnekleme Oranı
K-Bant Mesafe	Yanlı Mesafe ve Türevleri	5 sn
Uyduya Lazer Mesafe	Yer-GRACE Mesafesi (2 yol)	5 sn
Uydu Konumu ve Hızı		5 sn
ACC İvme	Yerçekimi Olmayan Doğrusal İvmeler	5 sn
Uzay Aracı Tutumu	Uzay Aracı ve ACC tutumu	5 sn

Dünya'nın yerçekimi alanındaki değişikliklerden kaynaklanan ikiz uydular arasındaki mesafe değişimleri, uydulara yerleşik olan KBR ve LRI kullanılarak faz değişimlerinin ölçümleriyle elde edilir. Sinyal faz değişimleri Seviye-1A KBR (GRACE için) ve LRI (GRACE-FO için hem KBR hem LRI) verilerinden sağlanır. Bu faz değişimlerin kalite kontrolü yapılır ve etiketlenir. Verilerde var olan kesintiler, zaman boşlukları ve

süreksizlikler düzeltilir. Verilerin alıcı zaman etiketleri GPS zaman etiketlerine dönüştürülür.



Şekil 11. GRACE (a) ve GRACE-FO (b) uydularında yer alan KBR ve LRI sistemlerinin gösterimi

Her ölçüm zaman etiketi içi KBR Yanlı Mesafe yani DOWR,

$$\Psi_{DOWR} = c * (\psi_C + \psi_D) / (f_C + f_D) \quad (1)$$

eşitliği ile elde edilir. Burada Eşitlik 1'de yer alan Ψ_{DOWR}, KBR Yanlı Mesafe; c, ışık hızını; C ve D GRACE-FO ikiz uyduları temsil etmek üzere ψ_C ve ψ_D, her bir uydudaki faz ölçümlerini; f_C ve f_D ise her bir uydunun frekansını temsil etmektedir.

LRI faz ölçümlerinin yorumlanması için ikiz uydular arasında hangi uydunun master (önde giden) hangi uydunun transponder (takip eden) olduğu bilinmelidir. Bu bilgi SOE (Sequence of Events) dosyasından elde edilir. SOE dosyasında uyduda meydana gelen olaylar ve uydu sensörlerinin durumlarındaki değişiklikler hakkında bilgiler mevcuttur. Master uydudan lazer sinyali transponder uyduya ulaştığında, transponder uydu gelen lazer sinyale 10 MHz fark frekans ekler ve sinyali geri master uyduya gönderir. Bu nedenle ana ünitenin faz ölçümü, gidiş-dönüş mesafe ölçümüne ek olarak frekans bileşeni içerir (Eşitlik 2).

Yanlı Mesafe = Uydular Arası Doğru Mesafe + Bilinmeyen Sapma (2)

Yukarıda verilen Denklem 2'de yer alan Bilinmeyen Sapma rastlantısal olarak her günün zaman sınırları içerisinde farklılık gösterir. Her ölçüm zaman etiketi içi LRI Yanlı Mesafe yani TWR,

$$\Psi_{TWR} = c\,(-\Psi_M(t) + R_T(t - \tau))\,/(2f) \quad (3)$$

şeklinde elde edilir. Burada C ve D GRACE-FO ikiz uyduları temsil etmek üzere; Ψ_{TWR}, LRI Yanlı Mesafeyi; c, ışık hızını; $\psi_M(t)$, t zamanında master uydunun faz ölçümünü; $R_T(t - \tau)$, transponder uydunun $(t - \tau)$ zamanında eklediği fark frekans bileşenini; τ, sinyalin transponder uydudan çıkıp master uyduya ulaşması için geçen süreyi; f, ise master uydunun frekansını temsil etmektedir.

Elde edilen KBR ve LRI Yanlı Mesafe değerlerine ve türevlerine çeşitli düzeltmeler getirilir (Eşitlik 4, 5, 6). Master uydudan çıkan sinyalin transponder uyduya iletilmesi daha kısa zaman sürerken; transponderden çıkan sinyalin master uyduya ulaşması daha uzun zaman alır. Işık Zamanı Düzeltmesi (Light Time Correction-LTC) bu farkı dikkate alarak her iki uydunun yörünge boyunca ilerlediğini hesaba katan mesafe verisine ilave edilen düzeltmedir.

K-Bant sinyalleri uydu kütle merkezinden oluşturulmaz, KBR başlığından oluşturulur. Bu nedenle uydu kütle merkezleri arasındaki mesafe doğru ölçülemez. Yapılan Anten Öteleme Düzeltmesi (Antenna Offset Correction-AOC) ile uyduların kütle merkezlerinin birbirine olan mesafesi elde edilir. Bu düzeltme sadece KBR içindir.

Her bir uydu için misyon öncesinde belirlenen frekanslar mevcuttur. LRI sisteminde her bir sinyal için frekans uydu üzerinde üretilir. Uydu göreve devam ederken bu sinyal frekansları değişir ve uydu üzerinde bu değişimler ölçülemez. Bu nedenle LRI faz farkı ölçümleri gerçek mesafe değerlerine çevrilemez. Bunu engellemek adına günlük ağırlıklı LRI Ölçek Düzeltmesi (LRI Scale Correction-LSC) hesaplanır ve LRI-KBR mesafe değerleri arasındaki farkı minimuma indirgemeye çalışılır. Bu düzeltme sadece LRI içindir.

Seviye-1A LRI mesafe verilerinde itici ateşlemelerinden kaynaklanan veya küçük sıçrama fazlarından dolayı faz aksaklıkları meydana gelir. Bu nedenle LRI Faz Aksaklıklarının Giderilmesi (LRI Phase Glitch Removal-LPGR) için

$$\text{Düzeltilmiş Yanlı Mesafe} = \text{Yanlı Mesafe} + \text{LTC} + \text{AOC} + \text{LSC} + \text{LPGR} \quad (4)$$

$$\text{Düzeltilmiş Mesafe Oranı} = \text{Mesafe Oranı} + \text{LTC} + \text{AOC} + \text{LSC} + \text{LPGR} \quad (5)$$

$$\text{Düzeltilmiş Mesafe İvmesi} = \text{Mesafe İvmesi} + \text{LTC} + \text{AOC} + \text{LSC} + \text{LPGR} \quad (6)$$

düzeltmeleri uygulanır. Bu düzeltmeler veriler 10 Hz örnekleme oranına sahipken yapılır. Daha sonra CRN Filtresiyle sıkıştırılarak istenilen örnekleme oranına dönüştürülür.

Seviye-1 Veri İşleme sürecinde GFZ tarafından ayrıca ilgili okyanus dinamiklerinden çıkarılan yüksek frekasnlı ve gelgit harici atmosfer ve okyanuslardaki konumsal-zamansal kütle değişikliklerini yansıtan AOD1B (Atmosphere and Ocean De-aliasing Level-1B) modeli üretilir. Yapılan tüm Seviye-1 işlemlerinde GRACE ve GRACE-FO uyduları için fonksiyonlar tanımlanmıştır. Bunlar hakkında daha detaylı bilgiler edinmek adına JPL/NASA PODAAC resmi internet adresinde yer alan "GRACE Level 1B Data Product User Handbook" ve "Algorithm Theoretical Basis Document for GRACE Level 1B Data Processing GRACE" dosyalarına erişilebilir.

1.5.2. Seviye-2 Veri İşleme Adımları

Jeopotansiyel kavramı Dünya'nın sahip olduğu tüm katı ve akışkan bileşenlerini içeren dış potansiyeli olarak, "1 kg'lık kütleyi deniz seviyesinden belirli bir noktaya yükseltmek için yerçekimi alanına karşı yapılması gereken iş" veya "Birim kütleye etki eden yerçekimi potansiyeli" şeklinde açıklanabilir (Wallace ve Hobbs, 2006). Herhangi bir A noktasının, jeosantrik yarıçapı r; coğrafi enlem ve boylamı sırasıyla φ, λ; yerçekimsel katsayısı μ; a_e ortalama ekvator yarıçapı olmak üzere Dünya'nın dış potansiyeli yani jeopotansiyeli

$$V(r,\varphi,\lambda;\mathrm{t}) = \frac{\mu}{r} + \frac{\mu}{r}\sum_{l=2}^{Nmax}\left(\frac{a_e}{r}\right)^{l}\sum_{m=0}^{l}\overline{P}_{lm}\,(sin\varphi)\{\,\overline{C}_{lm}(t)\cos m\lambda + \overline{S}_{lm}(t)\sin m\lambda\} \qquad (7)$$

eşitliği ile elde edilir. $\overline{P}_{lm}\,(sin\varphi)$ tamamen normalize edilmiş l derece m mertebe ilişkili Legendre Polinomları, $\overline{C}_{lm}$ ve $\overline{S}_{lm}$ tamamen normalize edilmiş jeopotansiyelin Küresel Harmonik Katsayılarını (Spherical Harmonic Coefficients-SHC) temsil eder. Sabit bir konumdaki jeopotansiyel, kütle hareketleri ve değişimlerinden dolayı sürekli değişmektedir. Bu nedenle eşitliğin sol tarafındaki t zaman ifadesi bunun için eklenmiştir.

Küresel Harmonik Katsayıların kütle dağılımı ile ilişkisi,

$$\begin{pmatrix}\overline{C}_{lm}\\ \overline{S}_{lm}\end{pmatrix} = \frac{1}{(2l+1)M_e}\times\iiint_{Global}\left(\frac{\acute{r}}{a_e}\right)^{l}\overline{P}_{lm}\sin\acute{\varphi}\begin{pmatrix}\cos m\acute{\lambda}\\ \sin m\acute{\lambda}\end{pmatrix}dM \qquad (8)$$

eşitliği ile açıklanır. Burada $\acute{r}$, ϕ ve $\acute{\lambda}\, dM$ kütle öğesinin koordinatlarını temsil eder. İntegral katı ve akışkan bileşenleri de dahil olmak üzere Dünya'nın tüm kütle bileşenleri üzerinde gerçekleşir.

Her uydu üzerinde jeopotansiyel etkiye sahiptir. Uygun zaman diliminde (aylık), uygun coğrafi kapsam ile yerçekimi kuvveti dışındaki kuvvetler için düzeltmelerin yapıldığı Yanlı Mesafe verileri, Dünya'nın yerçekimi alanını ve belirlenen zaman dilimindeki değişimini temsil eder. Her uydu için hareket modeli

$$\ddot{\overrightarrow{r_A}} = \overrightarrow{f_A};\ \ddot{\overrightarrow{r_B}} = \overrightarrow{f_B} \tag{9}$$

eşitliği ile elde edilir. A ve B harfleri GRACE veya GRACE-FO uydularını temsil etmek üzere; $\ddot{\vec{r}}$, $\vec{r}$ konum vektörünün türevi; $\vec{f}$ ise uyduya etki eden yerçekimsel ve yerçekimsel olmayan ivmelerin toplamını ifade eder.

GRACE ve GRACE-FO uydu bilimsel verilerini işleme sürecinin öncesinde çok iyi bilinen jeopotansiyel modele yani Arka Plan Gravite Modeli (Background Gravity Model) gereklidir. Bu Arka Plan Gravite Modeline getirilen güncellemelerden tahminler yapılır. Arka Plan Gravite Modellerine örnek olarak GGM01(GRACE Gravity Model 01), GGM02, GGM03, GGM05; EGM84 (Earth Gravitational Model 1984), EGM96, EGM2008 ve EGM2020 gösterilebilir. Bu modellere (https://www2.csr.utexas.edu/grace/gravity/) CSR resmi internet adresinden ulaşılabilir. Arka Plan Gravite Modeli Yanlı Mesafe ve türevlerinin en iyi bilinen değerini tahmin etmek için matematiksel model ve ilgili parametre değerlerini içerir. Ayrıca her iki uydunun dinamiklerini ve ölçümlerini de içerir. Kullanılan Arka Plan Gravite Modeli, Dünya'nın yerçekimi alanından iki sebeple farklılık gösterir. Bunlardan birincisi, belirli olayların ve konumsal bileşenlerin göz ardı edilmesidir. Bunun sebebi de GRACE/-FO uydularının yerçekimi alanındaki hızlı değişiklikleri iyi bir şekilde belirleyememesidir. İkincisi ise belirli olaylara karşı yanlış modellere ve parametre değerlerine sahip olmasındandır. Bu sebeplerden ötürü gözlemlenen ve tahmin edilen mesafe değerleri arasında fark çıkmaktadır. Bu farklar EKK yaklaşımında minimuma ulaştıkça modele yönelik güncelleme hesaplanır. Bu güncelleme GRACE/-FO uydularından elde edilebilecek yeni gravite bilgisi olarak kabul edilir. Jeopotansiyeldeki uzun dönemli değişimler, benimsenen Arka Plan Gravite Modeline göre belirlenen süre boyunca Küresel Harmonik Katsayılar ile izlenebilir. Belirli zaman aralığındaki toplam jeopotansiyel, Arka Plan Gravite Modeli ile jeopotansiyel tahmin güncellemesinin toplamı olarak

Toplam Jeopotansiyel = Arka Plan Gravite Model + Jeopotansiyel Tahmin (10)

şeklinde ifade edilir.

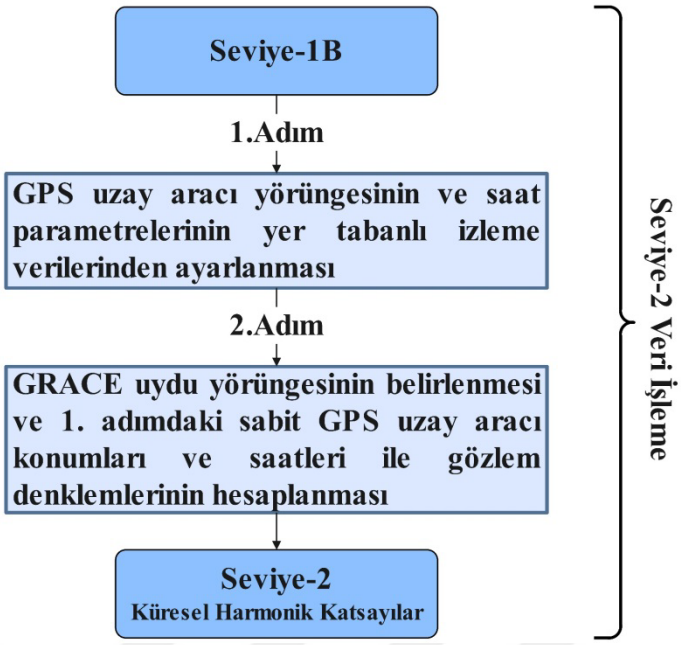
GRACE ve GRACE-FO Seviye-2 verileri yerçekimi alanını temsil etmek için Küresel Harmonik Katsayılar ile ifade edilir. Bunun haricinde çeşitli veriler de üretilir. GRACE ve GRACE-FO Seviye-2 verileri karakterize edecek şekilde, *PID-2_YYYYDOY-YYYYDOY_dddd_sssss_mmmm_rrvv*, adlandırılır. "PID" ürün tanımlama anahtarı, "-2" ise Seviye-2 veri olduğunu göstermektedir. "PID" ilk karakteri G olarak tanımlanır ve Jeopotansiyel Katsayı anlamını taşır. İkinci karakteri S, C ve A şeklinde tanımlanabilir. S, sadece GRACE veya GRACE-FO (hangi uydu verisi kullanıldığına bağlı) verilerinden elde edilen tahmini; C, GRACE veya GRACE-FO ve yersel gravite bilgilerinden elde edilen kombinasyon tahmini; A ise belirli bir süre boyunca herhangi bir arka plan modelin ortalamasını temsil eder. Üçüncü karakter M, U, A, B, C, D harfleri ile tanımlanabilir. M, statik alanın tahminini; U, Arka Plan Gravite Modeliyle ilişkili Jeopotansiyel tahmini; A, gelgitsiz atmosferi; B, gelgitsiz okyanusu; C, gelgitsiz okyanus ve atmosferin kombinasyonunu; D, okyanuslarda taban basıncını (karada sıfır) temsil etmektedir. "YYYYDOY-YYYYDOY" yıl ve yıldaki gün sayısının verinin oluşturulduğu zaman aralığı için karşılığıdır. "dddd" yerçekimi misyonunu temsil eder. "dddd" gravite misyonunu GRAC (GRACE) veya GRFO (GRACE-FO) şeklinde temsil eder. "sssss" verinin hangi analiz merkezinde işlem gördüğünü UTCSR, JPLEM ve GFZOP şeklinde temsil eder. "mmmm" gravite çözümünü temsil eder. Birinci karakteri gravite çözümü için kullanılan birincil gözlem tipini MWI (Micro Wave Instrument- Mikrodalga KBR) veya LRI olduğunu belirlemeye yeterlidir. Birinci karakteri A ise MWI Mesafe, B ise MWI Mesafe Oranı, C ise MWI Mesafe İvmesi, D ise LRI Mesafe, E ise LRI Mesafe Oranı, F ise LRI Mesafe İvmesi, G ise MWI + LRI Mesafe, MWI + LRI Mesafe Oranı, MWI + LRI Mesafe İvmesi verilerini temsil eder. İkinci karakter A ise 60×60, B ise 96×96, C ise 180×180, D ise 60×30, E ise 100×100, F ise 90×90 Küresel Harmonik Açılımı temsil eder. Üçüncü ve dördüncü karakterler ya 01 ya da 02 olur. 01, kısıtlamasız çözümü, 02 kısıtlamalı çözüm anlamına gelir. "rrvv" kısmında rr çözümün sürümünü (RL-release), vv ise versiyonunu gösterir. Örneğin ICGEM resmi internet adresinde yayınlanan "GSM-2_2002094-2002120_GRAC_JPLEM_BB01_0600" dosyasını ele alalım. "GSM-2" Seviye-2 Jeopotansiyel Katsayıların sadece GRACE uydu misyonuna ait statik alan tahminlerini

içerdiğini gösterir. “2002094-2002120” 2002 yılında yılın 94. ve 120. günleri arasındaki ölçümleri kapsadığını gösterir. “GRAC” GRACE uydu misyonunun kullanıldığını, “JPLEM” JPL analiz merkezinde işlem gördüğünü, “BB” MWI Mesafe Oranı verilerinin kullanıldığını, “01” kısıtlamasız bir çözüm yapıldığını, “06” sürüm numarasını, “00” ise versiyon numarasını gösterir.

Tablo 7. GRACE ve GRACE-FO uydu misyonlarına ait Seviye-2 veriler (* SDS sorumluluğunda değildir.)

Ölçümler	**Ürün**	**Örnekleme Oranı**
Jeopotansiyel Alan	Küresel Harmonik Katsayılar	30 Gün veya Daha fazla
Uydu Konumu ve Hızı	Kartezyen	5 sn
Aşırı Gecikme ve Kırılma*		<50 Hz
Sıcaklık ve Su Buharı*		<50 Hz

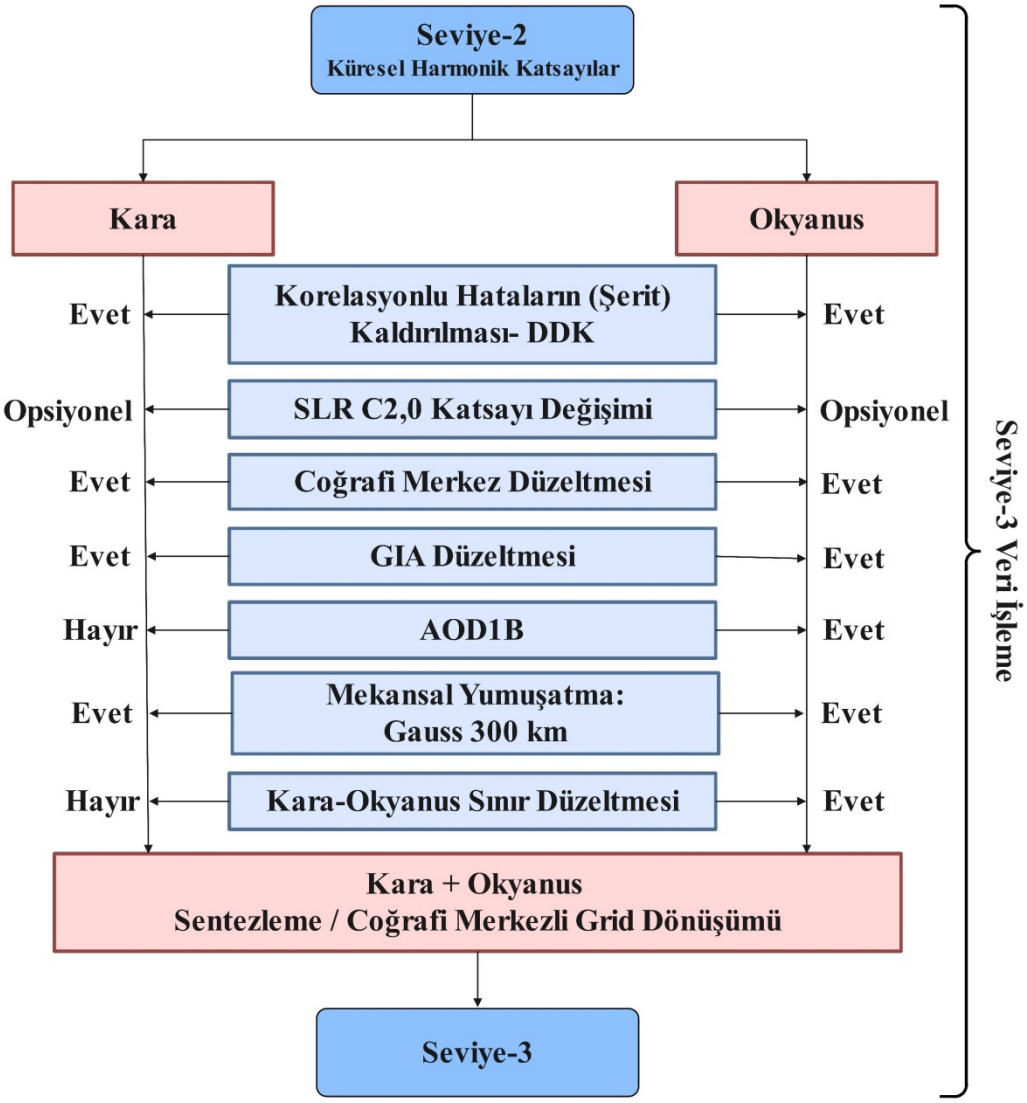
(Dahle vd.,2018), GFZ Seviye-2 İşlem Standartları Belgesinde, Seviye-2 verileri GFZ EPOS (Earth Parameter and Orbit System) yazılımı kullanılarak iki aşamada üretildiğinden bahsetmektedir (Şekil 12). Birinci aşamada GPS uydusu yörünge ve saat parametrelerinin yer tabanlı gözlem verilerinden ayarlanması yer alır. İkinci aşamada ise GRACE ve GRACE-FO uydularının yörüngelerinin belirlenmesi, GPS ile gözlem denklemlerinin hesaplanması yer almaktadır. Girdi verileri ACC1B (İvme Ölçer Verisi), GNV1B (GPS Navigasyon Verisi), GPS1B (GPS Uçuş Verisi), KBR1B (KBR Mesafe Verisi), SCA1B (Yıldız Kamera Verisi), AOD1B şeklindedir. RL06 (Release 06-Sürüm 06) Seviye-2 verileri 60 derece × 60 mertebe ve 96 derece × 96 mertebe olacak şekilde iki versiyonda üretilir.



Şekil 12. GRACE ve GRACE-FO uydu misyonlarına ait Seviye-2 Veri İşleme adımları

1.5.3. Seviye-3 Veri İşleme Adımları

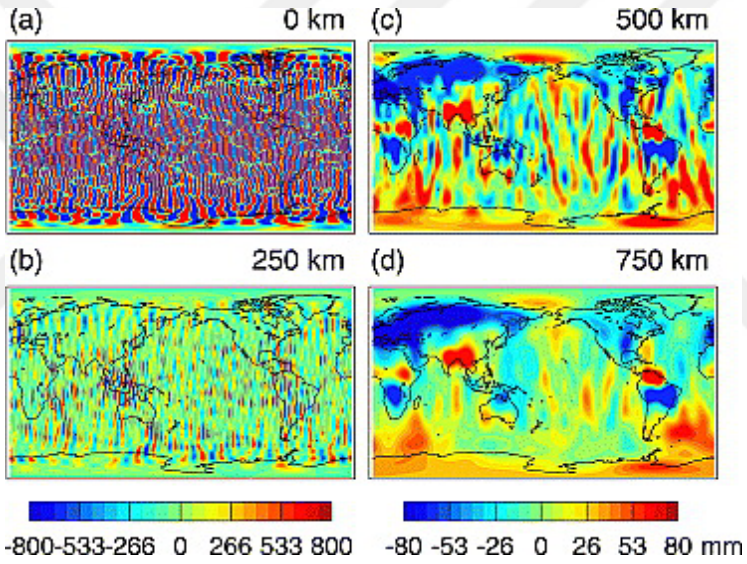
Seviye-2 Veri İşleme sürecinden sonra elde edilen Seviye-2 verileri Dünya'nın yerçekimi alanını temsil eden Küresel Harmonik Katsayıları Seviye-3 verilerine dönüştürülerek hem coğrafi anlamda hem de kullanım açısından kullanıcı dostu veriler elde edilmiş olur. Seviye-2 verilerinde çeşitli hatalar bulunmaktadır. Bunlara yanlış model veya bilgilerin kullanılması, belirli olayların veya değişimlerin göz ardı edilmesi, rastgele ölçüm hataları, korelasyonlu hatalar ve sızıntı hataları örnek verilebilir. Yapılacak çalışmanın bölgesel anlamda karasal ve okyanus ayrımını CRI (Coastal Resolution Improvement- Kıyı Çözünürlük Geliştirme) filtresiyle daha iyi hale getirilmesiyle Seviye-3 verilerin kullanılması daha da popüler hale gelmiştir. Tüm bu hataların giderilmesi kullanıcı adına bir yüktür. Seviye-3 veri ile kullanıcı, tüm bu hataların giderildiği coğrafi anlamda bölgesel sınırlamalar yapabileceği, kütle varyasyonlarının zamana göre nasıl değiştiğini direkt olarak görebileceği veri elde etmiş olur. Yapılan filtreleme işlemleri, düzeltmeler, modellerin kullanılması gibi aşamaların tümüne Seviye-3 Veri İşleme denir (Şekil 13). Bu işlemler sonucunda Seviye-2 aylık yerçekimi anomalileri yüzey kütle anomalisine dönüştürülür, hataları giderilir ve coğrafi ızgaralara (gridlere) eşlenir (Landerer ve Cooley, 2021).



Şekil 13. GRACE ve GRACE-FO uydu misyonlarına ait Seviye-3 Veri İşleme adımları

(Swenson ve Wahr, 2006), GRACE uydu Seviye-2 Küresel Harmonik Katsayıları verilerinde gürültülü kısa dalga boylu bileşenlerin olduğu ve bunların giderilmesi gerektiğine değinmiştir. Bunun nedeni ise uyduların yörüngesine dik düzlemdeki gözlemlenebilirlik eksikliğinin olmasıdır. Korelasyonlu hatalar Kuzey - Güney şeritleri şeklinde kendini göstermektedir (Şekil 14). Bu gürültülerin giderilmediği GRACE verilerinden hesaplanacak yüzey kütle anomalilerinin haritasına yüksek dereceli Küresel Harmonik Katsayılardaki hatalar hâkim olacaktır. GRACE verilerinin haritalaması yapıldığında şeritlerin varlığı gözlenmesiyle GRACE verilerindeki hataların yüksek konumsal korelasyona sahip olduğu söylenmesi mümkündür. Düzgünleştirme veya yumuşatma seviyeleri arttıkça şeritlerin genliği azalır ve yok olmaya başlarlar. Ancak bu sırada gerçek jeofizik sinyallerde kayıp yaşanabilir. Bu hataların giderilmesi için İzotropik

Gauss Filtresi (Wahr vd., 1998), kalibre edilmiş hata spektrumuna dayalı bir anizotropik filtre, sinyal ve ölçüm hatası varyanslarının önsel tahminlerine dayanan optimal filtreler (Swenson ve Wahr, 2002; Seo ve Wilson, 2005) uygulanmaktadır. Ancak bu yöntemlerin hiçbiri veri içerisindeki korelasyonlu hataları dikkate almaz. Bunlara ek olarak (Duan vd., 2009; Chambers ve Bonin, 2012) çalışmaları mevcuttur. GRACE ve GRACE-FO veri işlemede bu korelasyonlu hataların giderilmesi adına (Swenson ve Wahr, 2006) yaklaşımı temel alınmıştır. Popüler olarak kullanılmakta olan ve ICGEM resmi adresinde de verilerde var olan DDK (Kusche, 2007) Filtrelemesi, Gauss Filtreleme yöntemine göre korelasyonlu hataların kaldırılmasında hem daha etkili olduğu hem de verileri saptırma olasılığının daha düşük olduğu gözlenmiştir (Sakumura, 2014).



Şekil 14. Gauss Filtresiyle farklı filtre yarıçapları ile filtrelenen GRACE aylık su anomalilerinden türetilen haritaları

Şekil 14'te yer alan (a) haritasında herhangi bir filtreleme ve yumuşatma yoktur. Görüldüğü üzere kuzey güney yönünde uzanan şeritler mevcuttur. (b) haritasında Gauss 250 km filtreleme işlemi mevcut ve su anomalilerin belirginliği artarken şerit hatalarında azalmalar görülmüştür. (c) 500 km Gauss ile filtrelenmiş harita; (d) haritasında 750 km Gauss ile filtreleme işlemi mevcuttur (Swenson ve Wahr, 2006). Bu haritada artık su anomalileri tamamen ortaya çıkmaya başlamış ve korelasyonlu hatalar yani şeritler yok olmaya başlamıştır. Ancak filtre yarıçapındaki artış gerçek sinyallerde sapmalara sebep olmuştur. Yaşanan sinyal kayıplarının geriye döndürülmesi ve kurtarılması adına ölçek faktörleri belirlenmiştir (Landerer ve Swenson, 2012). Ölçek faktörleri GRACE uydu misyonu

haricinde hidrolojik bir modelden elde edilen TWS verilerine Veri İşleme adımları uygulanarak elde edilir. Hidrolojik modelden elde edilen TWS verilerine gerekli işlemler uygulandıktan sonra GRACE TWS verileri ile karşılaştırılır. Sinyal genlikleri arasındaki farklılar belirlenir. Daha sonra ölçek faktörleri GRACE TWS verilerine göre optimize edilir. Sonuç olarak ölçek faktörleri GRACE uydu misyonundan bağımsız hesaplanmış olur. Ölçek faktörü GRACE TWS verilerinin sahip olduğu zaman serisinin şeklini değiştirmez sadece TWS genliğindeki ortalama sapmayı ele alır. Komşu gridler arasındaki korelasyon ölçek faktörünün uygulanmasından etkilenmez (Humphrey vd., 2023).

Korelasyonlu hataların giderilmesi için gerçekleştirilen filtreleme yöntemleri önemli miktarda hataları ortadan kaldırmaktadır. Ancak bu filtrelemeler sonucu geriye hatalar kalabilmektedir. Bu hataların gidermek adına Gauss Mekânsal Yumuşatma Filtresi uygulanır. Karalar için 300 km, okyanuslar için 500 km filtreleme yarıçapı kullanılır.

1.Derece katsayılar haricinde yüksek mertebe ve derecedeki katsayılar (derece ≥ 2) GRACE ve GRACE-FO uydu misyonları ile direkt olarak gözlemlenebilir. Ancak uzun dalga boylu ve düşük derece GRACE veya GRACE-FO uydularından elde edilen jeoit alan katsayıları gürültülere sahiptir. Bu nedenle de GRACE ve GRACE-FO Seviye-2 aylık çözümlerinden elde edilen Küresel Harmonik Katsayıları C_{20} (2. derece, 0. mertebe (düzey)) katsayıları da hatalar içerir. Ancak GRACE-FO ile SLR çok daha yüksek doğrulukta C_{20} katsayıları gözlemleyebilmektedir (Cheng vd., 2017, 2023). Bu sebeple SLR ile gözlemlenen C_{20} katsayıları, doğruluğu arttırmak adına GRACE veya GRACE-FO ile gözlemlenen C_{20} katsayıları yerine kullanılabilir. Bu işlem C_{20} katsayı değişimi olarak ele alınır ve yapılacak analizlerden önce zorunlu olarak yapılması gereken bir işlem değildir. GRACE ve GRACE-FO için yayınlanan Teknik Notlardan C_{20} katsayılarına ulaşılabilir.

Yeryüzündeki bir kütle değişiminin tamamen anlaşılabilmesi için tüm Küresel Harmonik Katsayılarının bilinmesi gerekmektedir. Küresel Harmonik Katsayılar hem yüzey kütle değişimlerini hem de katı Dünya deformasyonlarından kaynaklanan etkilerini içermektedir. Katsayıların Love Sayıları ile çarpılması ile yüzey kütle değişimleri elde edilebilir. Ancak referans koordinat sisteminin seçimi ve katı Dünya sistemi ile ilgili olan 1.derece katsayıları için geçerli değildir. Bir önceki paragrafta söylendiği üzere GRACE ve GRACE-FO uydu misyonları 1.derece katsayıları direkt olarak elde edemez. GRACE ve GRACE-FO uydularının yerçekimi alanındaki değişimleri ölçerken referans çerçevesinin orijini Dünya'nın merkezi kabul edilir. Dünya'nın merkeziyle ilgili 1.derece Küresel Harmonik Katsayılar sıfırdır. Bu nedenle herhangi bir çarpımsal ifade ile elde edilemezler.

(Swenson vd., 2008), GRACE uydu misyonundan elde edilen veriler ve okyanus modelinin ortaklaşa olarak kullanılmasıyla birlikte coğrafi merkez anomalilerinin zaman serisini tahmin etmiştir. Elde edilen sonuçlar, uydu lazer mesafesi ve GPS gibi diğer uydu verilerinden elde edilen bağımsız coğrafi merkez tahminleriyle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak GRACE Seviye-2 Küresel Harmonik Katsayılar ile tutarlı 1.derece katsayılar hesaplamışlardır. GRACE ve GRACE-FO Seviye-3 İşleme, 1.derece katsayıları (Swenson vd., 2008) çalışmasına dayalı bir tahminini kullanır. Her bir analiz merkezine ait coğrafi merkez, 1.derece Küresel Harmonik Katsayıları GRACE ve GRACE-FO için yayınlanan Teknik Notlardan ulaşılabilir. Ayrıca hem C20 hem de 1.derece katsayıları için "ftp://isdcftp.gfz-potsdam.de/grace/DOCUMENTS/TECHNICAL_NOTES" ftp adresi kullanılabilir (GRACE için). Yayınlanan 1.derece katsayıların GRACE veya GRACE-FO uydu katsayıları ile değiştirilmesi Coğrafi Merkez Düzeltmesi olarak adlandırılır.

Eskiden buzullarla kaplı bölgelerin (Antarktika, Grönland, Kanada) mantosu günümüzde de hala bu etkinin altındadır. Hatta her yıl deniz seviyesinde ve mantosunda mm/yıl cinsinden değişimler gerçekleşmektedir. GRACE ve GRACE-FO uydu misyonları ile dikey olarak ölçülen kütle değişimleri bu etkiyi de kapsamaktadır. Bu nedenle GRACE misyonları ile elde edilen kütle değişimleri buzul etkisini de içerisinde barındırmaktadır (Dobslow vd., 2017). Bu etkinin giderilmesi için Buzul İzostatik Denge (Glacial Isostatic Adjustment-GIA) verilere uygulanır. Bu sayede verilerde yer alan buzul etkileri giderilmiş olur (Tamisiea vd., 2007; Caron vd., 2018). Farklı birçok GIA modeli vardır ve sürekli olarak güncellenmektedirler.

Dünyanın yerçekimi alanındaki zamansal değişiklikler yalnızca karasal su depolama değişimleri nedeniyle değil, aynı zamanda diğer birçok süreç nedeniyle de meydana gelir (Humphrey vd., 2023). Hem atmosfer hem de okyanusun neden olduğu Dünya'nın yerçekimi alanındaki yüksek frekanslı değişiklikler, yetersiz örnekleme nedeniyle aylık yerçekimi verileriyle örtüşecektir ve bu nedenle düzeltilmesi gerekmektedir (Landerer ve Cooley, 2021). Örneğin, atmosferik ve okyanusal dolaşımlar, birkaç saatten birkaç güne kadar zamansal ölçeklerde yerçekimi alanı değişikliklerine neden olur (Dobslaw vd., 2013). Atmosfer ve Okyanus De-Aliasing Seviye 1B (AOD1B) ürünü, atmosfer ve okyanustaki kütle değişkenliğinin neden olduğu Dünya'nın yerçekimi alanındaki zamansal değişimleri hakkında önceden bilgi sağlar. Bu ürün sayesinde atmosfer okyanus kaynaklı etkiler giderilmiş olur. AOD1B tamamen normalize edilmiş dış yerçekimi alanı anomalilerinin Küresel Harmonik Katsayılarını sağlar. Dört farklı katsayı setini içerir. Bunlar kıtalar

üzerindeki atmosferik yüzey basıncının katkısını içeren ATM, okyanus taban basıncı OCN, ATM ve OCN katsayılarının toplamı, hassas yörünge belirlemede tipik olarak arka plan modeli olarak uygulanan GLO ve dördüncü ve son olarak belirli oşinografik uygulamalar için, kıtalar üzerinde sıfır olan ve başka yerlerdeki hava ve su katkılarını içeren simüle edilmiş okyanus tabanı basıncını sağlayan OBA katsayılarıdır. 1 Ocak 1975 tarihinden itibaren atmosferik ve okyanusal basınç anomalilerini jeodezik ve gravimetrik misyonlar (CHAMP, GOCE, LAGEOS, Starlette) için 180 derece × 180 mertebe, zamansal çözünürlüğü 3 saat olacak şekilde Küresel Harmonik Katsayı şeklinde üretilmektedir (Shihora vd., 2023). AOD1B GRACE ve GRACE-FO için misyonların başlamasından itibaren GFZ tarafından rutin olarak üretilmektedir (Flechtner 2007; Flechtner vd. 2015). "ftp://isdcftp.gfz-potsdam.de/grace-fo/Level-1B/GFZ/AOD" ftp linkinden GFZ analiz merkezinin ürettiği AOD1B verilerine ulaşılabilir. Son sürüm olarak AOD1B RL07 mevcuttur.

GRACE ve GRACE-FO uydu misyonlarının sınırlı konumsal çözünürlüğüne sahip olmasından kaynaklı kara - okyanus sınır ayrımı da sınırlıdır. Karada meydana gelen büyük sinyaller bitişik okyanus alanlarına sızabilir ve okyanus taban basıncı değişimini yanlış etkileyebilir (Chambers ve Bonin, 2012). Sızan sinyalin hesabı ve kara - okyanus sinyal ayrımını iyileştirmek adına çalışmalar yapılmıştır (Wahr vd., 1998; Chambers ve Bonin, 2012). Normal olarak hem karadan okyanusa hem de okyanustan karaya sızıntı olabilir. Ancak okyanus sinyallerinin kara sinyallerinden önemli ölçüde küçük olduğu için okyanustan karaya sızıntı göz ardı edilebilir. Bu nedenle konumsal sızıntı düzeltmesi yani kara - okyanus sınır düzeltmesi sadece okyanus ızgaraları üzerinde gerçekleştirilir.

Seviye-2 verilerinden Seviye-3 verilerine geçişin son adımı Küresel Harmonik Katsayılardan coğrafi referanslı 1 derece enlem × 1 derece boylam veya 0.5 derece enlem × 0.5 derece boylam çözünürlüğüne sahip ızgaralara tanımlanmasıdır (Wahr vd., 1998). Tüm bu veri işleme adımlarının (Seviye-1, -2, -3 Veri İşleme) uygulanmasıyla birlikte GRACE ve GRACE-FO uydu misyonlarından elde edilen TWS verileri üretilmiş olur. Bu bölümün başında bahsedildiği üç farklı analiz merkezi GFZ, JPL ve CSR vardır. Bu analiz merkezlerinden sadece GFZ ve JPL Seviye-1 Veri İşleme ile Seviye-1 verileri elde eder. Seviye-2 ve Seviye-3 Veri İşlemeyi tüm analiz merkezleri gerçekleştirmektedir. 3 farklı analiz merkezinde verilerin işlenmesi sonucu çıktı ürünlerde farklılıklar oluşur. Bunun nedeni ise her bir analiz merkezinin gerçekleştirilen işlem adımlarını farklı algoritma ve yöntemlerle gerçekleştirmesindendir. Analiz merkezleri arasındaki farklılıklar yayınlanan

verilerin her sürümünde azalarak devam etmiştir. (Sakamura vd., 2014) çalışmasında GFZ, JPL ve CSR çözümlerinin aritmetik ortalamasının mevcut yerçekimi alanı dağılımındaki gürültüyü azalttığını göstermiştir. Bu sonucun elde edilmesiyle birlikte üç analiz merkezi çözümünün ortalamasının kullanılması kullanıcılara önerilmektedir (Landerer vd., 2021).

Seviye-3 verilerinin dosyalama isimlerini incelendiğinde format olarak Seviye-2 verilerine çok benzer olduğu görülmektedir. Ortak isimlendirme formatı olarak *"GRD-3_YYYYDOY-YYYYDOY_dddd_sssss_mmmm_rrvv_Realm_version"* kullanılır. "GRD-3" verinin Seviye-3 gridler halinde temsil edildiğini belirtir. "YYYYDOY-YYYYDOY" yıl ve yıldaki gün sayısının verinin oluşturulduğu zaman aralığı için karşılığıdır. "dddd" gravite misyonunu GRAC (GRACE) veya GRFO (GRACE-FO) şeklinde temsil eder. "sssss" verinin hangi analiz merkezinde işlem gördüğünü UTCSR, JPLEM ve GFZOP şeklinde temsil eder. "mmmm" gravite çözümünü temsil eder. Birinci karakteri gravite çözümündeki gözlem tipini belirtir. A ise MWI Mesafe, B ise MWI Mesafe Oranı, C ise MWI Mesafe İvmesi gözlem verilerinin kullanılmıştır. İkinci karakteri ise Küresel Harmonik Katsayıların açılımının boyutunu belirtir. A ise 60×60, B ise 96×96, C ise 180×180, D ise 60×30 açılım boyutlarını temsil eder. Üçüncü ve dördüncü karakteri 01 olarak ele alınır ve kısıtlamasız bir çözümü temsil eder. "rrvv" Seviye-3 çıktı verileri elde edilirken kullanılan Seviye-2 verilerinin sürüm ve versiyon numaralarını temsil eder. "Realm" verinin hangi bölge için sağlandığını gösterir. LND ise karalar için; OCN ise okyanuslar için veri barındırdığını gösterir. "version" Seviye-3 İşleme versiyonunu tanımlayan kimlik numarasıdır. Örneğin "GRD-3_2002095-2002120_GRAC_GFZOP_BA01_0600_LND_v04" dosyasını ele alalım. "GRD-3_2002095-2002120_GRAC_GFZOP" ile 2002 yılının 95 ve 120. günleri arasında elde edilen GRACE Seviye-3 verilerinin GFZ analiz merkezinde işleme tabi tutulduğunu ve gridler halinde temsil edildiğini anlaşılmaktadır. "BA01_0600_LND_v04" ile Küresel Harmonik Katsayıların çözümünde MWI Mesafe Oranı gözlemlerinin kullanıldığı, kısıtlamasız bir çözüm olduğu, verinin karalar için geçerli olduğunu, Seviye-3 işleme versiyonunun 4 olduğu anlaşılmaktadır. Tüm Seviye-3 verilerine PODAAC ve ISDC veri arşiv merkezlerinden ulaşılabilmektedir.

1.6. Su Kütlesi Tahmin Parametreleri

Türkiye'de sahip olunan gözlem kuyularının ve yerinde gravite ölçümlerinin yetersiz ve bu verilere ulaşılması güç olmasından dolayı uydu ve uzaktan algılama tabanlı teknikler

ile su kütlelerin izlenmesi daha etkilidir. Ancak kullanılan tekniklerin global olarak modellenmesinden kaynaklı bölgesel bazda değerlendirme aşamasında karşılaşılacak hatalar göz önünde bulundurulmalıdır. Çalışmada Bölüm 1.4'de de bahsedildiği üzere GRACE/-FO uydu tabanlı gözlem verilerinin sayesinde su kütlelerinin değişimi uzun dönemli (21 yıllık) izlenebilmektedir. GRACE/-FO misyonu ile su kütlesi kaynaklarının yönetimi ve izlenmesi için kuyu araştırmalarının izlenmesi önemli bir konu haline gelmiştir. Yeraltı suyu seviyeleri, akış hızları ve kalitesi hakkında değerli veriler sağlayarak su tahsisi, kuyu sahası yönetimi ve sürdürülebilir yeraltı suyu kullanımı konusunda bilinçli kararlar alınmasına yardımcı olurlar.

1.6.1. Toplam Su Kütlesi (Total Water Storage-TWS)

Dünya'nın sahip olduğu su döngüsündeki su kütleleri sürekli olarak hareket halinde olduğundan Dünya'nın kütle dağılımı sürekli olarak değişmektedir. Bu döngü sonucunda ve Dünya'nın kütle dağılımındaki sürekli değişimler neticesinde yerçekimi alanında sürekli olarak küçük veya büyük ölçekte değişimler meydana gelir. GRACE/-FO uydu misyonlarının su kütlelerindeki değişimlerin izlenmesinde temel prensibi Bölüm 1.4'te de bahsedildiği gibi yerçekimi alanında yaşanan değişimlerin yüksek doğrulukta belirlenmesine dayanmaktadır (Tapley vd., 2004; Wahr vd., 2004). EWT (Equivalent Water Thickness / Eşdeğer Su Kalınlığı) değerlerinin yayınlamasıyla birlikte su kaynaklarında yaşanan değişimlerin analizi, iklim ve kuraklık araştırmalarının daha yüksek doğrulukta yapılması mümkün hale gelmiştir. EWT yeraltındaki ve yer üstündeki tüm su kaynaklarını içermektedir (Denklem 10). Literatürde TWS (Total Water Storage-Toplam Su Kütlesi) olarak veya karasal su depolamalarını temsil ettiğinden dolayı TWS (Terrestrial Water Storage) ismiyle görmek mümkündür. Yapılan bu çalışmada TWS isimlendirmesi Toplam Su Kütlesi olarak ele alınmıştır.

$$\text{GRACE/-FO TWS} = \text{Yeraltı Suyu} + \text{Toprak Nemi} + \text{Yüzey} + \text{Kar Suyu} \quad (11)$$

GRACE/-FO misyonları TWS değerlerini doğrudan (direkt) ölçemediği gibi uzun dönemde ortalama TWS ($\overline{TWS}$) değerlerini de ölçemez. Bu nedenle GRACE/-FO ölçümleri TWS anomali (TWSA) tahminlerini temsil eder (Eşitlik 12).

$$TWSA = TWS - \overline{TWS} \quad (12)$$

GRACE/-FO mutlak TWS verilerini sağlayamadığı için farklı modellerden elde edilen verilerin entegre bir şekilde çalışması için bu verilerin anomali standartlarında düzenlenmesi gerekmektedir. Bu veriler Eşitlik 12'deki gibi mutlak değerden uzun dönemli ortalamanın çıkartılmasıyla sağlanabilir. Eğer belirli bölgedeki hesaplanan TWS değerlerinin karşılığı olan hacimsel su miktarı elde edilmek istenirse yaygın olarak kullanılan yöntem olarak, uzun dönemli ortalamanın bölgenin alanı ile çarpılması kullanılır.

GRACE TWS ürünleri kullanıcılara GRACE uydularının gerçek konumsal çözünürlüğünden daha yüksek çözünürlükte bir grid üzerinde sunulur. Örnek vermek gerekirse JPL analiz merkezi tarafından yayınlanan GRACE TWS Mascon verileri 0.5 derece grid (≈ 55 km) sisteminde sunulmaktadır. Ancak gerçek çözünürlüğü 3° (≈ 330 km)'dir. Benzer şekilde GRACE Küresel Harmonik Katsayıların çözümü ile elde edilen TWS verileri 1° grid sisteminde kullanıcıya sunulsa da gerçek çözünürlüğü 3°'dir. TWS verileri ile yapılan çalışmalardan yeraltı suyu değişimi çalışmaları için (Frappart ve Ramillien, 2018; Chen vd., 2016), tatlı su kaynaklarında uzun dönemli trend analizi için (Rodell, 2018), TWS değerlerinde ekstrem olayların analizi için (Girotto ve Rodell, 2019), klimatolojik analizler için (Humphrey vd., 2016), veri asimilasyonu ve numerik hidrolojik modeller için (Liv d., 2019), GRACE uydusu ile iklim değişimi etkilerinin analizi için (Tapley vd., 2019), GRACE ve GRACE-FO uydularını kullanarak geniş bir inceleme için (Chen vd., 2022) çalışmaları incelenebilir.

1.6.2. Yeraltı Su Kütlesi (Groundwater Storage-GWS)

TWS, su döngüsünde yer alan diğer bileşenler ile bağlantılı olduğundan dolayı, TWS denkleminde (Eşitlik 11) yer aldığı gibi diğer bileşenler birlikte kullanılabilir. GWS değerlerine erişmek adına aşağıdaki gibi TWS değerlerinden geri kalan tüm su kütlesi bileşenlerinin çıkartılması yöntemi kullanılabilir (Eşitlik 13).

$$\text{GRACE GWS} = TWS - \text{Toprak Nemi} + \text{Yüzey} + \text{Kar Suyu} \quad (13)$$

(Rodell vd., 2007) bu yaklaşımı kullanarak Mississippi Havzasındaki GWS değerlerindeki değişimleri elde etmiştir. Bu yaklaşımı kullanırken diğer bileşenler için hidrolojik

modellerden veri sağlanmıştır. Daha sonra elde edilen GWS değişimleri, yerinde gözlem yapılan yeraltı su kuyu gözlemleri ile karşılaştırılmıştır. Bu yaklaşım ve çalışmayla birlikte Dünya'nın çeşitli havzalarının ve bölgelerinin GWS değerlerindeki değişimleri incelenmiştir (Yeh vd., 2006; Rodell vd., 2009; Famiglietti vd., 2011; Shamsudduha vd., 2012; Feng vd., 2013; Richey vd., 2015). GWS değerinin hesaplanması tüm bileşenleri hesaba katarak yapıldığından, elde edilecek çıktı ürün tüm bileşenlerin tahmin hatalarını da içerir. GWS için hata hesaplaması yapılırken tüm bileşenlerin hataları hesaba katılır.

1.7. GRACE/-FO Gözlemlerinden Toplam ve Yeraltı Su Kütlesi Hesabı

GRACE/-FO gözlem verilerinin analizinden sorumlu GFZ, JPL, CSR ve diğer aday analiz merkezlerinin sağladığı Seviye-2/Seviye-3 verileri COST-G resmi kombinasyon merkezi tarafından kombinasyon işlemine tabi tutulur. G3P servisi ise COST-G tarafından kombine edilmiş TWS'lerden Copernicus hidrolojik verilerinin çıkartılmasıyla GWS hesaplar. Ayrıca bağımsız kullanıcılar GLDAS'dan elde edilen verilerle GFZ, JPL, CSR ve COST-G kombine TWS'lerden GWS hesabı yapar.

1.7.1. COST-G (Combination Service for Time-Variable Gravity Fields)

GRACE ve GRACE-FO uydu misyonlarından elde edilen aylık yerçekimi alanlarının yeni sürümleri önceki sürümlere göre (örneğin RL06 - RL05) gelişmeleri temsil etse de farklı analiz merkezlerinin çözümleri genellikle hatalar ve sinyal açısından önemli ölçüde farklılık gösterir (Meyer vd., 2015; Jean vd., 2018). Her gravite modeli farklı bir analiz merkezinden elde edilmesi durumunda farklı işleme stratejilerine sahip olmaktadır. Bu nedenle de farklı analiz merkezlerinin bireysel çözümleri kütle değişimlerinde farklılık göstermektedir. IAG (International Association of Geodesy) çatısı altında yer alan IGFS (International Gravity Field Service) tarafından yeni bir ürün merkezi olarak kurulan COST-G, sahip olduğu analiz merkezleri tarafından sağlanan çözümleri veya normal denklemleri birleştirerek hem Küresel Harmonik Katsayılar hem de bundan türetilmiş gridler halindeki yüzey kütle değişimlerini kalite, sağlamlık ve güvenirlik temelinde sağlaması hedeflenmiştir (Jäggi vd., 2020). Temelinde farklı işleme teknikleri kullanılarak elde edilen gravite değerlerinin kombinasyonu ile veri standardizasyonu sağlayarak, bireysel çözümlerin doğruluğunu ve güvenirliğini arttırmak vardır. (COST-G Processing Standards, 2020) dokümanında da

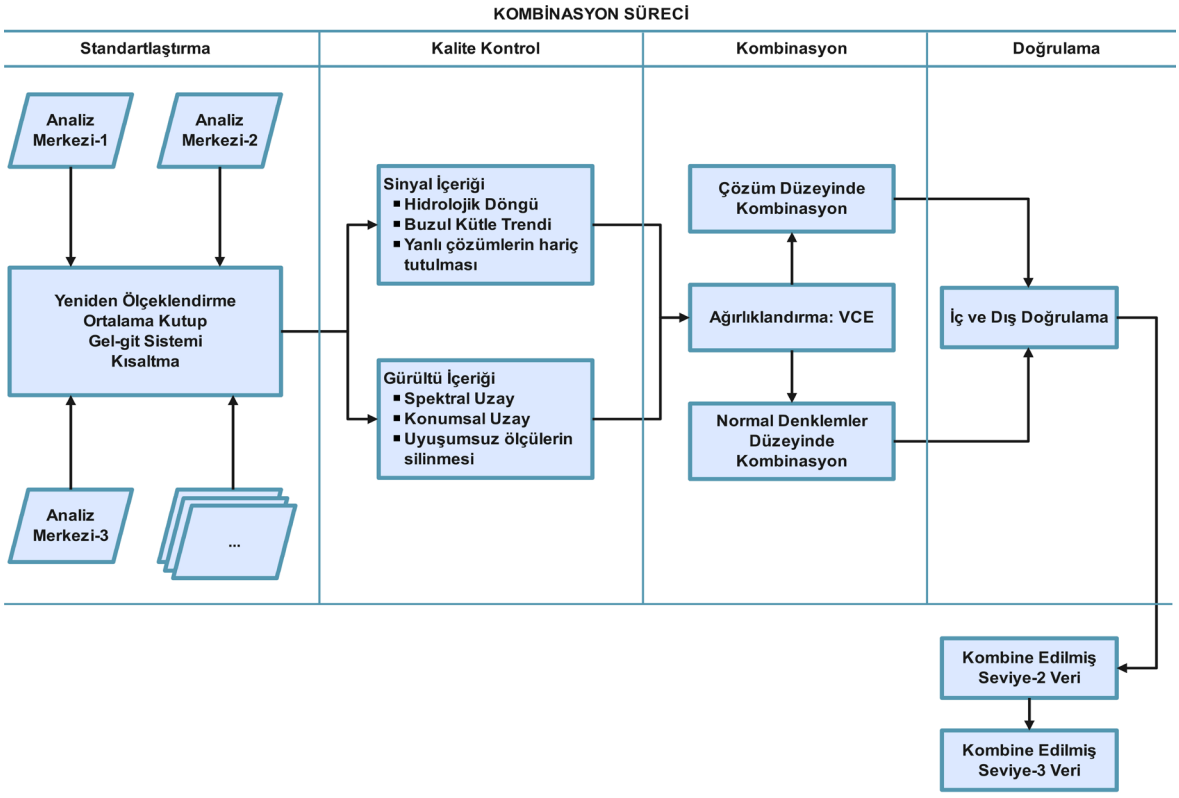
belirtildiği gibi analiz merkezleri, farklı veri işleme teknikleri kullansa da çeşitli noktalarda ortak hareket etmektedir.

COST-G analiz merkezleri, AIUB (Astronomical Institute, University of Bern), CNES/GRGS (Centre National d'Etudes Spatiales), GFZ, IfG/ITSG (Institute of Geodesy, Graz University of Technology), farklı gravite gözlem verileri (GRACE, GPS, SLR, SWARM) kullanarak elde ettikleri çıktı ürünleri merkez büroya (AIUB) rapor ederler. JPL ve CSR GRACE uydu misyonuna ait analiz merkezleri COST-G için partner analiz merkezidir. Tüm analiz merkezlerinden elde edilen bireysel gravite çözümlerine merkez büro tarafından kalite kontrolü uygulanır. Kalite kontrolünden geçen bireysel çözümler için ağırlıklar belirlenir. Tüm bu adımları geçtikten sonra ağırlıklandırılmış bireysel çözümler normal denklem düzeyinde kombinasyonu yapılır (Meyer vd., 2019). Normal denklemleri bulunmuyorsa çözüm düzeyinde kombinasyon yapılır (Jean vd., 2018). Kombinasyon yapıldıktan sonra çıktı ürün olan Seviye-2 Küresel Harmonik Katsayılara gereken düzeltmeler ve filtrelemeler uygulandıktan sonra Seviye-3 veriler elde edilir. Elde edilen Seviye-3 COST-G veriler, GFZ analiz merkezine ait GravIS (Gravity Information Service) hizmetiyle hem zaman serisi grafikleri ile görselleştirilir hem de hakkında bilgiler verilir. GravIS (http://gravis.gfz-potsdam.de) ile COST-G Seviye-3 verilerine iklimsel olarak benzer bölgeler ve küresel havzalar için ölçeklendirilmiş şekilde ulaşılabilir. Bunlara ek olarak yine GFZ analiz merkezine ait ISDC veri arşiv merkezinden de bu verilere ulaşmak mümkündür. Ayrıca COST-G resmi internet adresinde yer alan COST-G Plotter (https://plot.cost-g.org) ile COST-G verileri görselleştirilip temin edilebilir (https://plot.cost-g.org/index.php?p=timeseries).

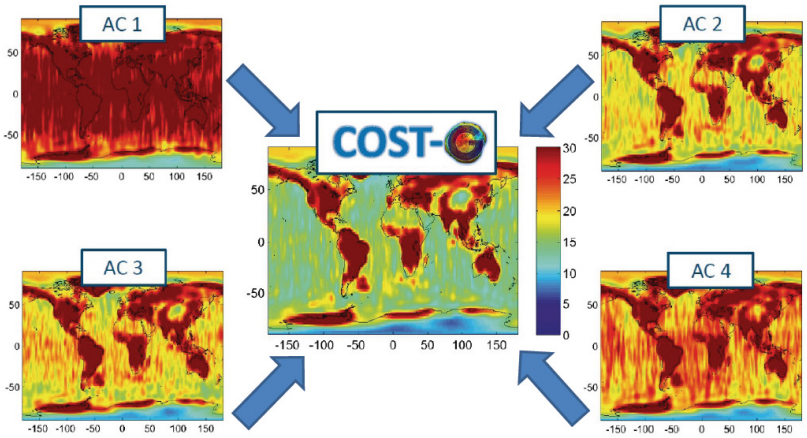
COST-G dört adımlı bir kombinasyon sürecine sahiptir (Şekil 15) (URL-11, 2023). Bunlardan ilki girdi çözümlerinin uyumlaştırılmasıdır. Bu adımda girdi çözümlerin farklı noktaları tespit edilip standartlaştırılır. Farklı analiz merkezlerinden elde edilen çözümlerinde kullanılan Dünya'nın yerçekimi sabiti, ekvator yarıçapı gibi temel sabitler, gelgit sistemi ve ortalama kutup sistemi farklılıklar gösterebilir. Bu nedenle bireysel çözümler yeninden ölçeklendirilir, C_{20}, C_{21}, S_{22} katsayıları COST-G tarafından kullanılan gelgit sistemi ve ortalama kutup düzeni ile uyumlu olacak şekilde düzeltilir. Atmosfer ve okyanus modeli (AOD) bireysel çözümler için farklılık gösterebilir ve bu aşamada bu farklıklar giderilerek her bir çözüm için COST-G veri işlemesine uygun model kullanılır. Tüm bu işlemlerden sonra bireysel çözümler arasında standartlaştırma işlemi gerçekleşmiş olur.

Kalite Kontrol aşamasında ilk olarak uyumlaştırılan bağımsız çözümlerin sinyal ve gürültü (hata) içeriğine bakılır. Sinyal içeriği küresel nehir havzalarında, Grönland ve Antarktika'da analiz edilir. Gürültü analizi uzun dönemli periyodik olmayan ve mevsimsel değişimlerin deterministik modelinin çıkartılmasından sonra aylık değişkenliği temsil eden anomalilerin analizi ile gerçekleştirilir.

Kombinasyon adımına gelindiği elde edilen uyumlaştırılan, gerekli düzeltmelerin yapıldığı Seviye-2 çözümlerinin normal denklemler düzeyinde kombinasyonu yapılır. Kullanılan bireysel çözümler AIUB RL02 (Meyer vd., 2016), GRGS RL04 (Lemoine vd., 2019), GFZ RL06 (Dahle vd., 2019), ITSG-Grace2018 (Kvas vd., 2019), ve CSR RL06 (Save vd., 2018) şeklindedir (Şekil 15) (URL-10, 2023). Eğer her analiz merkezine ait çözümün normal denklemi bulunmuyorsa Varyans Bileşen Tahmini (Variance Component Estimation-VCE) yöntemi kullanılarak çözüm düzeyinde ağırlıklı kombinasyonu gerçekleştirilir. Kombinasyonda VCE ile elde edilen her bir bireysel çözüm için ağırlıklar, kendi içerisinde gürültüler ile ters orantılıdır. Bir nevi kalite göstergeleri de denebilir. Genelde en yüksek ağırlık ITSG-GRACE2018 için elde edilirken; en düşük ağırlık AIUB RL02 bireysel çözümü için elde edilir (Jäggi vd., 2020).



Şekil 15. COST-G kombinasyon işlem akışı (URL-11, 2023)



Şekil 16. COST-G kombinasyon adımında farklı analiz merkezleri tarafından sunulan bireysel çözümlerin gösterimi ve elde edilen hataların giderildiği çıktı ürün

Son adım olarak Doğrulama ele alınır. COST-G çözümlerinin kalitesini sağlamak için, aykırı veya sistematik olarak sapan girdi çözümlerini belirleyerek iç ve dış doğrulama gerçekleştirilir. İç doğrulama GRACE kütle değişim verilerinin COST-G ile elde edilen çıktı ürünün karşılaştırılması ile gerçekleştirilir. Dış doğrulama ise bağımsız veriler ile gerçekleşir. Bunlardan biri Altimetre bir diğeri ise GOCE uydu misyonudur.

1.7.2. G3P (Global Gravity-Based Groundwater Product)

COST-G kombinasyon misyonu ile birlikte geliştirilen G3P, GRACE/-FO ve Copernicus su kütle verilerini bir araya getirerek 2002 yılından itibaren Yeraltı Su Kütlesi değişimlerini inceler. Toplamda 12 ortak kuruluştan oluşmaktadır. Bunlar AIUB, TUW (Technischen Universität Wien), CLS (Collecte Localisation Satellites SA), GIUZ (Department of Geography Universität Zürich), EODC GmbH (The Earth Observation Data Centre for Water Resources Monitoring GmbH), FMI (Finnish Meteorological Institute), Future Water SL, GFZ, IGRAC (International Groundwater Resources Assessment Center), IfG/ITSG, LEGOS (Laboratoire d'Études en Géophysique et Océanographie Spatiales), Magellium SAS şeklinde sıralanabilir.

G3P Yeraltı Su Kütlesine ulaşmak için GRACE/-FO uydularından elde edilen TWS verilerinden Copernicus hizmetinden elde ettiği su kütlelerinin çıkartılması yolunu izlenir. G3P GRACE misyonlarından elde edilen TWS ve GWS değerlerini aşağıda yer alan Eşitlik 14 ve Eşitlik 15 gibi ele almaktadır.

$$TWS = \text{Yeraltı Suyu} + \text{Buzul Kütlesi} + \text{Kar Suyu} + \text{Yüzey Suyu} + \text{Toprak Nemi} \quad (14)$$

$$GWS = TWS - (\text{Buzul Kütlesi} + \text{Kar Suyu} + \text{Yüzey Suyu} + \text{Toprak Nemi}) \quad (15)$$

Bu yöntemde TWS ve GWS değerlerinin haricindeki su kütlelerini Copernicus hizmetinden elde etmesi, elde edilen bu su kütlelerin simüle edilmiş değil de gözlem verilerinden oluşması G3P ürününü diğerlerinden ayıran en önemli farklılıktır (Tablo 8). Ayrıca G3P Copernicus hizmetinden elde edilen gözlem ve simüle edilmiş model verilerinin kombinasyonunu da gerçekleştirerek konumsal ve zamansal kapsamı daha da geliştirmeyi hedeflemektedir (URL-12, 2023).

Tablo 8. G3P hizmetinde kullanılan veriler

Servis	**Ürün**
IAG / IGFS	COST-G Seviye-2 GRACE/-FO verisi
Copernicus Global Land Service (CGLS)	Kar Suyu, Nehir Su Seviyesi, Toprak Suyu İndeksi
Copernicus Climate Change Service (C3S)	Göl Su Seviyesi, Yakın Yüzey Toprak Nemi, Buzul Kütle Değişimi
Copernicus Emergency Management Service (CEMS)	Nehir deşarj ve depolama, Kıtasal Bölünmüş Su Depolaması

Dağlık arazilerdeki Kar Suyu, yoğun kar veya bitki örtüsü ile kaplı alanlardaki toprak nemi, altimetre tekniği ile gözlemlenemeyen göller için küresel kara modelleri kullanılır. GWS değerlerine ulaşmak adına su kütlelerinin TWS verisinden çıkartılma işlemine geçmeden önce süreçte kullanılacak tüm veriler standartlaştırılır. Bunu sağlamak adına ilk olarak tüm veriler konumsal çözünürlüğü 0.5°, zamansal çözünürlüğü 1 ay olacak şekilde düzenlenir. TWS haricindeki veriler içerisinde yer alan zamansal ve konumsal veri boşlukları hidrolojik veya kara yüzey modelleri yardımıyla doldurulur. Daha önceki Veri İşleme bölümünde de bahsedildiği üzere GRACE TWS verilerinde düzeltmeler ve filtreleme işlemleri uygulanmaktadır. TWS verileri haricindeki kütle verilerine de 200 km Gauss Filtreleme işlemi gerçekleştirilir ve GRACE TWS verileri ile ilişkilendirilir. Daha sonra son adım olarak uyumlu hale getirilen Kar Suyu, Buzul, Yüzey Suyu ve Toprak Nemi verileri TWS verilerinden çıkartılarak GWS verileri elde edilir. Elde edilen GWS verileri, belirli akiferlerin yerinde yeraltı suyu izleme ve yerel hidrojeolojik verileri kullanarak doğrulanır. (Uwihirwe vd., 2022) “Groundwater resources assessment” raporunda G3P ürününe ait doğrulama adımında yapılan çalışmalara yer verilmiştir.

G3P sağladığı tüm bu gelişmelerin yanı sıra, elde edilen GWS verilerinin sahip olduğu belirsizlik değerine Eşitlik 14'te yer alan tüm su kütlesinin belirsizlik değerlerinin eklenmesiyle kümülatif olarak hesaplanması G3P ürününü negatif etkileyen bir hususdur. Ayrıca G3P sonucu elde edilen GWS değişimleriyle çerçevede değerlendirilebilecek yerinde ölçümlerin olmayışı da doğruluma aşamasında yerinde gözlemler ile G3P GWS verilerinin uyumlaştırılması gerekmektedir.

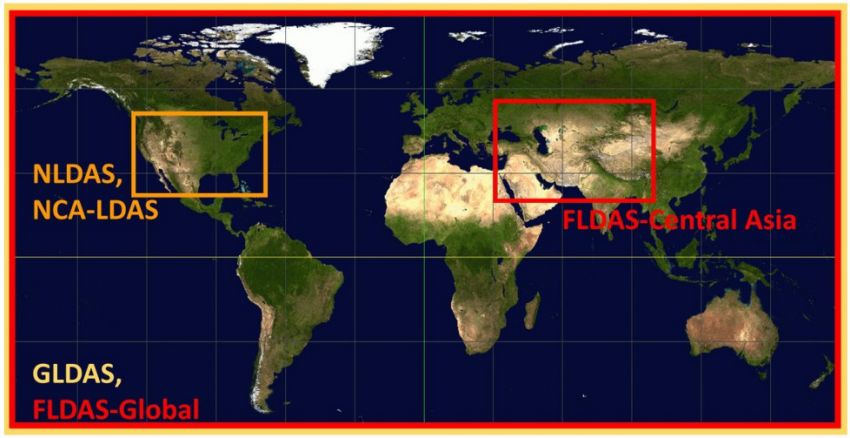
G3P verileri açık erişime sahiptir ve "ftp://isdcftp.gfz-potsdam.de/grace/GravIS/G3P" linkinden ulaşılabilir. Ayrıca GravIS ve GGMN resmi internet adreslerinden ulaşılabilir ve görselleştirilebilir. Copernicus verilerine de Copernicus Data Space Ecosystem resmi internet adresinden erişilebilir.

1.7.3. GLDAS (Global Land Data Assimilation System)

GLDAS (Küresel Kara Veri Asimilasyon Sistemi), LDAS (Kara Veri Asimilasyon Sistemi) misyonu (Şekil 14) altında NASA GSFC (Goddard Space Flight Center) ve NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) NCEP (National Centers for Environmental Prediction) araştırmacıları tarafından ortaklaşa olarak geliştirilmiş, kara üzerindeki hidrolojik, klimatolojik gibi olayları incelemek adına veri sağlayan yer ve uzay tabanlı gözlem sistemlerinden yararlanan küresel ölçekte veri asimilasyon sistemidir (Şekil 17) (URL-13, 2023). Gözlem tabanlı veriler gelişmiş, küresel, yüksek çözünürlüklü (2.5°-1 km), atmosfere bağlı olmayan birçok arazi yüzey modelini birbirine entegre eder. Mosaic, Noah, CLM (Community Land Model), VIC (Variable Infiltration Capacity), CLSM (Catchment Land Surface Model) olmak üzere beş adet kara yüzey modeline sahiptir (Rodell vd., 2004). GLDAS ile toprak nemi, yüzey suyu ve kar suyu gibi parametreleri sağladığı için GRACE ile entegre çalıştırılarak Yeraltı Su Kütlesi değerlerinin elde edilmesinin yanı sıra, yine bu parametreler ile TWS verilerinin yağış, yüzey akış değerleri arasındaki ilişkiler belirlenebilir (Rui vd., 2019). GLDAS verilerine NASA EarthData servisi altında bulunan GES DISC (https://disc.gsfc.nasa.gov/) resmi adresinden erişilebilir.

Bölüm 1.6.2'de de bahsedildiği üzere GLDAS modelinden elde edilen hidrolojik parametrelere (toprak nemi, kar suyu, yüzey suyu) kullanılarak Yeraltı Su Kütlesine erişilebilir. GRACE/-FO tabanlı TWS verilerinden bu hidrolojik parametreler Eşitlik 14 ve Eşitlik 15 dikkate alınarak çıkartılmasıyla GWS verilerine erişmek mümkündür. Ayrıca GLDAS modeline ait bu hidrolojik parametreler PODAAC resmi arşiv merkezinde

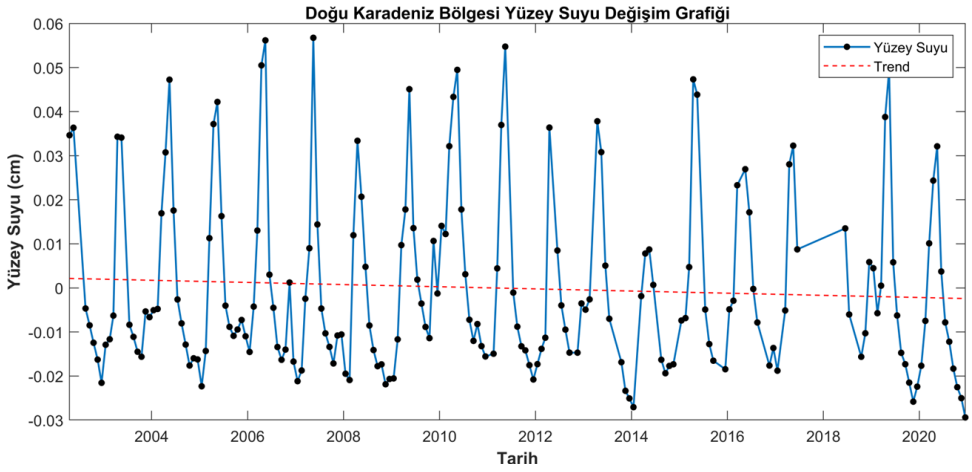
"GLDAS TWS" isimli veri olarak da sunulmaktadır (https://podaac.jpl.nasa.gov/dataset/TELLUS_GLDAS-NOAH-3.3_TWS-ANOMALY_MONTHLY). Bu veri hidrolojik parametrelerin toplamını temsil etmektedir. GLDAS tabanlı GWS elde etmek adına bu veriyi GRACE/-FO tabanlı TWS verilerinden çıkartılması işlemi yapılacak olan dönüşüm ve kullanıcı hatlarını ortadan kaldırmaya yönelik fayda sağlamaktadır.



Şekil 17. NLDAS (Kuzey Amerika Kara Veri Asimilasyon Sistemi), NCA-LDAS (Ulusal İklim Değerlendirmesi-Kara Veri Asimilasyon Sistemi), FLDAS (Kıtlık Erken Uyarı Ağı Kara Veri Asimilasyon Sistemi)

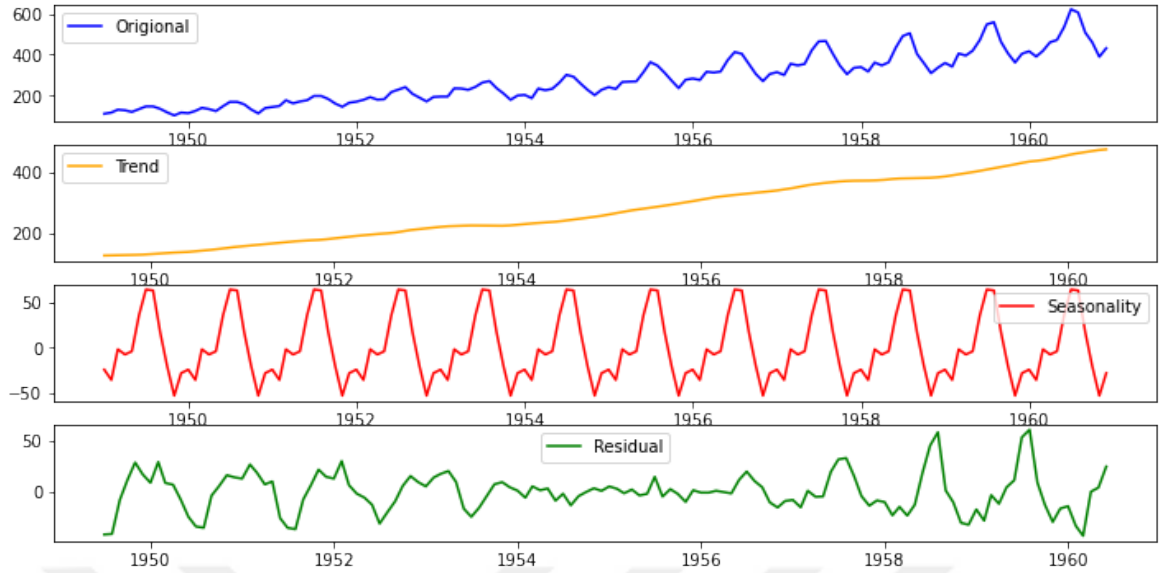
1.8. Zaman Serileri Analizleri

Zaman serileri, belirli zaman aralığında sabit aralıklarla gözlemlenen veri veya ölçümlerin bir dizi halidir (Şekil 18). Örnek vermek gerekirse Türkiye'ye 2015-2023 yılları arasında yağan yağmur verileri bir zaman serisidir. 2015 ile 2023 yılları arasında belirli zaman aralıkları ile yağış verilerini temsil eder. Bir başka örnek ise döviz kurlarının 1 ay içerisindeki günlük değerleri bir zaman serisidir. Buradan da anlaşılabileceği üzere zaman serileri istatistik, ekonometri, klimatoloji ve hidroloji gibi birçok bilimsel dalının uygulama alanını oluşturmaktadır. Zaman serisinin grafiğe aktarılmasıyla birlikte zaman serisi grafikleri elde edilir. Bu sayede gözlemlenen verilerin nasıl artış veya azalış davranışları gösterdiği belirlenebilmektedir. Zaman serilerinde zaman her zaman bağımsız değişken, veriler ise bağımlı değişken rolündedir.



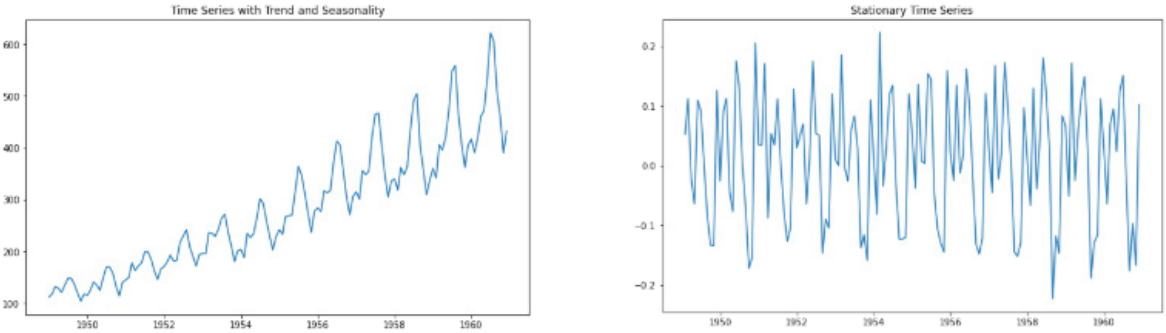
Şekil 18. Zaman serisi grafiği

Zaman serileri dört ana bileşenden oluşur. Bunlar Mevsimsel Bileşen, Trend Bileşeni, Çevrimsel Bileşen ve Düzensiz Bileşendir. Mevsimsel Bileşen kısa dönemli ve mevsimlerin etkilerini de içerisinde barındırarak belirli dönemlerde yaşanan artış ve azalış değişimlerini temsil eder. Mevsimsel Bileşen zaman serisi grafiğinde sürekli tekrar eden model şeklinde gözükür. Trend Bileşeni gözlemlenen verinin uzun dönemdeki eğilimini, artış veya azalışını yansıtır. Çevrimsel Bileşen tıpkı Mevsimsel Bileşen gibi görünen fakat daha uzun dönemlerdeki değişimleri temsil eder. Düzensiz Bileşen ise zaman serisini rastgele değişken yapan bileşendir. Oluş nedeni belli değildir. Düzensiz bileşen, zaman sersinin geriye kalan tüm bileşenlerinden arındırılmasıyla geriye kalan değişimlerdir, bir nevi gürültü de denilebilir. Zaman serisi analizi de bu bileşenlerin ortaya çıkartılarak serinin daha iyi anlaşılmasını sağlamaktır (Şekil 19). Serinin sahip olduğu bileşenleri ayırma işlemine zaman serilerinin ayrıştırılması denir. Bununla birlikte verilerdeki değişimlerin daha kolay tanımlanması mümkündür.



Şekil 19. Orijinal bir zaman serisinin bileşenlerine ayrılmasıyla elde edilen bileşenler

Zaman serisinde bulunan verilerin istatiksel özellikleri zamana göre değişmiyorsa o seri durağan bir seridir. Bir başka deyişle serinin ortalaması ve varyansında kapsamlı ve sürekli bir değişim yok ise o seri durağandır. Mevsimsellik ve trend bileşeni yoktur. Eğer seride uzun dönemli ve anlamlı değişimler mevcut ise durağan olmayan zaman serisidir (Şekil 20) (URL-14, 2024). Bu serilerde mevsimsel ve trend bileşeni mevcuttur.



Şekil 20. Soldaki durağan olman zaman serisine ait grafik, sağdaki durağan bir zaman serisine ait grafik

1.8.1. Zaman Serilerinde Doğrusal Enterpolasyonla Boşluk Doldurma

Zaman serileri her zaman verinin en iyi haliyle kullanıcıya sunulmaz. Serinin sahip olduğu veriler içerisinde birçok sorun olabilir. Bunlara gürültü, uyuşumsuz ölçü, kaba hatalar, mevsimsel etkiler ve veri boşlukları örnek verilebilir. Veri boşlukları zaman

serilerinin devamlılığının sağlanması adına çok önemli bir konudur. Zaman serilerindeki belirli zaman aralığında veri olmaması veri boşluklarını meydana getirir. Zaman serileri sıklıkla eksik verileri veya düzensiz zamanlarda elde edilen verileri içerir. Belirli kullanıcı gereksinimlerini karşılamak veya sonraki analizleri kolaylaştırmak amacıyla zaman serilerindeki sistematik zaman aralıklarında yeniden örnekleme veya belirli zamanlarda kabul edilebilir kestirimler (tahminler) yapabilmek için boşluk doldurma tekniklerine ihtiyaç vardır. Boşluk doldurma için kayıp veri öncesi veriyle doldurma, kayıp veri sonrası veriyle doldurma, en yakın komşu, ortalama değer, medyan, mod gibi istatistiksel bilgiler kullanılabilir. Buna ek olarak veriyi temsil eden regresyon modeli ile boş veriler tahmin edilip doldurulabilir.

Mevcut ölçümlerin aynı zamanda ölçüm hataları veya belirsizlikler içerdiği dikkate alınarak, verilerin sahip olduğu boşlukları doldurmak için uzun süredir enterpolasyon yöntemleri kullanılmaktadır. Enterpolasyon yöntemlerinin temelinde bilinen verilerin eğri tanımladığı yer almaktadır. Doğrusal enterpolasyon yöntemi ile değeri bilinen iki veri üzerinden geçen doğru üzerinde herhangi bir veriyi hesaplamak mümkündür. Yapılan bu çalışmada da doğrusal enterpolasyon tekniği kullanılarak kısa dönemli veri boşlukları doldurulmuştur. Doğrusal enterpolasyon yöntemi

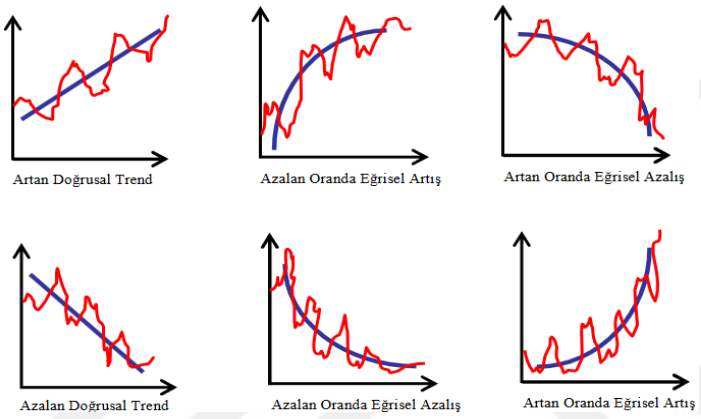
$$y = y_1 + (x - x_1)\frac{(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} \tag{16}$$

şeklinde gösterilebilir. Eşitlik 16'da yer alan x ve y, enterpolasyonu yapılacak veriyi; x_1 ve y_1 birinci verinin değerlerini; x_2 ve y_2 ikinci verinin değerlerini temsil etmektedir. Bu şekilde iki veri arasındaki kayıp olan değer elde edilebilir. Buna ek olarak Şerit (Spline), Lagrange enterpolasyon polinomları da bulunmaktadır. Makine öğrenmesi algoritmaları ile de zaman serilerinde boşluklar doldurulabilir, ileriye dönük tahminler yapılabilir. Yaygın olarak Tekil Spektrum Analizi (Singular Spectral Analysis-SSA), Tekil Bileşen Analizi (Principal Compenent Analysis-PCA), Mevsimsel Otomatik Regresyonlu Entegre Hareketli Ortalama (Seasonal Auto-Regressive Integrated Moving Average-SARIMA) örnek verilebilir.

1.8.2. Zaman Serilerinde Basit Doğrusal Regresyon ile Trend Analizi

Zaman serilerinin bileşenlerini tanımlanırken Bölüm 1.8'de söylendiği üzere zaman serilerindeki trend bileşeni serinin belirli bir yönde ve büyüklükte uzun dönemli olan

eğilimini temsil eder. Eğer bir zaman serisinde trend var ise durağanlık söz konusu değildir. Trend bileşeninin hesaplanması ile birlikte seri hakkında geleceğe yönelik tahminler yapılabilir, seri içerisindeki veri boşlukları doldurulabilir. Zaman serilerinde iki farklı trend görülür. Bunlardan ilki doğrusal trend, diğeri ise doğrusal olmayan trenddir (Şekil 21). Doğrusal trendin var olması için zaman ile gözlemlerin doğrusal bir model oluşturması yani birinci dereceden bir fonksiyon ile tanımlanması; doğrusal olmayan trendin var olması için ise zaman ile gözlemler arasında iki ve daha yüksek dereceden fonksiyon ile ilişkilendirilebilmesi gerekmektedir.



Şekil 21. Trend çeşitleri (Özek, 2010)

Doğrusal trend eşitliği,

$$y = a_0 + a_1 x \tag{17}$$

gibi yazılabilir. y bağımlı değişken yani gözlemleri temsil eder. x bağımsız değişkeni yani zamanı temsil eder. a_0 kesişim sabitini, a_1 ise trend değerini yani değişimi temsil eder. a_1 katsayısı pozitif ise artan trend, negatif ise azalan trendin olduğunu; sıfır ise trendin olmadığını gösterir. a_0 ve a_1 katsayıları belirlenip denklemde yerine yazıldığında, zaman göre fonksiyonu elde edildiğinde trend eğrisinin belirlenmesi mümkündür.

Doğrusal olmayan trend eşitliği,

$$y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \ldots + a_n x^n \tag{18}$$

gibi yazılabilir. Katsayılar doğrusal trend eşitliğindeki gibi aynıdır. Yaygın olarak kullanılmakta olan Regresyon Analizi ile birlikte çeşitli zaman serilerinde trend analizleri yaparak trend bileşenine erişmek mümkündür. Regresyon Analizi bağımsız değişken ve bağımlı değişken arasında matematiksel bir ilişkinin var olduğunu gösteren fonksiyon şeklinde tanımlanır.

Trend analizleri meteorolojik ve klimatolojik verilerde gerçekleşen olayların izlenmesi adına en çok kullanılan yöntemlerden biridir. Bununla birlikte trend analiz altında verinin yapısına ve trend bileşeninin kolayca belirlenip belirlenememesine bağlı olarak farklı yaklaşımlar uygulanmaktadır. Trend analizleri bu doğrultuda parametrik ve parametrik olmayan teknikler olarak ikiye ayrılır. Parametrik trend analiz teknikleri veriler normal dağılımda ve bağımsız bir yapıya sahipken; parametrik olmayan trend analiz teknikleri normal dağılımda olmayan bağımsız veriler için kullanılmaktadır (Beşel, 2017). Parametrik trend analiz tekniğine örnek olarak Regresyon Analizi verilebilir. Parametrik olmayan tekniklerde ise Mann-Kendall, Sen'in Trend Eğimi örnek verilebilir.

Regresyon modeli, bağımsız değişken ile bağımlı değişken arasında matematiksel bir model oluşturarak aralarındaki ilişkiyi modeller. Oluşturulan model ile veri yapısında bulunan boşluklar doldurulabilir, geleceğe yönelik tahminler yapılabilir, iki değişkenin birbirini nasıl etkilediği hakkında bilgi edinilebilir. Regresyon analizi ile oluşturulan modelin doğruluğu hipotez testleri ve katsayı anlamlılık testleri ile kontrol edilir. Model oluşturulurken kullanılan bağımsız değişken sayısına göre Regresyon analizi, çoklu ve basit doğrusal olmak üzere gruplandırılabilir. Değişkenler arasındaki ilişki bir doğru ile modellenebiliyorsa Doğrusal Regresyon, eğri ile modellenebiliyorsa Doğrusal Olmayan Regresyon olarak adlandırılır.

Genel bir çıkarım yapmak için genelde Basit Doğrusal Regresyon modeli uygulanır. Tek bağımsız değişken (x) ile bağımlı değişkenin (y) arasındaki ilişkinin doğrusal bir fonksiyonla ifade edildiği regresyon modelidir (Eşitlik 19). Analiz sonucunda a_0 ve $a_1$katsayıları elde edilerek trend modeli oluşturulur. v, bağımlı değişkenin gerçek değeri ile modelden elde edilen değer arasındaki farkı ifade eden düzeltme vektörünü temsil eder.

$$y + v = a_0 + a_1 x \tag{19}$$

Her bir ölçü için ayrı Eşitlik 19 elde edilir.

$$\begin{bmatrix} y_1 + v_1 = a_0 + a_1 x_1 \\ y_2 + v_2 = a_0 + a_1 x_2 \\ y_3 + v_3 = a_0 + a_1 x_3 \\ \vdots \\ y_n + v_n = a_0 + a_1 x_n \end{bmatrix} \quad (20)$$

Eşitlik 20 için matris gösterimi,

$$V = Ax - y \quad (21)$$

Bağımlı değişkenlerin matris gösterimi,

$$y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} \quad (22)$$

A katsayılar matrisi gösterimi,

$$A = \begin{bmatrix} x_1 & 1 \\ x_2 & 1 \\ x_3 & 1 \\ \vdots & 1 \\ x_n & 1 \end{bmatrix} \quad (23)$$

bilinmeyenler vektörü matris gösterimi,

$$x = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_0 \end{bmatrix} \quad (24)$$

düzeltme vektörü matris gösterimi,

$$V = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ \vdots \\ v_n \end{bmatrix} \quad (25)$$

Gauss'un En Küçük Kareler (EKK) ilkesine göre;

$$x = (A^T A)^{-1} (A^T y) \tag{26}$$

şeklinde yazılır. Ancak bağımsız değişken (zaman) *A* katsayılar matrisinde; bağımlı değişkenler *y* bağımlı değişken vektöründe kondisyon bozukluğuna neden olur. Eşitlik 23'te görüleceği üzere *A* katsayılar matrisinin birinci sütundaki değerler yer alan bağımsız değişkenler ilk satırdan son satıra doğru sürekli artarken ikinci sütunundaki değerler sabit kalmaktadır. Bu nedenle *A* katsayılar matrisine hem de *y* bağımlı değişken vektörüne öteleme ve normlandırma işlemi uygulanır.

Öteleme işlemi için,

$$\begin{aligned} x_s &= \frac{[x]}{n} \\ y_s &= \frac{[y]}{n} \end{aligned} \tag{27}$$

bağımsız değişkenlerin ağırlık merkezleri hesaplanır. Hesaplanan bu sayısal değerler Eşitlik 27'deki gibi her bir *x* ve *y* değerlerinden çıkartılarak ötelenmiş katsayılar elde edilmiş olur.

$$\begin{aligned} x_i' &= x_i - x_s \\ y_i' &= y_i - y_s \end{aligned} \tag{28}$$

Normlandırma işlemi için normlandırma katsayıları,

$$\begin{aligned} c_x &= \sqrt{[x_i'^2]} \\ c_y &= \sqrt{[y_i'^2]} \end{aligned} \tag{29}$$

şeklinde hesaplanır. Ardından ötelenmiş katsayılar normlandırma katsayılarına bölünerek ötelenmiş ve normlandırılmış katsayılar elde edilir.

$$\begin{aligned} x_i'' &= \frac{x_i'}{c_x} \\ y_i'' &= \frac{y_i'}{c_x} \end{aligned} \tag{30}$$

Elde edilen ötelenmiş ve normlandırılmış katsayılar kullanılarak $x = (A^T A)^{-1}(A^T y)$ bilinmeyenler vektörü hesabı yapılır. x bilinmeyenler vektörünün hesabı ile a_0 ve a_1 katsayıları belirlenmiş olur.

$$a_1 = x''(1)$$
$$a_0 = x''(2) \quad (31)$$

Eşitlik 32'de yer alan m_0, birim ölçünün ortalama hatasını temsil eder (Eşitlik 34).

$$m_0 = \pm\sqrt{\frac{V^T V}{n - u}} \quad (32)$$

Eşitlik 32'de n ölçü sayısını, u bilinmeyen sayısını temsil eder. Uygulanan regresyon modelinden hesaplanan katsayıların doğruluğunun testi için V düzeltmeler vektörü Eşitlik 33'e göre ve Q_{xx} Ters Ağırlık Matrisi,

$$Q_{xx} = (A^T A)^{-1} \quad (33)$$

Q_{xx} Ters Ağırlık Matrisinden elde edilen birim ters ağırlıklar (q_{xx}) ile regresyon katsayılarının (a_0 ve a_1) ortalama hataları,

$$m_{a_1} = \pm m_0\sqrt{q_{x_1x_1}}$$
$$m_{a_2} = \pm m_0\sqrt{q_{x_2x_2}} \quad (34)$$

şeklinde hesaplanır. Elde edilen regresyon modelinin anlamlı olup olmadığı Model Hipotez Testi ile belirlenir. Bunun için H_0 sıfır hipotezi ve H_s seçenek hipotezleri,

H_0 = "x bağımsız değişken ile y bağımlı değişkeni arasındaki ilişki doğrusaldır"
H_s = "x bağımsız değişken ile y bağımlı değişkeni arasındaki ilişki doğrusal değildir" (35)

şeklinde kurulur. Test büyüklüğü,

$$T = \begin{Bmatrix} \frac{m_0^2}{s_0^2}, & m_0^2 > s_0^2 \\ \frac{s_0^2}{m_0^2}, & s_0^2 > m_0^2 \end{Bmatrix} \quad (36)$$

şeklinde hesaplanır. Eşitlik 36'te yer alan s_0^2 değeri birim ölçünün öncül varyansını temsil eder. Chi-kare dağılımlı iki deneysel varyansın oranı Fisher Dağılımına (F-Dağılımı) uyar. F-Dağılımı tablo değeri $\alpha = 0.05$ yanılma olasılığı ve $f = n - u$ serbestlik derecesine göre belirlenir.

$$\begin{Bmatrix} \text{Tek yönlü test için } F_{f_1,f_2,1-\alpha} \\ \text{Çift yönlü test için } F_{f_1,f_2,1-\frac{\alpha}{2}} \end{Bmatrix} \quad (37)$$

Elde edilen T test büyüklüğünün deneysel değeri ile F tablo değeri (eşik değer)

$$\begin{Bmatrix} T < F, & H_0 \text{ kabul edililir}, H_s \text{ reddedilir} \\ T > F, & H_s \text{ kabul edililir}, H_0 \text{ reddedilir} \end{Bmatrix} \quad (38)$$

şeklinde karşılaştırılır. Eğer T test büyüklüğü F tablo değerinden küçük ise H_0 Sıfır Hipotezi geçersiz sayılmaz; buna karşın H_s Seçenek Hipotezi geçersizdir. Yani iki değişken arasında doğrusal bir ilişkinin olabileceği kanısına varılır. Eğer T deneysel test değeri F tablo değerinden büyük ise H_0 Sıfır Hipotezi geçersizdir. Öngörülen Matematik Model geçersizdir. Değişkenler arasında kurulan doğrusal ilişki yetersiz olabilir. Öte yandan bağımlı değişkenlerin öncül duyarlık bilgileri aralarındaki korelasyonları yeterince temsil etmeyebilir. Verilerin dağılımı ve yapısı bir kez daha gözden geçirilmelidir. Gerekirse normal dağılıma uymayan gözlemlerin varlığı uygun hipotez testleri, robust istatistik vb. yaklaşımlarla sorgulanmalıdır.

Matematik Modelin geçerli çıkması durumunda; regresyon katsayılarının anlamlı olup olmadıkları uygun hipotezler kurularak test edilebilir. Hem a_0 hem de a_1 katsayılar için H_0 ve H_s hipotezleri,

$$
\begin{aligned}
H_0&: \mathrm{E}\{\mathrm{a}_0\} = 0,\ \ \mathrm{a}_0 \text{ regresyon parametresi anlamsızdır} \\
H_s&: E\{\mathrm{a}_0\} \neq 0,\ \ \mathrm{a}_0 \text{ regresyon parametresi anlamlıdır} \\
H_0&: E\{\mathrm{a}_1\} = 0,\ \ \mathrm{a}_1 \text{ regresyon parametresi anlamsızdır} \\
H_s&: E\{\mathrm{a}_1\} \neq 0,\ \ \mathrm{a}_1 \text{ regresyon parametresi anlamlıdır}
\end{aligned} \tag{39}
$$

şeklinde kurulur. Ardından test büyüklükleri,

$$
\begin{aligned}
T_{\mathrm{a}_{0_i}} &= \frac{|\mathrm{a}_{0_i}|}{m_{\mathrm{a}_{0_i}}} \\
T_{\mathrm{a}_{1_i}} &= \frac{|\mathrm{a}_{1_i}|}{m_{\mathrm{a}_{1_i}}}
\end{aligned} \tag{40}
$$

şeklinde hesaplanır. Test büyüklükleri t-Dağılımına uyar. Bu nedenle t-Dağılım tablo değerleri tablo değeri $\alpha = 0.05$ yanılma olasılığı ve $f = n - u$ serbestlik derecesi ile

$$
\begin{Bmatrix} \text{Tek yönlü test için} & t_{n-u,1-\alpha} \\ \text{Çift yönlü test için} & t_{n-u,1-\frac{\alpha}{2}} \end{Bmatrix} \tag{41}
$$

şeklinde hesaplanır. Elde edilen T test büyüklüğü ve t tablo değerleri

$$
\begin{Bmatrix} T < t, & H_0 \text{ kabul edililir}, H_s \text{ reddedilir} \\ T > t, & H_s \text{ kabul edililir}, H_0 \text{ reddedilir} \end{Bmatrix} \tag{42}
$$

şeklinde karşılaştırılır. Eğer T test büyüklüğü t tablo değerinden küçük ise H_0 Sıfır Hipotezi geçersiz sayılmaz; buna karşın H_s Seçenek Hipotezi geçersizdir. Yani parametrenin anlamsız olduğu kanısına varılır. Eğer T test büyüklüğü t tablo değerinden büyük ise H_0 Sıfır Hipotezi geçersizdir. Yani parametrenin anlamlı olduğu kanısına varılır.

Uygulamada 14 gridde GFZ, JPL ve CSR analiz merkezleri ve bu analiz merkezlerinin kombinasyonu ile elde edilen ort_TWS zaman serilerinde trend analizi için uygulanan basit doğrusal regresyonun ve katsayılarının anlamlılığı testi elde edilen trend katsayılarının anlamlılığı testi yukarıda anlatılanlarla gerçekleştirilir. Daha sonra bu 14 gridde GFZ, JPL ve CSR analiz merkezleri ve bu analiz merkezlerinin kombinasyonu ile elde edilen ort_TWS çözümlerine uygulanan basit doğrusal regresyon modellerinin ve regresyon katsayılarının eşdeğerlik testi gerçekleştirilir. Örneğin GFZ ve JPL analiz merkezleri TWS zaman

serilerine uygulanan basit doğrusal regresyon modelinden Eşitlik 32 ile elde edilen birim ağırlıklı varyanslar $m_{0\mathrm{GFZ}}^2$ ve $m_{0\mathrm{JPL}}^2$ eşdeğerlik testi için H_0 sıfır hipotezi ve H_s seçenek hipotezleri,

$H_0 = E\{m_{0\mathrm{GFZ}}^2\} = E\{m_{0\mathrm{JPL}}^2\}$: "İki varyans eşdeğer kabul edilebilir"
$H_s = E\{m_{0\mathrm{GFZ}}^2\} \neq E\{m_{0\mathrm{JPL}}^2\}$: "İki varyans eşdeğer kabul edilemez" (43)

şeklinde kurulur. Test büyüklüğü,

$$T = \begin{Bmatrix} \dfrac{m_{0\mathrm{GFZ}}^2}{m_{0\mathrm{JPL}}^2}, & m_{0\mathrm{GFZ}}^2 > m_{0\mathrm{JPL}}^2 \\ \dfrac{m_{0\mathrm{JPL}}^2}{m_{0\mathrm{GFZ}}^2}, & m_{0\mathrm{JPL}}^2 > m_{0\mathrm{GFZ}}^2 \end{Bmatrix} \tag{44}$$

şeklinde hesaplanır. Chi-kare dağılımlı iki deneysel varyansın oranı Fisher Dağılımına (F-Dağılımı) uyar. F-Dağılımı tablo değeri (eşik değer) $\alpha = 0.05$ yanılma olasılığı ve $f = n - u$ serbestlik derecesine göre

$$\begin{Bmatrix} \text{Tek yönlü test için} & F_{f_1,f_2,1-\alpha}, \\ \text{Çift yönlü test için} & F_{f_1,f_2,1-\frac{\alpha}{2}}, \end{Bmatrix} \tag{45}$$

şeklinde elde edilir ve test büyülüğü,

$$\begin{Bmatrix} T < F, & H_0 \text{ kabul edililir}, H_s \text{ reddedilir} \\ T > F, & H_s \text{ kabul edililir}, H_0 \text{ reddedilir} \end{Bmatrix} \tag{46}$$

şeklinde karşılaştırılır. Eğer T test büyüklüğü F tablo değerinden küçük ise H_0 Sıfır Hipotezi geçersiz sayılmaz; buna karşın H_s Seçenek Hipotezi geçersizdir. Yani iki varyans eşdeğerdir kanısına varılır. İki farklı veri sağlayıcısı için elde edilen regresyon analizi sonucunun birbiri yerine kullanılabilir olduğu söylenebilir. Eğer T deneysel test değeri F tablo değerinden büyük ise H_0 Sıfır Hipotezi geçersizdir. Yani iki varyans eşdeğer değildir kanısına varılır. İki farklı veri sağlayıcısı için elde edilen regresyon analizi sonucunun birbiri yerine kullanılabilir olmadığı söylenebilir.

Birim ağırlıklı varyans m_0^2 eşdeğerlik testinin ardından Eşitlik 34 ile elde edilen $m_{a_1}^2$ trend katsayısı için eşdeğerlik testi yapılmıştır. $m_{a_1}^2$ eşdeğerlik testi için H_0 sıfır hipotezi ve H_s seçenek hipotezleri,

$H_0 = E\{m_{a_1 GFZ}^2\} = E\{m_{a_1 JPL}^2\}$: "İki varyans eşdeğer kabul edilebilir"
$H_s = E\{m_{a_1 GFZ}^2\} \neq E\{m_{a_1 JPL}^2\}$: "İki varyans eşdeğer kabul edilemez" (47)

şeklinde kurulur. Test büyüklüğü,

$$T = \begin{Bmatrix} \frac{m_{a_1 GFZ}^2}{m_{a_1 JPL}^2}, & m_{a_1 GFZ}^2 > m_{a_1 JPL}^2 \\ \frac{m_{a_1 JPL}^2}{m_{a_1 GFZ}^2}, & m_{a_1 JPL}^2 > m_{a_1 GFZ}^2 \end{Bmatrix} \quad (48)$$

şeklinde hesaplanır. Chi-kare dağılımlı iki deneysel varyansın oranı Fisher Dağılımına (F-Dağılımı) uyar. F-Dağılımı tablo değeri (eşik değer) $\alpha = 0.05$ yanılma olasılığı ve $f = n - u$ serbestlik derecesine göre

$$\begin{Bmatrix} \text{Tek yönlü test için} & F_{f_1, f_2, 1-\alpha}, \\ \text{Çift yönlü test için} & F_{f_1, f_2, 1-\frac{\alpha}{2}}, \end{Bmatrix} \quad (49)$$

şeklinde elde edilir ve test büyülüğü,

$$\begin{Bmatrix} T < F, & H_0 \text{ kabul edililir}, H_s \text{ reddedilir} \\ T > F, & H_s \text{ kabul edililir}, H_0 \text{ reddedilir} \end{Bmatrix} \quad (50)$$

şeklinde karşılaştırılır. Eğer T test büyüklüğü F tablo değerinden küçük ise H_0 Sıfır Hipotezi geçersiz sayılmaz; buna karşın H_s Seçenek Hipotezi geçersizdir. Yani iki varyans eşdeğerdir kanısına varılır. İki farklı veri sağlayıcısı için elde edilen regresyon analizi sonucunun birbiri yerine kullanılabilir olduğu söylenebilir. Eğer T deneysel test değeri F tablo değerinden büyük ise H_0 Sıfır Hipotezi geçersizdir. Yani iki varyans eşdeğer değildir kanısına varılır. İki farklı veri sağlayıcısı için elde edilen regresyon analizi sonucunun birbiri yerine kullanılabilir olmadığı söylenebilir.

Regresyon modelinin ve katsayılarının anlamlılığı testlerinin ardından, regresyon modelinin *y* bağımlı değişkenin sahip olduğu değişimin ne kadarını temsil ettiğini belirten Regresyon Katsayılarının Belirleyicilik Katsayısı (R^2) değeri,

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2} \tag{51}$$

şeklinde hesaplanır.

1.8.3. Zaman Serilerinde Korelasyon Testi

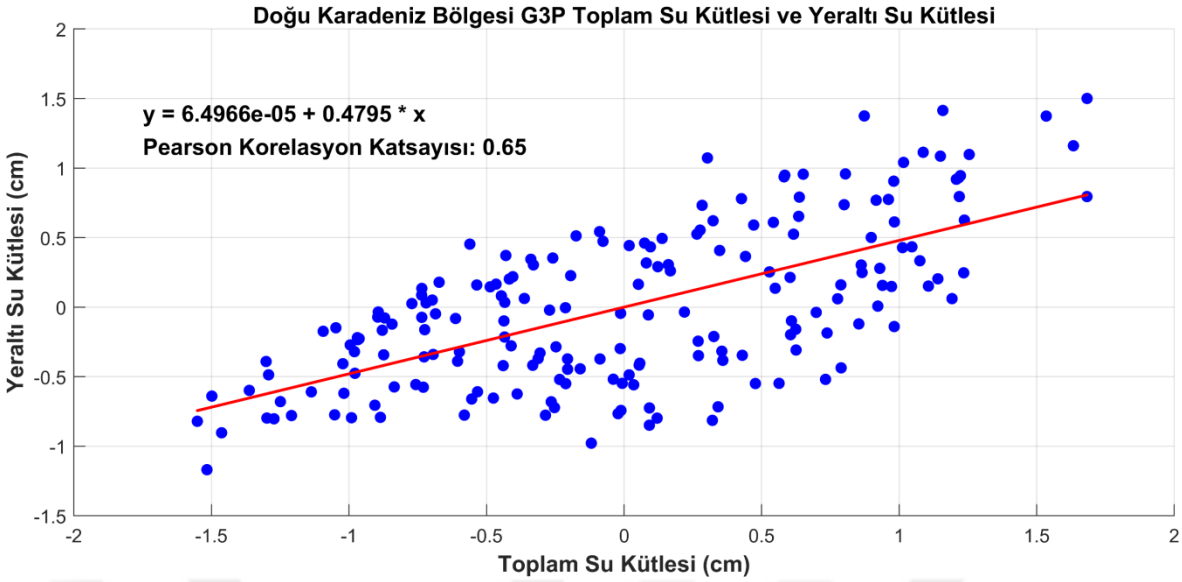
Zaman serilerinde korelasyon, değişkenler arasında var olan ilişkinin derecesini ve yönünü ifade eder. Korelasyon katsayısı bu ilişkisi temsil eden katsayıdır. Korelasyon katsayısı (*r*) -1 ve +1 arasında değer alır (Eşitlik 53).

$$r = \begin{Bmatrix} -1, değişkenler\ arasında\ negatif\ yönde\ korelasyon\ var \\ 0, değişkenler\ arasında\ korelasyon\ yok \\ 1, değişkenler\ arasında\ pozitif\ yönde\ korelasyon\ var \end{Bmatrix} \tag{52}$$

Pearson Korelasyon Katsayısı normal dağılımda olan iki değişken arasındaki korelasyonu,

$$r_{xy} = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{N}\frac{x_i - \bar{x}}{m_x}\frac{y_i - \bar{y}}{m_y} \tag{53}$$

şeklinde hesaplanır. r_{xy} Pearson Korelasyon Katsayısı 0 ise x ve y değişkenleri arasında korelasyonun olmadığını, $|r_{xy}|$ değeri 1'e çok yakınsa iki değişken arasında çok güçlü bir bağın olduğu yani yüksek derecede korelasyonun var olduğu söylenebilir (Şekil 22).



Şekil 22. İki değişken arasında pozitif yönde %65 değerinde korelasyonun grafik gösterimi

Korelasyon katsayısının anlamlı olup olmadığı uygun hipotezler kurularak test edilebilir. r_{xy} için H_0 ve H_s hipotezleri,

H_0: $E\{r_{xy}\} = 0$; "r_{xy} korelasyon katsayısı sıfırdır"
H_s: $E\{r_{xy}\} \neq 0$; "r_{xy} korelasyon katsayısı sıfırdan farklıdır" (54)

şeklinde kurulur. Ardından test büyüklüğü,

$$t = \frac{r_{xy}\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-{r_{xy}}^2}} \tag{55}$$

şeklinde hesaplanır. Test büyüklükleri t-Dağılımına uyar. Bu nedenle t-Dağılım tablo değeri (eşik değer) $\alpha = 0.05$ yanılma olasılığı ve $f = n - u$ serbestlik derecesine göre

$$\begin{Bmatrix} \text{Tek yönlü test } için & t_{n-u,1-\alpha} \\ \text{Çift yönlü test için} & t_{n-u,1-\frac{\alpha}{2}} \end{Bmatrix} \tag{56}$$

şeklinde hesaplanır. Elde edilen T test değerleri ve t tablo değerleri

$$\begin{Bmatrix} T < t, & H_0 \text{ kabul edililir}, H_s \text{ reddedilir} \\ T > t, & H_s \text{ kabul edililir}, H_0 \text{ reddedilir} \end{Bmatrix} \tag{57}$$

Şeklinde karşılaştırılır. Eğer T test büyüklüğü t tablo değerinden küçük ise H_0 Sıfır Hipotezinin reddedilemeyeceğine ve H_s Seçenek Hipotezinin kabul edilemeyeceğine karar verilir. Yani parametrenin anlamsız olduğu ve "Belirlenen istatistik güvenle değişkenler arasında korelasyon yoktur" kararına varılır. Eğer T test büyüklüğü t tablo değerinden büyük ise H_0 Sıfır Hipotezinin kabul edilemeyeceğine ve H_s Seçenek Hipotezinin reddedilemeyeceğine karar verilir. Yani parametrenin anlamlı olduğu ve "Belirlenen istatistik güvenle değişkenler arasında korelasyon vardır" kanısına varılır.

Regresyon, değişkenler arasındaki ilişkiyi matematiksel bir fonksiyon ile ifade ederken; korelasyon birlikte değişim gösterme eğilimindeki değişkenler arasındaki ilişkinin düzeyini temsil etmektedir. Korelasyon ilişki düzeyinin yönünü belirlerken iki değişken arasındaki ilişkinin neden sonuç modelini kuramaz. Regresyonda ise iki değişkenin birbirini neden etkilediği ve sonucunda nasıl değişimlerin yaşandığı hakkında bilgiler mevcuttur. Regresyonda bağımsız değişkendeki değişimin bağımlı değişkeni nasıl değiştirdiği ve ne kadarını temsil edebildiği görülebilirken korelasyonda bu mümkün değildir.

1.8.4. Zaman Serilerinde Tanımlayıcı İstatistiklerle Değişim Analizi

Zaman serileri Bölüm 1.8'de anlatıldığı üzere birden çok veriden oluşmaktadır. Bu nedenle yüzlerce veriye sahip zaman serileri ile işlem yapmak veya hakkında yorumda bulunmak zordur. Zaman serilerindeki verileri veya herhangi bir veri topluluğunun temel özelliklerini belirleyen, tüm verileri kısaca özetleyen, dağılımını ve yayılımı hakkında bilgi veren tipik değerlere tanımlayıcı istatistikler denmektedir. Tanımlayıcı istatistikler Merkezi Eğilim Ölçütleri ve Merkezi Dağılım Ölçütleri olmak üzere iki başlıkta incelenebilir. Merkezi Eğilim Ölçütleri, veri setindeki değişkenlerin hangi değerler etrafında toplanma eğilimi gösterdiğini ifade eder. En yaygın merkezi eğilim ölçütleri:

- Aritmetik ortalama, verilerin toplamının veri sayısına bölünerek elde edilir. Hesaplanması kolaydır ancak hatalı verilerden ve çok büyük, çok küçük değerlerden çok fazla etkilenir.

$$\overline{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n} X_i}{n} \tag{58}$$

• Ortanca değer (medyan), küçükten büyüğe doğru sıralanmış verileri iki eşit parçaya ayıran değerdir. Veri setinde aşırı değerlerin olması durumunda bunlardan etkilenmeyen ortanca değer kullanılabilir. Yani çok yüksek ve çok küçük verilerden etkilenmez.

$$Ortanca = \begin{cases} x_j, & j = \dfrac{n+1}{2}\ n\ tek\ ise \\ \dfrac{x_j + x_{j+1}}{2}, & j = \dfrac{n}{2}\ n\ çift\ ise \end{cases} \tag{59}$$

• Tepe değeri (mod), veriler içerisinde en çok tekrarlanan değerdir. Tepe değerinin en önemli üstünlüğü en çok rastlanan değer olduğu için veri setini diğer merkezi eğilim ölçülerinden daha iyi temsil etmesidir. Çok küçük ve çok büyük değerlerin etkisini içermemesi ise tepe değerinin bir diğer üstünlüğüdür.

Merkezi Dağılım Ölçütleri, bir değişkenin dağılımını, değerler aralığındaki serpilmesini ve ortalama etrafında yayılışlarını, belirli değerlerde yığılma eğilimlerini belirlemeye yarayan tanımlayıcı istatistikleri temsil eder. Dağılım ölçütleri, merkezi eğilim ölçütlerini destekleyen ve verilerin merkezi eğilim ölçüleri etrafında yayılışlarını, dağılımlarını ve serpilmelerini gösteren ölçütlerdir. En yaygın merkezi dağılım ölçütleri:

• Değişim aralığı, değişim miktarının en kolay anlaşılan ve en yaygın kullanılan ölçüsüdür. Değişim aralığı veri seti içinde bulunan en büyük gözlem ile en küçük gözlem arasındaki farkı ifade etmektedir.

$$\text{Değişim Aralığı} = X_{maks} - X_{min} \tag{60}$$

• Varyans, verilerin aritmetik ortalamadan sapmalarının karelerinin toplamıdır. Varyansın deneysel (m^2) ve kuramsal (s^2) olmak üzere iki çeşidi vardır. Kuramsal varyans;

$$s^2 = \frac{\sum_i^n (x_i - \mu)^2}{n} \tag{61}$$

şeklinde hesaplanır. Eşitlik 61'de yer alan *x*, veriyi; μ, verilerin teorik ortalamasını (gerçek değeri); n, veri sayısını temsil etmektedir. Deneysel varyans;

$$m^2 = \frac{\sum_i^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \tag{62}$$

şeklinde hesaplanır. Eşitlik 62'de yer alan $\bar{x}$, verilerin ortalamasını (kesin değeri) temsil eder.

• Standart sapma, en yaygın kullanılan dağılım ölçüsüdür. Standart sapma veri seti içinde yer alan gözlemlerin ortalamaya ne kadar yakın olduğunu ifade etmektedir. Genellikle küçük standart sapma değeri, ortalamadan sapmaların küçük olduğunu göstermektedir. Tersi durumda yani büyük standart sapma söz konusu olduğunda ise, verilerin ortalamadan uzaklaştığı anlaşılmaktadır. Standart sapma aritmetik ortalamadan sapmaların karelerinin toplamının yani varyansın toplam gözlem sayısına oranlanması ve bu değerin karekökünün alınmasıyla elde edilmektedir.

$$s = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \mu)^2}{n}} \tag{63}$$

$$m = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \tag{64}$$

Eşitlik 63'te yer alan s, kuramsal standart sapmayı; Eşitlik 64'te yer alan m, deneysel standart sapmayı temsil eder.

• Çeyrek Sapma, küçükten büyüğe sıralanmış veri setinin %25'lik parçalarına denk gelen değerlerin (çeyrekler) farkıdır. Ortancadan sapmaya ilişkin bilgi verir. Standart sapma gibi aşırı uç değerlerden etkilenmez. Öncelikle veriyi ortadan ikiye bölmek için medyan değeri yani Q_2 hesaplanır. Eğer veri sayısı tek ise medyan üst ve alt yarımlar için kullanılır; veri sayısı çift ise medyan iki yarımda da kullanılmaz. Daha sonra alt grubun medyanı Q_1 ve üst grubun medyanı Q_3 belirlenir. Çeyrek sapma;

$$Çeyrek\ Sapma = Q_3 - Q_1 \tag{65}$$

şeklinde hesaplanır. Bu ölçütlere ek olarak veri setindeki değişimleri daha iyi anlamak adına çeşitli değerler kullanılmaktadır. Bunlara örnek olarak minimum değer ve maksimum değer verilebilir.

- Minimum değer, veriler arasında en düşük değere sahip olan değişkeni temsil eder.
- Maksimum değer, veriler arasında en yüksek değere sahip değişkeni temsil eder.

Bu çalışmada aritmetik ortalama, minimum değer ve maksimum değer ölçütleri kullanılarak zaman serileri üzerindeki değişim analizlerine ek yardımcı yorumlamalar yapılmıştır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu tez çalışmasında, Türkiye'de DSI tarafından sınırları belirlenmiş 25 Havzaya denk gelen toplam 1 derece enlem/boylam genişlikli 14 gridde GRACE/-FO uydu misyonlarından elde edilen TWS ve GWS verilerinin, zaman serisi analizleri ile trend analizleri yapılarak ve çeşitli tanımlıyıcı istatistikler kullanılarak konumsal ve zamansal değişimleri incelenmiştir. Çalışma kapsamında uluslararası veri/analiz merkezlerinden erişime açık olarak sunulan çeşitli formatlardaki (netcdf, txt) verilerin temin edilmesi için ve analizler için gerekli bütün hesaplamalar ve grafiklerin hazırlanmasında tez çalışması kapsamında oluşturulan MATLAB kodları kullanılmıştır. Çalışmada ilk olarak TWS verilerinin analizleri için sırasıyla;

1. Türkiye'de 25 havzanın da sınırlarını dikkate alarak (Tablo 10) belirlenen toplam 14 grid için GRACE/-FO misyonlarının resmi analiz merkezleri olan

GFZ
(https://podaac.jpl.nasa.gov/dataset/TELLUS_GRAC_L3_GFZ_RL06_LND_v04),

JPL
(https://podaac.jpl.nasa.gov/dataset/TELLUS_GRAC_L3_JPL_RL06_LND_v04),

CSR
(https://podaac.jpl.nasa.gov/dataset/TELLUS_GRAC_L3_CSR_RL06_LND_v04)

tarafından işlem görüp erişime açık sunulan netcdf formatta (.nc) sunulan aylık TWS verileri 2022 Nisan-2023 Ekim döneminde aylık elde edilmiştir (Bölüm 2.2).

2. Elde edilen verilerde bulunan veri boşlukları Bölüm 1.8.1'de anlatıldığı gibi doğrusal enterpolasyon yöntemi ile doldurulmuştur (Bölüm 2.3.1).
3. Bu verilerin toplam 14 griddeki değişim analizi için Bölüm 1.8.2'de anlatıldığı üzere zaman serisi analizleri ile basit doğrusal regresyon modeli ile trend analizi ve anlamlılık testleri yapılmıştır (Bölüm 2.3.2).
4. Daha sonra bu üç farklı analiz merkezinden elde edilen aylık TWS verisi zaman serilerinin aritmetik ortalaması hesaplanarak ortalama TWS (ort_TWS) verisi elde edilmiştir (Bölüm 2.2).

5. COST-G kombinasyon merkezi tarafından kombinasyonu yapılmış TWS verileri (ftp://isdcftp.gfz-potsdam.de/grace/GravIS/COST-G/Level-3/TWS) adresinden temin edilmiştir (Bölüm 2.2).

6. ort_TWS ve COST-G_TWS zaman serileri için basit doğrusal regresyon modeli ile trend bileşeni hesaplanmıştır (Bölüm 2.3.3, Bölüm 2.3.4, Bölüm 2.3.6).

7. Bağımsız analiz merkezlerinden elde edilen TWS'lerden elde edilen trend katsayılarına anlamlılık ve eşdeğerlik testleri uygulanmıştır.

8. Aritmetik ortalama ile elde edilen ort_TWS, GFZ, JPL, CSR ve COST-G modelinden elde edilen kombine edilmiş TWS (COST-G_TWS) verisi arasındaki ilişki Bölüm 1.8.3'te anlatıldığı gibi korelasyon testi uygulanmıştır.

9. Çalışmada kullanılan tüm TWS verilerinin belirlenen havzalarda aylık ortalamaları alınarak tanımlayıcı istatistikler ile değişim analizleri yapılmıştır (Bölüm 2.3.5).

10. Elde edilen GFZ, JPL, CSR ve COST-G TWS verilerinin Türkiye genelinde aylık ortalamalarının nasıl değişti incelenmiştir.

11. Elde edilen GFZ, JPL ve CSR TWS verilerinin COST-G TWS verilerinden farkları alınarak Türkiye genelinde TWS verileri arasındaki fark değişiminin nasıl olduğu incelenmiştir (Bölüm 2.3.6).

Çalışmada ikinci olarak TWS verilerinin analizlerinin yapıldığı konum ve zamanlarda GWS verilerinin analizi için sırasıyla;

1. Türkiye'de 25 havzanın da sınırlarını dikkate alarak (Tablo 10) belirlenen toplam 14 grid için G3P tarafından işlem görüp erişime açık sunulan netcdf formatta sunulan aylık GWS verileri (ftp://isdcftp.gfz-potsdam.de/grace/GravIS/G3P) 2022 Nisan - 2020 Aralık döneminde aylık elde edilmiştir (Bölüm 2.2).

2. GLDAS hidrolojik parametrelerin toplamı olarak adlandırılan GLDAS TWS verilerine erişilerek Bölüm 1.7.3'te anlatıldığı gibi ve Eşitlik 13 ve Eşitlik 14 kullanılarak GLDAS tabanlı GWS verileri elde edilmiştir.

3. Elde edilen verilerden G3P GWS verileri için Bölüm 1.8.1'de anlatıldığı gibi doğrusal enterpolasyon yöntemine ile veri boşlukları doldurulmuştur (Bölüm 2.4.1). GLDAS GWS verisi COST-G TWS ve GLDAS hidrolojik parametrelerinden oluştuğu için boşluk doldurma işlemine gerek yoktur.

4. Bu verilerin toplam 14 griddeki değişim analizi için Bölüm 1.8.2'de anlatıldığı üzere zaman serisi analizleri ile basit doğrusal regresyon modeli ile trend analizleri, anlamlılık ve eşdeğerlik testleri yapılmıştır (Bölüm 2.4.2 ve Bölüm 2.4.3).

5. G3P ve GLDAS tabanlı GWS verileri arasındaki ilişki Bölüm 1.8.3'te anlatıldığı gibi gibi korelasyon testi uygulanmıştır (Bölüm 2.4.4)

6. G3P ve GLDAS tabanlı GWS değerleri arasındaki farklar hesaplanıp tanımlayıcı istatistikler ile incelenmiştir (Bölüm 2.4.5).

2.1. Çalışma Bölgesi

Türkiye 26 derece - 45 derece doğu boylamları, 36 derece - 42 derece kuzey enlemleri arasında, 814.562 km^2 göller ve adalar dahil gerçek alan, 783.562 km^2 izdüşüm alana sahip bir ülkedir. Kara parçalarının toplam alanı 783.356 km^2, su alanlarının toplam alanı ise 9.820 km^2'dir. Ortalama yükseltisi 1141 m olan Türkiye, 7 coğrafi bölgeye sahiptir.

Türkiye sahip olduğu coğrafyada üç farklı iklim tipini yaşamaktadır. Her mevsim yağışlı geçen, en çok yağışı sonbahar aylarında alan, yıllık ortalama sıcaklık değeri 15°C olan Karadeniz iklimine, yazları sıcak ve kurak, kışları soğuk ve karlı geçen günlük ve yıllık sıcaklık farkları yüksek olan Karasal iklimine, yazları sıcak ve kurak, kışları yağışlı ve Karasal iklime göre daha ılıman geçen Akdeniz İklimine sahiptir (Akengin vd., 2021).

Türkiye'de yıllık ortalama yağış miktarı yaklaşık 643 mm olup yaklaşık olarak 501 milyar m^3 suya eşdeğerdir. Toplam 274 milyar m^3 su, topraktan ve bitki örtüsü yüzeylerinden buharlaşarak atmosfere geri döner. Ayrıca akarsular aracılığıyla kapalı havzalarda 158 milyar m^3 su, deniz ve göllere akmaktadır. Yeraltı suyunu besleyen geri kalan 69 milyar m^3 suyun 28 milyar m^3'ü yüzey suyuna katkıda bulunmaktadır. (Yıldırım, Y. Ö., 2015; Günay, G., 2011). Türkiye su zengini bir ülke olmamakla beraber su azlığı yaşayan bir ülkedir. Kişi başına düşen yıllık kullanılabilir su miktarı yaklaşık 1519 m^3'tür. Bu da su azlığı yaşayan bir ülke olduğunu kanıtlamış olur (URL-17, 2024). Türkiye'de 1971–1974, 1983–1984, 1989–1990, 1996, 2001, 2007–2008, 2013-2014 ve 2020-2021 yılları arasında yaşanan önemli ve şiddetli kuraklık olayları kayıtlara geçmiştir (Türkeş, M., 1998; Türkeş vd., 2009). Türkiye'deki kuraklıkları araştıran başka çalışmalar da Kasım - Aralık 2006'dan Aralık 2008'e kadar tarımsal ve hidrolojik bir kuraklık yaşandığını ortaya koymakta, dolayısıyla kuraklık dönemi 2007 - 2008 olarak kaydedilmektedir (Kapluhan, E., 2013). Özellikle 2008

yılında dokuz ila 10 ay boyunca kar ve yağışta herhangi bir değişiklik görülmemiştir (Marım vd., 2008).

DSİ 2020 Yılı Resmi Su Kaynakları İstatistikleri/Su Potansiyeli İstatistikleri 'ne göre Türkiye'de toplam 25 havza bulunmaktadır (Şekil 23) (https://www.dsi.gov.tr, Türkiye Havza Numaraları ve Havzaları, 2020). Havza, bölgenin coğrafik özelliklerine ve şehirleşme, tarım veya orman şeklinde kullanımına bağlı olarak üzerlerinde var olan suyu göllere, akarsulara veya yeraltı su varlıklarına ulaştıran alanlardır (URL-18, 2024). Akarsu havzalarının çoğu Türkiye içeresinde doğup yine Türkiye kıyılarında ve sınırlarından denize dökülür (Tablo 8).



Şekil 23. Türkiye'nin sahip olduğu havzalar

Akarsu havzaları, barındırdığı suyu denize ve okyanusa ulaştırabiliyorsa açık havza niteliği taşır. Türkiye'de açık havzalara Meriç-Ergene Havzası, Marmara Havzası, Gediz Havzası, Küçük ve Büyük Menderes Havzası, Batı - Orta - Doğu Akdeniz Havzası, Seyhan Havzası, Ceyhan Havzası, Asi Havzası, Sakarya Havzası, Batı Karadeniz Havzası, Yeşilırmak Havzası, Kızılırmak Havzası, Fırat - Dicle Havzası, Çoruh Havzası ve Aras Havzası örnek olarak verilebilir. Eğer barındırdıkları suyu bir denize veya okyanusa

ulaştıramıyorsa, bulunduğu alanda kalıyorsa kapalı havza niteliği taşır. Türkiye'de kapalı havzalara Van Gölü Havzası ve Konya Kapalı Havzası örnek olarak verilebilir. Akarçay ve Burdur Havzaları su potansiyeli en düşük havzalardır. Fırat-Dicle Havzası ise Türkiye'de en fazla su potansiyeline sahip havzadır. Toplam Türkiye su potansiyelinin %28'ine eşittir (URL-18).

Tablo 9. Türkiye'nin sahip olduğu havzalar

Havza No	**Havza Adı**
01	Meriç-Ergene Havzası
02	Marmara Havzası
03	Susurluk Havzası
04	Kuzey Ege Havzası
05	Gediz Havzası
06	Küçük Menderes Havzası
07	Büyük Menderes Havzası
08	Batı Akdeniz Havzası
09	Antalya Havzası
10	Burdur Göller Havzası
11	Akarçay Havzası
12	Sakarya Havzası
13	Batı Karadeniz Havzası
14	Yeşilırmak Havzası
15	Kızılırmak Havzası
16	Konya Kapalı Havzası
17	Doğu Akdeniz Havzası
18	Seyhan Havzası
19	Asi Havzası
20	Ceyhan Havzası
21	Fırat-Dicle Havzası
22	Doğu Karadeniz Havzası
23	Çoruh Havzası
24	Aras Havzası
25	Van Gölü Havzası

Çalışmada Meriç - Ergene Çoruh Havzası (2), Batı Karadeniz Havzası (7), Yeşilırmak Havzası (28), Doğu Karadeniz Havzası (31), Çoruh - Aras Havzası (34) Susurluk Havzası (38), Sakarya Havzası (41), Gediz Havzası (56), Konya Kapalı Havzası (61), Seyhan-Ceyhan Havzası (64) Fırat-Dicle Havzası (50 - 84 - 88) ve Doğu Akdeniz Havzası (93) olmak üzere 12 farklı havza için gridler belirlenmiştir (Şekil 24). Seçilen gridler Türkiye'de homojen olarak dağıtılmış olup çeşitli havzalar üzerinde yer almaktadır. Yapılacak analizle havza bazında su kaynaklarındaki değişimin nasıl gerçekleştiği hakkında bilgiler verecektir.

Tablo 10'da TWS ve GWS değişim analizlerinin yapıldığı gridlerin temsil ettiği havzalar ve enlem, boylam bilgileri verilmektedir.



Şekil 24. Kırmızı renkli olanlar bu çalışma için seçilen gridler

Tablo 10. Çalışmada kullanılan gridler ve enlem, boylam bilgileri

Grid Numarası	**Havza İsmi**	**Enlem Sınırları**	**Boylam Sınırları**
2	Meriç-Ergene Havzası	41-42 Kuzey	27-28 Doğu
7	Batı Karadeniz Havzası	41-42 Kuzey	32-33 Doğu
28	Yeşilırmak Havzası	40-41 Kuzey	36-37 Doğu
31	Doğu Karadeniz Havzası	40-41 Kuzey	39-40 Doğu
34	Çoruh-Aras Havzaları	40-41 Kuzey	42-43 Doğu
38	Susurluk Havzası	39-40 Kuzey	28-29 Doğu
41	Sakarya Havzası	39-40 Kuzey	31-32 Doğu
50	Fırat-Dicle Havzası	39-40 Kuzey	40-41 Doğu
56	Gediz Havzası	38-39 Kuzey	28-29 Doğu
61	Konya Kapalı Havzası	38-39 Kuzey	33-34 Doğu
64	Seyhan-Ceyhan Havzaları	38-39 Kuzey	36-37 Doğu
84	Fırat-Dicle Havzası	37-38 Kuzey	39-40 Doğu
88	Fırat-Dicle Havzası	37-38 Kuzey	43-44 Doğu
92	Doğu Akdeniz Havzası	36-37 Kuzey	33-34 Doğu

2.2. Kullanılan Veriler

Yapılan çalışma çerçevesinde temel olarak GRACE/-FO uydu misyonlarının analiz merkezleri GFZ, JPL, CSR ve COST-G kombinasyon merkezinden ayrıca G3P modelinden temin edilen veriler kullanılmıştır. Buna göre Tablo 11'de de sunulan veriler sırasıyla;

1. GRACE, GRACE-FO uydu misyonlarının analiz merkezleri tarafından ayrı ayrı işlenen GRACE/-FO Seviye 3 RL06 Versiyon 4 TWS Kara verileri: Bu veriler GRACE misyonunun başlamasıyla birlikte yani 2002 Nisan ayı ile veri merkezlerinden sağlanmaktadır. GRACE-FO uydu misyonunun devam etmesiyle de veri sağlamayı sürdürmüştür. Veriler 2002 Nisan - 2023 Ekim dönemini kapsıyor olup, bu çalışmada tüm TWS verilerinin aynı dönemde analiz edilmesi gerektiğinden 2002 Nisan - 2023 Mayıs dönemi verileri kullanılmıştır. Zamansal çözünürlüğü aylık; konumsal çözünürlüğü ise 1 derece enlem × 1 derece boylam olarak belirlenmiştir. Ancak bunlar kullanıncaya sunulan çözünürlüktür. Bölüm 1.5.2' de de anlatıldığı üzere veriler çeşitli derece/mertebe özelliğine sahiptir. Çalışmada kullanılan bu veriler Seviye-2 60 derece × 60 mertebe verilerinden işlenerek elde edilmiştir. Bu nedenle konumsal çözünürlük yaklaşık olarak 300 km'lik bir alanı kapsar. Bu yüzden de gridler birbirinden bağımsız düşünülemez. Kullanılan bu veriler Seviye-3 düzeyinde bir veri olduğundan Bölüm 1.5.3'te yer alan adımlardaki yapılması gereken tüm düzeltmeler yapılmış olarak yayınlanır.

2. COST-G TWS RL01 verileri: Bu veriler 2002 Nisan - 2023 Mayıs dönemini kapsayacak şekilde Bölüm 1.7.1'de anlatıldığı gibi bünyesinde bulunan analiz merkezlerinin bireysel çözümlerinden kombinasyon yapılarak elde edilir (Şekil 14). Verilerin zamansal çözünürlüğü aylık; konumsal çözünürlüğü 1 derece enlem × 1 derece boylam olarak belirlenmiştir. Seviye-3 düzeyinde bir veri olduğundan Bölüm 1.5.3'te yer alan adımlardaki yapılması gereken tüm düzeltmeler yapılmış olarak yayınlanır (Boergens vd., 2020).

3. G3P model verileri: GWS verisi sağlamakla birlikte, GWS verisini elde ederken kullanılan tüm parametreleri de sağlamaktadır. G3P 1.11 versiyonundaki veriye erişildiğinde içerisinde TWS, GWS, Toprak Nemi, Yüzey Suyu, Kar Suyu, Buzul Kütle Değişim Anomalisini içermektedir. Tüm bu verilerin zamansal çözünürlüğü Aylık; konumsal çözünürlüğü 0.5 derece enlem × 0.5 derece boylamdır. 2002 Nisan - 2020 Aralık yılları arasını kapsamaktadır. Çalışmada G3P verileri ile bir analiz yapılacağı zaman diğer veriler 2020 yılına göre yeniden oluşturulur. Seviye-3 düzeyinde bir veri olduğundan Bölüm

1.5.3'te yer alan adımlardaki yapılması gereken tüm düzeltmeler yapılmış olarak yayınlanır (Güntner vd., 2023).

4. GLDAS model verileri: GLDAS TWS verileri ve hidrolojik parametreler (toprak nemi, yüzey suyu, kar suyu) aylık zamansal çözünürlüğe ve 1 derece enlem × 1 derece boylam konumsal çözünürlüğe sahiptir. Verilerin kapsamı 2002 Nisan - 2023 Ekim yılları arasıdır. Aşağıdaki Tablo 11'de çalışmada kullanılan tüm veriler yer almaktadır.

Tablo 11. Çalışmada kullanılan veriler ve özellikleri

Servis	**Veri**	**Kapsadığı Zaman**	**Zamansal Çözünürlük**	**Konumsal Çözünürlük (derece)**
GFZ JPL CSR	TWS	2002 Nisan - 2023 Ekim	Aylık	1 × 1
COST-G	TWS	2002 Nisan - 2023Mayıs	Aylık	1 × 1
G3P	GWS	2002 Nisan - 2020 Aralık	Aylık	0.5 × 0.5
GLDAS	Hidrolojik parametrelerin toplamı	2002 Nisan - 2023 Ekim	Aylık	1 × 1

Yukarıda Tablo 11'de sunulan veriler ile Türkiye'de havza sınırlarını (Tablo 10) da dikkate alarak belirlenen gridlerde (Şekil 23) 2002 - 2023 dönemi için TWS ve GWS değişim analizi yapmak üzere gerçekleştirilen bu çalışmada öncelikle;

1. Misyonlar içi (2002 Nisan - 2017 Haziran ve 2018 Haziran - 2023 Mayıs) veri boşlukları tamamlamak için Bölüm 1.8.1'de de anlatıldığı gibi doğrusal enterpolasyon yöntemi ile boşluk oldurma (gap filling) yöntemi kullanılmıştır (Bölüm 2.3.1, Bölüm 2.4.1).

Daha sonra boşluk doldurma işlemi uygulanan zaman serilerinde TWS ve GWS değişim analizleri yapmak üzere;

2. Zaman serilerinde basit doğrusal regresyon modeli ile trend analizi ve anlamlılık testleri (Bölüm 2.3.2, Bölüm 2.3.3, Bölüm 2.3.4, Bölüm 2.4.2, Bölüm 2.4.3),

3. Zaman serilerinde korelasyon analizi ve anlamlılık testleri (Bölüm 2.4.4),

4. Zaman serilerinde tanımlayıcı istatistiklerle (minumum, maksimum, ortalama) değişim analizi (Bölüm 2.3.5) yöntemleri kullanılmıştır. Ancak GRACE ve GRACE-FO

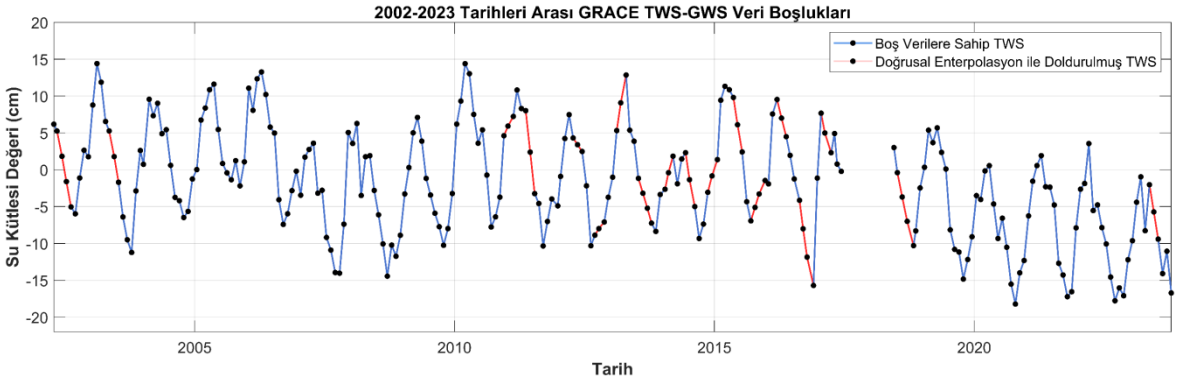
misyonları arası 11 aylık boşluk için doldurma işlemi uygulanmamıştır. Bu sebeple 2002 Nisan - 2017 Haziran dönemindeki GRACE verileri, 2018 Haziran - 2023 Mayıs dönemindeki GRACE-FO verileri için ayrı ayrı trend analizi yapılmıştır.

2.3. GRACE/-FO Tabanlı TWS Değişim Analizleri

GRACE/-FO uydu misyonlarının çeşitli seviyelerde sağladığı veriler Bölüm 1.5'te detaylıca açıklanmıştır. Bu çalışmada analiz merkezleri tarafından kullanıcı düzeltmelerin yapıldığı, coğrafi gridlerin oluşturulduğu GRACE/-FO Seviye-3 uydu verileri kullanılmıştır. Verilerle ilgili analizlere geçmeden önce GRACE/-FO TWS verilerinin değişim analizlerini gerçekleşmeden önce Bölüm 1.8.1'de anlatılan doğrusal enterpolasyon yöntemine göre TWS zaman serilerinde boşluklar doldurulmuştur. GFZ, JPL ve CSR bağımsız analiz merkezlerinin sağladığı GRACE/-FO uydu tabanlı TWS verilerine ek olarak farklı analiz merkezlerinin sağladığı TWS verilerinin bu tez çalışmasında aritmetik ortalama yöntemiyle hesaplanıp elde edilen Ortalama TWS (ort_TWS) ve COST-G kombinasyon merkezinin sağladığı COST-G TWS kombinasyon verileri kullanılmıştır. Bağımsız analiz merkezlerinden elde edilen üç ayrı TWS verisi (GFZ, JPL ve CSR) ve kombinasyon verileri (ort_TWS ve COST-G TWS) zaman serilerine Bölüm 1.8.2'de anlatılan basit doğrusal regresyon modeliyle trend analizi yapılmıştır.

2.3.1. GRACE/-FO Analiz Merkezlerinde Elde Edilen TWS Zaman Serilerinden Boşluk Doldurma

GRACE/-FO uydu misyonları sağlamış olduğu TWS verilerinde çeşitli nedenlerden ötürü (batarya, kalibrasyon) veri sağlanamayan aylara sahiptir (Şekil 25). GRACE/-FO misyonu içerisinde sürekli olmayan parça parça toplam 22 aylık veri boşlukları Bölüm 1.8.1'de anlatıldığı üzere doğrusal enterpolasyon yöntemi ile doldurulmuştur. Bu işlem yapılırken zaman serilerinde devamlılığın sağlanması göz önünde bulundurulmuştur.



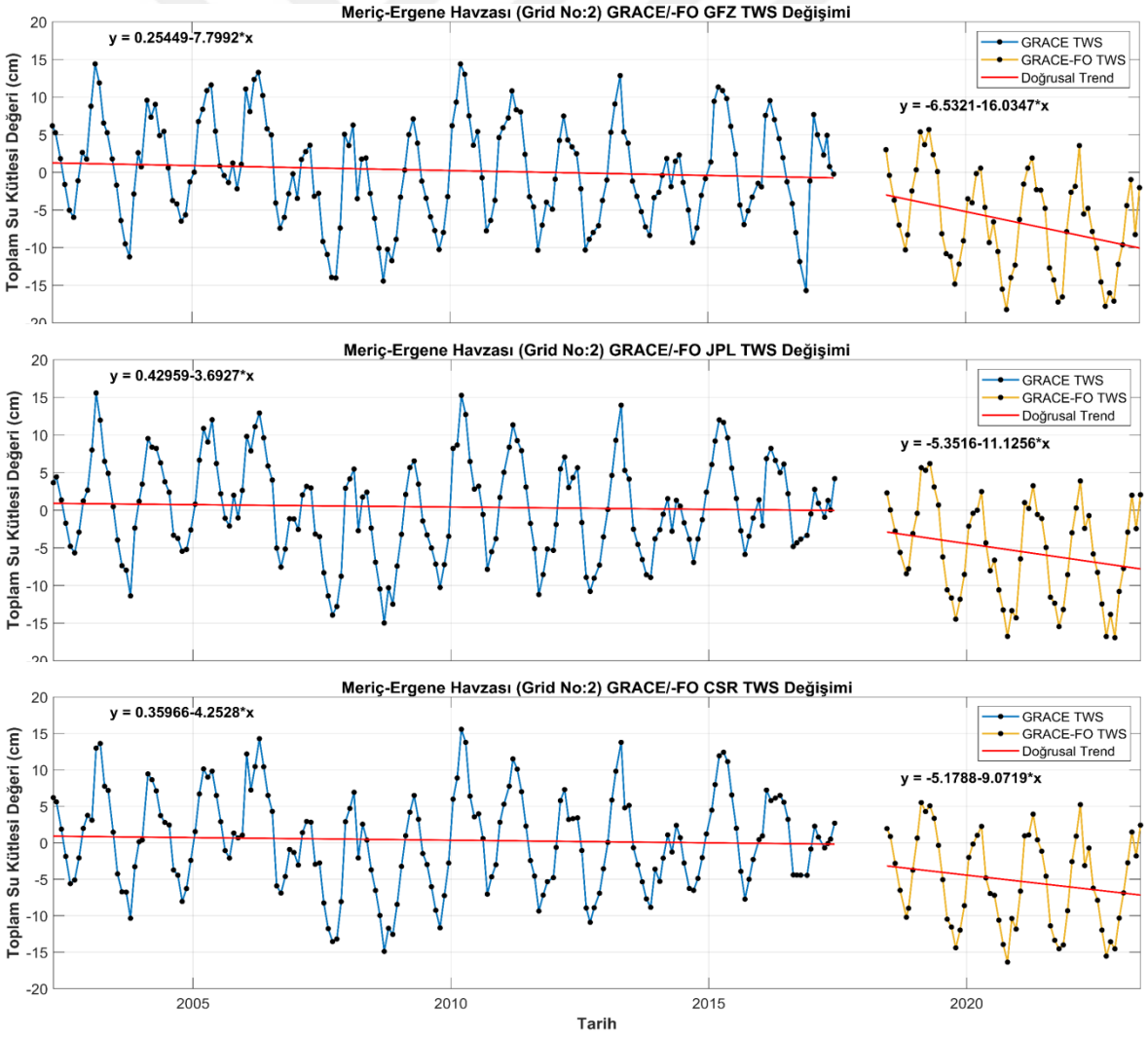
Şekil 25. GRACE/-FO misyonlarındaki veri boşluklarını gösteren zaman serisi grafiği

Şekil 24'te de görüldüğü üzere mavi çizgi ile GRACE/-FO uydu misyonlarının sağladığı TWS verileri temsil edilmektedir. Kırmızı çizgi ile ise GRACE/-FO uydu misyonlarının sağladığı TWS verisi içerisinde yer alan boşlukları temsil etmektedir. Yine Şekil 25'te görüldüğü üzere misyonlar arası 11 aylık boşluk vardır. Ancak herhangi bir işlem ile doldurulmamıştır.

2.3.2. GRACE/-FO Analiz Merkezlerinden Elde Edilen TWS Değişimlerinin Trend Analiz ile İncelenmesi

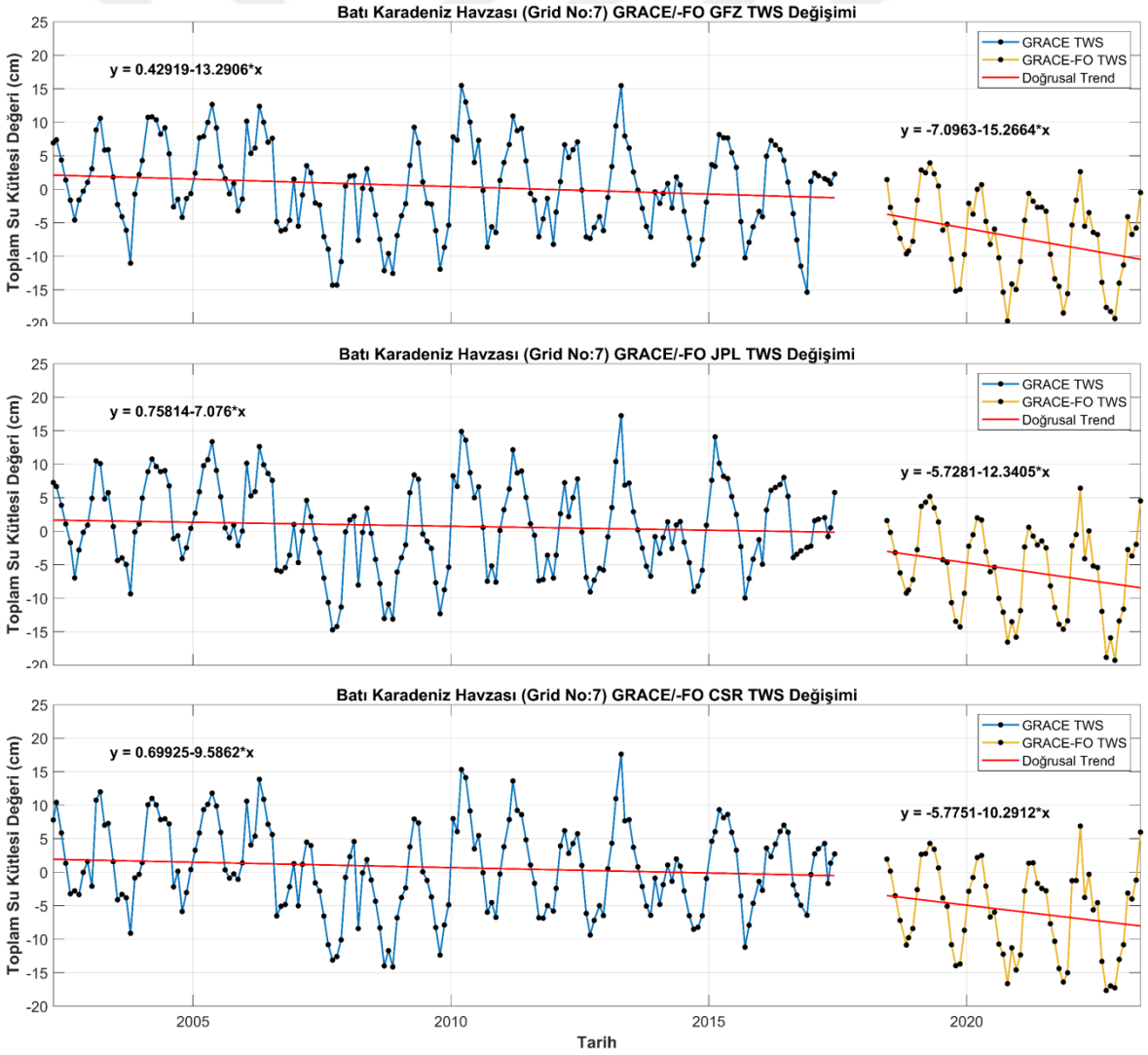
GRACE/-FO uydu misyonlarının resmi analiz merkezleri olan GFZ, JPL, CSR tarafından işlenen TWS verilerinin zaman serisi grafikleri elde edilmiş ve basit doğrusal regresyon modeli ile trend analizleri yapılmıştır. Gridlerdeki TWS değişimleri, trend analizlerinden elde edilen a_1 trend bileşeni katsayısına (eğim) göre değerlendirilmiştir. Şekil 26 - Şekil 67'ye kadar olan zaman serisi grafiklerinde mavi renkte çizgi rengine sahip veriler GRACE misyonunu; turuncu renkte olan veriler ise GRACE-FO misyonunu temsil etmektedir. Kırmızı çizgi ise GRACE/-FO uydu misyonları TWS verilerinin trend bileşenini temsil eder. Zaman serisini iki trend bileşeni ile temsil edilmesinin nedeni GRACE ve GRACE-FO misyonları arasında var olan veri boşluğudur. Regresyon analizi yaparken misyon boşluğunun modele etki etmemesi adına parçalı trend hesaplanmıştır. Grafiklerde mavi ve turuncu çizgiler arasındaki boşluk, GRACE/-FO uydu misyonları arasında oluşan misyon boşluğundan kaynaklanmaktadır. Buna göre bağımsız analiz merkezleri TWS verileri zaman serileri trend analiz sonuçları havzalara göre değerlendirilmiştir.

• Meriç-Ergene Havzası (Grid No:2), gridin üç farklı analiz merkezine ait zaman serisi grafiklerine bakıldığında ortak olan hem GRACE hem de GRACE-FO misyonlarında TWS verilerinin azalış eğilimi göstermesidir (Şekil 26). TWS değerleri Mart-Nisan-Mayıs aylarında en yüksek değerlere kadar ulaştığı daha sonra azalışa geçerek en az değerlere Eylül-Ekim-Kasım aylarında düştüğü gözlenmektedir. GRACE TWS değerleri GFZ için -7.80 ± 11.08 cm/ay, JPL için -3.69 ± 10.76 cm/ay, CSR için -4.25 ± 10.81 cm/ay; GRACE-FO TWS değerleri GFZ için -16.03 ± 10.34 cm/ay, JPL için -11.13 ± 10.63 cm/ay, CSR için -9.07 ± 10.50 cm/ay oranında negatif yönde eğilimleri mevcuttur. Zaman serisi grafiğinin zaman aralığında en düşük TWS değerinin GFZ, JPL ve CSR için Ekim 2020'de aldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca GFZ analiz merkezlerine ait a_1 katsayısının diğer analiz merkezlerince daha yüksek olduğu görülmüştür.



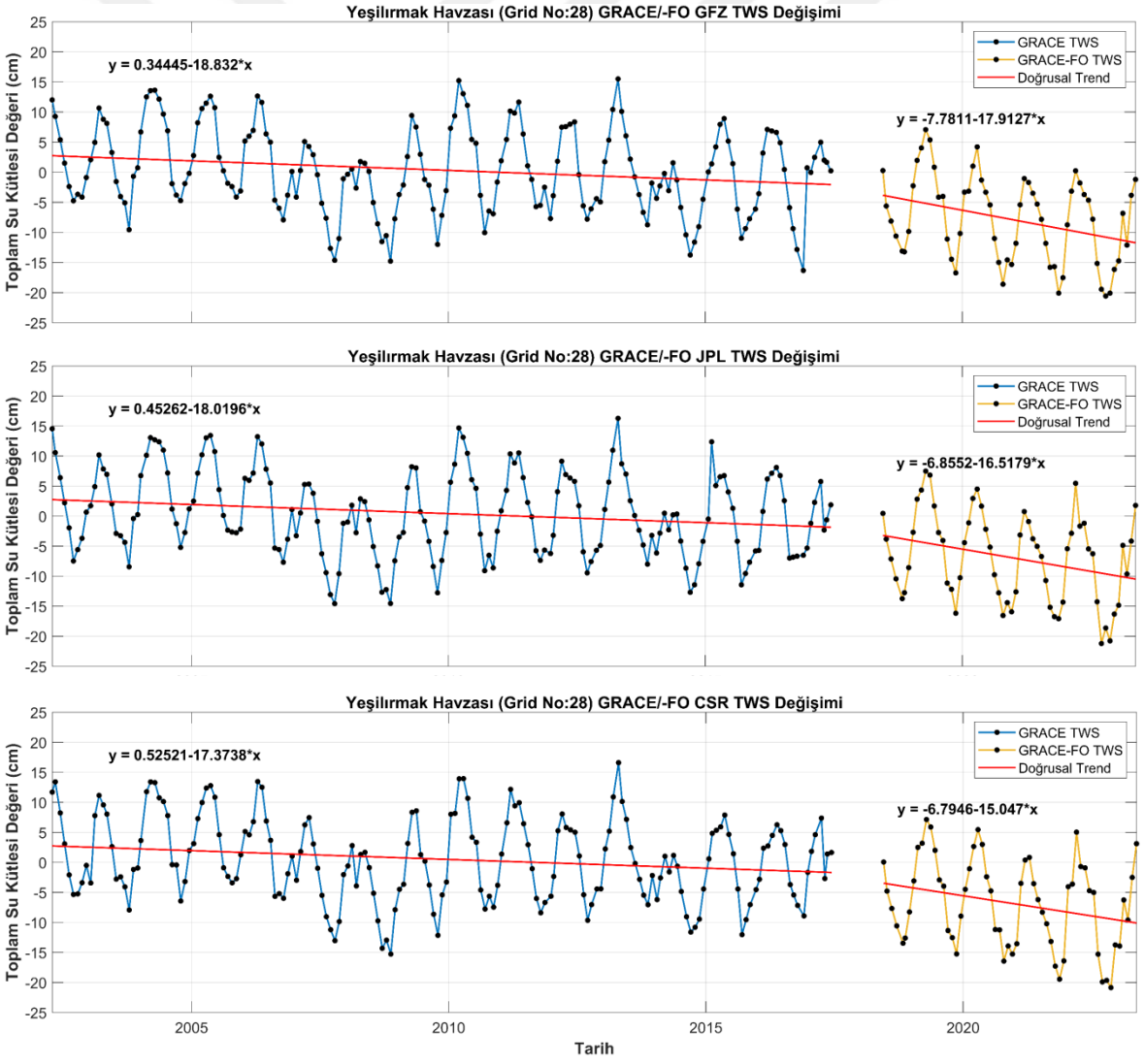
Şekil 26. 2 No'lu gride ait GFZ, JPL, CSR TWS zaman serisi grafikleri

• Batı Karadeniz Havzası (Grid No:7), gridin üç farklı analiz merkezine ait zaman serisi grafiklerine bakıldığında ortak olan hem GRACE hem de GRACE-FO misyonlarında TWS verilerinin azalış eğilimi göstermesidir (Şekil 27). TWS değerleri Mart-Nisan-Mayıs aylarında en yüksek değerlere kadar ulaştığı daha sonra azalışa geçerek en az değerlere Eylül-Ekim-Kasım aylarında düştüğü gözlenmektedir. GRACE TWS değerleri GFZ için -13.29 ± 10.73 cm/ay, JPL için -7.08 ± 10.85 cm/ay, CSR için -9.59 ± 10.76 cm/ay; GRACE-FO TWS değerleri GFZ için -15.27 ± 10.19 cm/ay, JPL için -12.34 ± 10.83 cm/ay, CSR için -10.29 ± 10.96 cm/ay oranında negatif yönde eğilimleri mevcuttur. Zaman serisi grafiğinin zaman aralığında en düşük TWS değerinin GFZ için Ekim 2022, JPL için Kasım 2022 ve CSR için Eylül 2022'de aldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca analiz merkezlerine ait a_1 katsayıları arasında farkın yüksek olduğu fark edilmiştir.



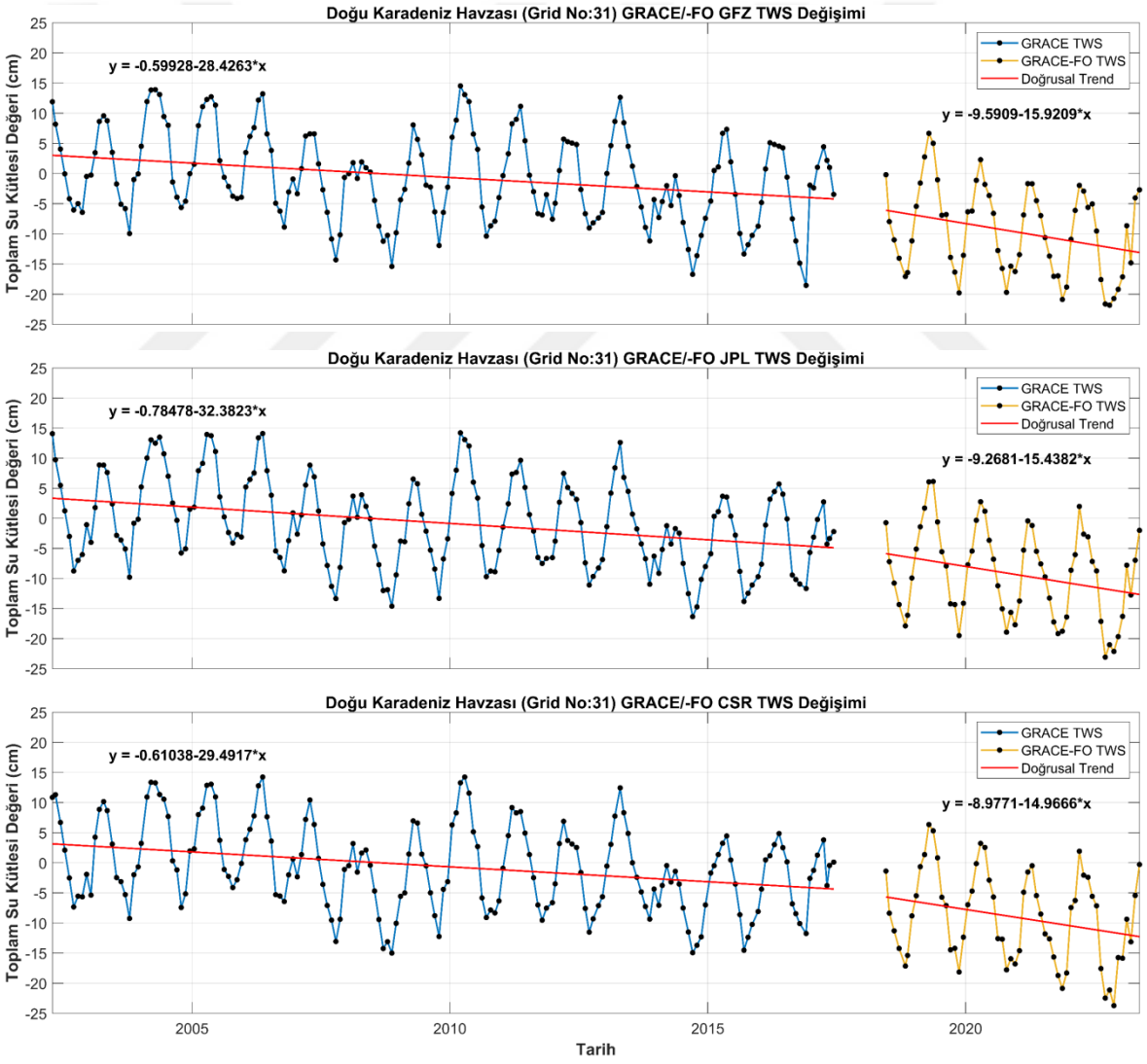
Şekil 27. 7 No'lu gride ait GFZ, JPL, CSR TWS zaman serisi grafikleri

• Yeşilırmak Havzası (Grid No:28), gridin üç farklı analiz merkezine ait zaman serisi grafiklerine bakıldığında ortak olan hem GRACE hem de GRACE-FO misyonlarında TWS verilerinin azalış eğilimi göstermesidir (Şekil 28). TWS değerleri Mart-Nisan-Mayıs aylarında en yüksek değerlere kadar ulaştığı daha sonra azalışa geçerek en az değerlere Eylül-Ekim-Kasım aylarında düştüğü gözlenmektedir. GRACE TWS değerleri GFZ için -18.83 ± 11.48 cm/ay, JPL için -18.02 ± 11.45 cm/ay, CSR için -17.37 ± 11.33 cm/ay; GRACE-FO TWS değerleri GFZ için -17.91 ± 11.41 cm/ay, JPL için -16.52 ± 11.95 cm/ay, CSR için -15.05 ± 12.06 cm/ay oranında negatif yönde eğilimleri mevcuttur. Zaman serisi grafiğinin zaman aralığında en düşük TWS değerinin GFZ için Ekim 2022, JPL ve CSR için Kasım 2022'de aldığı gözlemlenmiştir. 2. ve 7. Gridde görülen a_1 katsayıları arasındaki yüksek fark gözlenmemiştir.



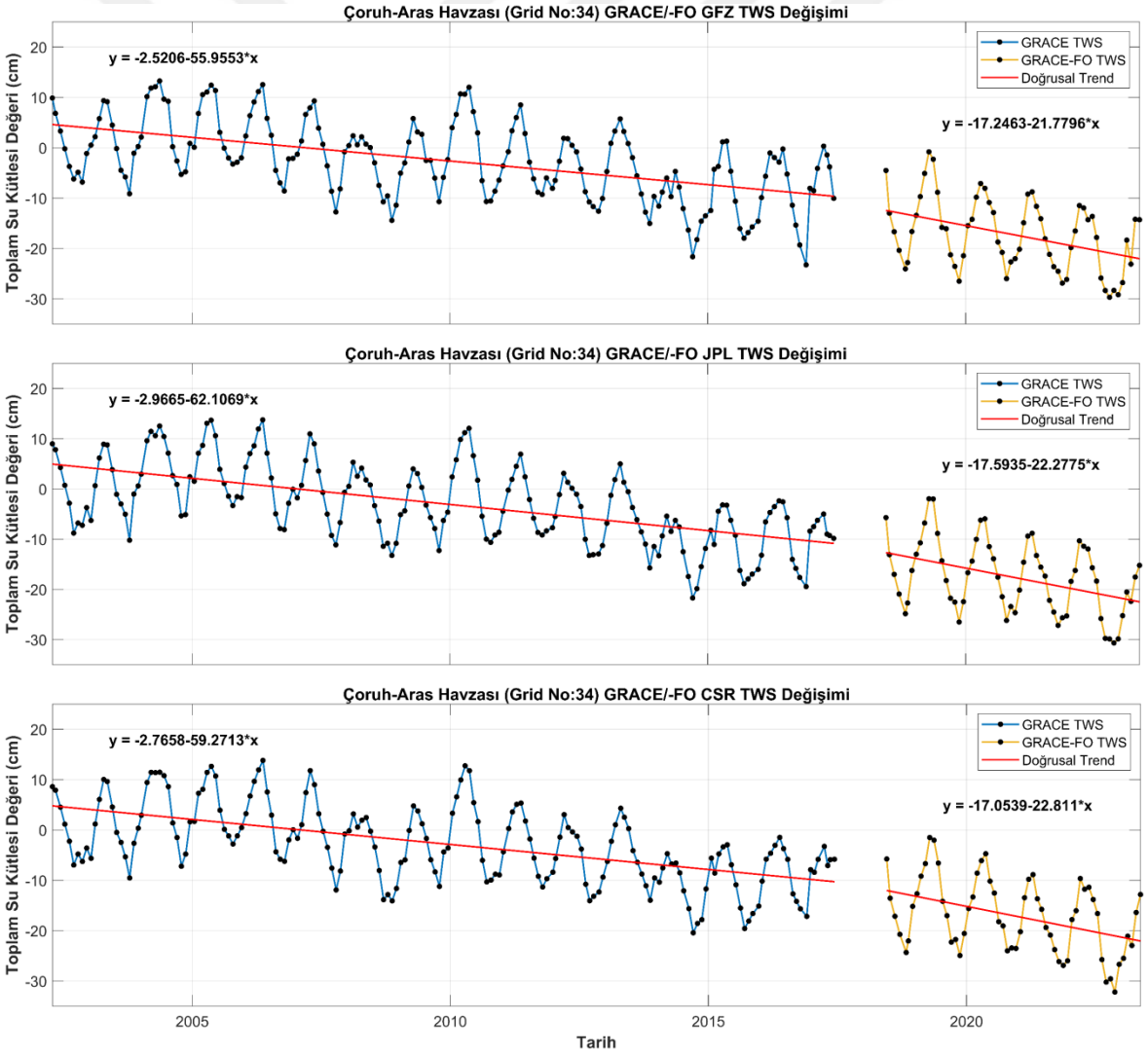
Şekil 28. 28 No'lu gride ait GFZ, JPL, CSR TWS zaman serisi grafikleri

• Doğu Karadeniz Havzası (Grid No:31), gridin üç farklı analiz merkezine ait zaman serisi grafiklerine bakıldığında ortak olan hem GRACE hem de GRACE-FO misyonlarında TWS verilerinin azalış eğilimi göstermesidir (Şekil 29). TWS değerleri Mart-Nisan-Mayıs aylarında en yüksek değerlere kadar ulaştığı daha sonra azalışa geçerek en az değerlere Eylül-Ekim-Kasım aylarında düştüğü gözlenmektedir. GRACE TWS değerleri GFZ için -28.43 ± 11.62 cm/ay, JPL için -32.38 ± 11.42 cm/ay, CSR için -29.49 ± 11.28 cm/ay; GRACE-FO TWS değerleri GFZ için -15.92 ±11.87 cm/ay, JPL için -15.44 ± 12.19 cm/ay, CSR için -14.97 ± 12.30 cm/ay oranında negatif yönde eğilimleri mevcuttur. Zaman serisi grafiğinin zaman aralığında en düşük TWS değerinin GFZ için Ekim 2022, JPL için Eylül 2022 ve CSR için Kasım 2022'de aldığı gözlemlenmiştir.



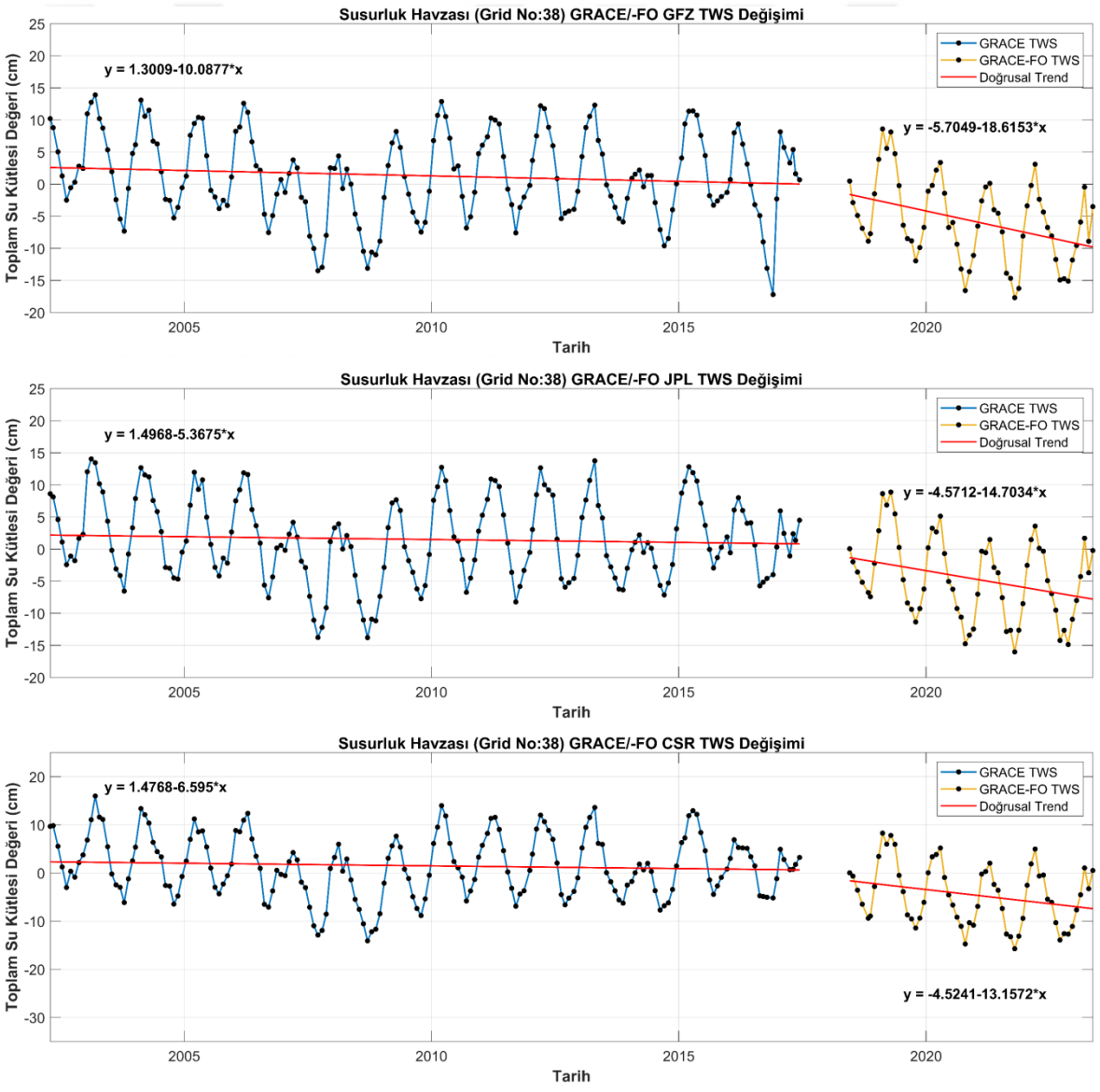
Şekil 29. 31 No'lu gride ait GFZ, JPL, CSR TWS zaman serisi grafikleri

• Çoruh-Aras Havzası (Grid No:34), gridin üç farklı analiz merkezine ait zaman serisi grafiklerine bakıldığında ortak olan hem GRACE hem de GRACE-FO misyonlarında TWS verilerinin azalış eğilimi göstermesidir (Şekil 30). TWS değerleri Mart-Nisan-Mayıs aylarında en yüksek değerlere kadar ulaştığı daha sonra azalışa geçerek en az değerlere Eylül-Ekim-Kasım aylarında düştüğü gözlenmektedir. GRACE TWS değerleri GFZ için -55.96 ± 10.91 cm/ay, JPL için -62.11 ± 10.71 cm/ay, CSR için -59.27 ± 10.59 cm/ay; GRACE-FO TWS değerleri GFZ için -21.78 ± 11.03 cm/ay, JPL için -22.28 ± 11.19 cm/ay, CSR için -22.81 ± 11.31 cm/ay oranında negatif yönde eğilimleri mevcuttur. Zaman serisi grafiğinin zaman aralığında en düşük TWS değerinin GFZ için Ekim 2022, JPL ve CSR için Kasım 2022'de aldığı gözlemlenmiştir.



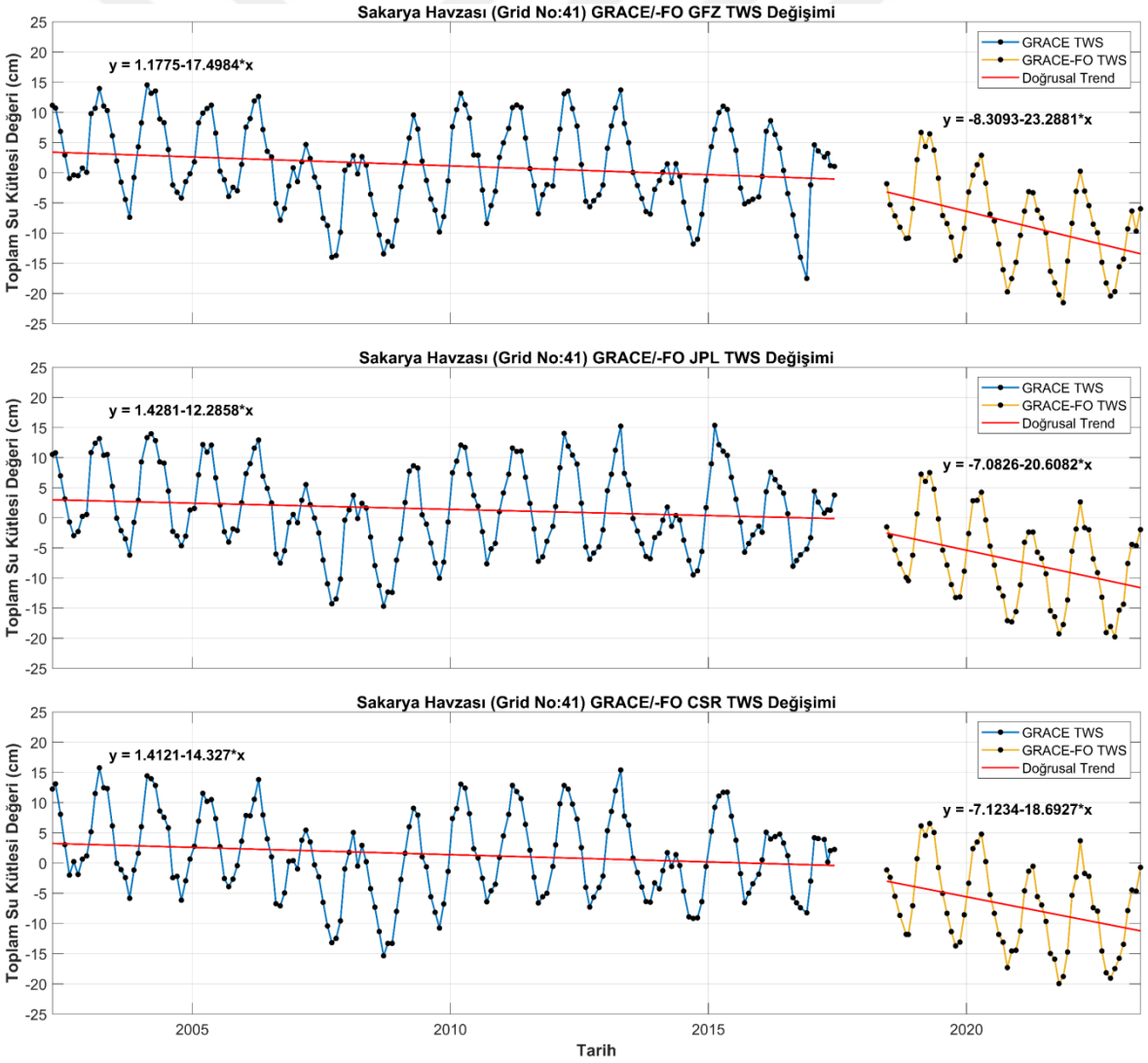
Şekil 30. 34 No'lu gride ait GFZ, JPL, CSR TWS zaman serisi grafikleri

• Susurluk Havzası (Grid No:38), gridin üç farklı analiz merkezine ait zaman serisi grafiklerine bakıldığında ortak olan hem GRACE hem de GRACE-FO misyonlarında TWS verilerinin azalış eğilimi göstermesidir (Şekil 31). TWS değerleri Mart-Nisan-Mayıs aylarında en yüksek değerlere kadar ulaştığı daha sonra azalışa geçerek en az değerlere Eylül-Ekim-Kasım aylarında düştüğü gözlenmektedir. GRACE TWS değerleri GFZ için -10.09 ± 10.83 cm/ay, JPL için -5.37 ± 10.55 cm/ay, CSR için -6.60 ± 10.56 cm/ay; GRACE-FO TWS değerleri GFZ için -18.62 ± 9.97 cm/ay, JPL için -14.70 ± 10.17 cm/ay, CSR için -13.16 ± 10.20 cm/ay oranında negatif yönde eğilimleri mevcuttur. Zaman serisi grafiğinin zaman aralığında en düşük TWS değerinin GFZ, JPL ve CSR için Ekim 2021'de aldığı gözlemlenmiştir.



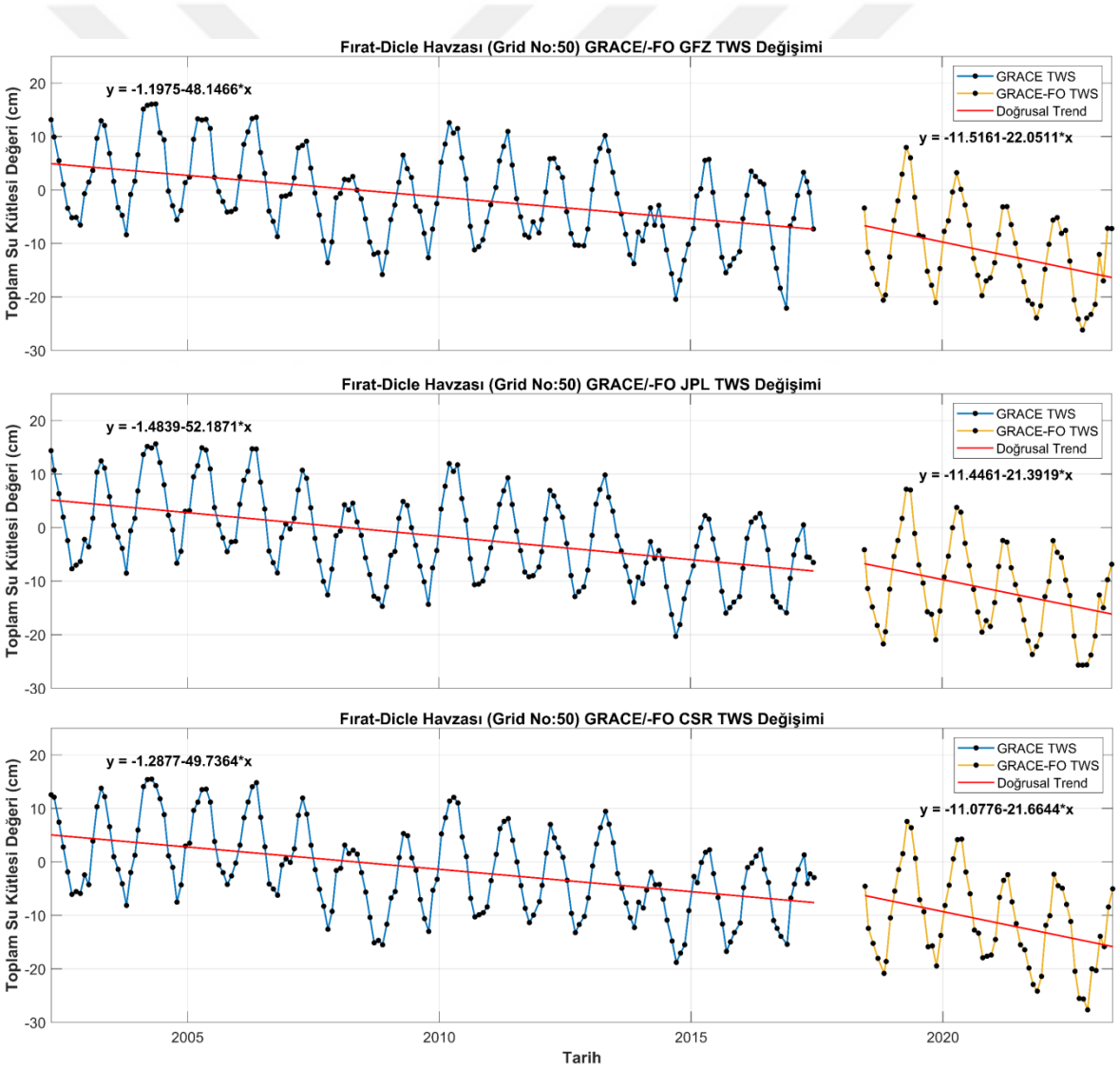
Şekil 31. 38 No'lu gride ait GFZ, JPL, CSR TWS zaman serisi grafikleri

• Sakarya Havzası (Grid No:41), gridin üç farklı analiz merkezine ait zaman serisi grafiklerine bakıldığında ortak olan hem GRACE hem de GRACE-FO misyonlarında TWS verilerinin azalış eğilimi göstermesidir (Şekil 32). TWS değerleri Mart-Nisan-Mayıs aylarında en yüksek değerlere kadar ulaştığı daha sonra azalışa geçerek en az değerlere Eylül-Ekim-Kasım aylarında düştüğü gözlenmektedir. GRACE TWS değerleri GFZ için -17.50 ± 11.41 cm/ay, JPL için -12.29 ±11.41 cm/ay, CSR için -14.33 ± 11.39 cm/ay; GRACE-FO TWS değerleri GFZ için -23.29 ± 10.85 cm/ay, JPL için -20.61 ± 11.32 cm/ay, CSR için -18.69 ± 11.41 cm/ay oranında negatif yönde eğilimleri mevcuttur. Zaman serisi grafiğinin zaman aralığında en düşük TWS değerinin JPL için Kasım 2022 ve GFZ ve CSR için Kasım 2021'de aldığı gözlemlenmiştir.



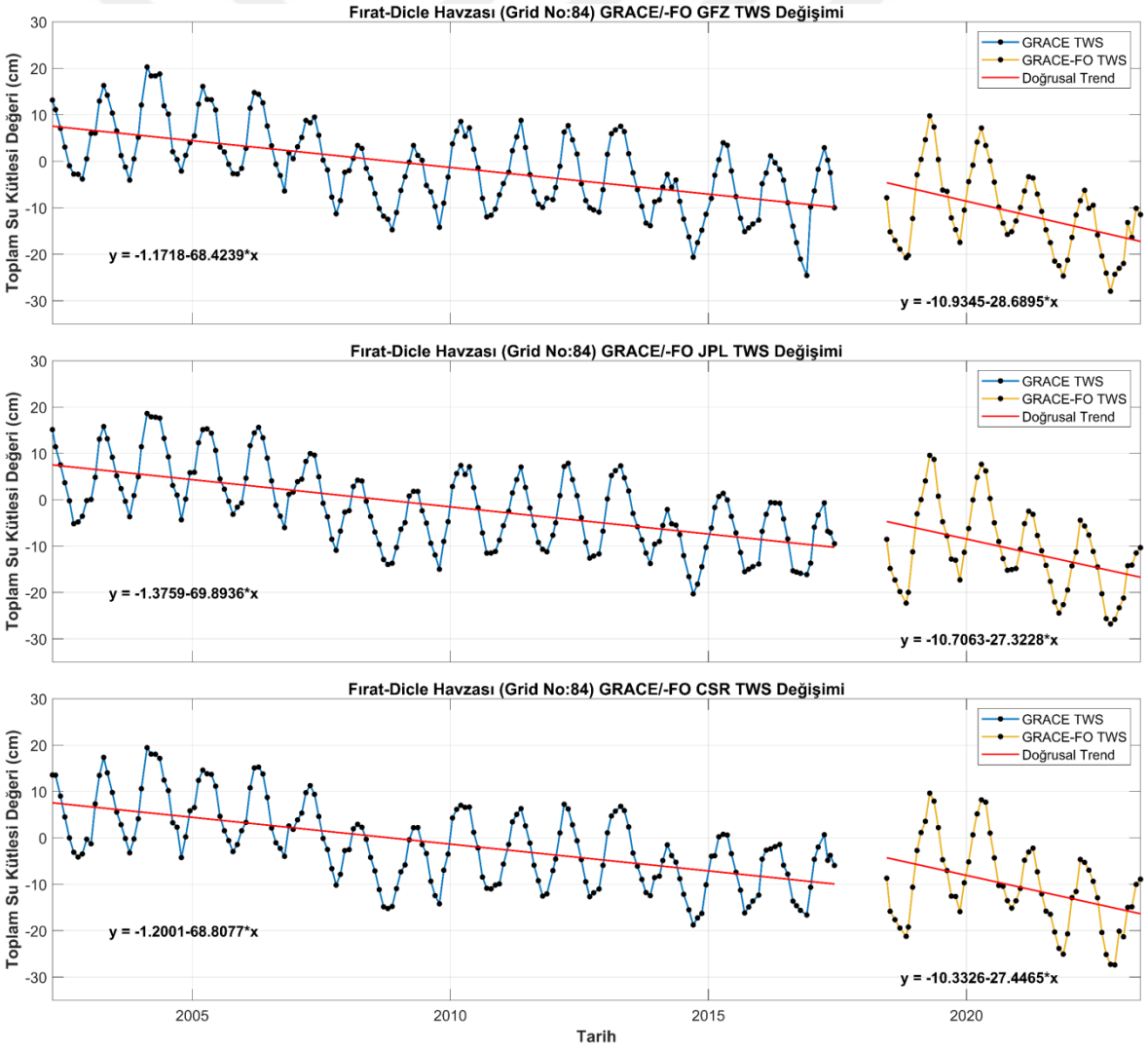
Şekil 32. 41 No'lu gride ait GFZ, JPL, CSR TWS zaman serisi grafikleri

• Fırat-Dicle Havzası (Grid No:50), gridin üç farklı analiz merkezine ait zaman serisi grafiklerine bakıldığında ortak olan hem GRACE hem de GRACE-FO misyonlarında TWS verilerinin azalış eğilimi göstermesidir (Şekil 33). TWS değerleri Mart-Nisan-Mayıs aylarında en yüksek değerlere kadar ulaştığı daha sonra azalışa geçerek en az değerlere Eylül-Ekim-Kasım aylarında düştüğü gözlenmektedir. GRACE TWS değerleri GFZ için -48.15 ± 12.25 cm/ay, JPL için -52.19 ±11.99 cm/ay, CSR için -49.74 ± 11.89 cm/ay; GRACE-FO TWS değerleri GFZ için -22.05 ± 13.05 cm/ay, JPL için -21.39 ± 13.42 cm/ay, CSR için -21.66 ± 13.58 cm/ay oranında negatif yönde eğilimleri mevcuttur. Zaman serisi grafiğinin zaman aralığında en düşük TWS değerinin GFZ, JPL için Ekim 2022 ve CSR için Kasım 2022'de aldığı gözlemlenmiştir.



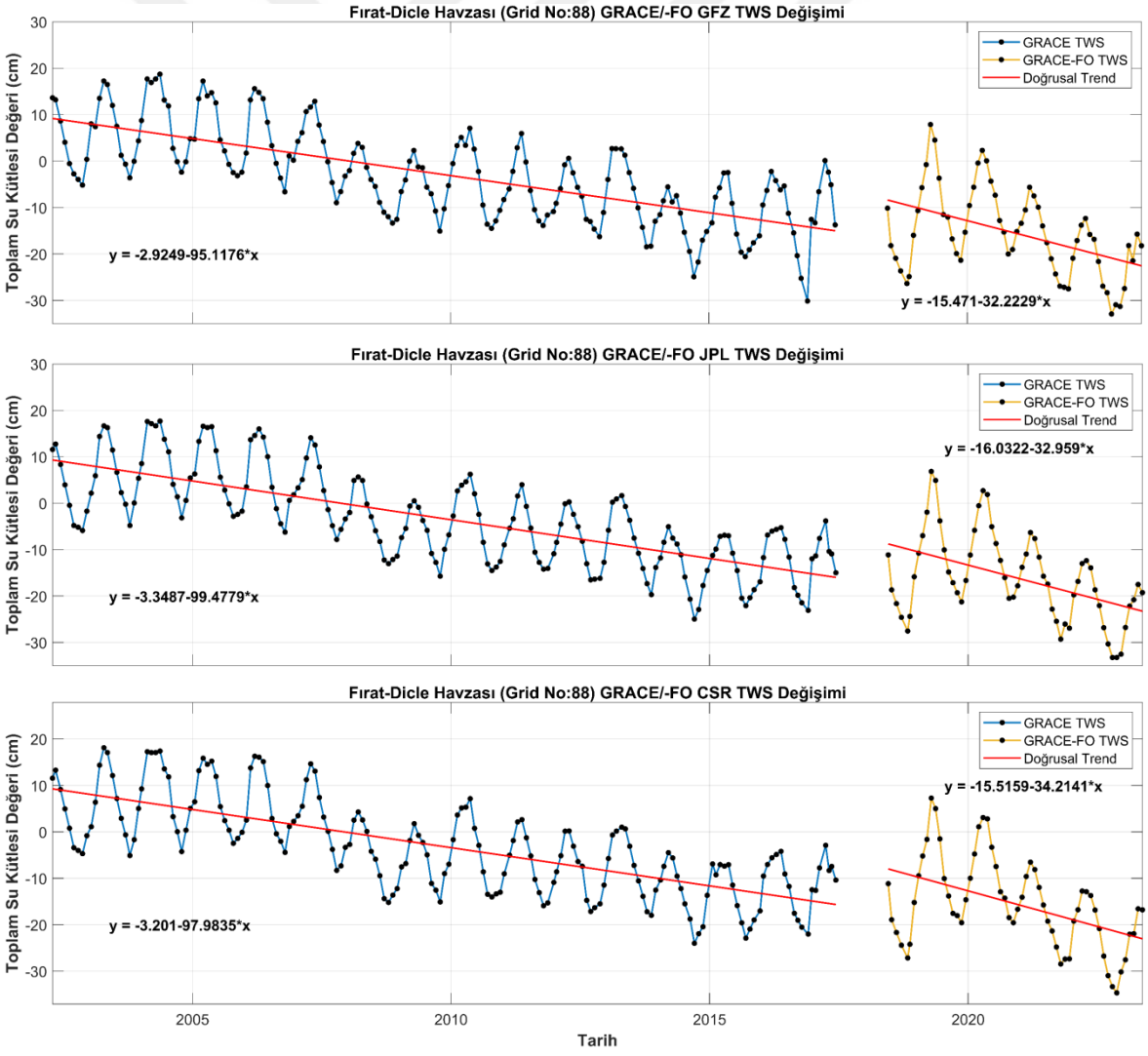
Şekil 33. 50 No'lu gride ait GFZ, JPL, CSR TWS zaman serisi grafikleri

• Fırat-Dicle Havzası (Grid No:84), gridin üç farklı analiz merkezine ait zaman serisi grafiklerine bakıldığında ortak olan hem GRACE hem de GRACE-FO misyonlarında TWS verilerinin azalış eğilimi göstermesidir (Şekil 34). TWS değerleri Mart-Nisan-Mayıs aylarında en yüksek değerlere kadar ulaştığı daha sonra azalışa geçerek en az değerlere Eylül-Ekim-Kasım aylarında düştüğü gözlenmektedir. GRACE TWS değerleri GFZ için -68.42 ± 11.84 cm/ay, JPL için -69.89 ± 11.56 cm/ay, CSR için -68.81 ± 11.53 cm/ay; GRACE-FO TWS değerleri GFZ için -28.69 ± 13.71 cm/ay, JPL için -27.32 ± 14.24 cm/ay, CSR için -27.45 ± 14.42 cm/ay oranında negatif yönde eğilimleri mevcuttur. Zaman serisi grafiğinin zaman aralığında en düşük TWS değerinin GFZ, JPL için Ekim 2022 ve CSR için Kasım 2022'de aldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca GFZ için Kasım 2016'da da çok düşük TWS değeri okunmuştur.



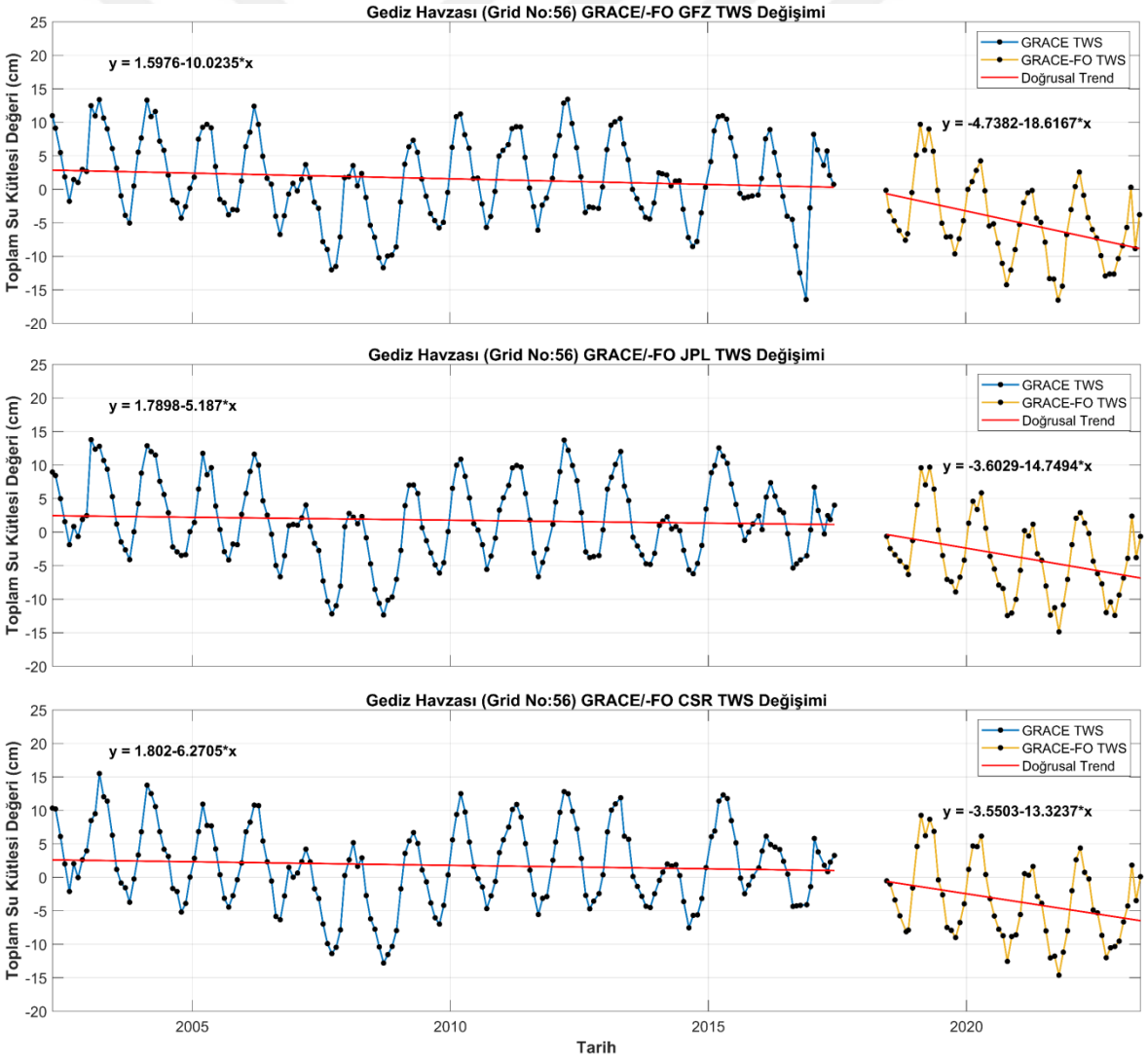
Şekil 34. 84 No'lu gride ait GFZ, JPL, CSR TWS zaman serisi grafikleri

• Fırat-Dicle Havzası (Grid No:88), gridin üç farklı analiz merkezine ait zaman serisi grafiklerine bakıldığında ortak olan hem GRACE hem de GRACE-FO misyonlarında TWS verilerinin azalış eğilimi göstermesidir. TWS değerleri Mart-Nisan-Mayıs aylarında en yüksek değerlere kadar ulaştığı daha sonra azalışa geçerek en az değerlere Eylül-Ekim-Kasım aylarında düştüğü gözlenmektedir. GRACE TWS değerleri GFZ için -95.12 ± 11.80 cm/ay, JPL için -99.48 ± 11.47 cm/ay, CSR için -97.98 ± 11.63 cm/ay; GRACE-FO TWS değerleri GFZ için -32.22 ± 14.00 cm/ay, JPL için -32.96 ± 14.26 cm/ay, CSR için -34.21 ± 14.56 cm/ay oranında negatif yönde eğilimleri mevcuttur. Zaman serisi grafiğinin zaman aralığında en düşük TWS değerinin GFZ, JPL için Ekim 2022 ve CSR için Kasım 2022'de aldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca GFZ için Kasım 2016'da da çok düşük TWS değeri okunmuştur (Şekil 35).



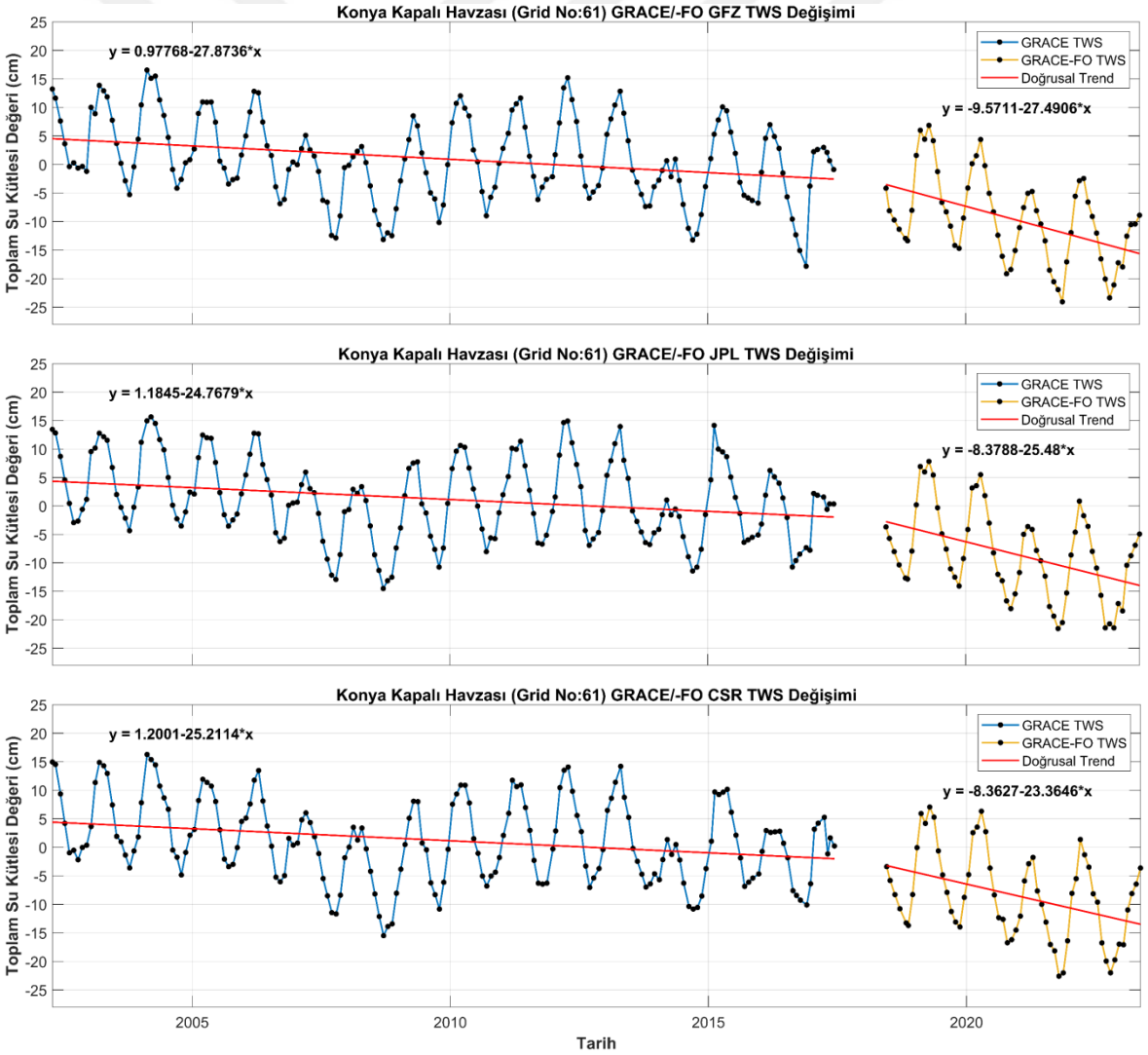
Şekil 35. 88 No'lu gride ait GFZ, JPL, CSR TWS zaman serisi grafikleri

• Gediz Havzası (Grid No:56), gridin üç farklı analiz merkezine ait zaman serisi grafiklerine bakıldığında ortak olan hem GRACE hem de GRACE-FO misyonlarında TWS verilerinin azalış eğilimi göstermesidir. TWS değerleri Mart-Nisan-Mayıs aylarında en yüksek değerlere kadar ulaştığı daha sonra azalışa geçerek en az değerlere Eylül-Ekim-Kasım aylarında düştüğü gözlenmektedir. GRACE TWS değerleri GFZ için -10.02 ± 10.16 cm/ay, JPL için -5.19 ± 9.82 cm/ay, CSR için -6.27 ± 9.85 cm/ay; GRACE-FO TWS değerleri GFZ için -18.62 ± 9.24 cm/ay, JPL için -14.75 ± 9.35 cm/ay, CSR için -13.32 ± 9.43 cm/ay oranında negatif yönde eğilimleri mevcuttur. Zaman serisi grafiğinin zaman aralığında en düşük TWS değerinin GFZ, JPL ve CSR için Ekim 2021'de aldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca GFZ için Kasım 2016 ve CSR için Eylül 2008'de de çok düşük TWS değerleri gözlenmiştir (Şekil 36).



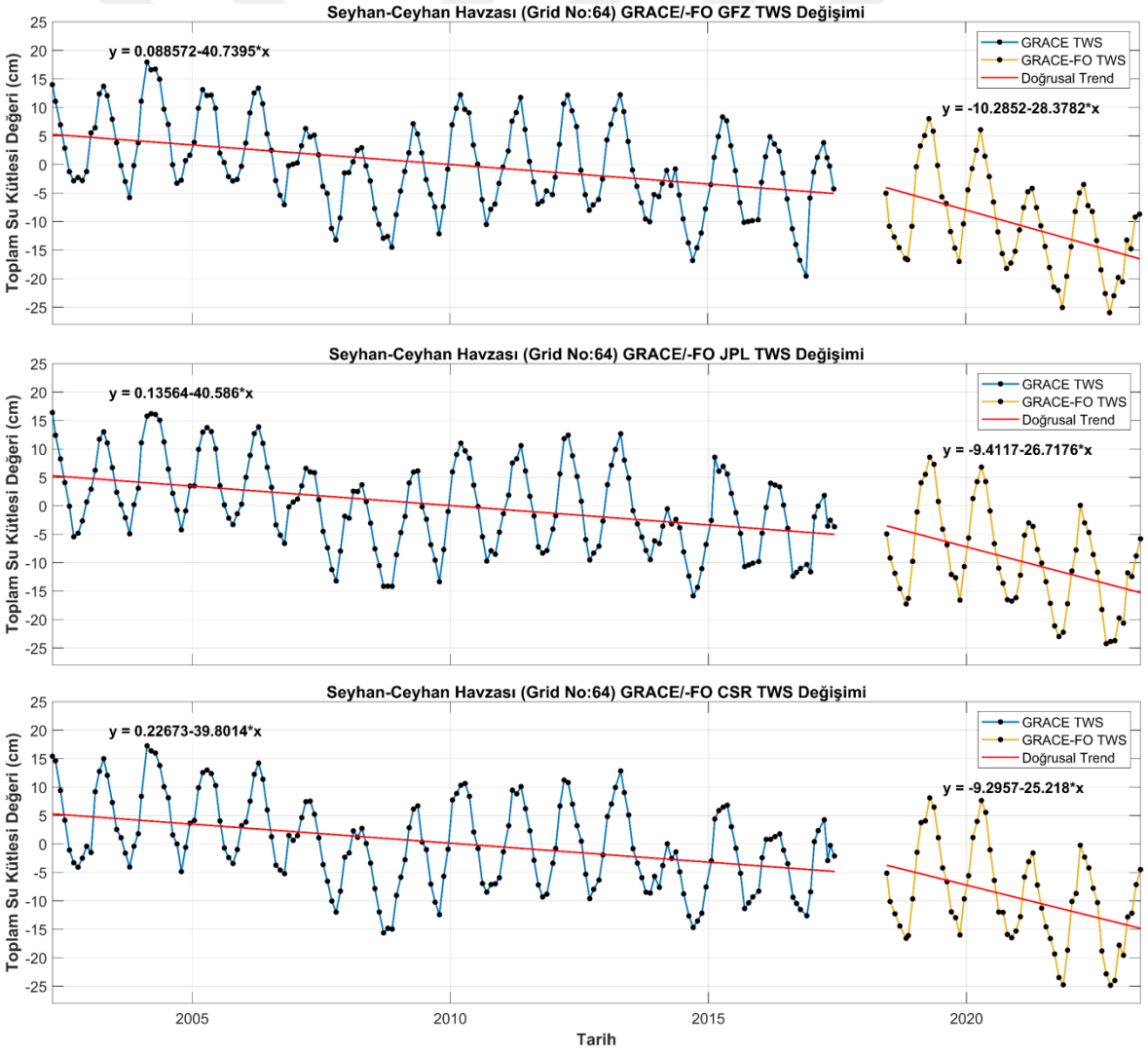
Şekil 36. 56 No'lu gride ait GFZ, JPL, CSR TWS zaman serisi grafikleri

• Konya Kapalı Havzası (Grid No:61), gridin üç farklı analiz merkezine ait zaman serisi grafiklerine bakıldığında ortak olan hem GRACE hem de GRACE-FO misyonlarında TWS verilerinin azalış eğilimi göstermesidir. TWS değerleri Mart-Nisan-Mayıs aylarında en yüksek değerlere kadar ulaştığı daha sonra azalışa geçerek en az değerlere Eylül-Ekim-Kasım aylarında düştüğü gözlenmektedir. GRACE TWS değerleri GFZ için -27.87 ± 11.44 cm/ay, JPL için -24.77 ± 11.41 cm/ay, CSR için -25.21 ± 11.43 cm/ay; GRACE-FO TWS değerleri GFZ için -27.49 ± 11.41 cm/ay, JPL için -25.48 ± 11.95 cm/ay, CSR için -23.36 ± 12.01 cm/ay oranında negatif yönde eğilimleri mevcuttur. Zaman serisi grafiğinin zaman aralığında en düşük TWS değerinin GFZ için Kasım 2021 ve JPL ve CSR için Ekim 2021'de aldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca GFZ için Kasım 2016'da da çok düşük TWS değeri gözlenmiştir (Şekil 37).



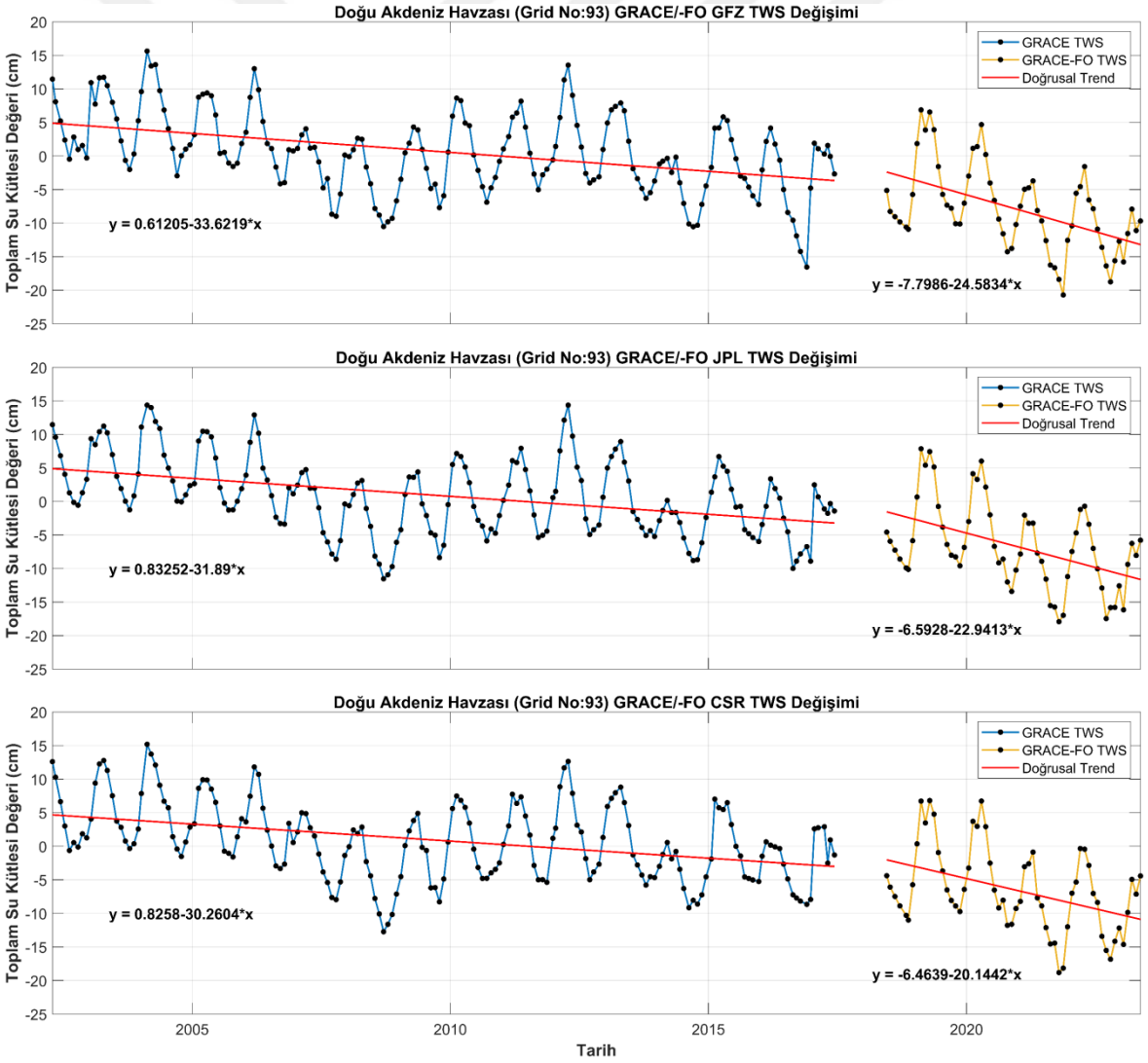
Şekil 37. 61 No'lu gride ait GFZ, JPL, CSR TWS zaman serisi grafikleri

• Seyhan-Ceyhan Havzası (Grid No:64), gridin üç farklı analiz merkezine ait zaman serisi grafiklerine bakıldığında ortak olan hem GRACE hem de GRACE-FO misyonlarında TWS verilerinin azalış eğilimi göstermesidir (Şekil 38). TWS değerleri Mart-Nisan-Mayıs aylarında en yüksek değerlere kadar ulaştığı daha sonra azalışa geçerek en az değerlere Eylül-Ekim-Kasım aylarında düştüğü gözlenmektedir. GRACE TWS değerleri GFZ için -40.74 ± 11.84 cm/ay, JPL için -40.59 ± 11.73 cm/ay, CSR için -39.80 ± 11.69 cm/ay; GRACE-FO TWS değerleri GFZ için -28.38 ± 12.58 cm/ay, JPL için -26.72 ± 13.19 cm/ay, CSR için -25.22 ± 13.30 cm/ay oranında negatif yönde eğilimleri mevcuttur. Zaman serisi grafiğinin zaman aralığında en düşük TWS değerinin GFZ ve CSR için Ekim 2022, JPL için Eylül 2022'de aldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca GFZ için Kasım 2016'da da çok düşük TWS değeri gözlenmiştir.



Şekil 38. 64 No'lu gride ait GFZ, JPL, CSR TWS zaman serisi grafikleri

• Doğu Akdeniz Havzası (Grid No:93), gridin üç farklı analiz merkezine ait zaman serisi grafiklerine bakıldığında ortak olan hem GRACE hem de GRACE-FO misyonlarında TWS verilerinin azalış eğilimi göstermesidir (Şekil 39). TWS değerleri Mart-Nisan-Mayıs aylarında en yüksek değerlere kadar ulaştığı daha sonra azalışa geçerek en az değerlere Eylül-Ekim-Kasım aylarında düştüğü gözlenmektedir. GRACE TWS değerleri GFZ için -33.62 ± 8.99 cm/ay, JPL için -31.39 ± 8.69 cm/ay, CSR için -30.26 ± 8.81 cm/ay; GRACE-FO TWS değerleri GFZ için -24.58 ± 9.27 cm/ay, JPL için -22.94 ± 9.66 cm/ay, CSR için -20.14 ± 9.64 cm/ay oranında negatif yönde eğilimleri mevcuttur. Zaman serisi grafiğinin zaman aralığında en düşük TWS değerinin GFZ için Kasım 2021 ve JPL ve CSR için Ekim 2021'de aldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca GFZ için Kasım 2016'da da çok düşük TWS değeri gözlenmiştir.



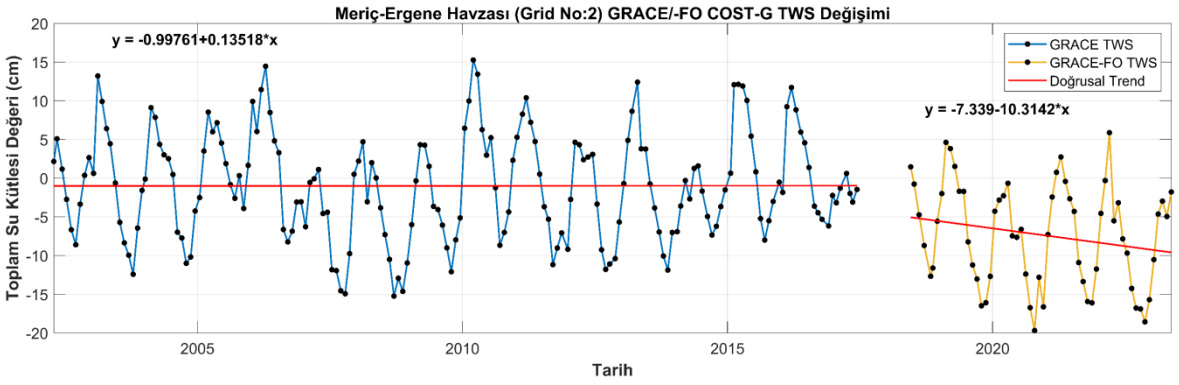
Şekil 39. 93 No'lu gride ait GFZ, JPL, CSR TWS zaman serisi grafikleri

Elde edilen GFZ, JPL ve CSR TWS zaman serisi grafiklerine bakıldığında genel olarak tüm gridlerde azalış yönünde eğilimin olduğu görülmüştür.

2.3.3. GRACE/-FO Kombinasyon Merkezi COST-G'den Elde Edilen TWS Değişimlerinin Trend Analizi ile İncelenmesi

COST-G, GRACE/-FO tabanlı Seviye-2 verilerin kombinasyonundan sorumludur. Bölüm 1.7.1'de bahsedilen analiz merkezleri tarafından sağlanan bireysel çözümlerin Şekil 14 ve Şekil 15'te gösterilen şekilde kombinasyonunu sağlar. Çalışma bölgesi olarak belirlenen gridler üzerinde COST-G TWS zaman serileri elde edilmiş olup trend analizleri yapılmıştır.

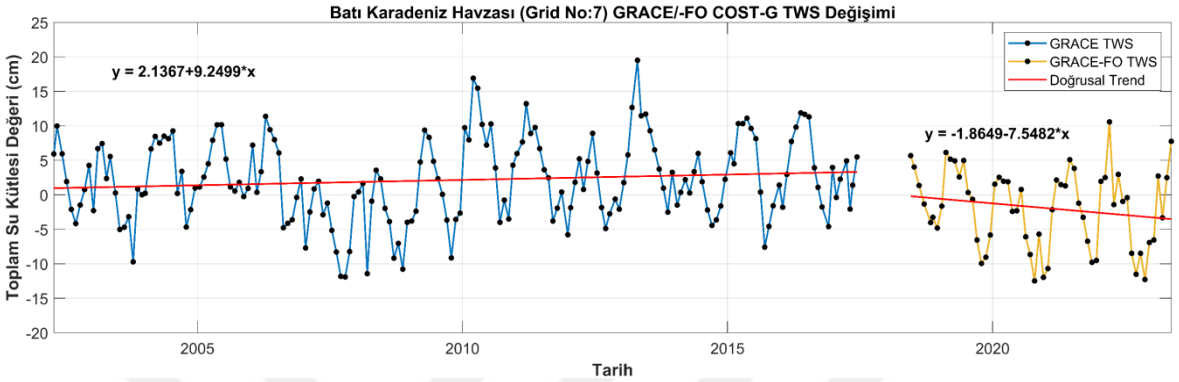
- Meriç-Ergene Havzası (Grid No:2), gridin COST-G TWS zaman serisine bakıldığında GRACE misyonu süresince GFZ, JPL ve CSR TWS verilerinin aksine 0.14 ± 11.40 cm/ay'lık artış eğiliminde olduğu görülmektedir (Şekil 40). Ancak GRACE-FO misyonu süresince -10.31 ± 10.92 cm/ay'lık azalış eğilimi gösterdiği görülmektedir. En düşük değeri Ekim 2020'de aldığı ve GFZ, JPL ve CSR TWS verilerine benzer azalış eğiliminde olduğu da gözlenmiştir. COST-G TWS değerleri Mart-Nisan-Mayıs aylarında en yüksek değerlere kadar ulaştığı daha sonra azalışa geçerek en düşük değerlere Eylül-Ekim-Kasım aylarında düştüğü gözlenmektedir.



Şekil 40. 2 No'lu gride ait COST-G TWS zaman serisi grafiği

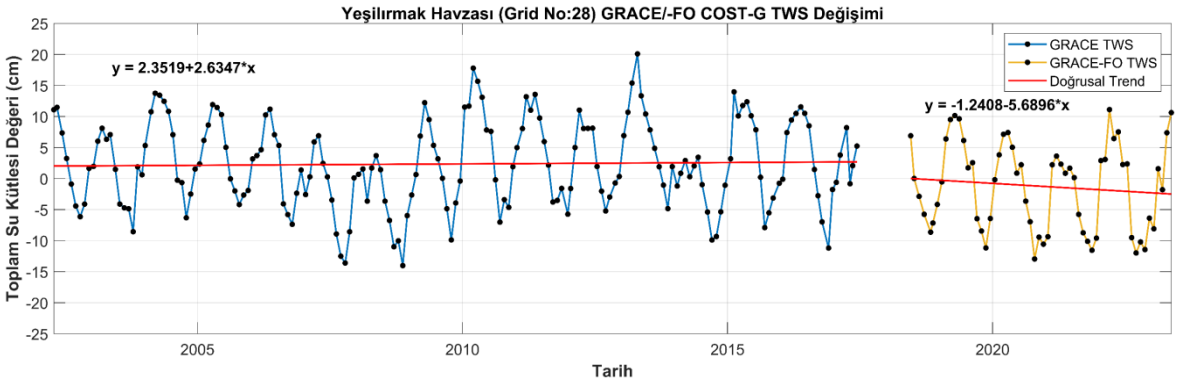
- Batı Karadeniz Havzası (Grid No:7), gridin COST-G TWS zaman serisine bakıldığında GRACE misyonu süresince GFZ, JPL ve CSR TWS verilerinin aksine 9.25 ± 9.75 cm/ay'lık artış eğilimi göstermektedir (Şekil 41). Ancak GRACE-FO misyonu süresince -7.55 ± 9.41 cm/ay'lık azalış eğilimi gösterdiği görülmektedir. En düşük değeri

Ekim 2007 ve Ekim 2020'de aldığı görülmüştür. Ayrıca GFZ, JPL ve CSR TWS verilerine benzer azalış eğiliminde olduğu da gözlenmiştir. COST-G TWS değerleri Mart-Nisan-Mayıs aylarında en yüksek değerlere kadar ulaştığı daha sonra azalışa geçerek en düşük değerlere Eylül-Ekim-Kasım aylarında düştüğü gözlenmektedir.



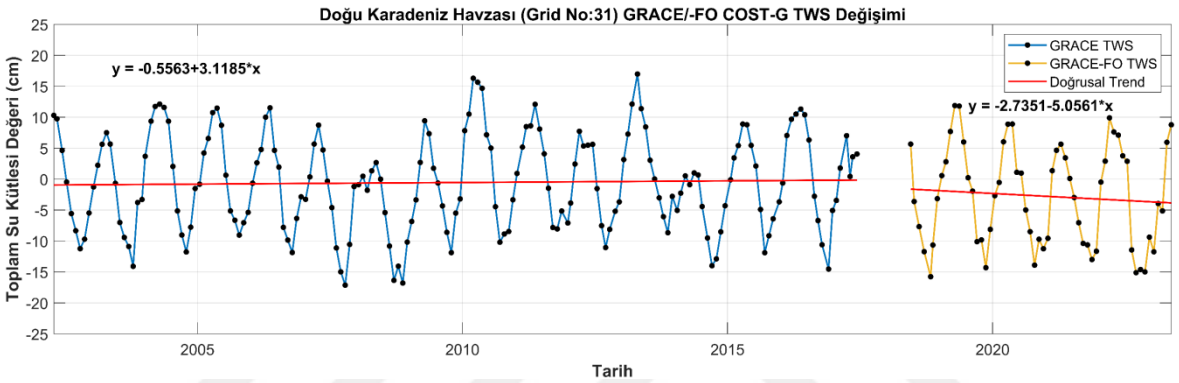
Şekil 41. 7 No'lu gride ait COST-G TWS zaman serisi grafiği

- Yeşilırmak Havzası (Grid No:28), gridine bakıldığında yine GFZ, JPL, CSR TWS verilerinin göstermiş olduğu eğilimin aksine GRACE misyonu boyunca 2.63 ± 11.54 cm/ay'lık artış eğilimi göstermektedir (Şekil 42). Ancak GRACE-FO misyonu süresince -5.69 ± 11.81 cm/ay'lık azalış eğilimi göstermektedir. En düşük değer Kasım 2008'de görülmüştür. Ayrıca GFZ, JPL ve CSR TWS verilerine benzer azalış eğiliminde olduğu da gözlenmiştir. 2013 Nisan' da ise en yükse değere ulaşmış olup COST-G TWS değerleri Mart-Nisan-Mayıs aylarında en yüksek değerlere kadar ulaştığı daha sonra azalışa geçerek en düşük değerlere Eylül-Ekim-Kasım aylarında düştüğü söylenebilir.



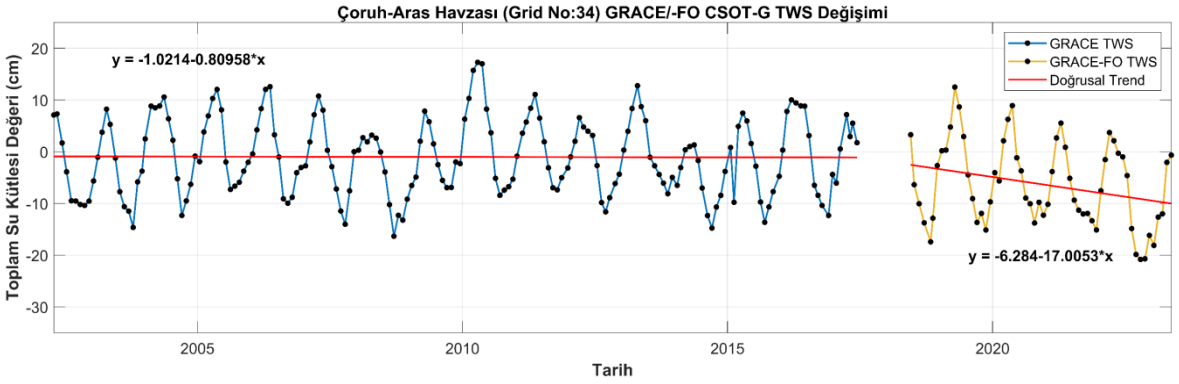
Şekil 42. 28 No'lu gride ait COST-G TWS zaman serisi grafiği

• Doğu Karadeniz Havzası (Grid No:31), gridin COST-G TWS zaman serisine bakıldığında GRACE misyonu süresince GFZ, JPL ve CSR TWS verilerinin aksine 3.12 ± 12.90 cm/ay'lık artış eğilimi göstermektedir. Ancak GRACE-FO misyonu süresince -5.06 ± 13.65 cm/ay'lık azalış eğilimi gösterdiği görülmektedir. En düşük değerleri Ekim 2007 ve Ekim 2020'de aldığı görülmüştür. Ayrıca GFZ, JPL ve CSR TWS verilerine benzer azalış eğiliminde olduğu da gözlenmiştir. COST-G TWS değerleri Mart-Nisan-Mayıs aylarında en yüksek değerlere kadar ulaştığı daha sonra azalışa geçerek en düşük değerlere Eylül-Ekim-Kasım aylarında düştüğü gözlenmektedir (Şekil 43).



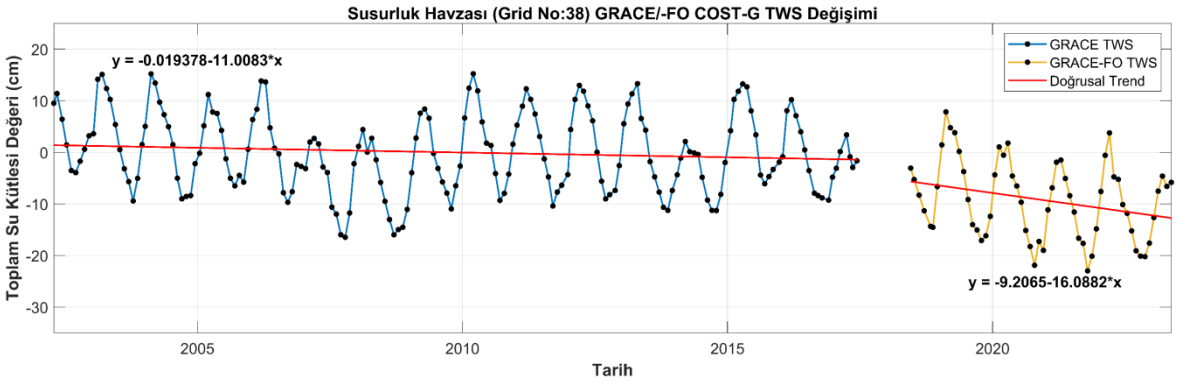
Şekil 43. 31 No'lu gride ait COST-G TWS zaman serisi grafiği

• Çoruh-Aras Havzası (Grid No:34), gridin COST-G TWS zaman serisine bakıldığında GRACE misyonu süresince -0.81 ± 12.23 cm/ay'lık; GRACE-FO misyonu süresince -17.01 ± 13.08 cm/ay'lık azalış eğilimi gösterdiği görülmektedir. En düşük değerleri Eylül 2008 ve Ekim 2022'de aldığı görülmüştür. Ayrıca GFZ, JPL ve CSR TWS verilerine benzer azalış eğiliminde olduğu da gözlenmiştir. COST-G TWS değerleri Mart-Nisan-Mayıs aylarında en yüksek değerlere kadar ulaştığı daha sonra azalışa geçerek en düşük değerlere Eylül-Ekim-Kasım aylarında düştüğü gözlenmektedir (Şekil 44).



Şekil 44. 34 No'lu gride ait COST-G TWS zaman serisi grafiği

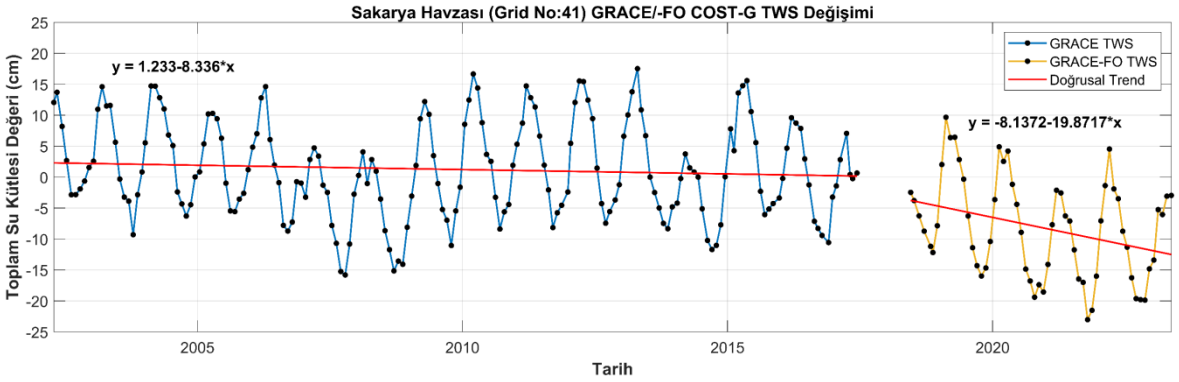
• Susurluk Havzası (Grid No:38), gridin COST-G TWS zaman serisine bakıldığında GRACE misyonu süresince -11.01 ± 12.67 cm/ay'lık; GRACE-FO misyonu süresince -16.09 ± 12.26 cm/ay'lık azalış eğilimi gösterdiği görülmektedir. En düşük değerleri Ekim 2007 ve Ekim 2021'de aldığı görülmüştür. Ayrıca GFZ, JPL ve CSR TWS verilerine benzer azalış eğiliminde olduğu da gözlenmiştir. COST-G TWS değerleri Mart-Nisan-Mayıs aylarında en yüksek değerlere kadar ulaştığı daha sonra azalışa geçerek en düşük değerlere Eylül-Ekim-Kasım aylarında düştüğü gözlenmektedir (Şekil 45).



Şekil 45. 38 No'lu gride ait COST-G TWS zaman serisi grafiği

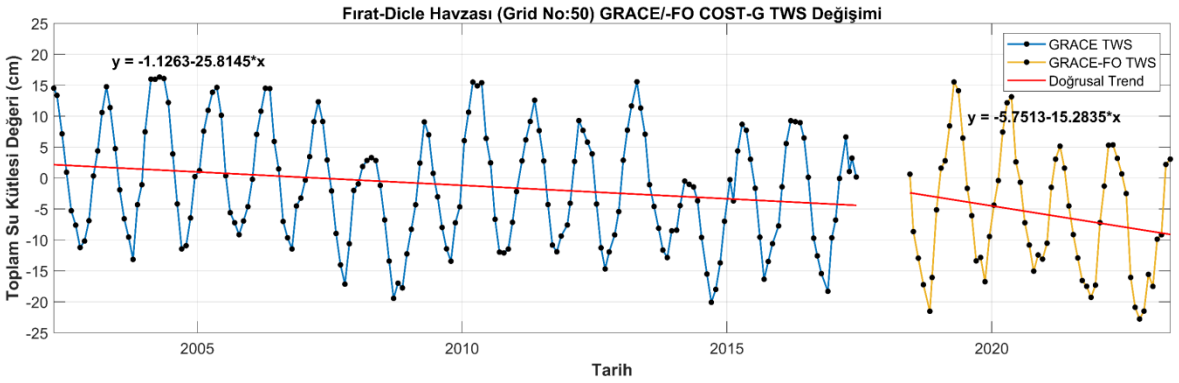
• Sakarya Havzası (Grid No:41), gridin COST-G TWS zaman serisine bakıldığında GRACE misyonu süresince -8.34 ± 12.94 cm/ay'lık; GRACE-FO misyonu süresince -19.87 ± 12.90 cm/ay'lık azalış eğilimi gösterdiği görülmektedir. En düşük değerleri Ekim 2007 ve Ekim 2021'de aldığı görülmüştür. Ayrıca GFZ, JPL ve CSR TWS verilerine benzer azalış eğiliminde olduğu da gözlenmiştir. COST-G TWS değerleri Mart-Nisan-Mayıs aylarında en

yüksek değerlere kadar ulaştığı daha sonra azalışa geçerek en düşük değerlere Eylül-Ekim-Kasım aylarında düştüğü gözlenmektedir (Şekil 46).



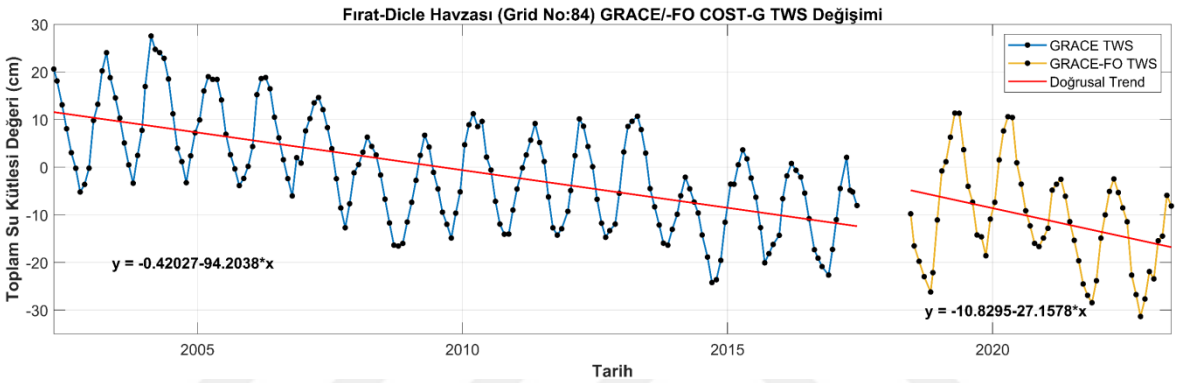
Şekil 46. 41 No'lu gride ait COST-G TWS zaman serisi grafiği

• Fırat-Dicle Havzası (Grid No:50), gridin COST-G TWS zaman serisine bakıldığında GRACE misyonu süresince -25.81 ± 15.06 cm/ay'lık; GRACE-FO misyonu süresince -15.28 ± 16.62 cm/ay'lık azalış eğilimi gösterdiği görülmektedir. En düşük değerleri Ekim 2003, Kasım 2008, Kasım 2014, Ekim 2018 ve Ekim 2022'de aldığı görülmüştür. Ayrıca GFZ, JPL ve CSR TWS verilerine benzer azalış eğiliminde olduğu da gözlenmiştir. COST-G TWS değerleri Mart-Nisan-Mayıs aylarında en yüksek değerlere kadar ulaştığı daha sonra azalışa geçerek en düşük değerlere Eylül-Ekim-Kasım aylarında düştüğü gözlenmektedir (Şekil 47).



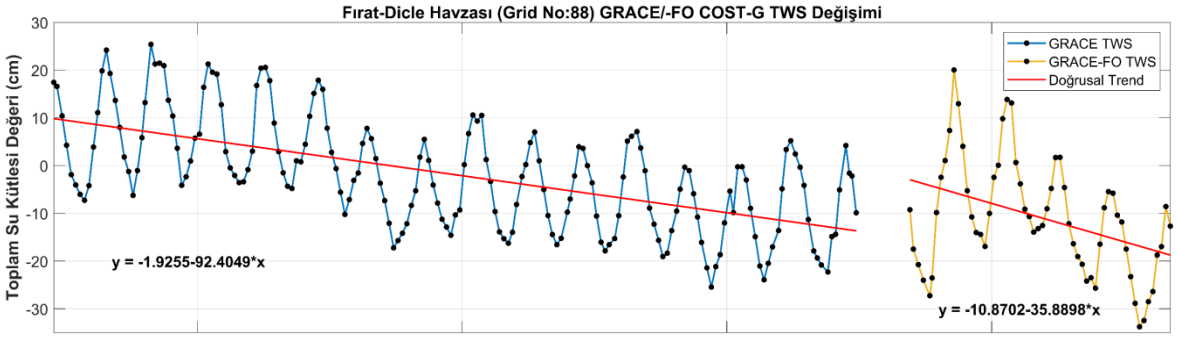
Şekil 47. 50 No'lu gride ait COST-G TWS zaman serisi grafiği

• Fırat-Dicle Havzası (Grid No:84), gridin COST-G TWS zaman serisine bakıldığında GRACE misyonu süresince -94.20 ± 14.59 cm/ay'lık; GRACE-FO misyonu süresince -27.16 ± 17.37 cm/ay'lık ciddi azalış eğilimi gösterdiği görülmektedir. En düşük değerleri Ekim 2003, Kasım 2008, Kasım 2014, Ekim 2018 ve Ekim 2022'de aldığı görülmüştür. Ayrıca GFZ, JPL ve CSR TWS verilerine benzer azalış eğiliminde olduğu da gözlenmiştir. COST-G TWS değerleri Mart-Nisan-Mayıs aylarında en yüksek değerlere kadar ulaştığı daha sonra azalışa geçerek en düşük değerlere Eylül-Ekim-Kasım aylarında düştüğü gözlenmektedir (Şekil 48).



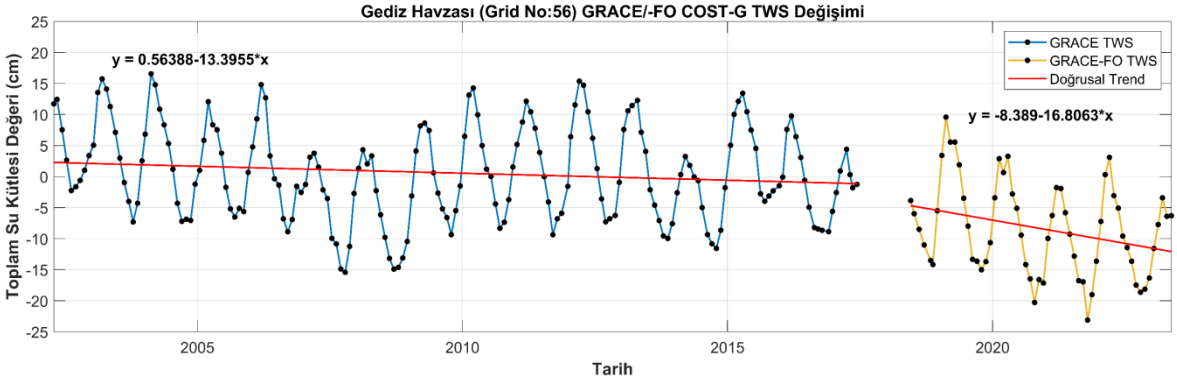
Şekil 48. 84 No'lu gride ait COST-G TWS zaman serisi grafiği

• Fırat-Dicle Havzası (Grid No:88), gridin COST-G TWS zaman serisine bakıldığında GRACE misyonu süresince -92.40 ± 15.19 cm/ay'lık; GRACE-FO misyonu süresince -35.89 ± 18.70 cm/ay'lık ciddi azalış eğilimi gösterdiği görülmektedir. En düşük değerleri Ekim 2003, Kasım 2008, Kasım 2014, Ekim 2018 ve Ekim 2022'de aldığı görülmüştür. Ayrıca GFZ, JPL ve CSR TWS verilerine benzer azalış eğiliminde olduğu da gözlenmiştir. COST-G TWS değerleri Mart-Nisan-Mayıs aylarında en yüksek değerlere kadar ulaştığı daha sonra azalışa geçerek en düşük değerlere Eylül-Ekim-Kasım aylarında düştüğü gözlenmektedir (Şekil 49).



Şekil 49. 88 No'lu gride ait COST-G TWS zaman serisi grafiği

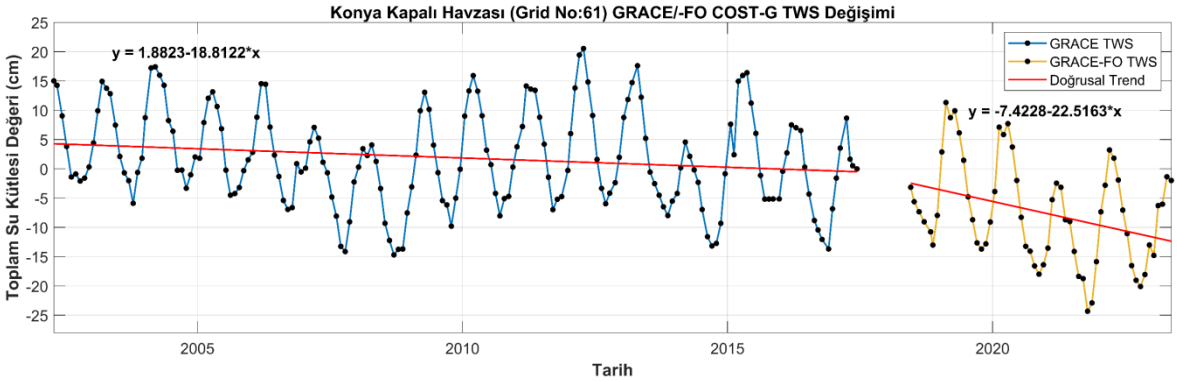
• Gediz Havzası (Grid No:56), gridin COST-G TWS zaman serisine bakıldığında GRACE misyonu süresince -13.40 ± 12.48 cm/ay'lık; GRACE-FO misyonu süresince -16.81 ± 12.07 cm/ay'lık azalış eğilimi gösterdiği görülmektedir. En düşük değerleri Ekim 2007, Kasım 2008, Eylül 2014, Kasım 2016 ve Ekim 2021'de aldığı görülmüştür. Ayrıca GFZ, JPL ve CSR TWS verilerine benzer azalış eğiliminde olduğu da gözlenmiştir. COST-G TWS değerleri Mart-Nisan-Mayıs aylarında en yüksek değerlere kadar ulaştığı daha sonra azalışa geçerek en düşük değerlere Eylül-Ekim-Kasım aylarında düştüğü gözlenmektedir (Şekil 50).



Şekil 50. 56 No'lu gride ait COST-G TWS zaman serisi grafiği

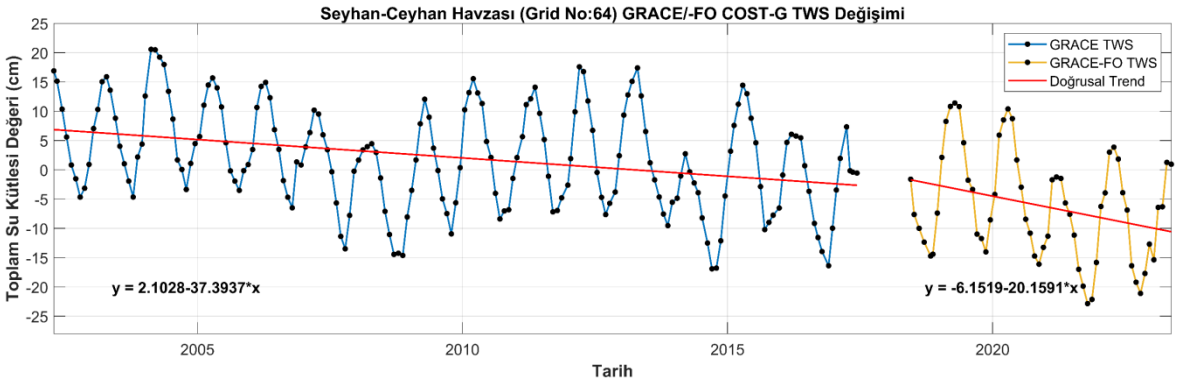
• Konya Kapalı Havzası (Grid No:61), gridin COST-G TWS zaman serisine bakıldığında GRACE misyonu süresince -18.81 ± 13.37 cm/ay'lık; GRACE-FO misyonu süresince -22.52 ± 13.84 cm/ay'lık azalış eğilimi gösterdiği görülmektedir. En düşük değerleri Ekim 2007, Kasım 2008, Ekim 2020 ve Ekim 2021'de aldığı görülmüştür. Ayrıca GFZ, JPL ve CSR TWS verilerine benzer azalış eğiliminde olduğu da gözlenmiştir. COST-G TWS değerleri Mart-Nisan-Mayıs aylarında en yüksek değerlere kadar ulaştığı daha sonra

azalışa geçerek en düşük değerlere Eylül-Ekim-Kasım aylarında düştüğü gözlenmektedir (Şekil 51).



Şekil 51. 61 No'lu gride ait COST-G TWS zaman serisi grafiği

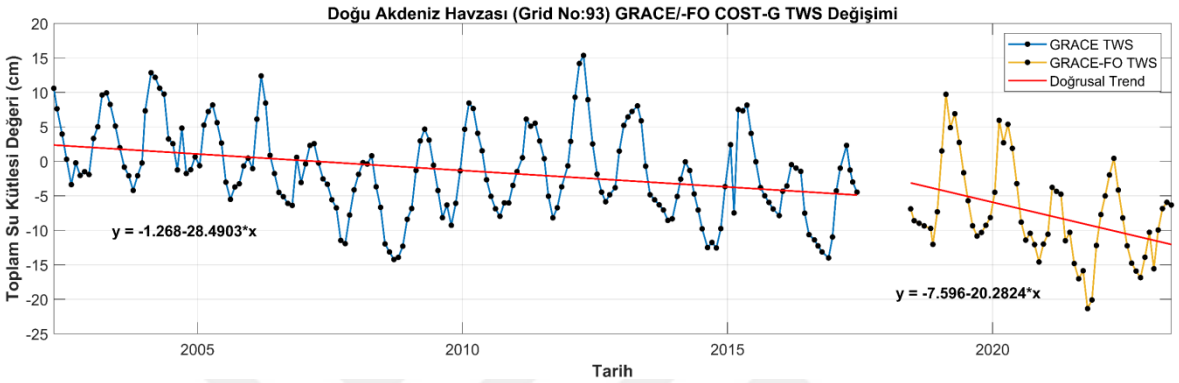
• Seyhan-Ceyhan Havzası (Grid No:64), gridin COST-G TWS zaman serisine bakıldığında GRACE misyonu süresince -37.39 ± 13.65 cm/ay'lık; GRACE-FO misyonu süresince -20.16 ± 14.88 cm/ay'lık azalış eğilimi gösterdiği görülmektedir. En düşük değerleri Kasım 2008, Eylül 2014, Kasım 2016 ve Ekim 2021'de aldığı görülmüştür. Ayrıca GFZ, JPL ve CSR TWS verilerine benzer azalış eğiliminde olduğu da gözlenmiştir. COST-G TWS değerleri Mart-Nisan-Mayıs aylarında en yüksek değerlere kadar ulaştığı daha sonra azalışa geçerek en düşük değerlere Eylül-Ekim-Kasım aylarında düştüğü gözlenmektedir (Şekil 52).



Şekil 52. 64 No'lu gride ait COST-G TWS zaman serisi grafiği

• Doğu Akdeniz Havzası (Grid No:93), gridin COST-G TWS zaman serisine bakıldığında GRACE misyonu süresince -28.49 ±10.01 cm/ay'lık; GRACE-FO misyonu

süresince -20.28 ± 10.60 cm/ay'lık azalış eğilimi gösterdiği görülmektedir. En düşük değeri Ekim 2021'de aldığı görülmüştür. Ayrıca GFZ, JPL ve CSR TWS verilerine benzer azalış eğiliminde olduğu da gözlenmiştir. COST-G TWS değerleri Mart-Nisan-Mayıs aylarında en yüksek değerlere kadar ulaştığı daha sonra azalışa geçerek en düşük değerlere Eylül-Ekim-Kasım aylarında düştüğü gözlenmektedir (Şekil 53).



Şekil 53. 93 No'lu gride ait COST-G TWS zaman serisi grafiği

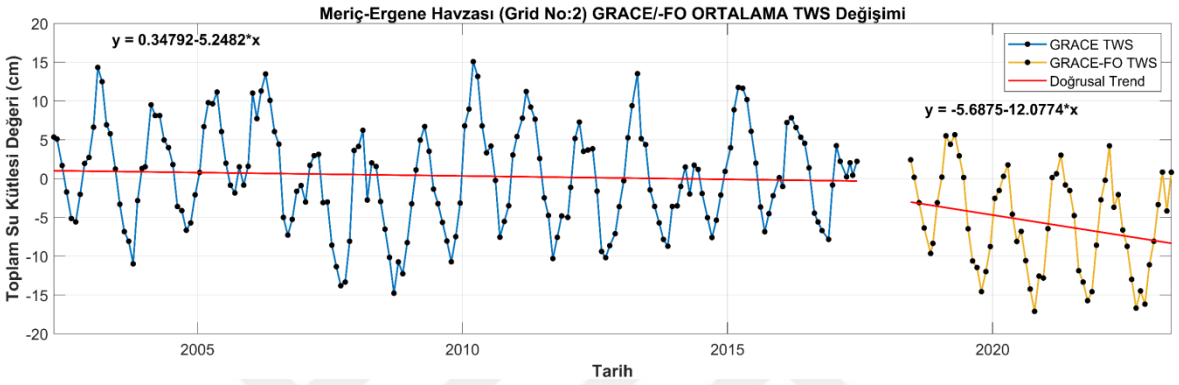
Genel olarak COST-G TWS verilerine bakıldığında GRACE-FO misyonu ile TWS değerlerinin tüm gridlerde ciddi azalışa geçtiği görülmektedir. Ancak GRACE misyonu süresince TWS değerlerinin bazı bölgelerde artış eğiliminde olması GFZ, JPL ve CSR verilerine zıt düşmektedir. Bu nedenle bölgesel olarak seçilen konumlarda resmi analiz merkezlerince yayınlanan TWS verileri ile uyumlu olmadığı görülmüştür.

2.3.4. GRACE/-FO Analiz Merkezlerinin Kombinasyonu ile Hesaplanan TWS Değişimlerinin Trend Analizi ile İncelenmesi

Bölüm 1.5.3'te GFZ, JPL ve CSR çözümlerinin aritmetik ortalamasının mevcut yerçekimi alanı dağılımındaki gürültüyü azalttığından bahsedilmiştir. Bu sonucun elde edilmesiyle birlikte üç analiz merkezi çözümünün ortalamasının kullanılması kullanıcılara önerilmektedir (Landerer vd., 2021). Bu sebeple çalışmada bu üç analiz merkezi tarafından işlenen ve sağlanan TWS verilerinin aritmetik ortalaması alınarak ort_TWS verisi elde edilmiştir. Buna göre ort_TWS verileri zaman serilerinin basit doğrusal regresyonla analiz sonuçları havza bazında değerlendirilmiştir.

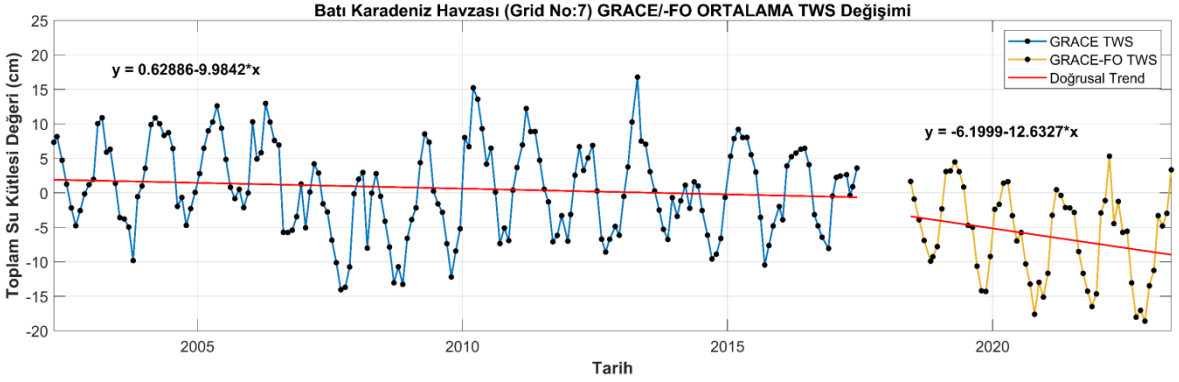
- Meriç-Ergene Havzası (Grid No: 2), gridinde bireysel çözümlerin aritmetik ortalaması ile elde edilen Ortalama TWS verisi GRACE misyonu süresince -5.25 ± 10.77

cm/ay'lık; GRACE-FO misyonu süresince -12.08 ± 10.43 cm/ay'lık azalış eğiliminde olduğu görülmektedir. Bu sonuçların GFZ, JPL ve CSR TWS verilerine COST-G TWS verilerinin aksine çok daha uyumlu olduğunu göstermiştir. En düşük değerlerini Eylül 2008 ve Ekim 2020'de aldığı görülmüştür. Ortalama TWS değerleri Mart-Nisan-Mayıs aylarında en yüksek değerlere kadar ulaştığı daha sonra azalışa geçerek en düşük değerlere Eylül-Ekim-Kasım aylarında düştüğü gözlenmektedir (Şekil 54).



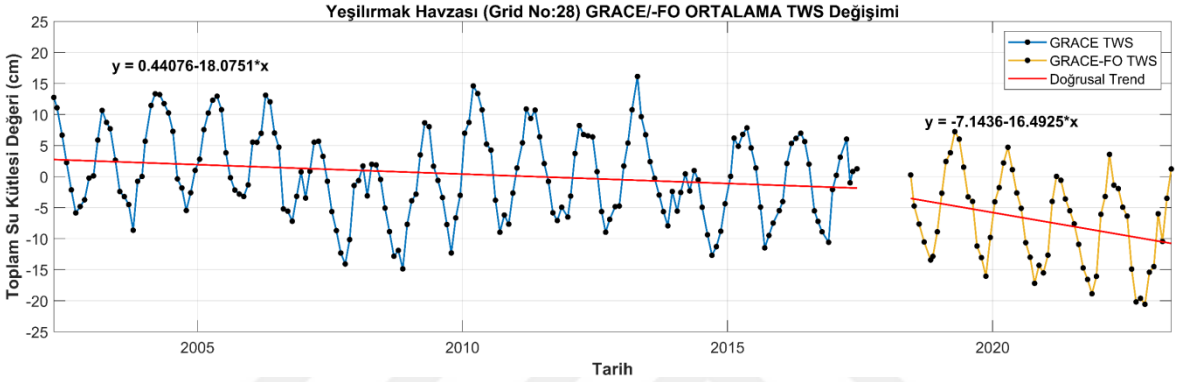
Şekil 54. 2 No'lu gride ait Ortalama TWS zaman serisi grafiği

• Batı Karadeniz Havzası (Grid No: 7), Ortalama TWS verisi GRACE misyonu süresince -9.98 ± 10.66 cm/ay'lık; GRACE-FO misyonu süresince -12.63 ± 10.60 cm/ay'lık azalış eğiliminde olduğu görülmektedir. Bu sonuçların GFZ, JPL ve CSR TWS verileri ile benzer eğilimde olduğunu göstermiştir. En düşük değerlerini Eylül 2007 ve Kasım 2022'de aldığı görülmüştür. Ortalama TWS değerleri Mart-Nisan-Mayıs aylarında en yüksek değerlere kadar ulaştığı daha sonra azalışa geçerek en düşük değerlere Eylül-Ekim-Kasım aylarında düştüğü gözlenmektedir (Şekil 55).



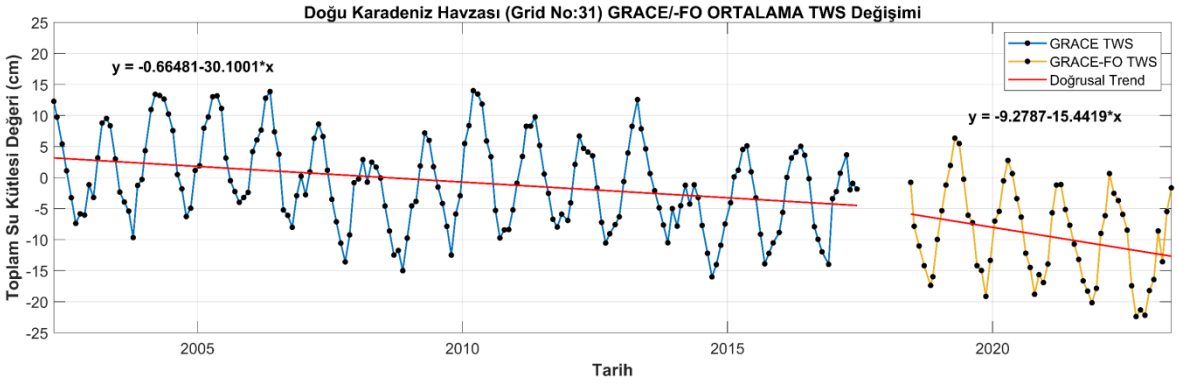
Şekil 55. 7 No'lu gride ait Ortalama TWS zaman serisi grafiği

• Yeşilırmak Havzası (Grid No: 28), Ortalama TWS verisi GRACE misyonu süresince -18.08 ± 11.31 cm/ay'lık; GRACE-FO misyonu süresince -16.49 ± 11.75 cm/ay'lık azalış eğiliminde olduğu görülmektedir. Bu sonuçların GFZ, JPL ve CSR TWS verileri ile benzer eğilimde olduğunu göstermiştir. En düşük değerlerini Eylül 2007 ve Kasım 2022'de aldığı görülmüştür. Ortalama TWS değerleri Mart-Nisan-Mayıs aylarında en yüksek değerlere kadar ulaştığı daha sonra azalışa geçerek en düşük değerlere Eylül-Ekim-Kasım aylarında düştüğü gözlenmektedir (Şekil 56).



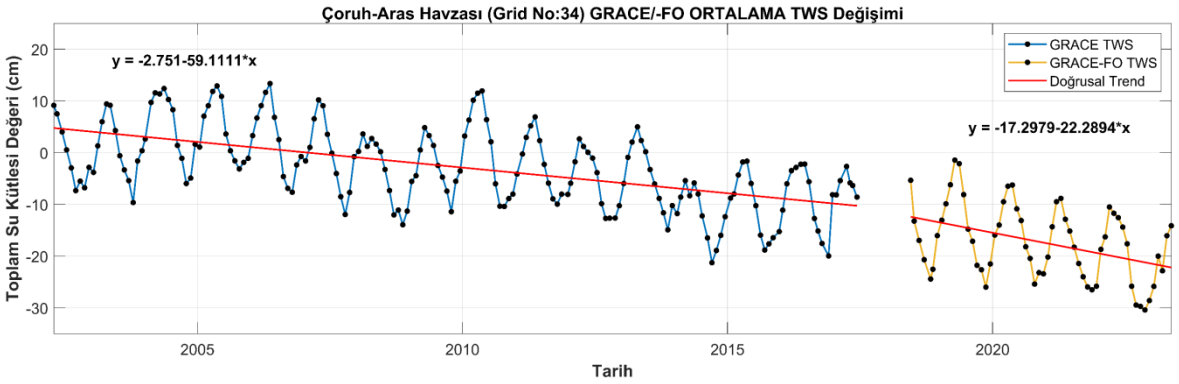
Şekil 56. 28 No'lu gride ait Ortalama TWS zaman serisi grafiği

• Doğu Karadeniz Havzası (Grid No: 31), Ortalama TWS verisi GRACE misyonu süresince -30.10 ± 11.35 cm/ay'lık; GRACE-FO misyonu süresince -15.44 ± 12.05 cm/ay'lık azalış eğiliminde olduğu görülmektedir. Bu sonuçların GFZ, JPL ve CSR TWS verileri ile benzer eğilimde olduğunu göstermiştir. En düşük değerlerini Eylül 2014 ve Eylül 2022'de aldığı görülmüştür. Ortalama TWS değerleri Mart-Nisan-Mayıs aylarında en yüksek değerlere kadar ulaştığı daha sonra azalışa geçerek en düşük değerlere Eylül-Ekim-Kasım aylarında düştüğü gözlenmektedir (Şekil 57).



Şekil 57. 31 No'lu gride ait Ortalama TWS zaman serisi grafiği

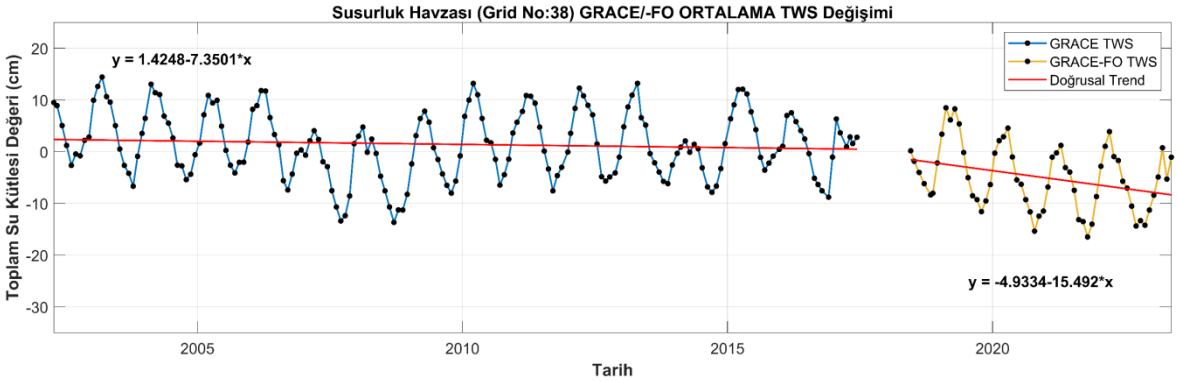
• Çoruh-Aras Havzası (Grid No: 34), Ortalama TWS verisi GRACE misyonu süresince -59.11 ±10.63 cm/ay'lık; GRACE-FO misyonu süresince -22.29 ± 11.11 cm/ay'lık azalış eğiliminde olduğu görülmektedir. Bu sonuçların GFZ, JPL ve CSR TWS verileri ile benzer eğilimde olduğunu göstermiştir. En düşük değerlerini Eylül 2014 ve Kasım 2022'de aldığı görülmüştür. Ortalama TWS değerleri Mart-Nisan-Mayıs aylarında en yüksek değerlere kadar ulaştığı daha sonra azalışa geçerek en düşük değerlere Eylül-Ekim-Kasım aylarında düştüğü gözlenmektedir (Şekil 58).



Şekil 58. 34 No'lu gride ait Ortalama TWS zaman serisi grafiği

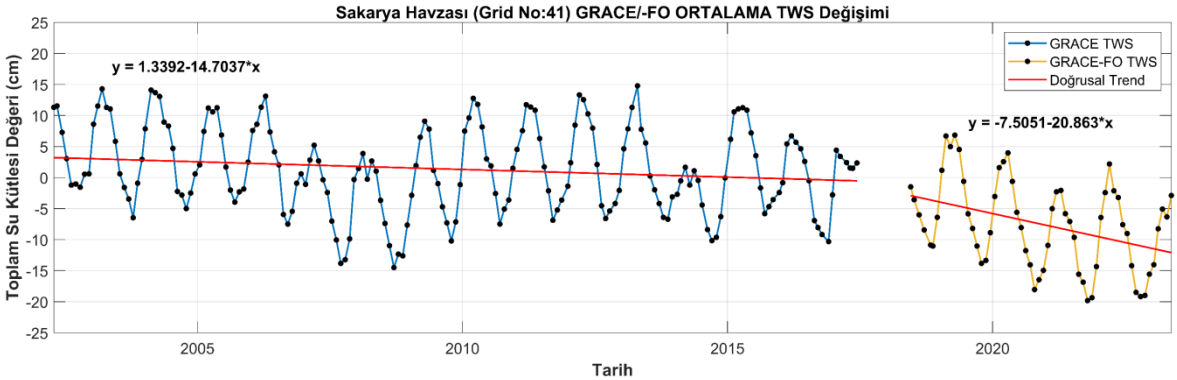
• Susurluk Havzası (Grid No: 38), Ortalama TWS verisi GRACE misyonu süresince -7.35 ± 10.54 cm/ay'lık; GRACE-FO misyonu süresince -15.49 ± 10.06 cm/ay'lık azalış eğiliminde olduğu görülmektedir. Bu sonuçların GFZ, JPL ve CSR TWS verileri ile benzer eğilimde olduğunu göstermiştir. En düşük değerlerini Eylül 2008 ve Ekim 2021'de aldığı görülmüştür. Ortalama TWS değerleri Mart-Nisan-Mayıs aylarında en yüksek değerlere

kadar ulaştığı daha sonra azalışa geçerek en düşük değerlere Eylül-Ekim-Kasım aylarında düştüğü gözlenmektedir (Şekil 59).



Şekil 59. 38 No'lu gride ait Ortalama TWS zaman serisi grafiği

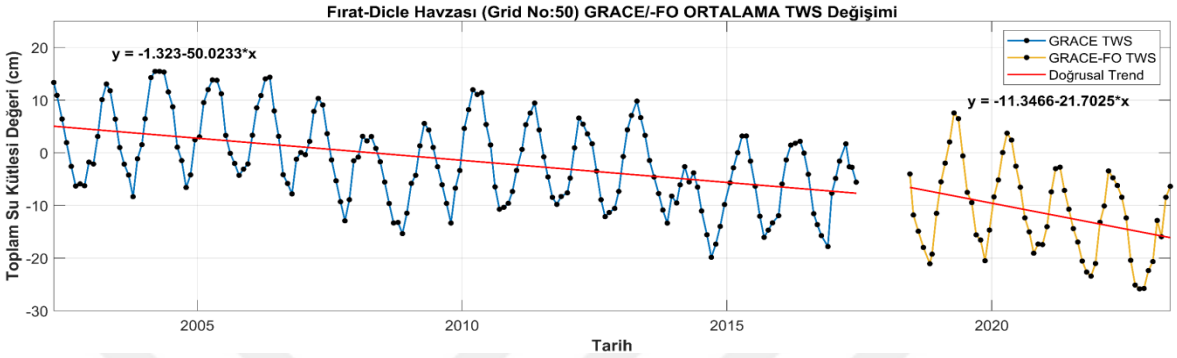
• Sakarya Havzası (Grid No: 41), Ortalama TWS verisi GRACE misyonu süresince -14.70 ± 11.31 cm/ay'lık; GRACE-FO misyonu süresince -20.86 ± 11.14 cm/ay'lık azalış eğiliminde olduğu görülmektedir. Bu sonuçların GFZ, JPL ve CSR TWS verileri ile benzer eğilimde olduğunu göstermiştir. En düşük değerlerini Eylül 2008 ve Ekim 2021'de aldığı görülmüştür. Ortalama TWS değerleri Mart-Nisan-Mayıs aylarında en yüksek değerlere kadar ulaştığı daha sonra azalışa geçerek en düşük değerlere Eylül-Ekim-Kasım aylarında düştüğü gözlenmektedir (Şekil 60).



Şekil 60. 41 No'lu gride ait Ortalama TWS zaman serisi grafiği

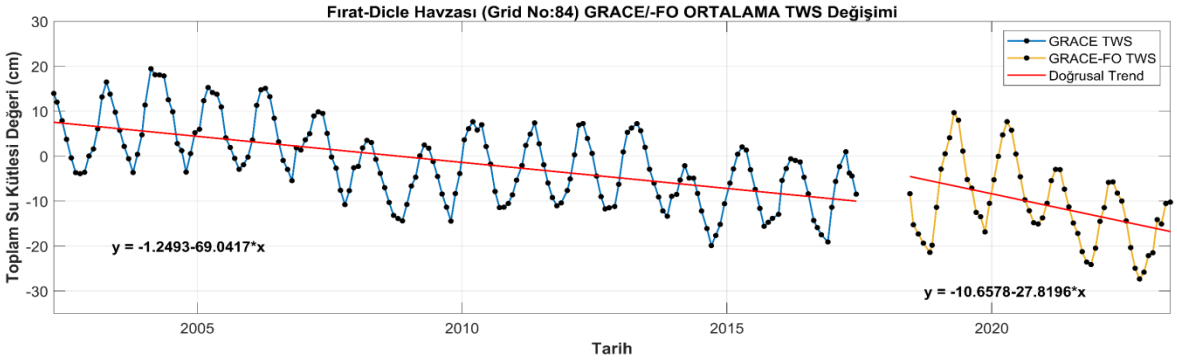
• Fırat-Dicle Havzası (Grid No: 50), Ortalama TWS verisi GRACE misyonu süresince -50.02 ± 11.96 cm/ay'lık; GRACE-FO misyonu süresince -21.70 ± 13.29 cm/ay'lık azalış eğiliminde olduğu görülmektedir. Bu sonuçların GFZ, JPL ve CSR TWS verileri ile benzer

eğilimde olduğunu göstermiştir. En düşük değerlerini Eylül 2014 ve Ekim 2022'de aldığı görülmüştür. Ortalama TWS değerleri Mart-Nisan-Mayıs aylarında en yüksek değerlere kadar ulaştığı daha sonra azalışa geçerek en düşük değerlere Eylül-Ekim-Kasım aylarında düştüğü gözlenmektedir (Şekil 61).



Şekil 61. 50 No'lu gride ait Ortalama TWS zaman serisi grafiği

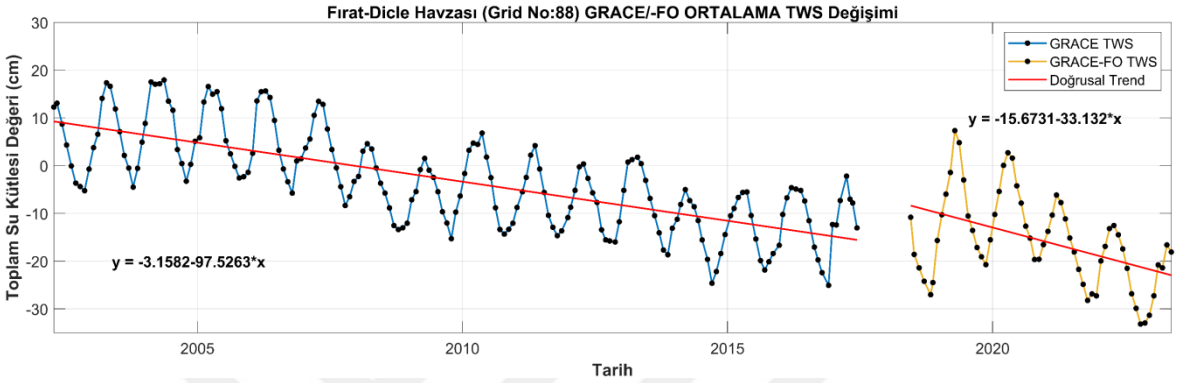
• Fırat-Dicle Havzası (Grid No: 84), Ortalama TWS verisi GRACE misyonu süresince -69.04 ± 11.56 cm/ay'lık; GRACE-FO misyonu süresince -27.82 ± 14.07 cm/ay'lık azalış eğiliminde olduğu görülmektedir. Bu sonuçların GFZ, JPL ve CSR TWS verileri ile benzer eğilimde olduğunu göstermiştir. En düşük değerlerini Eylül 2014 ve Ekim 2022'de aldığı görülmüştür. Ortalama TWS değerleri Mart-Nisan-Mayıs aylarında en yüksek değerlere kadar ulaştığı daha sonra azalışa geçerek en düşük değerlere Eylül-Ekim-Kasım aylarında düştüğü gözlenmektedir (Şekil 62).



Şekil 62. 84 No'lu gride ait Ortalama TWS zaman serisi grafiği

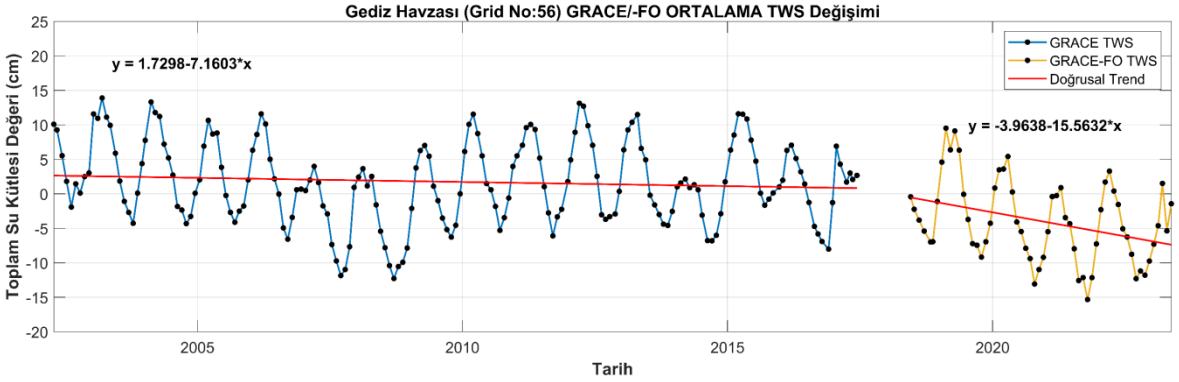
• Fırat-Dicle Havzası (Grid No: 88), Ortalama TWS verisi GRACE misyonu süresince -97.53 ± 11.54 cm/ay'lık; GRACE-FO misyonu süresince -33.13 ± 14.23 cm/ay'lık azalış

eğiliminde olduğu görülmektedir. Bu sonuçların GFZ, JPL ve CSR TWS verileri ile benzer eğilimde olduğunu göstermiştir. En düşük değerlerini Eylül 2014 ve Ekim 2022'de aldığı görülmüştür. Ortalama TWS değerleri Mart-Nisan-Mayıs aylarında en yüksek değerlere kadar ulaştığı daha sonra azalışa geçerek en düşük değerlere Eylül-Ekim-Kasım aylarında düştüğü gözlenmektedir (Şekil 63).



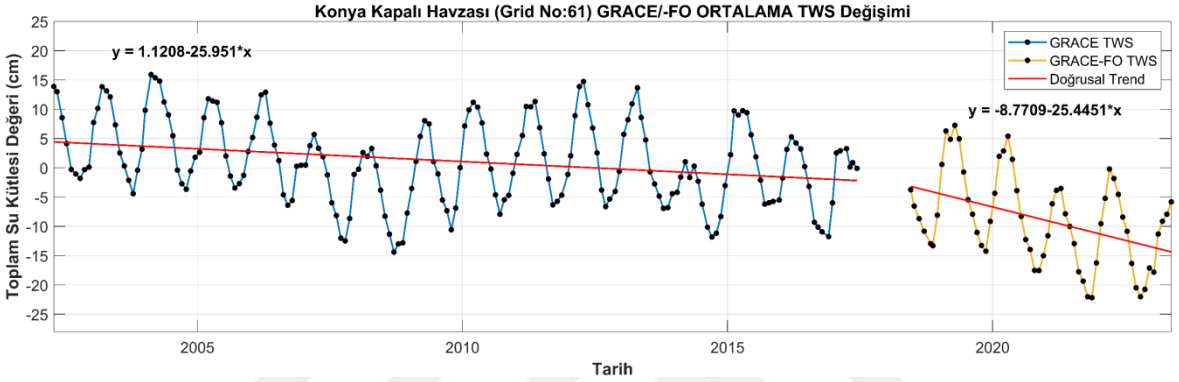
Şekil 63. 88 No'lu gride ait Ortalama TWS zaman serisi grafiği

• Gediz Havzası (Grid No: 56), Ortalama TWS verisi GRACE misyonu süresince -7.16 ± 9.84 cm/ay'lık; GRACE-FO misyonu süresince -15.56 ± 9.28 cm/ay'lık azalış eğiliminde olduğu görülmektedir. Bu sonuçların GFZ, JPL ve CSR TWS verileri ile benzer eğilimde olduğunu göstermiştir. En düşük değerlerini Eylül 2008 ve Ekim 2021'de aldığı görülmüştür. Ortalama TWS değerleri Mart-Nisan-Mayıs aylarında en yüksek değerlere kadar ulaştığı daha sonra azalışa geçerek en düşük değerlere Eylül-Ekim-Kasım aylarında düştüğü gözlenmektedir (Şekil 64).



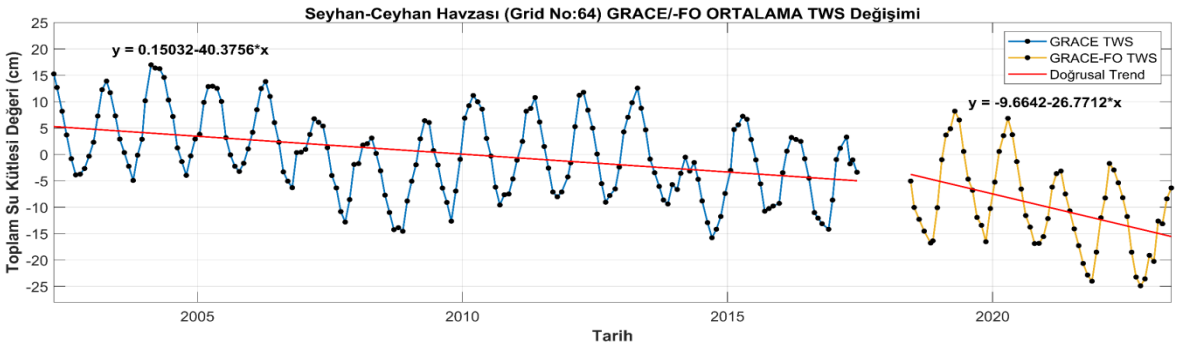
Şekil 64. 56 No'lu gride ait Ortalama TWS zaman serisi grafiği

• Konya Kapalı Havzası (Grid No: 61), Ortalama TWS verisi GRACE misyonu süresince -25.95 ± 11.33 cm/ay'lık; GRACE-FO misyonu süresince -25.45 ± 11.74 cm/ay'lık azalış eğiliminde olduğu görülmektedir. Bu sonuçların GFZ, JPL ve CSR TWS verileri ile benzer eğilimde olduğunu göstermiştir. En düşük değerlerini Eylül 2008 ve Kasım 2021'de aldığı görülmüştür. Ortalama TWS değerleri Mart-Nisan-Mayıs aylarında en yüksek değerlere kadar ulaştığı daha sonra azalışa geçerek en düşük değerlere Eylül-Ekim-Kasım aylarında düştüğü gözlenmektedir (Şekil 65).



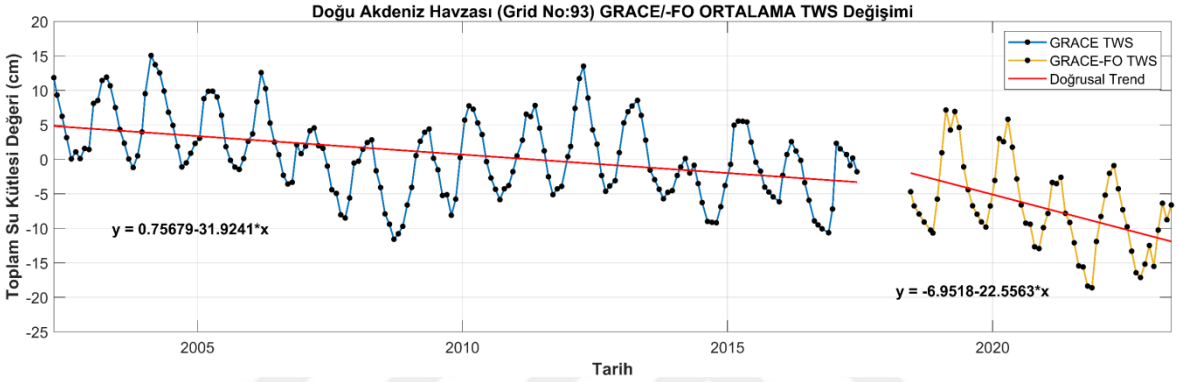
Şekil 65. 61 No'lu gride ait Ortalama TWS zaman serisi grafiği

• Seyhan-Ceyhan Havzası (Grid No: 64), Ortalama TWS verisi GRACE misyonu süresince -40.38 ± 11.66 cm/ay'lık; GRACE-FO misyonu süresince -26.77 ± 12.98 cm/ay'lık azalış eğiliminde olduğu görülmektedir. Bu sonuçların GFZ, JPL ve CSR TWS verileri ile benzer eğilimde olduğunu göstermiştir. En düşük değerlerini Eylül 2014 ve Ekim 2022'de aldığı görülmüştür. Ortalama TWS değerleri Mart-Nisan-Mayıs aylarında en yüksek değerlere kadar ulaştığı daha sonra azalışa geçerek en düşük değerlere Eylül-Ekim-Kasım aylarında düştüğü gözlenmektedir (Şekil 66).



Şekil 66. 64 No'lu gride ait Ortalama TWS zaman serisi grafiği

• Doğu Akdeniz Havzası (Grid No: 93), Ortalama TWS verisi GRACE misyonu süresince -31.92 ± 8.72 cm/ay'lık; GRACE-FO misyonu süresince -22.56 ± 9.47 cm/ay'lık azalış eğiliminde olduğu görülmektedir. Bu sonuçların GFZ, JPL ve CSR TWS verileri ile benzer eğilimde olduğunu göstermiştir. En düşük değerlerini Eylül 20008 ve Kasım 2021'de aldığı görülmüştür. Ortalama TWS değerleri Mart-Nisan-Mayıs aylarında en yüksek değerlere kadar ulaştığı daha sonra azalışa geçerek en düşük değerlere Eylül-Ekim-Kasım aylarında düştüğü gözlenmektedir (Şekil 67).



Şekil 67. 93 No'lu gride ait Ortalama TWS zaman serisi grafiği

Bu bölümde uygulanan GFZ, JPL, CRS bağımsız veri merkezlerinden elde edilen TWS ve bunların kombinasyonu ile elde ort_TWS zaman serilerinde basit doğrusal regresyon modeli trend hesabından sonra sırasıyla;

• Eşitlik 39 - Eşitlik 42 ile regresyon katsayılarının anlamlılık testi
• Eşitlik 43 - Eşitlik 46 ile varyansların eşdeğerlik testi,
• Eşitlik 47 - Eşitlik 50 ile regresyon katsayılarının eşdeğerlik testi

uygulanmıştır.

Regresyon katsayılarının anlamlılık testinden elde edilen sonuçlara göre; belirli havzalara ait gridlerde "anlamsız katsayı" sonucu elde edilmiştir. GFZ TWS verilerinde GRACE döneminde 2, 38 ve 56 No'lu gridlerden elde edilen a_1 trend katsayılarının %95 istatistik güven içerisinde t testi dağılımına göre anlamsız olduğu tespit edilmiştir. JPL, CSR ve ort_TWS verilerinde GRACE döneminde 2, 7, 38 ve 56 No'lu gridlerden elde edilen a_1 trend katsayılarının %95 istatistik güven içerisinde t testi dağılımına göre anlamsız olduğu tespit edilmiştir. COST-G TWS verilerinde GRACE döneminde 2, 7, 28, 31, 34, 38 ve 41 No'lu gridlerden elde edilen a_1 trend katsayılarının %95 istatistik güven içerisinde t testi dağılımına göre anlamsız olduğu tespit edilmiştir. TWS verilerinin CSR TWS verilerinde

GRACE-FO dönemine bakıldığında 2 ve 7 No'lu gridlerden elde edilen a_1 trend katsayılarının %95 istatistik güven içerisinde t testi dağılımına göre anlamsız olduğu tespit edilmiştir. COST-G TWS verilerinde GRACE-FO dönemine bakıldığında 2, 7, 28, 31 ve 50 No'lu gridlerden elde edilen a_1 trend katsayılarının %95 istatistik güven içerisinde t testi dağılımına göre anlamsız olduğu tespit edilmiştir (Tablo 12).

Varyansların eşdeğerlik testinden elde edilen sonuçlara göre; COST-G TWS verileri kullanılarak elde edilen sonuçların çoğu gridde GFZ, JPL, CSR ve ort_TWS ile eşdeğer olmadığı tespit edilmiştir (Tablo 13).

Regresyon katsayılarının eşdeğerlik testinden elde edilen sonuçlara göre; COST-G TWS verileri kullanılarak elde edilen sonuçların çoğu gridde GFZ, JPL, CSR ve ort_TWS ile eşdeğer olmadığı tespit edilmiştir (Tablo 14).

Tablo 12. GRACE/-FO TWS verilerinin anlamlılık tablosu

GFZ																					
	GRACE											GRACE-FO									
havza no	a0	a1	m0	ma0	Tma0	ma1	Tma1	a1_sınır	a0	a1	t tablo değeri	a0	a1	m0	ma0	Tma0	ma1	Tma1	a1_sınır	a0	a1	t tablo değeri
2	0.25	-7.80	6.70	0.50	6.95	6.70	1.16	11.08	anlamlı	anlamsız	1.65	-6.53	-16.03	6.18	0.80	63.37	6.18	2.59	10.34	anlamlı	anlamlı	1.67
7	0.43	-13.29	6.49	0.48	12.10	6.49	2.05	10.73	anlamlı	anlamlı	1.65	-7.10	-15.27	6.09	0.79	69.86	6.09	2.50	10.19	anlamlı	anlamlı	1.67
28	0.34	-18.83	6.94	0.51	9.08	6.94	2.71	11.48	anlamlı	anlamlı	1.65	-7.78	-17.91	6.83	0.88	68.40	6.83	2.62	11.41	anlamlı	anlamlı	1.67
31	-0.60	-28.43	7.03	0.52	15.60	7.03	4.04	11.62	anlamlı	anlamlı	1.65	-9.59	-15.92	7.10	0.92	81.01	7.10	2.24	11.87	anlamlı	anlamlı	1.67
34	-2.52	-55.96	6.60	0.49	69.87	6.60	8.48	10.91	anlamlı	anlamlı	1.65	-17.25	-21.78	6.60	0.85	156.81	6.60	3.30	11.03	anlamlı	anlamlı	1.67
38	1.30	-10.09	6.55	0.48	36.34	6.55	1.54	10.83	anlamlı	anlamsız	1.65	-5.70	-18.62	5.96	0.77	57.39	5.96	3.12	9.97	anlamlı	anlamlı	1.67
41	1.18	-17.50	6.90	0.51	31.24	6.90	2.54	11.41	anlamlı	anlamlı	1.65	-8.31	-23.29	6.49	0.84	76.79	6.49	3.59	10.85	anlamlı	anlamlı	1.67
50	-1.20	-48.15	7.41	0.55	29.59	7.41	6.50	12.25	anlamlı	anlamlı	1.65	-11.52	-22.05	7.81	1.01	88.51	7.81	2.82	13.05	anlamlı	anlamlı	1.67
56	1.60	-10.02	6.15	0.45	47.57	6.15	1.63	10.16	anlamlı	anlamsız	1.65	-4.74	-18.62	5.52	0.71	51.46	5.52	3.37	9.24	anlamlı	anlamlı	1.67
61	0.98	-27.87	6.92	0.51	25.87	6.92	4.03	11.44	anlamlı	anlamlı	1.65	-9.57	-27.49	6.82	0.88	84.15	6.82	4.03	11.41	anlamlı	anlamlı	1.67
64	0.09	-40.74	7.16	0.53	2.26	7.16	5.69	11.84	anlamlı	anlamlı	1.65	-10.29	-28.38	7.53	0.97	81.99	7.53	3.77	12.58	anlamlı	anlamlı	1.67
84	-1.17	-68.42	7.16	0.53	29.94	7.16	9.55	11.84	anlamlı	anlamlı	1.65	-10.93	-28.69	8.20	1.06	79.98	8.20	3.50	13.71	anlamlı	anlamlı	1.67
88	-2.92	-95.12	7.14	0.53	74.97	7.14	13.32	11.80	anlamlı	anlamlı	1.65	-15.47	-32.22	8.38	1.08	110.80	8.38	3.85	14.00	anlamlı	anlamlı	1.67
93	0.61	-33.62	5.43	0.40	20.61	5.43	6.19	8.99	anlamlı	anlamlı	1.65	-7.80	-24.58	5.55	0.72	84.34	5.55	4.43	9.27	anlamlı	anlamlı	1.67

JPL																					
	GRACE											GRACE-FO									
havza no	a0	a1	m0	ma0	Tma0	ma1	Tma1	a1_sınır	a0	a1	t tablo değeri	a0	a1	m0	ma0	Tma0	ma1	Tma1	a1_sınır	a0	a1	t tablo değeri
2	0.43	-3.69	6.51	0.48	12.08	6.51	0.57	10.76	anlamlı	anlamsız	1.65	-5.35	-11.13	6.36	0.82	50.47	6.36	1.75	10.63	anlamlı	anlamlı	1.67
7	0.76	-7.08	6.56	0.49	21.14	6.56	1.08	10.85	anlamlı	anlamsız	1.65	-5.73	-12.34	6.48	0.84	53.05	6.48	1.90	10.83	anlamlı	anlamlı	1.67
28	0.45	-18.02	6.93	0.51	11.96	6.93	2.60	11.45	anlamlı	anlamlı	1.65	-6.86	-16.52	7.15	0.92	57.52	7.15	2.31	11.95	anlamlı	anlamlı	1.67
31	-0.78	-32.38	6.90	0.51	20.80	6.90	4.69	11.42	anlamlı	anlamlı	1.65	-9.27	-15.44	7.29	0.94	76.24	7.29	2.12	12.19	anlamlı	anlamlı	1.67
34	-2.97	-62.11	6.48	0.48	83.83	6.48	9.59	10.71	anlamlı	anlamlı	1.65	-17.59	-22.28	6.70	0.86	157.64	6.70	3.33	11.19	anlamlı	anlamlı	1.67
38	1.50	-5.37	6.38	0.47	42.94	6.38	0.84	10.55	anlamlı	anlamsız	1.65	-4.57	-14.70	6.08	0.79	45.10	6.08	2.42	10.17	anlamlı	anlamlı	1.67
41	1.43	-12.29	6.90	0.51	37.87	6.90	1.78	11.41	anlamlı	anlamlı	1.65	-7.08	-20.61	6.77	0.87	62.76	6.77	3.04	11.32	anlamlı	anlamlı	1.67
50	-1.48	-52.19	7.25	0.54	37.44	7.25	7.19	11.99	anlamlı	anlamlı	1.65	-11.45	-21.39	8.03	1.04	85.52	8.03	2.66	13.42	anlamlı	anlamlı	1.67
56	1.79	-5.19	5.94	0.44	55.15	5.94	0.87	9.82	anlamlı	anlamsız	1.65	-3.60	-14.75	5.59	0.72	38.65	5.59	2.64	9.35	anlamlı	anlamlı	1.67
61	1.18	-24.77	6.90	0.51	31.41	6.90	3.59	11.41	anlamlı	anlamlı	1.65	-8.38	-25.48	7.15	0.92	70.30	7.15	3.56	11.95	anlamlı	anlamlı	1.67
64	0.14	-40.59	7.09	0.52	3.50	7.09	5.72	11.73	anlamlı	anlamlı	1.65	-9.41	-26.72	7.89	1.02	71.54	7.89	3.38	13.19	anlamlı	anlamlı	1.67
84	-1.38	-69.89	6.99	0.52	36.01	6.99	10.00	11.56	anlamlı	anlamlı	1.65	-10.71	-27.32	8.52	1.10	75.43	8.52	3.21	14.24	anlamlı	anlamlı	1.67
88	-3.35	-99.48	6.94	0.51	88.33	6.94	14.34	11.47	anlamlı	anlamlı	1.65	-16.03	-32.96	8.53	1.10	112.73	8.53	3.86	14.26	anlamlı	anlamlı	1.67
93	0.83	-31.89	5.26	0.39	28.97	5.26	6.06	8.69	anlamlı	anlamlı	1.65	-6.59	-22.94	5.78	0.75	68.42	5.78	3.97	9.66	anlamlı	anlamlı	1.67

CSR																					
	GRACE											GRACE-FO									
havza no	a0	a1	m0	ma0	Tma0	ma1	Tma1	a1_sınır	a0	a1	t tablo değeri	a0	a1	m0	ma0	Tma0	ma1	Tma1	a1_sınır	a0	a1	t tablo değeri
2	0.36	-4.25	6.54	0.48	10.07	6.54	0.65	10.81	anlamlı	anlamsız	1.65	-5.18	-9.07	6.28	0.81	49.49	6.28	1.44	10.50	anlamlı	anlamsız	1.67
7	0.70	-9.59	6.51	0.48	19.66	6.51	1.47	10.76	anlamlı	anlamsız	1.65	-5.78	-10.29	6.56	0.85	52.85	6.56	1.57	10.96	anlamlı	anlamsız	1.67
28	0.53	-17.37	6.85	0.51	14.03	6.85	2.54	11.33	anlamlı	anlamlı	1.65	-6.79	-15.05	7.21	0.93	56.51	7.21	2.09	12.06	anlamlı	anlamlı	1.67
31	-0.61	-29.49	6.82	0.50	16.37	6.82	4.32	11.28	anlamlı	anlamlı	1.65	-8.98	-14.97	7.36	0.95	73.19	7.36	2.03	12.30	anlamlı	anlamlı	1.67
34	-2.77	-59.27	6.40	0.47	79.03	6.40	9.26	10.59	anlamlı	anlamlı	1.65	-17.05	-22.81	6.76	0.87	151.29	6.76	3.37	11.31	anlamlı	anlamlı	1.67
38	1.48	-6.60	6.39	0.47	42.30	6.39	1.03	10.56	anlamlı	anlamsız	1.65	-4.52	-13.16	6.10	0.79	44.48	6.10	2.16	10.20	anlamlı	anlamlı	1.67
41	1.41	-14.33	6.89	0.51	37.49	6.89	2.08	11.39	anlamlı	anlamlı	1.65	-7.12	-18.69	6.82	0.88	62.62	6.82	2.74	11.41	anlamlı	anlamlı	1.67
50	-1.29	-49.74	7.19	0.53	32.76	7.19	6.91	11.89	anlamlı	anlamlı	1.65	-11.08	-21.66	8.13	1.05	81.80	8.13	2.67	13.58	anlamlı	anlamlı	1.67
56	1.80	-6.27	5.96	0.44	55.35	5.96	1.05	9.85	anlamlı	anlamsız	1.65	-3.55	-13.32	5.64	0.73	37.75	5.64	2.36	9.43	anlamlı	anlamlı	1.67
61	1.20	-25.21	6.92	0.51	31.75	6.92	3.65	11.43	anlamlı	anlamlı	1.65	-8.36	-23.36	7.19	0.93	69.81	7.19	3.25	12.01	anlamlı	anlamlı	1.67
64	0.23	-39.80	7.07	0.52	5.87	7.07	5.63	11.69	anlamlı	anlamlı	1.65	-9.30	-25.22	7.96	1.03	70.09	7.96	3.17	13.30	anlamlı	anlamlı	1.67
84	-1.20	-68.81	6.97	0.52	31.50	6.97	9.87	11.53	anlamlı	anlamlı	1.65	-10.33	-27.45	8.63	1.11	71.87	8.63	3.18	14.42	anlamlı	anlamlı	1.67
88	-3.20	-97.98	7.03	0.52	83.29	7.03	13.93	11.63	anlamlı	anlamlı	1.65	-15.52	-34.21	8.71	1.12	106.88	8.71	3.93	14.56	anlamlı	anlamlı	1.67
93	0.83	-30.26	5.33	0.39	28.36	5.33	5.68	8.81	anlamlı	anlamlı	1.65	-6.46	-20.14	5.77	0.74	67.23	5.77	3.49	9.64	anlamlı	anlamlı	1.67

ort_TWS																					
	GRACE											GRACE-FO									
havza no	a0	a1	m0	ma0	Tma0	ma1	Tma1	a1_sınır	a0	a1	t tablo değeri	a0	a1	m0	ma0	Tma0	ma1	Tma1	a1_sınır	a0	a1	t tablo değeri
2	0.35	-5.25	6.52	0.48	9.77	6.52	0.81	10.77	anlamlı	anlamsız	1.65	-5.69	-12.08	6.24	0.81	54.68	6.24	1.94	10.43	anlamlı	anlamlı	1.67
7	0.63	-9.98	6.45	0.48	17.84	6.45	1.55	10.66	anlamlı	anlamsız	1.65	-6.20	-12.63	6.34	0.82	58.67	6.34	1.99	10.60	anlamlı	anlamlı	1.67
28	0.44	-18.08	6.84	0.51	11.79	6.84	2.64	11.31	anlamlı	anlamlı	1.65	-7.14	-16.49	7.03	0.91	61.00	7.03	2.35	11.75	anlamlı	anlamlı	1.67
31	-0.66	-30.10	6.87	0.51	17.72	6.87	4.38	11.35	anlamlı	anlamlı	1.65	-9.28	-15.44	7.21	0.93	77.20	7.21	2.14	12.05	anlamlı	anlamlı	1.67
34	-2.75	-59.11	6.43	0.48	78.28	6.43	9.19	10.63	anlamlı	anlamlı	1.65	-17.30	-22.29	6.65	0.86	156.11	6.65	3.35	11.11	anlamlı	anlamlı	1.67
38	1.42	-7.35	6.38	0.47	40.89	6.38	1.15	10.54	anlamlı	anlamsız	1.65	-4.93	-15.49	6.02	0.78	49.19	6.02	2.57	10.06	anlamlı	anlamlı	1.67
41	1.34	-14.70	6.84	0.51	35.83	6.84	2.15	11.31	anlamlı	anlamlı	1.65	-7.51	-20.86	6.66	0.86	67.57	6.66	3.13	11.14	anlamlı	anlamlı	1.67
50	-1.32	-50.02	7.24	0.53	33.46	7.24	6.91	11.96	anlamlı	anlamlı	1.65	-11.35	-21.70	7.95	1.03	85.61	7.95	2.73	13.29	anlamlı	anlamlı	1.67
56	1.73	-7.16	5.95	0.44	53.21	5.95	1.20	9.84	anlamlı	anlamsız	1.65	-3.96	-15.56	5.55	0.72	42.83	5.55	2.80	9.28	anlamlı	anlamlı	1.67
61	1.12	-25.95	6.85	0.51	29.92	6.85	3.79	11.33	anlamlı	anlamlı	1.65	-8.77	-25.45	7.03	0.91	74.91	7.03	3.62	11.74	anlamlı	anlamlı	1.67
64	0.15	-40.38	7.05	0.52	3.90	7.05	5.72	11.66	anlamlı	anlamlı	1.65	-9.66	-26.77	7.76	1.00	74.69	7.76	3.45	12.98	anlamlı	anlamlı	1.67
84	-1.25	-69.04	6.99	0.52	32.70	6.99	9.88	11.56	anlamlı	anlamlı	1.65	-10.66	-27.82	8.42	1.09	75.97	8.42	3.30	14.07	anlamlı	anlamlı	1.67
88	-3.16	-97.53	6.98	0.52	82.80	6.98	13.97	11.54	anlamlı	anlamlı	1.65	-15.67	-33.13	8.51	1.10	110.44	8.51	3.89	14.23	anlamlı	anlamlı	1.67
93	0.76	-31.92	5.28	0.39	26.25	5.28	6.05	8.72	anlamlı	anlamlı	1.65	-6.95	-22.56	5.67	0.73	73.62	5.67	3.98	9.47	anlamlı	anlamlı	1.67

COST-G																					
	GRACE											GRACE-FO									
havza no	a0	a1	m0	ma0	Tma0	ma1	Tma1	a1_sınır	a0	a1	t tablo değeri	a0	a1	m0	ma0	Tma0	ma1	Tma1	a1_sınır	a0	a1	t tablo değeri
2	-1.00	0.14	6.89	0.51	26.48	6.89	0.02	11.40	anlamlı	anlamsız	1.65	-7.34	-10.31	6.53	0.84	67.38	6.53	1.58	10.92	anlamlı	anlamsız	1.67
7	2.14	9.25	5.90	0.44	66.28	5.90	1.57	9.75	anlamlı	anlamsız	1.65	-1.86	-7.55	5.63	0.73	19.87	5.63	1.34	9.41	anlamlı	anlamsız	1.67
28	2.35	2.63	6.98	0.52	61.67	6.98	0.38	11.54	anlamlı	anlamsız	1.65	-1.24	-5.69	7.06	0.91	10.54	7.06	0.81	11.81	anlamlı	anlamsız	1.67
31	-0.56	3.12	7.80	0.58	13.05	7.80	0.40	12.90	anlamlı	anlamsız	1.65	-2.74	-5.06	8.17	1.05	20.09	8.17	0.62	13.65	anlamlı	anlamsız	1.67
34	-1.02	-0.81	7.40	0.55	25.27	7.40	0.11	12.23	anlamlı	anlamsız	1.65	-6.28	-17.01	7.82	1.01	48.19	7.82	2.17	13.08	anlamlı	anlamlı	1.67
38	-0.02	-11.01	7.67	0.57	0.46	7.67	1.44	12.67	anlamsız	anlamsız	1.65	-9.21	-16.09	7.33	0.95	75.33	7.33	2.19	12.26	anlamlı	anlamlı	1.67
41	1.23	-8.34	7.83	0.58	28.83	7.83	1.06	12.94	anlamlı	anlamsız	1.65	-8.14	-19.87	7.71	1.00	63.29	7.71	2.58	12.90	anlamlı	anlamlı	1.67
50	-1.13	-25.81	9.11	0.67	22.63	9.11	2.83	15.06	anlamlı	anlamlı	1.65	-5.75	-15.28	9.94	1.28	34.71	9.94	1.54	16.62	anlamlı	anlamsız	1.67
56	0.56	-13.40	7.55	0.56	13.68	7.55	1.78	12.48	anlamlı	anlamlı	1.65	-8.39	-16.81	7.22	0.93	69.73	7.22	2.33	12.07	anlamlı	anlamlı	1.67
61	1.88	-18.81	8.09	0.60	42.59	8.09	2.33	13.37	anlamlı	anlamlı	1.65	-7.42	-22.52	8.28	1.07	53.80	8.28	2.72	13.84	anlamlı	anlamlı	1.67
64	2.10	-37.39	8.26	0.61	46.60	8.26	4.53	13.65	anlamlı	anlamlı	1.65	-6.15	-20.16	8.90	1.15	41.46	8.90	2.26	14.88	anlamlı	anlamlı	1.67
84	-0.42	-94.20	8.82	0.65	8.72	8.82	10.67	14.59	anlamlı	anlamlı	1.65	-10.83	-27.16	10.39	1.34	62.51	10.39	2.61	17.37	anlamlı	anlamlı	1.67
88	-1.93	-92.40	9.19	0.68	38.36	9.19	10.06	15.19	anlamlı	anlamlı	1.65	-10.87	-35.89	11.19	1.44	58.30	11.19	3.21	18.70	anlamlı	anlamlı	1.67
93	-1.27	-28.49	6.05	0.45	38.33	6.05	4.71	10.01	anlamlı	anlamlı	1.65	-7.60	-20.28	6.34	0.82	71.89	6.34	3.20	10.60	anlamlı	anlamlı	1.67

Tablo 13. TWS verilerininm_0^2 düzeyindeki eşdeğerlik testleri sonuçları

m0 KARŞILAŞTIRMASI																
	GRACE															
havza no	GFZ	JPL	Test GFZ-JPL	yorum	CSR	Test JPL-CSR	yorum	ort_TWS	Test CSR-ort_TWS	yorum	COST-G	Test ort_TWS-COSTG	yorum	Test CSR-COSTG	yorum	F tablo değeri
2	6.70	6.51	1.06	eşdeğer	6.54	1.01	eşdeğer	6.52	1.01	eşdeğer	6.89	1.12	eşdeğer	1.11	eşdeğer	1.28
7	6.49	6.56	1.02	eşdeğer	6.51	1.02	eşdeğer	6.45	1.02	eşdeğer	5.90	1.20	eşdeğer	1.22	eşdeğer	1.28
28	6.94	6.93	1.00	eşdeğer	6.85	1.02	eşdeğer	6.84	1.00	eşdeğer	6.98	1.04	eşdeğer	1.04	eşdeğer	1.28
31	7.03	6.90	1.04	eşdeğer	6.82	1.02	eşdeğer	6.87	1.01	eşdeğer	7.80	1.29	eşdeğer değil	1.31	eşdeğer değil	1.28
34	6.60	6.48	1.04	eşdeğer	6.40	1.02	eşdeğer	6.43	1.01	eşdeğer	7.40	1.32	eşdeğer değil	1.33	eşdeğer değil	1.28
38	6.55	6.38	1.06	eşdeğer	6.39	1.00	eşdeğer	6.38	1.00	eşdeğer	7.67	1.45	eşdeğer değil	1.44	eşdeğer değil	1.28
41	6.90	6.90	1.00	eşdeğer	6.89	1.00	eşdeğer	6.84	1.02	eşdeğer	7.83	1.31	eşdeğer değil	1.29	eşdeğer değil	1.28
50	7.41	7.25	1.04	eşdeğer	7.19	1.02	eşdeğer	7.24	1.01	eşdeğer	9.11	1.58	eşdeğer değil	1.60	eşdeğer değil	1.28
56	6.15	5.94	1.07	eşdeğer	5.96	1.01	eşdeğer	5.95	1.00	eşdeğer	7.55	1.61	eşdeğer değil	1.60	eşdeğer değil	1.28
61	6.92	6.90	1.00	eşdeğer	6.92	1.00	eşdeğer	6.85	1.02	eşdeğer	8.09	1.39	eşdeğer değil	1.37	eşdeğer değil	1.28
64	7.16	7.09	1.02	eşdeğer	7.07	1.01	eşdeğer	7.05	1.01	eşdeğer	8.26	1.37	eşdeğer değil	1.36	eşdeğer değil	1.28
84	7.16	6.99	1.05	eşdeğer	6.97	1.01	eşdeğer	6.99	1.01	eşdeğer	8.82	1.59	eşdeğer değil	1.60	eşdeğer değil	1.28
88	7.14	6.94	1.06	eşdeğer	7.03	1.03	eşdeğer	6.98	1.02	eşdeğer	9.19	1.73	eşdeğer değil	1.71	eşdeğer değil	1.28
93	5.43	5.26	1.07	eşdeğer	5.33	1.03	eşdeğer	5.28	1.02	eşdeğer	6.05	1.32	eşdeğer değil	1.29	eşdeğer değil	1.28
	GRACE-FO															
havza no	GFZ	JPL	Test	yorum	CSR	Test	yorum	ort_TWS	Test	yorum	COST-G	Test	yorum	Test	yorum	F tablo değeri
2	6.18	6.36	1.06	eşdeğer	6.28	1.03	eşdeğer	6.24	1.01	eşdeğer	6.53	1.10	eşdeğer	1.08	eşdeğer	1.55
7	6.09	6.48	1.13	eşdeğer	6.56	1.02	eşdeğer	6.34	1.07	eşdeğer	5.63	1.27	eşdeğer	1.36	eşdeğer	1.55
28	6.83	7.15	1.10	eşdeğer	7.21	1.02	eşdeğer	7.03	1.05	eşdeğer	7.06	1.01	eşdeğer	1.04	eşdeğer	1.55
31	7.10	7.29	1.05	eşdeğer	7.36	1.02	eşdeğer	7.21	1.04	eşdeğer	8.17	1.28	eşdeğer	1.23	eşdeğer	1.55
34	6.60	6.70	1.03	eşdeğer	6.76	1.02	eşdeğer	6.65	1.04	eşdeğer	7.82	1.39	eşdeğer	1.34	eşdeğer	1.55
38	5.96	6.08	1.04	eşdeğer	6.10	1.01	eşdeğer	6.02	1.03	eşdeğer	7.33	1.49	eşdeğer	1.44	eşdeğer	1.55
41	6.49	6.77	1.09	eşdeğer	6.82	1.02	eşdeğer	6.66	1.05	eşdeğer	7.71	1.34	eşdeğer	1.28	eşdeğer	1.55
50	7.81	8.03	1.06	eşdeğer	8.13	1.02	eşdeğer	7.95	1.04	eşdeğer	9.94	1.56	eşdeğer değil	1.50	eşdeğer	1.55
56	5.52	5.59	1.03	eşdeğer	5.64	1.02	eşdeğer	5.55	1.03	eşdeğer	7.22	1.69	eşdeğer değil	1.64	eşdeğer değil	1.55
61	6.82	7.15	1.10	eşdeğer	7.19	1.01	eşdeğer	7.03	1.05	eşdeğer	8.28	1.39	eşdeğer	1.33	eşdeğer	1.55
64	7.53	7.89	1.10	eşdeğer	7.96	1.02	eşdeğer	7.76	1.05	eşdeğer	8.90	1.32	eşdeğer	1.25	eşdeğer	1.55
84	8.20	8.52	1.08	eşdeğer	8.63	1.03	eşdeğer	8.42	1.05	eşdeğer	10.39	1.52	eşdeğer	1.45	eşdeğer	1.55
88	8.38	8.53	1.04	eşdeğer	8.71	1.04	eşdeğer	8.51	1.05	eşdeğer	11.19	1.73	eşdeğer değil	1.65	eşdeğer değil	1.55
93	5.55	5.78	1.09	eşdeğer	5.77	1.00	eşdeğer	5.67	1.04	eşdeğer	6.34	1.25	eşdeğer	1.21	eşdeğer	1.55

Tablo 14. TWS verilerinin $m_{a_1}^2$ düzeyindeki eşdeğerlik testleri sonuçları

GRACE																				
havza no	GFZ		JPL		Test GFZ-JPL		CSR		Test JPL-CSR		ort_TWS		Test CSR-ort_TWS		COST-G		Test ort_TWS-COSTG		Test CSR-COSTG		F tablo değeri
	a1	ma1	a1	ma1	test	yorum	a1	ma1	test	yorum	a1	ma1	test	yorum	a1	ma1	test	yorum	test	yorum	
2	-7.80	6.70	-3.69	6.51	1.06	eşdeğer	-4.25	6.54	1.01	eşdeğer	-5.25	6.52	1.01	eşdeğer	0.14	6.89	1.12	eşdeğer	1.11	eşdeğer	1.28
7	-13.29	6.49	-7.08	6.56	1.02	eşdeğer	-9.59	6.51	1.02	eşdeğer	-9.98	6.45	1.02	eşdeğer	9.25	5.90	1.20	eşdeğer	1.22	eşdeğer	1.28
28	-18.83	6.94	-18.02	6.93	1.00	eşdeğer	-17.37	6.85	1.02	eşdeğer	-18.08	6.84	1.00	eşdeğer	2.63	6.98	1.04	eşdeğer	1.04	eşdeğer	1.28
31	-28.43	7.03	-32.38	6.90	1.04	eşdeğer	-29.49	6.82	1.02	eşdeğer	-30.10	6.87	1.01	eşdeğer	3.12	7.80	1.29	eşdeğer değil	1.31	eşdeğer değil	1.28
34	-55.96	6.60	-62.11	6.48	1.04	eşdeğer	-59.27	6.40	1.02	eşdeğer	-59.11	6.43	1.01	eşdeğer	-0.81	7.40	1.32	eşdeğer değil	1.33	eşdeğer değil	1.28
38	-10.09	6.55	-5.37	6.38	1.06	eşdeğer	-6.60	6.39	1.00	eşdeğer	-7.35	6.38	1.00	eşdeğer	-11.01	7.67	1.45	eşdeğer değil	1.44	eşdeğer değil	1.28
41	-17.50	6.90	-12.29	6.90	1.00	eşdeğer	-14.33	6.89	1.00	eşdeğer	-14.70	6.84	1.02	eşdeğer	-8.34	7.83	1.31	eşdeğer değil	1.29	eşdeğer değil	1.28
50	-48.15	7.41	-52.19	7.25	1.04	eşdeğer	-49.74	7.19	1.02	eşdeğer	-50.02	7.24	1.01	eşdeğer	-25.81	9.11	1.58	eşdeğer değil	1.60	eşdeğer değil	1.28
56	-10.02	6.15	-5.19	5.94	1.07	eşdeğer	-6.27	5.96	1.01	eşdeğer	-7.16	5.95	1.00	eşdeğer	-13.40	7.55	1.61	eşdeğer değil	1.60	eşdeğer değil	1.28
61	-27.87	6.92	-24.77	6.90	1.00	eşdeğer	-25.21	6.92	1.00	eşdeğer	-25.95	6.85	1.02	eşdeğer	-18.81	8.09	1.39	eşdeğer değil	1.37	eşdeğer değil	1.28
64	-40.74	7.16	-40.59	7.09	1.02	eşdeğer	-39.80	7.07	1.01	eşdeğer	-40.38	7.05	1.01	eşdeğer	-37.39	8.26	1.37	eşdeğer değil	1.36	eşdeğer değil	1.28
84	-68.42	7.16	-69.89	6.99	1.05	eşdeğer	-68.81	6.97	1.01	eşdeğer	-69.04	6.99	1.01	eşdeğer	-94.20	8.82	1.59	eşdeğer değil	1.60	eşdeğer değil	1.28
88	-95.12	7.14	-99.48	6.94	1.06	eşdeğer	-97.98	7.03	1.03	eşdeğer	-97.53	6.98	1.02	eşdeğer	-92.40	9.19	1.73	eşdeğer değil	1.71	eşdeğer değil	1.28
93	-33.62	5.43	-31.89	5.26	1.07	eşdeğer	-30.26	5.33	1.03	eşdeğer	-31.92	5.28	1.02	eşdeğer	-28.49	6.05	1.32	eşdeğer değil	1.29	eşdeğer değil	1.28
GRACE-FO																					
havza no	GFZ		JPL		Test GFZ-JPL		CSR		Test JPL-CSR		ort_TWS		Test CSR-ort_TWS		COST-G		Test ort_TWS-COSTG		Test CSR-COSTG		F tablo değeri
	a1	ma1	a1	ma1	test	yorum	a1	ma1	test	yorum	a1	ma1	test	yorum	a1	ma1	test	yorum	test	yorum	
2	-7.80	6.70	-3.69	6.51	1.06	eşdeğer	-4.25	6.54	1.01	eşdeğer	-5.25	6.52	1.01	eşdeğer	0.14	6.89	1.12	eşdeğer	1.11	eşdeğer	1.55
7	-13.29	6.49	-7.08	6.56	1.02	eşdeğer	-9.59	6.51	1.02	eşdeğer	-9.98	6.45	1.02	eşdeğer	9.25	5.90	1.20	eşdeğer	1.22	eşdeğer	1.55
28	-18.83	6.94	-18.02	6.93	1.00	eşdeğer	-17.37	6.85	1.02	eşdeğer	-18.08	6.84	1.00	eşdeğer	2.63	6.98	1.04	eşdeğer	1.04	eşdeğer	1.55
31	-28.43	7.03	-32.38	6.90	1.04	eşdeğer	-29.49	6.82	1.02	eşdeğer	-30.10	6.87	1.01	eşdeğer	3.12	7.80	1.29	eşdeğer	1.31	eşdeğer	1.55
34	-55.96	6.60	-62.11	6.48	1.04	eşdeğer	-59.27	6.40	1.02	eşdeğer	-59.11	6.43	1.01	eşdeğer	-0.81	7.40	1.32	eşdeğer	1.33	eşdeğer	1.55
38	-10.09	6.55	-5.37	6.38	1.06	eşdeğer	-6.60	6.39	1.00	eşdeğer	-7.35	6.38	1.00	eşdeğer	-11.01	7.67	1.45	eşdeğer	1.44	eşdeğer	1.55
41	-17.50	6.90	-12.29	6.90	1.00	eşdeğer	-14.33	6.89	1.00	eşdeğer	-14.70	6.84	1.02	eşdeğer	-8.34	7.83	1.31	eşdeğer	1.29	eşdeğer	1.55
50	-48.15	7.41	-52.19	7.25	1.04	eşdeğer	-49.74	7.19	1.02	eşdeğer	-50.02	7.24	1.01	eşdeğer	-25.81	9.11	1.58	eşdeğer değil	1.60	eşdeğer değil	1.55
56	-10.02	6.15	-5.19	5.94	1.07	eşdeğer	-6.27	5.96	1.01	eşdeğer	-7.16	5.95	1.00	eşdeğer	-13.40	7.55	1.61	eşdeğer değil	1.60	eşdeğer değil	1.55
61	-27.87	6.92	-24.77	6.90	1.00	eşdeğer	-25.21	6.92	1.00	eşdeğer	-25.95	6.85	1.02	eşdeğer	-18.81	8.09	1.39	eşdeğer	1.37	eşdeğer	1.55
64	-40.74	7.16	-40.59	7.09	1.02	eşdeğer	-39.80	7.07	1.01	eşdeğer	-40.38	7.05	1.01	eşdeğer	-37.39	8.26	1.37	eşdeğer	1.36	eşdeğer	1.55
84	-68.42	7.16	-69.89	6.99	1.05	eşdeğer	-68.81	6.97	1.01	eşdeğer	-69.04	6.99	1.01	eşdeğer	-94.20	8.82	1.59	eşdeğer değil	1.60	eşdeğer değil	1.55
88	-95.12	7.14	-99.48	6.94	1.06	eşdeğer	-97.98	7.03	1.03	eşdeğer	-97.53	6.98	1.02	eşdeğer	-92.40	9.19	1.73	eşdeğer değil	1.71	eşdeğer değil	1.55
93	-33.62	5.43	-31.89	5.26	1.07	eşdeğer	-30.26	5.33	1.03	eşdeğer	-31.92	5.28	1.02	eşdeğer	-28.49	6.05	1.32	eşdeğer	1.29	eşdeğer	1.55

2.3.5. GRACE/-FO Analiz Merkezlerinde, COST-G Kombinasyon Merkezinden Elde Edilen ve Kombinasyonla Hesaplanan TWS Değişimlerinin Tanımlayıcı İstatistiklerle İncelenmesi

Bu bölümde 14 gridde GFZ, JPL, CSR, COST-G TWS ve ort_TWS verileri zaman serilerinin trend analizleri yapıldı, ayrıca analizlerin yapıldığı 2002 - 2023 arasında Ocak-Aralık arası yıllık ortalamalar alınarak değişim analizi yapılmıştır. Buna ek olarak yıllık ortalamalar da alınarak Bölüm 1.2'de de bahsedildiği üzere Türkiye'de ciddi kuraklıkların yaşandığı 2007 - 2008, 2013 - 2014, 2020 - 2021 dönemlerindeki değişimler incelenmiştir. Elde edilen tanımlayıcı istatistikler Tablo 15 (minimum değerler), Tablo 16 (maksimum değerler) ve Tablo 17'de (ortalama değerler) yer almaktadır.

Tablo 15. TWS verilerinin havza bazında aylık ortalamaların minimum değerleri

GFZ TWS														
Aylar	**2**	**7**	**28**	**31**	**34**	**38**	**41**	**50**	**56**	**61**	**64**	**84**	**88**	**93**
Ocak	-9.63	-11.30	-14.73	-17.13	-26.79	-9.55	-14.30	-21.40	-8.42	-17.95	-20.57	-21.98	-27.45	-15.78
Şubat	-4.41	-4.63	-6.83	-8.65	-18.35	-5.91	-9.30	-12.04	-5.68	-12.56	-13.24	-13.17	-18.19	-11.56
Mart	-3.50	-7.62	-12.11	-14.80	-23.11	-0.69	-6.34	-17.00	-0.50	-10.55	-14.78	-16.38	-21.47	-7.92
Nisan	-8.27	-5.78	-3.83	-5.31	-14.21	-8.91	-9.69	-7.16	-8.85	-10.43	-9.22	-10.12	-15.73	-11.11
Mayıs	-4.78	-4.79	-3.72	-5.61	-14.31	-4.35	-6.20	-8.11	-4.29	-8.90	-8.71	-11.47	-18.23	-9.68
Haziran	-9.33	-8.20	-5.29	-6.97	-14.09	-6.75	-8.52	-9.95	-5.99	-10.43	-10.74	-10.80	-16.84	-9.67
Temmuz	-10.08	-7.08	-7.83	-10.62	-18.08	-8.11	-9.94	-14.17	-7.88	-13.38	-14.37	-15.85	-21.64	-12.60
Ağustos	-14.56	-13.89	-15.16	-17.59	-25.88	-13.87	-16.32	-20.54	-13.32	-18.52	-18.48	-20.39	-26.95	-16.25
Eylül	-17.78	-17.63	-19.45	-21.62	-28.36	-14.93	-18.27	-24.15	-13.38	-20.54	-22.62	-24.06	-28.35	-16.66
Ekim	-18.23	-19.65	-20.56	-21.83	-29.70	-17.69	-20.42	-26.18	-16.52	-23.37	-25.96	-27.96	-32.93	-18.75
Kasım	-17.10	-19.30	-20.09	-20.88	-28.33	-17.20	-21.53	-23.95	-16.44	-24.06	-25.09	-24.68	-30.94	-20.71
Aralık	-12.32	-15.57	-17.52	-19.19	-29.20	-11.82	-15.58	-23.27	-10.33	-17.22	-19.79	-23.01	-31.32	-12.71
JPL TWS														
Ocak	-7.73	-11.87	-14.85	-16.31	-25.25	-8.00	-14.37	-20.26	-20.26	-20.26	-20.64	-21.21	-26.78	-16.16
Şubat	-2.91	-2.74	-4.87	-7.79	-20.53	-4.28	-7.59	-12.59	-3.91	-10.43	-11.79	-14.23	-22.16	-9.38
Mart	-2.72	-8.04	-9.64	-12.75	-22.41	-1.08	-4.42	-14.98	-0.59	-8.75	-12.45	-14.09	-20.81	-6.25
Nisan	-2.79	-4.11	-4.16	-6.98	-17.56	-3.70	-4.65	-9.74	-3.80	-6.91	-8.83	-11.48	-17.51	-8.05
Mayıs	-4.35	-3.06	-3.78	-5.48	-15.23	-2.86	-5.71	-7.50	-3.22	-7.82	-7.68	-10.33	-19.26	-7.69
Haziran	-8.03	-6.05	-5.47	-7.57	-15.70	-5.04	-6.83	-10.65	-4.73	-9.64	-10.06	-11.16	-18.66	-8.92
Temmuz	-8.31	-6.99	-6.72	-9.73	-18.37	-8.20	-9.31	-13.51	-8.54	-12.34	-13.35	-14.81	-22.07	-11.57
Ağustos	-12.45	-11.97	-14.27	-17.14	-25.83	-12.85	-15.45	-20.26	-12.37	-17.67	-18.25	-20.28	-26.83	-15.52
Eylül	-16.77	-18.84	-21.22	-23.09	-29.77	-14.24	-19.07	-25.68	-12.36	-21.44	-24.25	-25.66	-30.33	-17.47
Ekim	-16.75	-16.55	-18.63	-21.02	-29.90	-16.02	-19.27	-25.68	-14.86	-21.56	-23.87	-26.80	-33.25	-17.93
Kasım	-16.93	-19.27	-20.77	-22.14	-30.69	-14.87	-19.78	-25.64	-12.43	-21.44	-23.73	-25.80	-33.24	-16.99
Aralık	-14.30	-15.81	-16.32	-19.68	-29.88	-12.46	-15.59	-23.81	-10.03	-17.17	-19.74	-23.31	-32.54	-12.58
CSR TWS														
Ocak	-6.87	-12.35	-13.94	-15.86	-25.51	-7.67	-13.46	-20.32	-6.66	-17.09	-19.58	-21.34	-27.56	-14.63
Şubat	-2.74	-3.12	-6.26	-9.37	-21.12	-4.53	-7.88	-13.92	-4.29	-10.98	-12.85	-14.98	-22.04	-9.86
Mart	-2.08	-8.42	-9.61	-13.14	-22.96	0.31	-4.47	-15.86	0.30	-8.12	-12.18	-14.87	-21.95	-4.94
Nisan	-3.13	-3.79	-2.70	-5.44	-16.41	-3.28	-4.67	-8.44	-3.48	-6.45	-7.15	-10.04	-16.57	-7.14
Mayıs	-4.81	-2.09	-3.54	-5.46	-13.68	-2.38	-5.56	-7.48	-2.85	-7.66	-7.23	-8.92	-16.80	-7.69
Haziran	-6.97	-6.70	-6.20	-8.52	-15.78	-5.48	-7.40	-11.54	-6.20	-10.00	-11.28	-12.08	-16.85	-8.89
Temmuz	-8.26	-6.56	-8.30	-11.81	-19.39	-7.57	-9.66	-15.50	-7.99	-13.12	-14.57	-15.84	-20.84	-12.13
Ağustos	-11.97	-13.33	-15.30	-17.57	-25.76	-12.69	-14.97	-20.46	-12.04	-17.04	-18.82	-20.40	-26.76	-14.55
Eylül	-15.54	-17.67	-19.91	-22.48	-30.24	-14.09	-18.17	-25.54	-12.81	-19.95	-22.84	-25.16	-30.97	-15.52
Ekim	-16.37	-16.97	-19.66	-21.13	-29.57	-15.74	-19.96	-25.64	-14.63	-22.60	-24.84	-27.27	-33.33	-18.82
Kasım	-14.55	-17.26	-20.86	-23.72	-32.22	-13.13	-18.79	-27.68	-11.18	-22.02	-24.75	-27.40	-34.68	-18.16
Aralık	-11.84	-15.02	-16.41	-18.31	-26.71	-11.11	-15.77	-21.40	-9.54	-16.97	-18.67	-20.71	-30.17	-12.18
ORTALAMA TWS														
Ocak	-8.08	-11.66	-14.51	-16.43	-25.85	-8.41	-14.04	-20.66	-7.31	-17.83	-20.26	-21.51	-27.26	-15.52
Şubat	-3.36	-3.31	-5.99	-8.60	-20.00	-4.91	-8.26	-12.85	-4.63	-11.32	-12.63	-14.13	-20.80	-10.27
Mart	-2.77	-8.03	-10.45	-13.56	-22.83	-0.23	-5.08	-15.94	-0.26	-9.14	-13.14	-15.11	-21.41	-6.37
Nisan	-4.18	-4.47	-3.50	-5.49	-16.06	-5.29	-6.34	-8.45	-5.38	-7.93	-8.40	-10.54	-16.61	-8.77
Mayıs	-4.60	-3.31	-3.61	-5.15	-14.12	-3.08	-5.82	-7.15	-3.46	-7.86	-7.49	-10.24	-18.10	-7.84
Haziran	-8.11	-6.99	-5.51	-7.69	-15.15	-5.71	-7.59	-10.71	-5.43	-10.02	-10.70	-11.30	-17.45	-9.16
Temmuz	-8.74	-6.87	-7.62	-10.72	-18.27	-7.58	-9.63	-14.39	-7.97	-12.95	-14.09	-15.27	-21.51	-12.10
Ağustos	-12.99	-13.06	-14.91	-17.44	-25.82	-13.14	-15.58	-20.42	-12.58	-17.74	-18.52	-20.36	-26.84	-15.44
Eylül	-16.70	-18.04	-20.19	-22.40	-29.46	-14.37	-18.50	-25.12	-12.31	-20.49	-23.24	-24.96	-29.88	-16.45
Ekim	-17.12	-17.61	-19.62	-21.33	-29.72	-16.48	-19.82	-25.84	-15.34	-22.03	-24.89	-27.34	-33.17	-18.38
Kasım	-16.19	-18.61	-20.57	-22.19	-30.41	-14.22	-19.35	-25.76	-12.16	-22.19	-24.02	-25.84	-32.95	-18.62
Aralık	-12.82	-15.12	-16.09	-18.21	-28.59	-11.47	-15.57	-22.36	-9.75	-17.12	-19.11	-22.15	-31.34	-12.49
COST-G														
Ocak	-10.53	-10.70	-9.36	-11.74	-18.12	-12.65	-14.11	-17.52	-11.59	-14.80	-15.37	-23.45	-23.45	-15.57
Şubat	-4.65	-2.49	0.28	-3.94	-12.65	-7.52	-7.69	-9.88	-7.74	-6.30	-6.43	-15.45	-18.75	-9.96
Mart	-3.06	-11.43	-3.64	-5.14	-12.02	-4.61	-6.06	-9.17	-3.43	-6.04	-6.32	-14.48	-16.99	-6.86
Nisan	-5.52	-2.08	-0.84	-0.90	-2.06	-6.61	-3.08	-1.02	-6.41	-3.17	-1.48	-5.92	-8.58	-5.94
Mayıs	-7.47	-2.89	0.85	1.00	-0.66	-5.82	-6.27	-1.44	-6.30	-8.71	-5.67	-8.15	-12.70	-11.51
Haziran	-7.86	-2.31	0.27	-0.68	-5.14	-10.13	-8.75	-4.52	-9.59	-9.01	-7.59	-11.44	-12.18	-10.30
Temmuz	-11.84	-5.16	-4.11	-7.01	-9.36	-11.82	-11.75	-9.60	-12.82	-14.11	-11.17	-16.53	-17.50	-14.82
Ağustos	-14.26	-8.49	-9.52	-11.44	-14.86	-16.65	-16.46	-16.06	-16.77	-18.38	-17.00	-22.67	-23.27	-17.04
Eylül	-16.79	-11.84	-12.51	-16.37	-19.87	-19.08	-19.63	-20.90	-17.49	-19.04	-19.87	-26.76	-28.86	-15.91
Ekim	-19.70	-12.48	-13.61	-17.13	-20.83	-22.98	-23.03	-22.78	-23.12	-24.33	-22.85	-31.36	-33.78	-21.36
Kasım	-18.58	-12.28	-14.02	-16.80	-20.70	-20.23	-21.52	-21.50	-19.03	-22.91	-22.14	-28.46	-32.47	-20.10
Aralık	-16.64	-11.97	-10.58	-11.66	-16.17	-19.01	-18.56	-17.31	-17.16	-16.40	-15.83	-23.84	-28.51	-12.20

Tablo 16. TWS verilerinin havza bazında aylık ortalamaların maksimum değerleri

GFZ TWS														
Aylar	**2**	**7**	**28**	**31**	**34**	**38**	**41**	**50**	**56**	**61**	**64**	**84**	**88**	**93**
Ocak	11.07	10.16	7.30	6.02	3.97	10.96	9.79	6.60	12.48	10.44	11.07	12.09	8.73	10.93
Şubat	14.40	10.73	12.51	11.92	10.15	13.09	14.55	15.13	13.30	16.54	17.94	20.27	17.69	15.63
Mart	14.39	15.49	15.22	14.53	11.83	13.89	13.94	15.85	13.39	15.10	16.59	18.36	17.24	13.41
Nisan	13.27	15.48	15.50	13.90	12.11	12.30	13.71	16.05	13.43	15.49	16.72	18.37	17.68	13.61
Mayıs	11.61	12.66	12.63	13.21	13.25	10.75	11.19	16.10	10.48	11.84	14.95	18.78	18.72	10.49
Haziran	6.10	9.17	10.72	11.34	11.36	7.60	8.28	11.52	7.71	8.60	9.85	11.92	13.15	8.00
Temmuz	5.41	7.61	6.88	8.00	9.21	4.44	3.83	9.39	4.94	4.74	7.03	10.15	11.87	5.52
Ağustos	-0.43	1.59	0.24	-0.63	0.19	-1.80	-0.95	-0.21	-0.62	0.21	0.34	2.05	2.73	2.25
Eylül	-1.36	-0.68	-1.83	-2.13	-2.04	-0.56	-0.38	-2.15	1.46	0.30	-2.13	0.37	-0.12	2.82
Ekim	1.23	0.86	-2.38	-3.76	-3.25	0.30	-0.50	-4.12	1.01	-0.63	-2.28	-2.12	-2.39	0.97
Kasım	2.64	-0.29	-0.68	-1.01	-1.10	2.80	0.76	-0.83	2.97	0.30	0.67	1.83	1.12	1.57
Aralık	5.05	2.20	0.73	-0.03	0.85	4.78	4.29	1.66	5.55	4.43	3.78	5.15	4.83	5.26
JPL TWS														
Ocak	9.80	10.14	6.74	5.21	4.33	12.04	10.84	6.83	13.78	11.18	11.08	11.43	8.53	11.10
Şubat	15.57	14.09	12.37	10.03	9.60	14.04	15.35	13.65	12.88	14.95	15.77	18.61	17.62	14.36
Mart	15.26	14.89	14.68	14.21	11.45	13.46	14.02	15.16	13.72	15.64	16.21	17.91	17.15	14.00
Nisan	13.94	17.24	16.28	14.07	13.06	13.75	15.23	14.90	12.20	14.92	16.39	17.82	16.67	14.36
Mayıs	12.02	13.35	13.43	14.10	13.76	10.79	12.07	15.64	10.25	12.83	15.06	17.62	17.70	10.88
Haziran	6.20	9.07	10.99	11.11	10.59	8.40	9.07	12.15	7.66	9.86	11.23	13.24	13.78	6.99
Temmuz	4.01	7.58	7.18	6.99	7.12	3.70	4.44	7.98	4.13	5.00	6.44	9.26	11.08	4.98
Ağustos	-0.57	0.55	1.17	2.54	2.65	-0.05	-0.69	2.29	1.03	0.45	2.19	3.09	4.08	3.07
Eylül	-2.10	-0.68	-1.27	-0.34	0.88	-1.10	-2.97	-0.45	0.84	-2.15	-0.75	1.01	1.39	0.05
Ekim	1.98	0.91	-2.66	-4.11	-3.33	-1.33	-1.83	-4.49	-0.01	-2.48	-3.31	-3.15	-2.81	-0.06
Kasım	1.22	-0.11	-0.42	-0.82	-1.04	1.66	0.23	-0.61	1.89	0.10	0.20	1.19	0.61	2.05
Aralık	2.91	1.08	1.20	1.50	2.42	3.31	2.91	3.04	4.23	3.31	3.49	5.84	5.46	4.09
CSR TWS														
Ocak	12.18	10.59	8.02	6.29	3.31	8.82	7.87	5.95	8.47	7.82	8.37	10.59	9.27	7.85
Şubat	12.98	10.75	11.76	10.92	9.42	13.36	14.42	14.08	13.75	16.27	17.25	19.43	17.27	15.19
Mart	15.57	15.31	13.92	13.36	11.43	15.97	15.75	15.40	15.50	15.37	16.36	18.06	17.07	13.73
Nisan	14.27	17.61	16.61	14.24	12.74	13.59	15.40	15.48	12.48	14.94	15.98	18.03	18.12	12.77
Mayıs	11.13	11.79	13.40	14.24	13.80	12.16	13.10	14.81	11.78	14.52	14.61	17.14	17.40	11.29
Haziran	6.56	9.87	10.85	10.94	10.78	8.39	8.07	11.80	8.46	9.36	10.27	12.45	13.55	7.52
Temmuz	4.30	7.20	7.79	7.69	8.59	4.62	5.81	8.83	5.15	6.66	8.11	10.19	11.84	5.73
Ağustos	0.58	0.78	-0.18	0.32	1.38	-0.88	-1.09	1.12	-0.13	0.98	1.58	3.26	3.27	2.82
Eylül	-2.10	0.13	-0.43	-1.19	-1.21	0.35	0.23	-1.03	2.03	-0.52	-0.01	2.29	0.36	0.77
Ekim	1.33	-0.26	-3.41	-4.12	-2.80	-0.89	-1.90	-4.22	-0.04	-2.19	-3.44	-2.97	-2.47	-0.12
Kasım	1.97	-0.02	-1.18	-1.99	-1.19	2.15	0.64	-0.59	2.62	1.56	1.51	2.57	1.17	3.40
Aralık	3.76	1.60	1.97	1.95	1.60	3.73	3.60	2.96	3.95	4.52	3.65	5.84	5.04	4.10
ORTALAMA TWS														
Ocak	11.02	10.29	6.99	5.48	3.29	9.94	8.60	6.46	11.58	9.81	10.18	11.37	8.84	9.51
Şubat	14.32	10.04	11.47	10.96	9.72	13.04	14.10	14.29	13.31	15.92	16.99	19.44	17.52	15.06
Mart	15.07	15.23	14.61	14.01	11.57	14.44	14.28	15.47	13.89	15.37	16.39	18.11	17.05	13.71
Nisan	13.52	16.78	16.13	13.46	11.84	13.22	14.78	15.46	12.70	14.81	16.25	18.07	17.35	13.51
Mayıs	11.15	12.60	12.94	13.85	13.36	11.17	11.54	15.33	10.84	12.99	14.60	17.85	17.94	10.67
Haziran	6.08	9.37	10.77	11.13	10.88	7.71	8.30	11.56	7.79	9.04	10.32	12.54	13.49	7.50
Temmuz	4.43	6.94	7.28	7.56	8.31	4.25	4.70	8.73	4.74	5.47	7.20	9.87	11.60	4.93
Ağustos	-0.24	0.81	-0.18	0.49	1.41	-1.10	-1.21	1.07	0.09	0.31	1.24	2.80	3.36	2.34
Eylül	-1.85	-0.68	-1.84	-1.82	-1.09	-0.44	-1.04	-1.48	1.44	-1.05	-1.35	1.23	0.44	1.08
Ekim	1.51	0.50	-2.81	-4.00	-3.13	-0.80	-0.80	-4.28	0.10	-1.83	-3.21	-2.93	-2.59	0.09
Kasım	1.95	-0.16	-0.76	-1.27	-1.60	2.20	0.54	-1.14	2.49	0.26	0.36	1.86	0.97	2.13
Aralık	3.62	1.26	0.99	1.14	1.62	3.61	2.93	2.46	4.37	3.19	2.92	5.22	5.11	3.97
COST-G TWS														
Ocak	9.91	9.73	11.52	7.82	6.29	6.66	8.53	7.46	7.58	9.00	12.59	16.94	13.18	7.32
Şubat	13.20	7.97	13.97	10.49	10.31	15.20	14.71	15.98	16.56	17.21	20.56	27.55	25.39	12.85
Mart	15.26	16.91	17.79	16.29	15.71	15.22	16.66	15.95	15.73	19.42	20.49	24.75	21.28	14.18
Nisan	14.45	19.51	20.09	16.97	17.28	13.62	17.52	16.32	14.71	20.54	19.24	24.07	24.19	15.35
Mayıs	10.04	11.88	13.56	14.67	17.00	12.68	15.58	16.08	12.43	16.40	17.97	22.86	20.94	9.75
Haziran	5.42	11.71	10.82	10.40	8.80	8.04	10.58	12.20	7.54	11.22	13.39	18.52	13.69	5.11
Temmuz	5.22	11.30	8.50	6.32	3.66	3.39	5.57	3.89	4.52	6.41	8.66	11.22	10.39	2.55
Ağustos	-0.86	6.51	4.87	0.01	-2.74	-3.19	-2.07	-4.18	-0.95	-0.26	1.67	5.08	3.62	-0.84
Eylül	-2.62	3.73	1.91	-3.02	-4.41	-3.94	-2.83	-7.21	-1.65	-0.22	0.06	1.17	-1.24	4.81
Ekim	0.32	1.81	-1.06	-6.06	-5.92	-1.73	-1.91	-9.15	-0.62	-2.10	-3.36	-3.25	-2.34	-1.77
Kasım	0.36	0.85	1.88	-3.78	-1.99	0.59	-0.64	-4.31	1.02	0.86	2.18	2.46	1.01	0.58
Aralık	2.65	4.29	1.93	-1.21	0.00	3.19	1.91	0.23	3.37	2.01	4.47	7.74	5.84	1.48

Tablo 17. TWS verilerinin havza bazında aylık ortalamaların ortalama değerleri

GFZ TWS														
Aylar	**2**	**7**	**28**	**31**	**34**	**38**	**41**	**50**	**56**	**61**	**64**	**84**	**88**	**93**
Ocak	0.52	-0.58	-1.66	-3.50	-7.50	2.18	0.84	-4.38	2.80	-0.11	-1.90	-3.35	-6.63	0.01
Şubat	4.41	2.44	2.02	0.75	-3.32	5.50	4.33	0.22	5.61	3.60	2.13	0.85	-1.84	3.11
Mart	5.88	4.65	4.91	3.86	-0.22	6.90	6.29	3.66	6.81	5.79	5.05	4.01	1.34	4.25
Nisan	5.33	4.94	6.55	5.95	1.84	6.39	6.45	5.71	6.27	6.50	6.40	5.29	2.88	4.68
Mayıs	3.29	4.39	5.75	5.17	1.47	4.06	4.58	4.78	3.95	4.60	4.92	3.97	1.81	2.79
Haziran	0.93	2.34	2.91	2.07	-1.13	1.27	1.47	1.16	1.18	1.09	1.27	0.31	-1.76	-0.11
Temmuz	-2.35	-0.61	-1.21	-2.42	-5.11	-1.99	-2.20	-3.59	-1.82	-2.92	-3.24	-4.14	-5.81	-3.16
Ağustos	-6.56	-4.95	-5.75	-7.14	-9.78	-5.66	-6.17	-8.34	-4.91	-6.54	-7.13	-7.89	-10.09	-5.34
Eylül	-9.34	-8.54	-9.26	-10.39	-12.90	-7.76	-8.91	-11.64	-6.47	-9.24	-10.37	-11.03	-13.11	-6.91
Ekim	-9.39	-9.30	-10.32	-11.73	-14.54	-8.15	-9.55	-13.34	-6.89	-9.95	-11.42	-12.79	-15.44	-7.58
Kasım	-7.57	-8.29	-9.40	-10.67	-13.47	-6.51	-8.19	-12.12	-5.38	-8.72	-10.24	-11.64	-14.24	-6.63
Aralık	-2.90	-4.43	-5.51	-6.88	-10.24	-2.03	-3.72	-8.20	-1.32	-4.49	-6.14	-7.61	-10.42	-3.28
JPL TWS														
Ocak	0.82	-0.35	-1.98	-3.91	-7.71	2.46	0.97	-4.69	3.07	-0.17	-2.18	-3.67	-7.00	0.03
Şubat	4.82	3.28	2.69	0.58	-4.03	5.74	5.08	-0.15	5.79	4.46	2.69	0.74	-2.37	3.45
Mart	6.18	5.64	5.72	4.00	-0.91	7.17	7.00	3.53	7.09	6.58	5.64	4.07	0.71	4.94
Nisan	5.44	5.17	6.54	5.62	1.16	6.64	6.72	5.30	6.49	6.71	6.45	5.06	2.21	4.92
Mayıs	3.78	4.92	5.97	5.09	1.01	4.58	5.11	4.57	4.46	5.08	5.16	3.82	1.24	3.35
Haziran	1.45	3.00	3.09	1.82	-1.68	1.89	2.22	0.84	1.75	1.70	1.51	0.11	-2.39	0.44
Temmuz	-2.11	0.12	-0.48	-2.13	-5.33	-1.77	-1.60	-3.49	-1.58	-2.15	-2.58	-3.86	-6.04	-2.38
Ağustos	-6.35	-4.44	-5.30	-6.85	-10.01	-5.51	-6.02	-8.33	-4.80	-6.32	-6.84	-7.96	-10.68	-4.85
Eylül	-8.81	-8.15	-9.18	-10.54	-13.32	-7.32	-8.66	-11.97	-6.00	-9.02	-10.33	-11.40	-13.75	-6.47
Ekim	-8.40	-8.52	-10.05	-11.81	-14.91	-7.20	-8.85	-13.60	-5.90	-9.47	-11.30	-12.92	-15.79	-6.90
Kasım	-6.54	-7.40	-8.82	-10.39	-13.56	-5.57	-7.41	-11.94	-4.45	-8.07	-9.74	-11.29	-14.16	-5.91
Aralık	-2.91	-4.16	-5.40	-7.09	-10.64	-1.77	-3.44	-8.52	-0.98	-4.28	-6.13	-7.84	-10.78	-3.21
CSR TWS														
Ocak	0.56	-0.68	-1.80	-3.39	-7.28	2.19	0.65	-4.19	2.83	-0.43	-2.15	-3.31	-6.61	-0.28
Şubat	4.61	3.11	2.74	0.94	-3.75	5.67	4.86	0.12	5.82	4.37	2.74	0.95	-2.27	3.80
Mart	6.16	5.49	5.49	3.88	-0.73	7.26	7.00	3.48	7.23	6.52	5.48	4.00	0.95	4.94
Nisan	5.74	5.56	6.64	5.64	1.40	6.86	7.09	5.40	6.73	7.04	6.67	5.18	2.45	5.10
Mayıs	3.81	5.18	6.24	5.35	1.34	4.71	5.40	4.87	4.61	5.35	5.41	4.18	1.66	3.48
Haziran	1.35	2.60	2.88	1.91	-1.37	1.79	1.97	1.02	1.71	1.47	1.35	0.22	-2.10	0.31
Temmuz	-1.80	0.22	-0.53	-2.07	-5.13	-1.42	-1.43	-3.38	-1.31	-2.07	-2.49	-3.79	-5.89	-2.27
Ağustos	-6.43	-4.86	-5.54	-6.99	-9.84	-5.64	-6.22	-8.34	-4.86	-6.50	-7.02	-7.93	-10.40	-5.15
Eylül	-8.77	-7.68	-8.66	-10.20	-13.17	-7.24	-8.30	-11.64	-5.95	-8.61	-9.81	-10.85	-13.60	-6.22
Ekim	-8.61	-8.89	-10.03	-11.52	-14.52	-7.47	-9.18	-13.22	-6.15	-9.63	-11.15	-12.59	-15.56	-7.05
Kasım	-6.43	-7.43	-8.81	-10.36	-13.48	-5.44	-7.31	-11.96	-4.27	-7.92	-9.71	-11.35	-14.26	-5.72
Aralık	-2.97	-4.21	-4.99	-6.36	-10.02	-2.00	-3.70	-7.75	-1.20	-4.40	-5.79	-7.17	-10.31	-3.23
ORTALAMA TWS														
Ocak	0.63	-0.54	-1.82	-3.60	-7.50	2.28	0.82	-4.42	2.90	-0.24	-2.08	-3.44	-6.75	-0.08
Şubat	4.61	2.94	2.48	0.76	-3.70	5.64	4.76	0.06	5.74	4.14	2.52	0.85	-2.16	3.45
Mart	6.07	5.26	5.37	3.91	-0.62	7.11	6.76	3.56	7.05	6.30	5.39	4.03	1.00	4.71
Nisan	5.50	5.22	6.58	5.74	1.47	6.63	6.75	5.47	6.49	6.75	6.51	5.18	2.51	4.90
Mayıs	3.63	4.83	5.99	5.20	1.27	4.45	5.03	4.74	4.34	5.01	5.16	3.99	1.57	3.21
Haziran	1.24	2.65	2.96	1.93	-1.39	1.65	1.89	1.01	1.55	1.42	1.38	0.21	-2.09	0.21
Temmuz	-2.09	-0.09	-0.74	-2.21	-5.19	-1.73	-1.75	-3.49	-1.57	-2.38	-2.77	-3.93	-5.91	-2.60
Ağustos	-6.45	-4.75	-5.53	-6.99	-9.88	-5.61	-6.14	-8.34	-4.85	-6.45	-7.00	-7.93	-10.39	-5.11
Eylül	-8.97	-8.12	-9.03	-10.38	-13.13	-7.44	-8.62	-11.75	-6.14	-8.95	-10.17	-11.09	-13.49	-6.53
Ekim	-8.80	-8.90	-10.13	-11.68	-14.66	-7.61	-9.20	-13.39	-6.31	-9.68	-11.29	-12.77	-15.60	-7.18
Kasım	-6.85	-7.71	-9.01	-10.47	-13.50	-5.84	-7.64	-12.00	-4.70	-8.24	-9.90	-11.43	-14.22	-6.09
Aralık	-2.93	-4.27	-5.30	-6.77	-10.30	-1.93	-3.62	-8.16	-1.17	-4.39	-6.02	-7.54	-10.50	-3.24
COST-G TWS														
Ocak	-1.70	-0.11	0.80	-1.76	-3.05	-0.39	-0.03	-2.65	0.56	0.36	0.66	-2.51	-4.36	-1.85
Şubat	3.70	2.90	5.38	2.69	0.37	5.21	5.09	2.34	5.92	5.66	6.03	2.94	1.95	1.85
Mart	5.34	5.38	8.09	6.28	4.93	7.23	8.27	7.00	7.91	9.36	9.39	6.52	6.68	4.27
Nisan	4.06	5.61	8.76	8.36	7.46	5.97	8.02	9.72	6.57	9.58	10.15	8.09	8.47	4.34
Mayıs	2.01	6.13	8.52	8.24	6.86	3.11	5.61	8.93	3.32	6.74	8.24	6.38	5.74	1.54
Haziran	0.11	5.63	6.06	4.50	2.53	0.08	2.09	3.79	0.15	2.36	3.89	1.72	-0.26	-1.93
Temmuz	-2.89	3.44	2.89	-0.07	-2.76	-3.78	-2.44	-2.05	-3.63	-2.36	-0.55	-2.88	-5.73	-5.33
Ağustos	-7.26	-1.22	-2.19	-6.15	-8.42	-8.28	-7.32	-8.79	-7.61	-6.77	-5.58	-8.41	-10.71	-7.77
Eylül	-10.16	-4.17	-6.04	-10.26	-11.12	-10.92	-9.71	-13.20	-9.78	-8.82	-9.16	-12.70	-14.02	-7.96
Ekim	-10.47	-5.10	-7.46	-11.48	-10.99	-11.50	-10.41	-14.39	-10.54	-9.77	-10.68	-15.06	-15.36	-8.97
Kasım	-8.88	-3.90	-5.93	-9.35	-8.98	-9.61	-8.54	-11.98	-8.74	-8.16	-8.62	-12.99	-13.71	-7.69
Aralık	-5.33	-1.51	-2.27	-5.33	-5.87	-5.38	-4.53	-7.41	-4.63	-4.17	-4.12	-8.23	-9.61	-5.08

- Meriç-Ergene Havzası (Grid No: 2), Şekil 68a'da görüleceği üzere tüm aylarda 2007, 2008, 2014 ve 2020 sonrası yıllarda en düşük değerleri görmektedir. Genel olarak bakıldığında ise tüm aylarda 2002 Nisan itibariyle azalış eğilimi göstermektedir. Farklı TWS verilerinin her bir ayı için geçerli olan 2007 - 2008 döneminden sonra 2010 yılında büyük bir artışa geçerek yüksek değerlere ulaşmıştır. Daha sonra benzer artış ve azalış modelini takip etmektedir. Ancak GRACE-FO misyonu ile başlayan değerlere bakıldığında sürekli olarak bir azalışın olduğu görülmektedir.

Şekil 68b'ye bakıldığında TWS değerleri, GFZ için Şubat ayında 14.40 cm; JPL için Şubat ayında 15.57 cm; CSR için Mart ayında 15.57 cm; ort_TWS için Mart ayında 15.07 cm; COST-G için Mart ayında 15.26 cm değerlerine ulaşarak maksimum değerleri almıştır. TWS değerleri, GFZ için Ekim ayında -18.23 cm; JPL için Kasım ayında -16.93 cm; CSR için Ekim ayında -16.37 cm; ort_TWS için Ekim ayında -17.12 cm; COST-G için Ekim ayında -19.70 cm değerlerine düşerek minumum değerleri almıştır.

Şekil 68c'ye bakıldığında TWS verilerinin 2007, 2008, 2020 ve 2022 yıllarında en düşük değerlere düşerek ülkede yaşanan kuraklıklarla doğru orantılı olduğu görülmüştür.

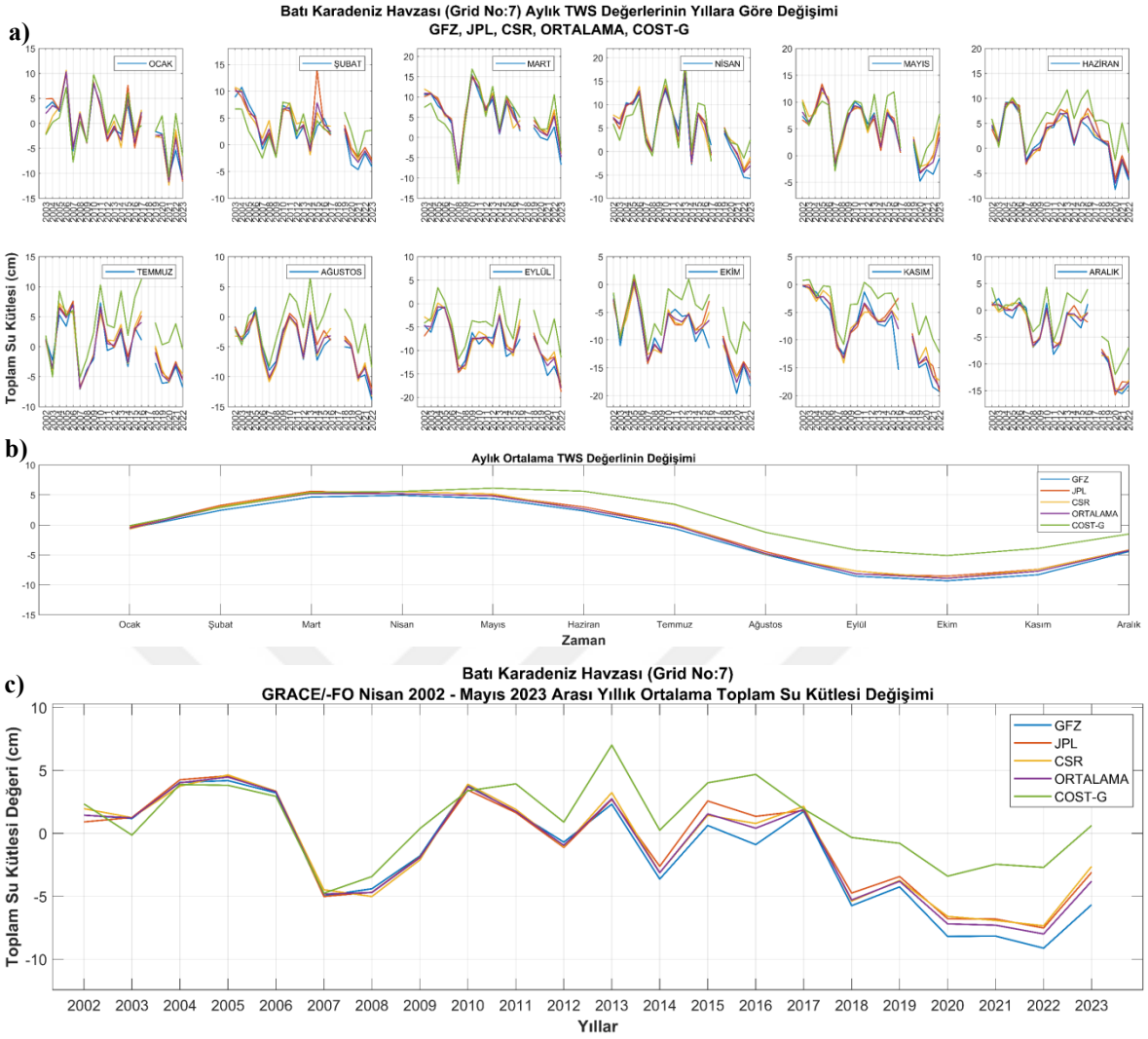


Şekil 68. 2 No'lu gride ait aylık ve yıllık ortalamalarının değişim grafikleri

- Batı Karadeniz Havzası (Grid No: 7), Şekil 69a'da görüleceği üzere tüm aylarda 2007, 2008, 2014 ve 2020 sonrası yıllarda en düşük değerleri görmektedir. Genel olarak bakıldığında ise tüm aylarda 2002 Nisan itibariyle azalış eğilimi göstermektedir. Farklı TWS verilerinin her bir ayı için geçerli olan 2007 - 2008 döneminden sonra 2010 yılında büyük bir artışa geçerek yüksek değerlere ulaşmıştır. Daha sonra benzer artış ve azalış modelini takip etmektedir. Ancak GRACE-FO misyonu ile başlayan değerlere bakıldığında sürekli olarak bir azalışın olduğu görülmektedir.

Şekil 69b'ye bakıldığında TWS değerleri, GFZ için Mart ayında 15.49 cm; JPL için Nisan ayında 17.24 cm; CSR için Nisan ayında 17.61 cm; ort_TWS için Nisan ayında 16.78 cm; COST-G için Nisan ayında 19.51 cm değerlerine ulaşarak maksimum değerleri almıştır. TWS değerleri, GFZ için Ekim ayında -19.65 cm; JPL için Kasım ayında -19.27 cm; CSR için Eylül ayında -17.67 cm; ort_TWS için Kasım ayında -18.61 cm; COST-G için Ekim ayında -12.48 cm değerlerine düşerek minimum değerleri almıştır.

Şekil 69c'ye bakıldığında TWS verilerinin 2007, 2008, 2014, 2020 ve 2022 yıllarında en düşük değerlere düşerek ülkede yaşanan kuraklıklarla doğru orantılı olduğu görülmüştür. Ayrıca COST-G TWS verisinin 2010 yılından sonra diğer TWS verilerinden ciddi anlamda farklılık gösterdiği de görülmektedir.

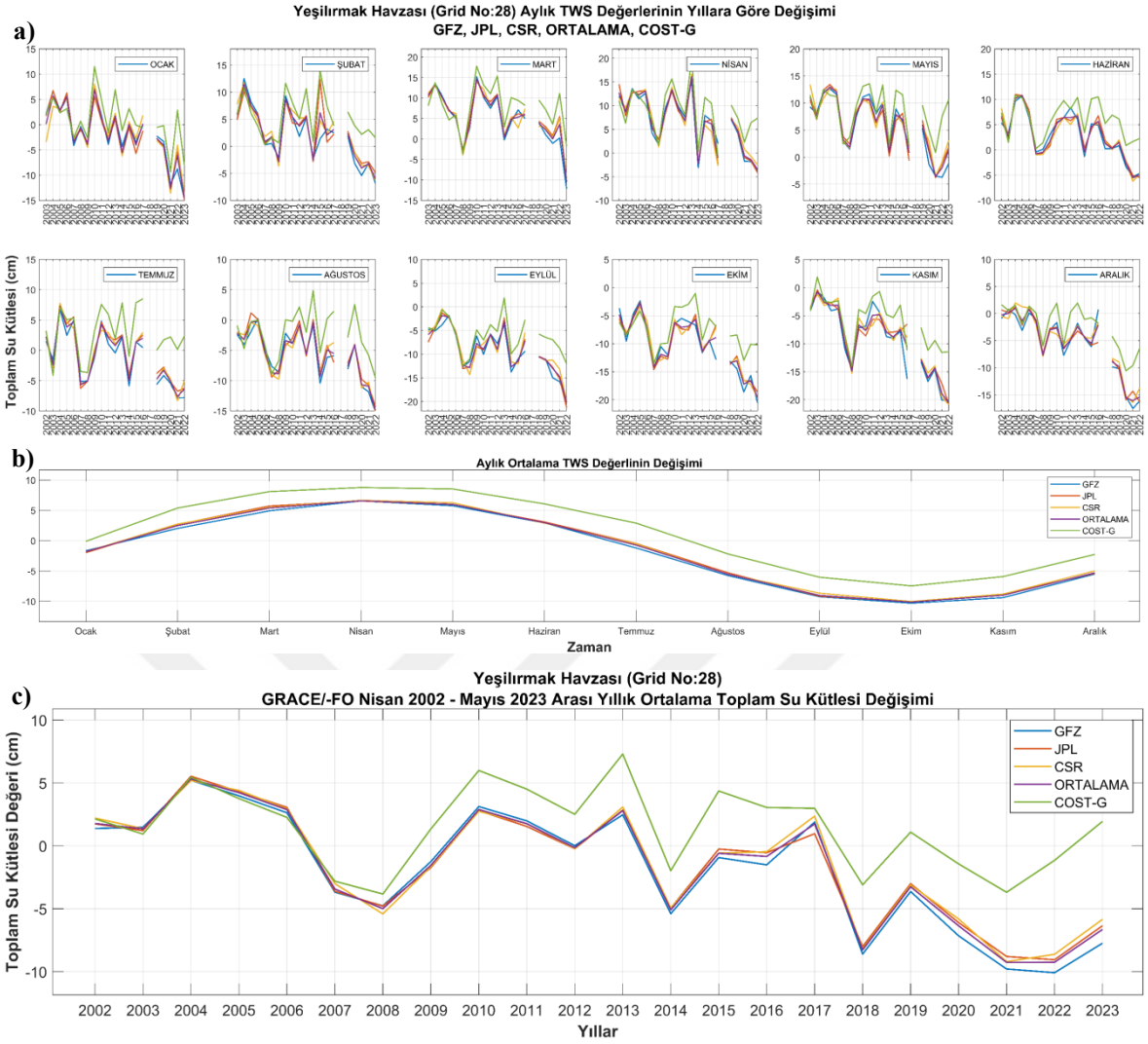


Şekil 69. 7 No'lu gride ait aylık ve yıllık ortalamalarının değişim grafikleri

- Yeşilırmak Havzası (Grid No: 28), Şekil 70a'da görüleceği üzere tüm aylarda 2007, 2008, 2014 ve 2020 sonrası yıllarda en düşük değerleri görmektedir. Genel olarak bakıldığında ise tüm aylarda 2002 Nisan itibariyle azalış eğilimi göstermektedir. Farklı TWS verilerinin her bir ayı için geçerli olan 2007 - 2008 döneminden sonra 2010 yılında büyük bir artışa geçerek yüksek değerlere ulaşmıştır. Daha sonra benzer artış ve azalış modelini takip etmektedir. Ancak GRACE-FO misyonu ile başlayan değerlere bakıldığında sürekli olarak bir azalışın olduğu görülmektedir.

Şekil 70b'ye bakıldığında TWS değerleri, GFZ için Nisan ayında 15.50 cm; JPL için Nisan ayında 16.28 cm; CSR için Nisan ayında 16.61 cm; ort_TWS için Nisan ayında 16.13 cm; COST-G için Nisan ayında 20.09 cm değerlerine ulaşarak maksimum değerleri almıştır. TWS değerleri, GFZ için Ekim ayında -20.56 cm; JPL için Eylül ayında -21.22 cm; CSR için Kasım ayında -20.86 cm; ort_TWS için Kasım ayında -20.57 cm; COST-G için Kasım ayında -14.02 cm değerlerine düşerek minimum değerleri almıştır.

Şekil 70c'ye bakıldığında TWS verilerinin 2007, 2008, 2014, 2020 ve 2022 yıllarında en düşük değerlere düşerek ülkede yaşanan kuraklıklarla doğru orantılı olduğu görülmüştür. Ayrıca COST-G TWS verisinin 2007 yılından sonra diğer TWS verilerinden ciddi anlamda farklılık gösterdiği de görülmektedir.

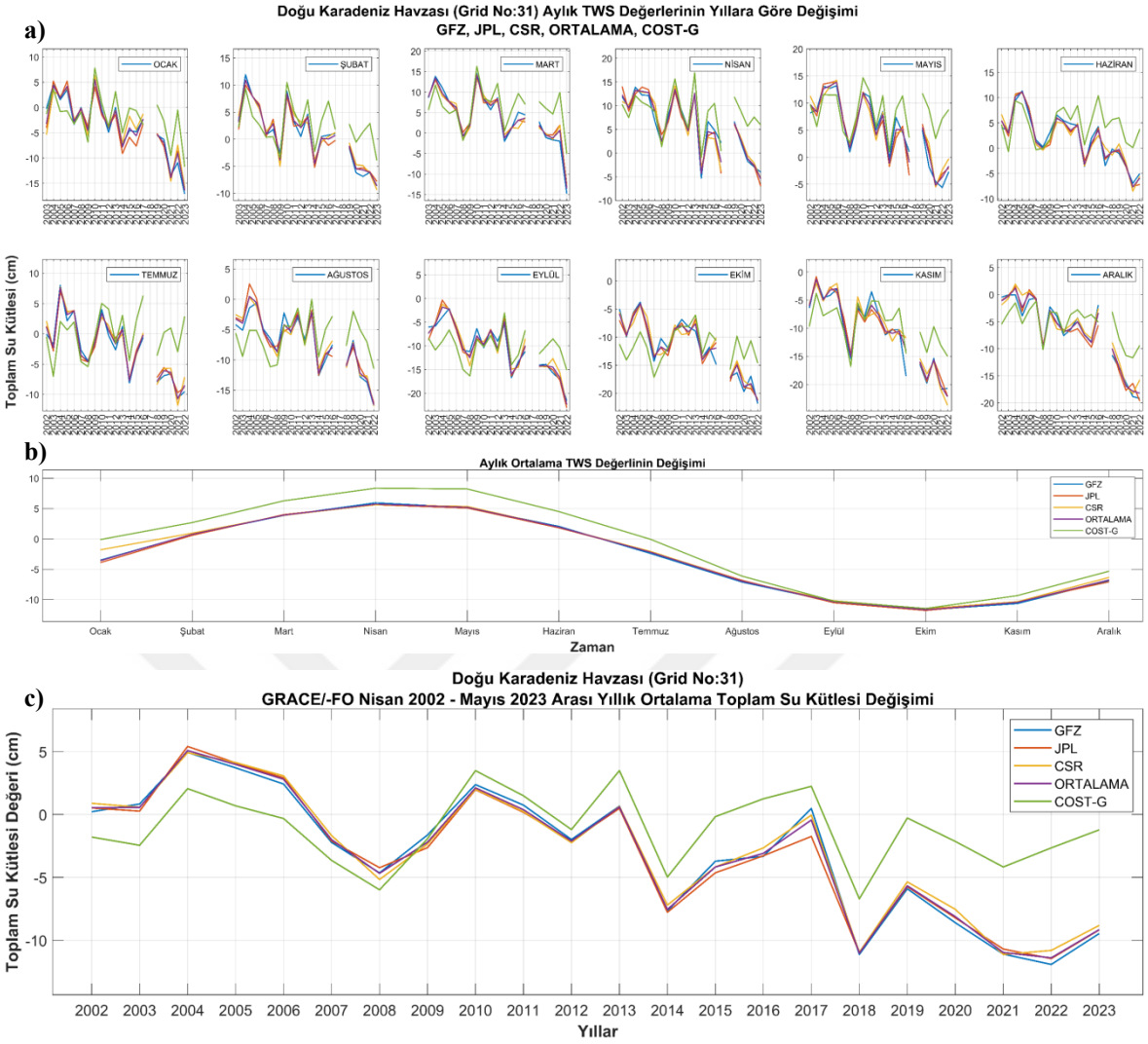


Şekil 70. 28 No'lu gride ait aylık ve yıllık ortalamalarının değişim grafikleri

- Doğu Karadeniz Havzası (Grid No: 31), Şekil 71a'da görüleceği üzere tüm aylarda 2007, 2008, 2014 ve 2020 sonrası yıllarda en düşük değerleri görmektedir. Genel olarak bakıldığında ise tüm aylarda 2002 Nisan itibariyle azalış eğilimi göstermektedir. Farklı TWS verilerinin her bir ayı için geçerli olan 2007 - 2008 döneminden sonra 2010 yılında büyük bir artışa geçerek yüksek değerlere ulaşmıştır. Daha sonra benzer artış ve azalış modelini takip etmektedir. Ancak GRACE-FO misyonu ile başlayan değerlere bakıldığında sürekli olarak bir azalışın olduğu görülmektedir. Ayrıca COST-G TWS verilerinin diğer TWS verilerinden çok fazla saptığı görülmektedir.

Şekil 71b'ye bakıldığında TWS değerleri, GFZ için Mart ayında 14.53 cm; JPL için Mart ayında 14.24 cm; CSR için Mayıs ayında 14.24 cm; ort_TWS için Mart ayında 14.01 cm; COST-G için Nisan ayında 16.97 cm değerlerine ulaşarak maksimum değerleri almıştır. TWS değerleri, GFZ için Ekim ayında -21.83 cm; JPL için Kasım ayında -22.14 cm; CSR için Kasım ayında -23.72 cm; ort_TWS için Eylül ayında -22.40 cm; COST-G için Ekim ayında -17.13 cm değerlerine düşerek minimum değerleri almıştır.

Şekil 71c'ye bakıldığında TWS verilerinin 2007, 2008, 2014, 2020 ve 2022 yıllarında en düşük değerlere düşerek ülkede yaşanan kuraklıklarla doğru orantılı olduğu görülmüştür. Ayrıca COST-G TWS verisinin tüm yıllarda diğer TWS verilerinden farklılık gösterdiği de görülmektedir.

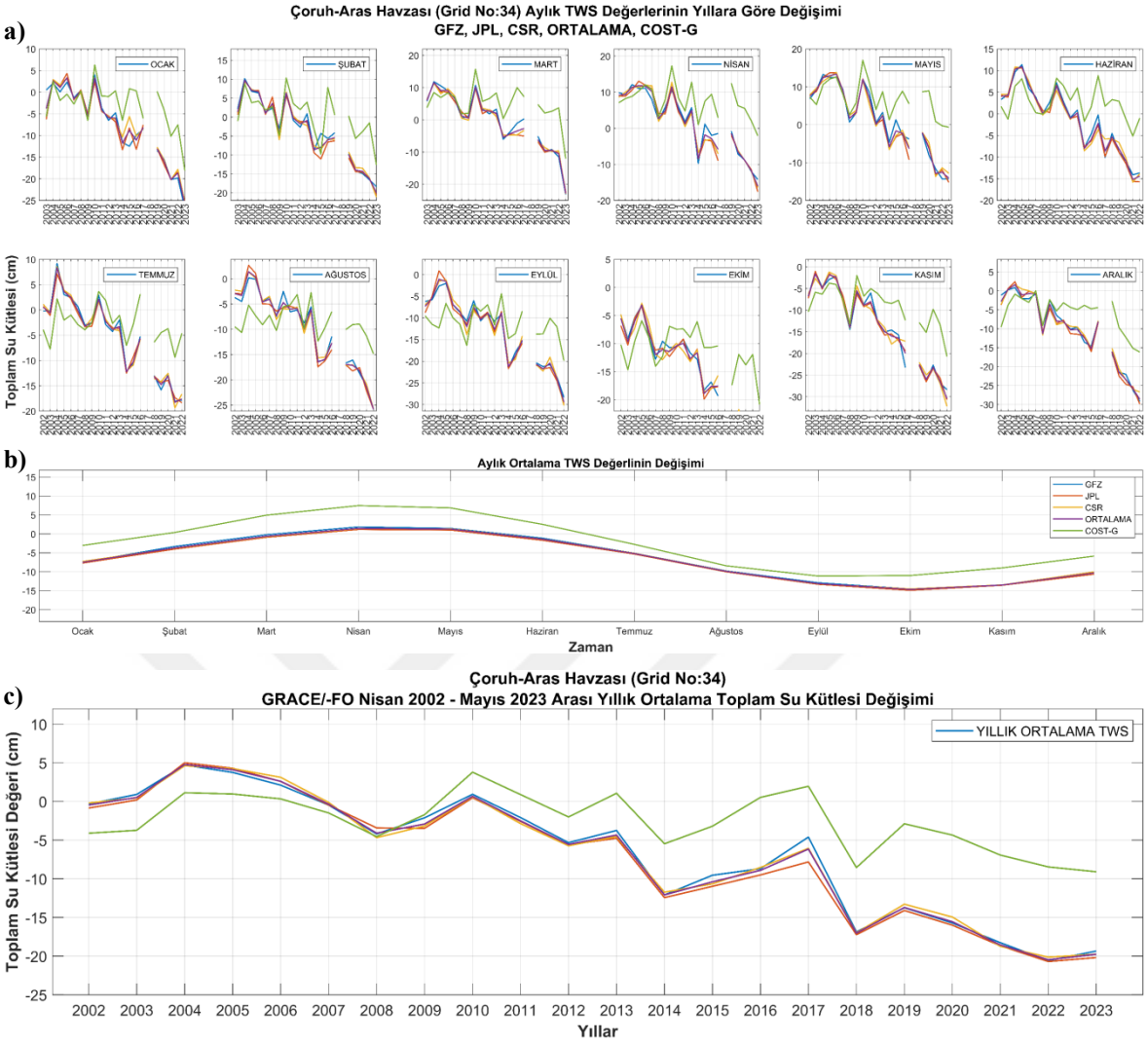


Şekil 71. 31 No'lu gride ait aylık ve yıllık ortalamalarının değişim grafikleri

- Çoruh-Aras Havzası (Grid No: 34), Şekil 72a'da görüleceği üzere tüm aylarda 2007, 2008, 2014 ve 2020 sonrası yıllarda en düşük değerleri görmektedir. Genel olarak bakıldığında ise tüm aylarda 2002 Nisan itibariyle azalış eğilimi göstermektedir. Farklı TWS verilerinin her bir ayı için geçerli olan 2014 yılına kadar sürekli azalış devam etmiştir. Ardından 2017 yılına kadar artışlar yaşansa da GRACE-FO misyonunun başlangıcıyla sürekli olarak bir azalışın devam ettiği görülmektedir. Ayrıca COST-G TWS verilerinin diğer TWS verilerinden çok fazla saptığı görülmektedir.

Şekil 72b'ye bakıldığında TWS değerleri, GFZ için Mayıs ayında 13.25 cm; JPL için Mayıs ayında 13.76 cm; CSR için Mayıs ayında 13.80 cm; ort_TWS için Mayıs ayında 13.36 cm; COST-G için Nisan ayında 17.28 cm değerlerine ulaşarak maksimum değerleri almıştır. TWS değerleri, GFZ için Ekim ayında -29.70 cm; JPL için Kasım ayında -30.69 cm; CSR için Kasım ayında -32.22 cm; ort_TWS için Kasım ayında -30.41 cm; COST-G için Ekim ayında -20.83 cm değerlerine düşerek minimum değerleri almıştır.

Şekil 72c'ye bakıldığında TWS verilerinin 2007, 2008, 2014, 2020 ve 2022 yıllarında en düşük değerlere düşerek ülkede yaşanan kuraklıklarla doğru orantılı olduğu görülmüştür. Ayrıca COST-G TWS verisinin tüm yıllarda diğer TWS verilerinden farklılık gösterdiği de görülmektedir.

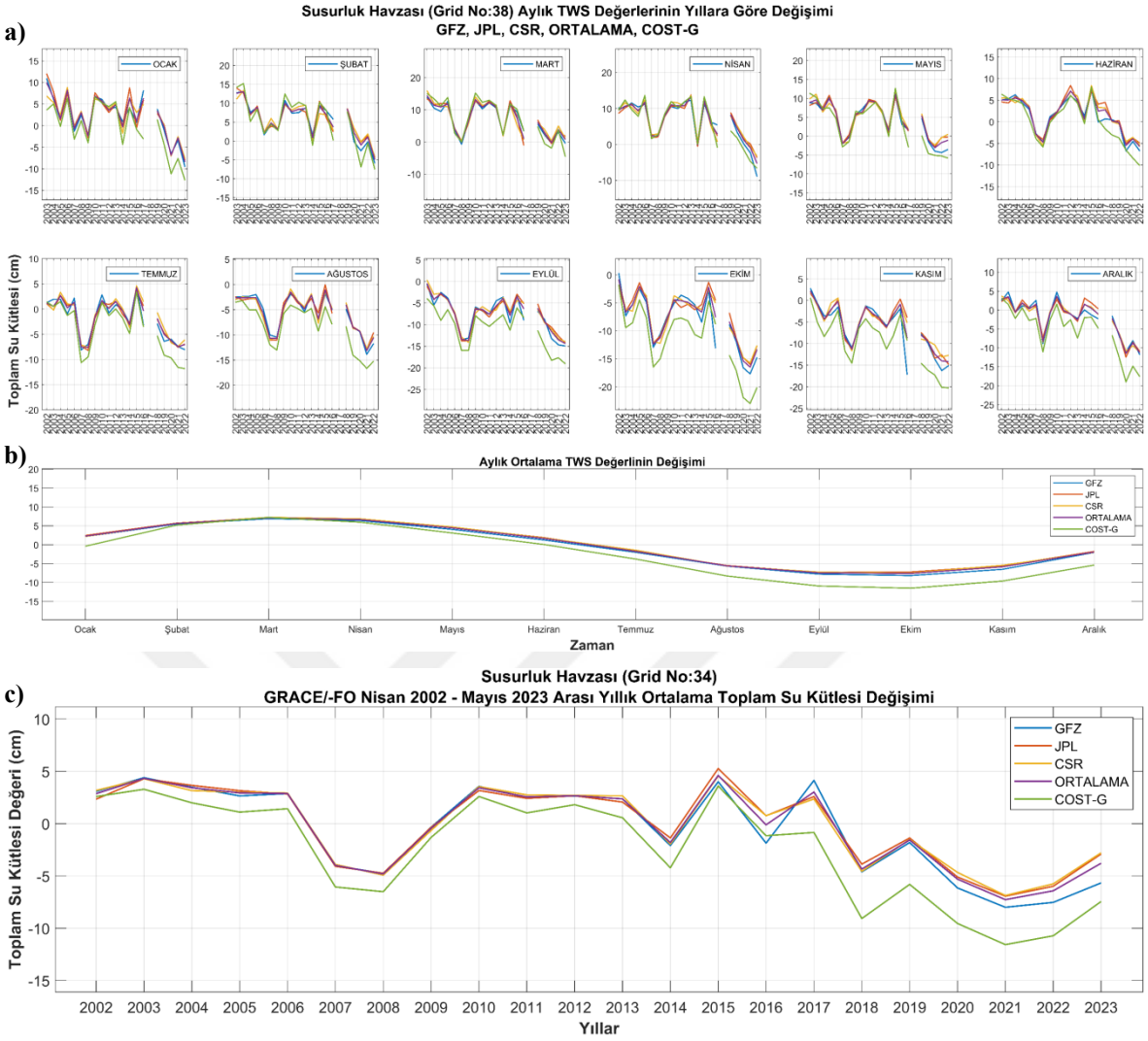


Şekil 72. 34 No'lu gride ait aylık ve yıllık ortalamalarının değişim grafikleri

- Susurluk Havzası (Grid No: 38), Şekil 73a'da görüleceği üzere tüm aylarda 2007, 2008, 2014 ve 2020 sonrası yıllarda en düşük değerleri görmektedir. Genel olarak bakıldığında ise tüm aylarda 2002 Nisan itibariyle azalış eğilimi göstermektedir. Farklı TWS verilerinin her bir ayı için geçerli olan 2014 yılına kadar sürekli azalış devam etmiştir. Ardından 2017 yılına kadar artışlar yaşansa da GRACE-FO misyonunun başlangıcıyla sürekli olarak bir azalışın devam ettiği görülmektedir. Ayrıca COST-G TWS verilerinin diğer TWS verilerinden Mayıs ayından sonra diğer TWS değerlerine göre saptığı görülmektedir.

Şekil 73b'ye bakıldığında TWS değerleri, GFZ için Mart ayında 13.89 cm; JPL için Nisan ayında 13.75 cm; CSR için Mart ayında 15.97 cm; ort_TWS için Mart ayında 14.44 cm; COST-G için Mart ayında 15.22 cm değerlerine ulaşarak maksimum değerleri almıştır. TWS değerleri, GFZ için Ekim ayında -17.69 cm; JPL için Ekim ayında -16.02 cm; CSR için Ekim ayında -15.74 cm; ort_TWS için Ekim ayında -16.48 cm; COST-G için Ekim ayında -22.98 cm değerlerine düşerek minimum değerleri almıştır.

Şekil 73c'ye bakıldığında TWS verilerinin 2007, 2008, 2014, 2018, 2020 ve 2021 yıllarında en düşük değerlere düşerek ülkede yaşanan kuraklıklarla doğru orantılı olduğu görülmüştür. Ayrıca COST-G TWS verisinin tüm yıllarda diğer TWS verilerinden farklılık gösterdiği de görülmektedir.

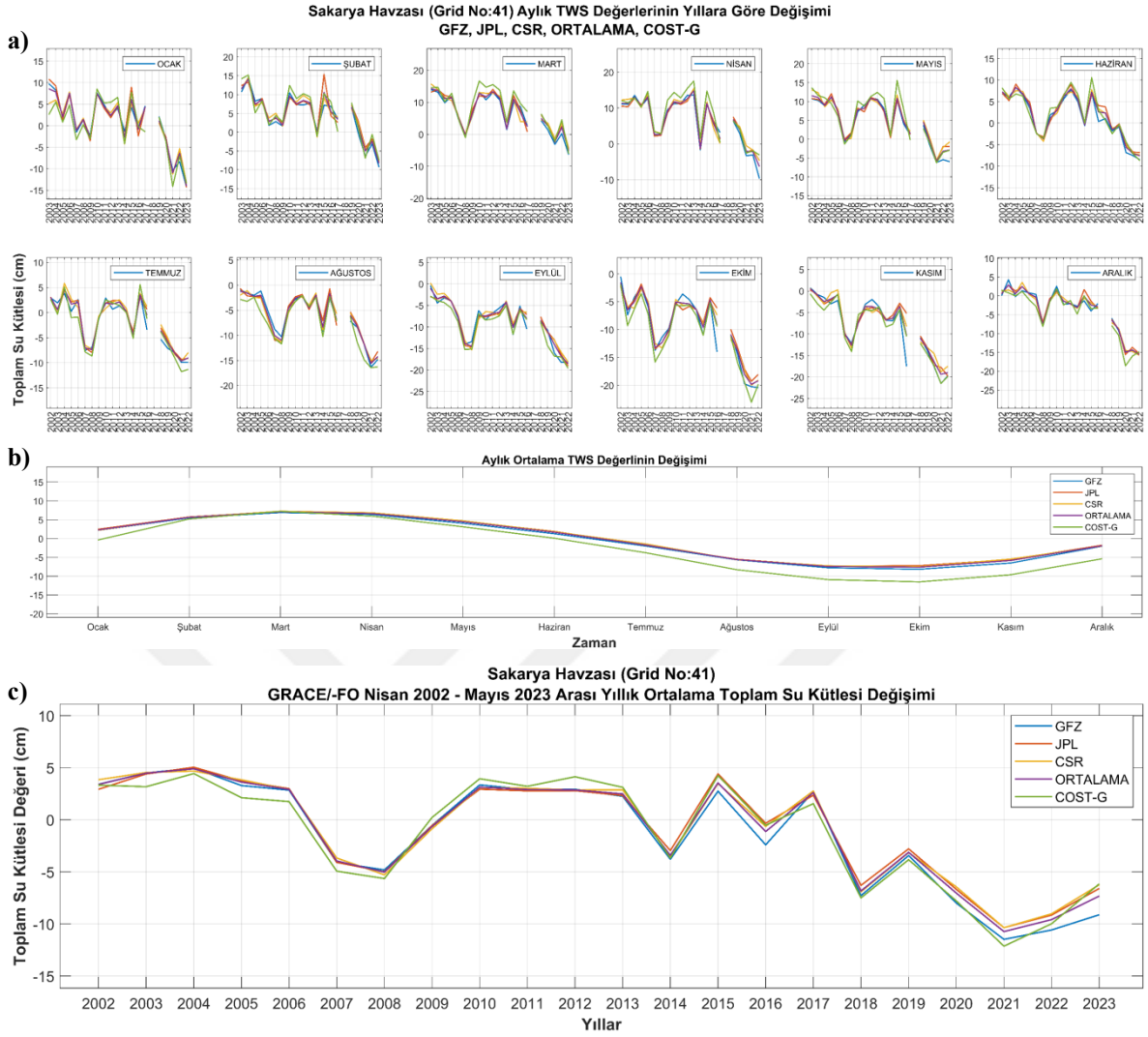


Şekil 73. 34 No'lu gride ait aylık ve yıllık ortalamalarının değişim grafikleri

- Sakarya Havzası (Grid No: 41), Şekil 74a'da görüleceği üzere tüm aylarda 2007, 2008, 2014 ve 2020 sonrası yıllarda en düşük değerleri görmektedir. Genel olarak bakıldığında ise tüm aylarda 2002 Nisan itibariyle azalış eğilimi göstermektedir. Farklı TWS verilerinin her bir ayı için geçerli olan 2007 - 2008 yılına kadar sürekli azalış devam etmiştir. Ardından 2017 yılına kadar artışlar ve azalışlar yaşansa da GRACE-FO misyonunun başlangıcıyla sürekli olarak bir azalışın devam ettiği görülmektedir. Ayrıca COST-G TWS verilerinin diğer TWS verilerinden benzer şekilde zaman serisine sahip olduğu görülmektedir.

Şekil 74b'ye bakıldığında TWS değerleri, GFZ için Şubat ayında 14.55 cm; JPL için Şubat ayında 15.35 cm; CSR için Mart ayında 15.75 cm; ort_TWS için Nisan ayında 14.78 cm; COST-G için Nisan ayında 17.52 cm değerlerine ulaşarak maksimum değerleri almıştır. TWS değerleri, GFZ için Kasım ayında -21.53 cm; JPL için Kasım ayında -19.78 cm; CSR için Ekim ayında -19.96 cm; ort_TWS için Ekim ayında -19.82 cm; COST-G için Ekim ayında -23.03 cm değerlerine düşerek minimum değerleri almıştır.

Şekil 74c'ye bakıldığında TWS verilerinin 2007, 2008, 2014, 2018 ve 2021 yıllarında en düşük değerlere düşerek ülkede yaşanan kuraklıklarla doğru orantılı olduğu görülmüştür.

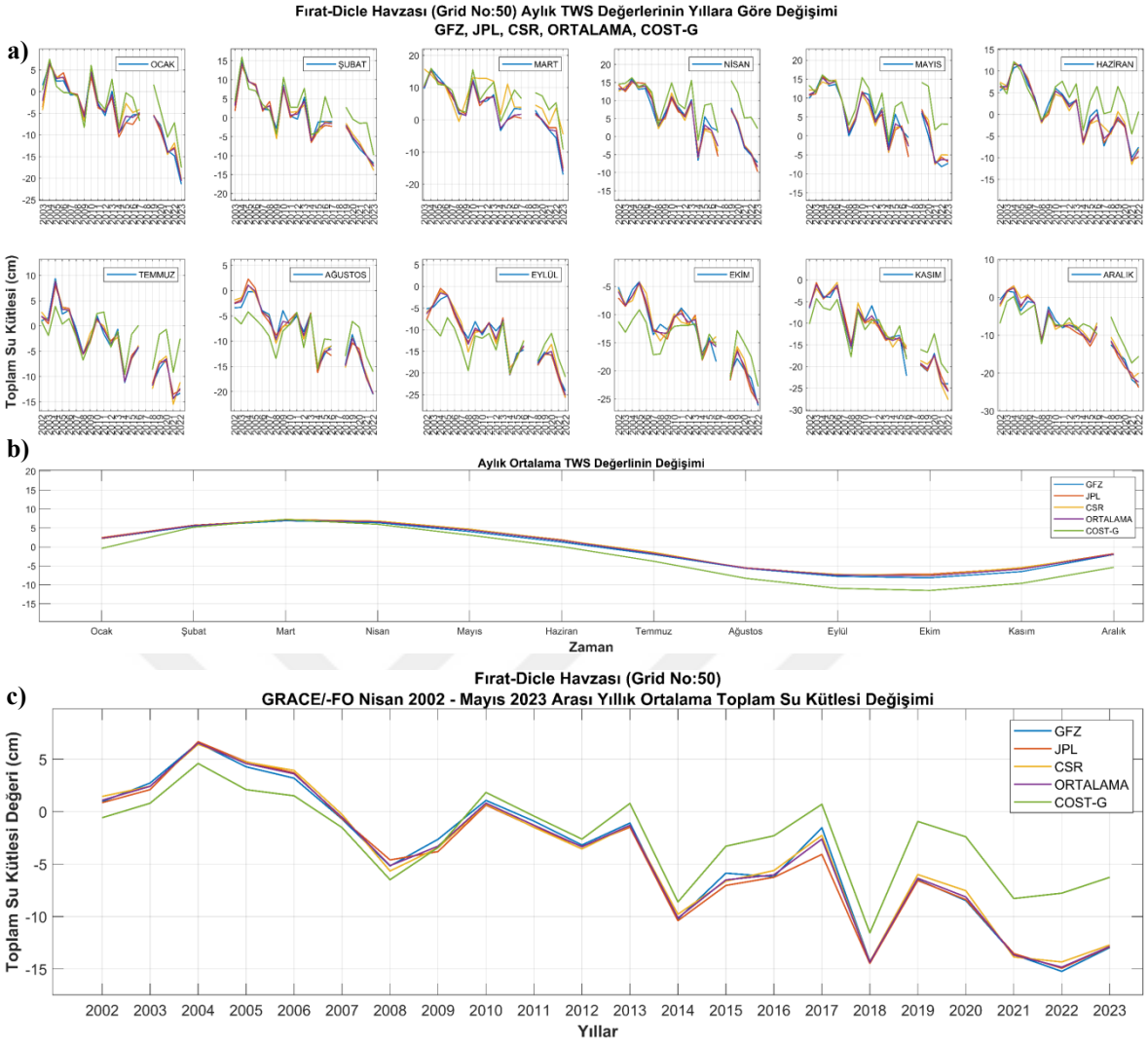


Şekil 74. 41 No'lu gride ait aylık ve yıllık ortalamalarının değişim grafikleri

• Fırat-Dicle Havzası (Grid No: 50), Şekil 75a'da görüleceği üzere tüm aylarda 2007, 2008, 2014 ve 2020 sonrası yıllarda en düşük değerleri görmektedir. Genel olarak bakıldığında ise tüm aylarda 2002 Nisan itibariyle azalış eğilimi göstermektedir. Farklı TWS verilerinin her bir ayı için geçerli olan 2008 yılına kadar sürekli azalış devam etmiştir. Ardından 2017 yılına kadar artışlar ve azalışlar yaşansa da GRACE-FO misyonunun başlangıcıyla sürekli olarak bir azalışın devam ettiği görülmektedir. Ayrıca COST-G TWS verilerinin diğer TWS verilerinden saptığı görülmektedir.

Şekil 75b'ye bakıldığında TWS değerleri, GFZ için Mayıs ayında 16.10 cm; JPL için Mayıs ayında 15.64 cm; CSR için Nisan ayında 15.48 cm; ort_TWS için Mart ayında 15.47 cm; COST-G için Nisan ayında 16.32 cm değerlerine ulaşarak maksimum değerleri almıştır. TWS değerleri, GFZ için Ekim ayında -26.18 cm; JPL için Ekim ayında -25.68 cm; CSR için Kasım ayında -27.68 cm; ort_TWS için Ekim ayında -25.84 cm; COST-G için Ekim ayında -22.78 cm değerlerine düşerek minimum değerleri almıştır.

Şekil 75c'ye bakıldığında TWS verilerinin 2008, 2014, 2018 ve 2022 yıllarında en düşük değerlere düşerek ülkede yaşanan kuraklıklarla doğru orantılı olduğu görülmüştür. Ayrıca 2012 yılından itibaren COST-G TWS değerlerinde diğer TWS değerlerine göre sapmalar yaşandığı görülmektedir.

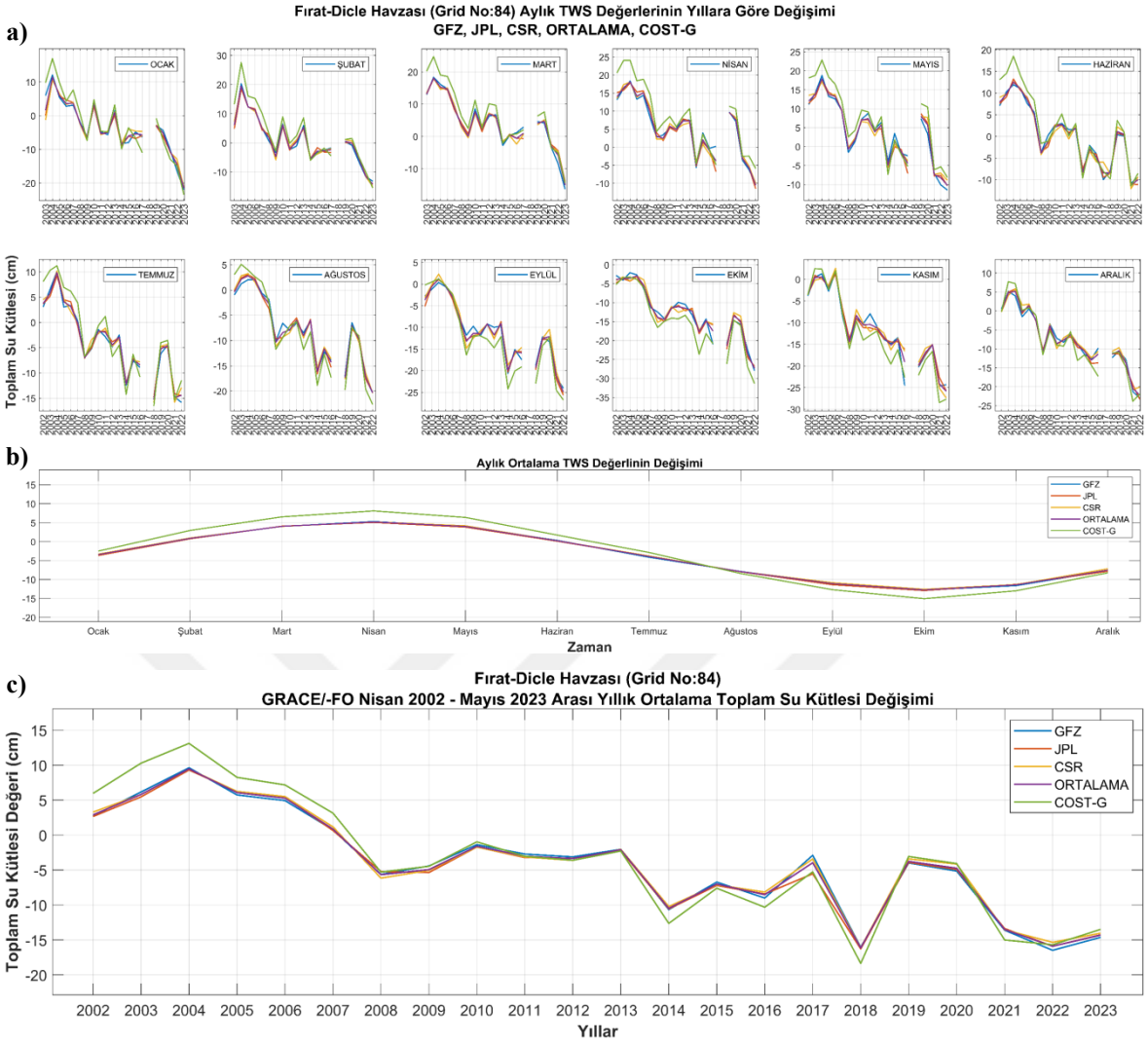


Şekil 75. 50 No'lu gride ait aylık ve yıllık ortalamalarının değişim grafikleri

- Fırat-Dicle Havzası (Grid No: 84), Şekil 76a'da görüleceği üzere tüm aylarda 2007, 2008, 2014 ve 2020 sonrası yıllarda en düşük değerleri görmektedir. Genel olarak bakıldığında ise tüm aylarda 2002 Nisan itibariyle azalış eğilimi göstermektedir. Farklı TWS verilerinin her bir ayı için geçerli olan 2008 yılına kadar sürekli azalış devam etmiştir. Ardından 2017 yılına kadar artışlar ve azalışlar yaşansa da GRACE-FO misyonunun başlangıcıyla sürekli olarak bir azalışın devam ettiği görülmektedir. Ayrıca COST-G TWS verilerinin diğer TWS verilerine yılın ilk 5 ayı çok iyi uyduğu ancak devamında farklılıklar gösterdiği görülmektedir.

Şekil 76b'ye bakıldığında TWS değerleri, GFZ için Şubat ayında 20.27 cm; JPL için Şubat ayında 18.61 cm; CSR için Şubat ayında 19.43 cm; ort_TWS için Şubat ayında 19.44 cm; COST-G için Şubat ayında 27.55 cm değerlerine ulaşarak maksimum değerleri almıştır. TWS değerleri, GFZ için Ekim ayında -27.96 cm; JPL için Ekim ayında -26.80 cm; CSR için Kasım ayında -27.40 cm; ort_TWS için Ekim ayında -27.34 cm; COST-G için Ekim ayında -31.36 cm değerlerine düşerek minimum değerleri almıştır.

Şekil 76c'ye bakıldığında TWS verilerinin 2008, 2014, 2016 ve 2022 yıllarında en düşük değerlere düşerek ülkede yaşanan kuraklıklarla doğru orantılı olduğu görülmüştür. Ayrıca yıllık ortalamalarda COST-G TWS değerleri diğer TWS değerlerine iyi uyum sağladığı görülmektedir.

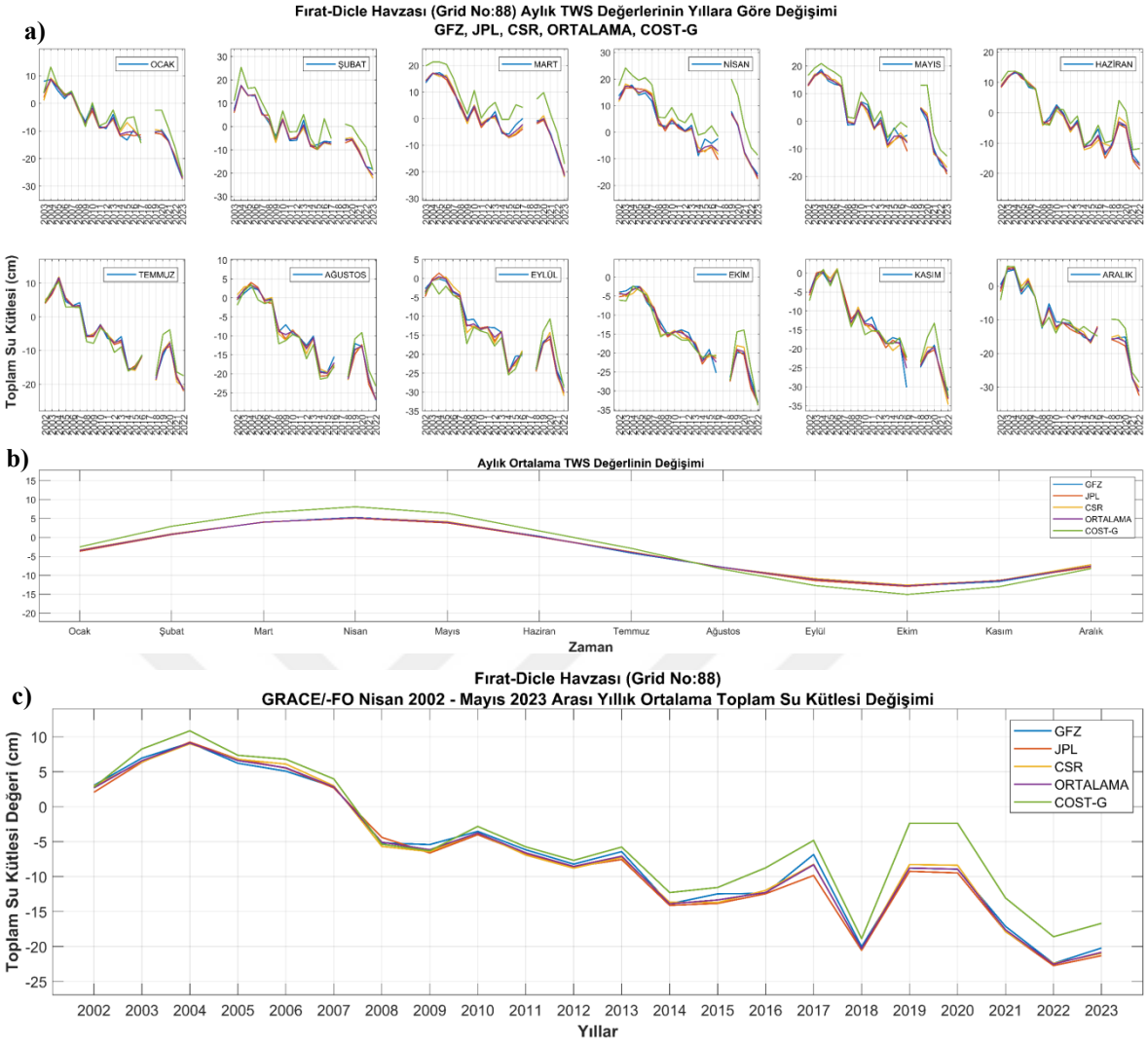


Şekil 76. 84 No'lu gride ait aylık ve yıllık ortalamalarının değişim grafikleri

- Fırat-Dicle Havzası (Grid No: 88), Şekil 77a'da görüleceği üzere tüm aylarda 2007, 2008, 2014 ve 2020 sonrası yıllarda en düşük değerleri görmektedir. Genel olarak bakıldığında ise tüm aylarda 2002 Nisan itibariyle azalış eğilimi göstermektedir. Farklı TWS verilerinin her bir ayı için geçerli olan 2008 yılına kadar sürekli azalış devam etmiştir. Ardından 2017 yılına kadar artışlar ve azalışlar yaşansa da GRACE-FO misyonunun başlangıcıyla sürekli olarak bir azalışın devam ettiği görülmektedir. Ayrıca COST-G TWS verilerinin diğer TWS verilerine yılın ilk 5 ayı çok iyi uyduğu ancak devamında farklılıklar gösterdiği görülmektedir.

Şekil 77b'ye bakıldığında TWS değerleri, GFZ için Şubat ayında 20.27 cm; JPL için Şubat ayında 18.61 cm; CSR için Şubat ayında 19.43 cm; ort_TWS için Şubat ayında 19.44 cm; COST-G için Şubat ayında 27.55 cm değerlerine ulaşarak maksimum değerleri almıştır. TWS değerleri, GFZ için Ekim ayında -27.96 cm; JPL için Ekim ayında -26.80 cm; CSR için Kasım ayında -27.40 cm; ort_TWS için Ekim ayında -27.34 cm; COST-G için Ekim ayında -31.36 cm değerlerine düşerek minimum değerleri almıştır.

Şekil 77c'ye bakıldığında TWS verilerinin 2008, 2014, 2016 ve 2022 yıllarında en düşük değerlere düşerek ülkede yaşanan kuraklıklarla doğru orantılı olduğu görülmüştür. Ayrıca yıllık ortalamalarda COST-G TWS değerleri diğer TWS değerlerine iyi uyum sağladığı görülmektedir.

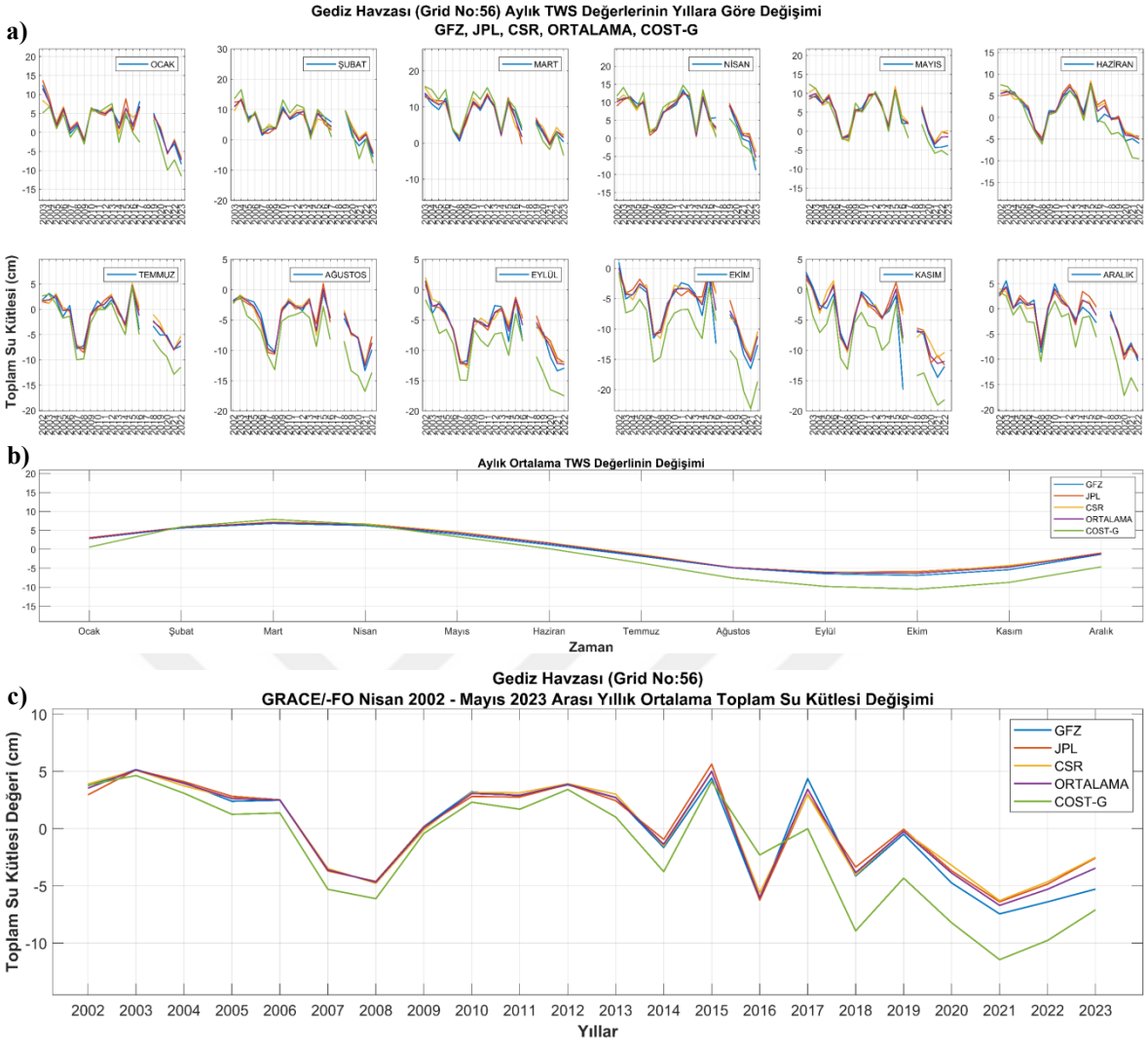


Şekil 77. 88 No'lu gride ait aylık ve yıllık ortalamalarının değişim grafikleri

• Gediz Havzası (Grid No: 56), Şekil 78a'da görüleceği üzere tüm aylarda 2007, 2008, 2014 ve 2020 sonrası yıllarda en düşük değerleri görmektedir. Genel olarak bakıldığında ise tüm aylarda 2002 Nisan itibariyle azalış eğilimi göstermektedir. Farklı TWS verilerinin her bir ayı için geçerli olan 2008 yılına kadar sürekli azalış devam etmiştir. Ardından artışlar yaşansa da 2014 yılında tekrar en düşük değerlere kadar artışlar ve azalışlar yaşandığı görülmektedir. GRACE-FO misyonunun başlangıcıyla sürekli olarak bir azalışın devam etmiştir. Ayrıca COST-G TWS verilerinin diğer TWS verilerine yılın ilk 5 ayı çok iyi uyduğu ancak devamında farklılıklar gösterdiği görülmektedir.

Şekil 78b'ye bakıldığında TWS değerleri, GFZ için Nisan ayında 13.43 cm; JPL için Mart ayında 13.72 cm; CSR için Mart ayında 15.50 cm; ort_TWS için Mart ayında 13.89 cm; COST-G için Şubat ayında 16.56 cm değerlerine ulaşarak maksimum değerleri almıştır. TWS değerleri, GFZ için Ekim ayında -16.52 cm; JPL için Ocak ayında -20.26 cm; CSR için Ekim ayında -14.63 cm; ort_TWS için Ekim ayında -15.34 cm; COST-G için Ekim ayında -23.12 cm değerlerine düşerek minimum değerleri almıştır.

Şekil 78c'ye bakıldığında TWS verilerinin 2008, 2014, 2016, 2018 ve 2021 yıllarında en düşük değerlere düşerek ülkede yaşanan kuraklıklarla doğru orantılı olduğu görülmüştür. Ayrıca yıllık ortalamalarda COST-G TWS değerleri diğer TWS değerlerinden farklılıklar gösterdiği görülmektedir.

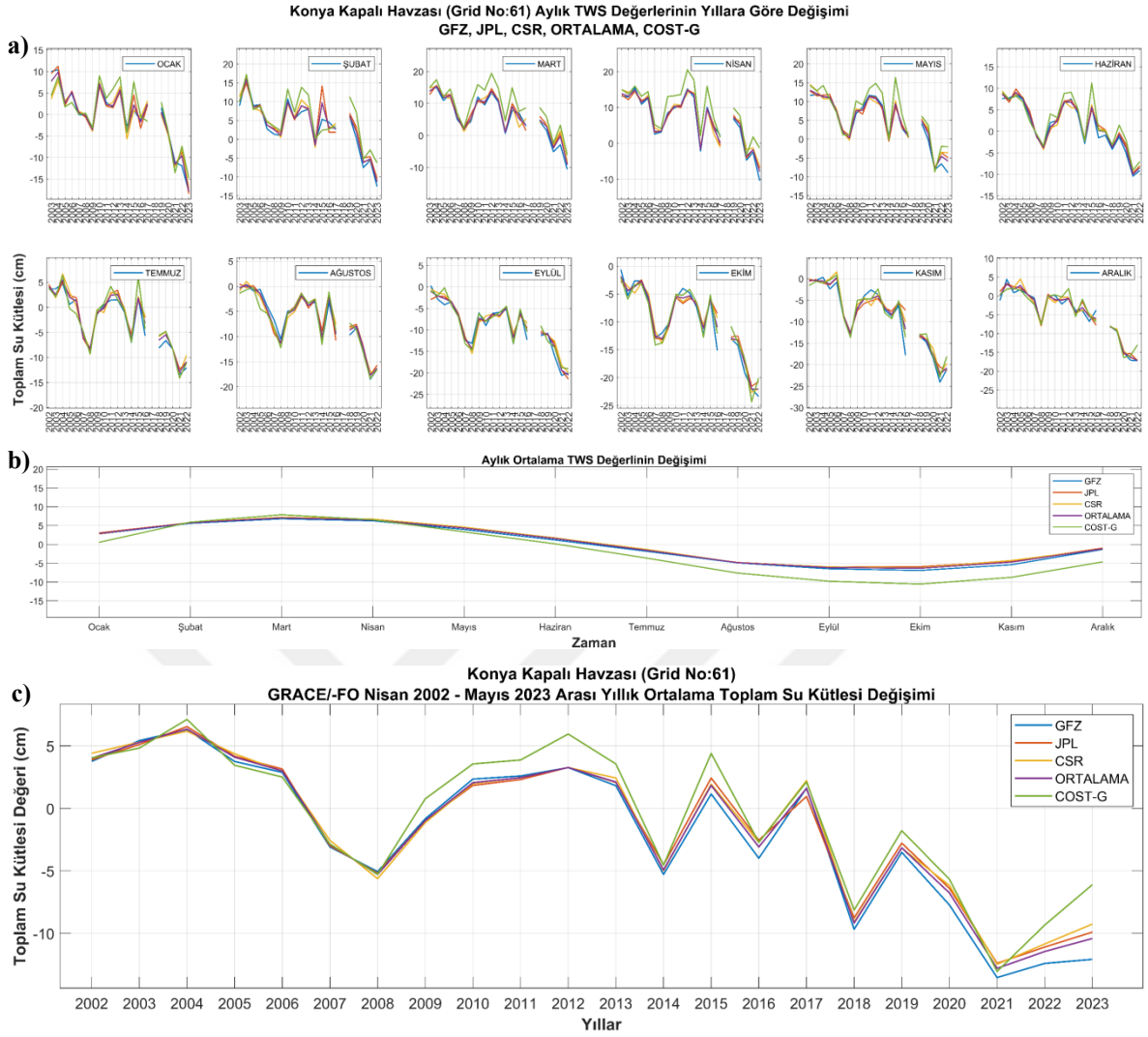


Şekil 78. 56 No'lu gride ait aylık ve yıllık ortalamalarının değişim grafikleri

• Konya Kapalı Havzası (Grid No: 61), Şekil 79a'da görüleceği üzere tüm aylarda 2007, 2008, 2014 ve 2020 sonrası yıllarda en düşük değerleri görmektedir. Genel olarak bakıldığında ise tüm aylarda 2002 Nisan itibariyle azalış eğilimi göstermektedir. Farklı TWS verilerinin her bir ayı için geçerli olan 2008 yılına kadar sürekli azalış devam etmiştir. Ardından artışlar yaşansa da 2014 yılında tekrar en düşük değerlere kadar artışlar ve azalışlar yaşandığı görülmektedir. GRACE-FO misyonunun başlangıcıyla sürekli olarak bir azalışın devam etmiştir. Ayrıca COST-G TWS verilerinin diğer TWS verilerine uyum sağladığı görülmektedir.

Şekil 79b'ye bakıldığında TWS değerleri, GFZ için Şubat ayında 16.54 cm; JPL için Mart ayında 15.64 cm; CSR için Şubat ayında 16.27 cm; ort_TWS için Şubat ayında 15.92 cm; COST-G için Nisan ayında 20.54 cm değerlerine ulaşarak maksimum değerleri almıştır. TWS değerleri, GFZ için Kasım ayında -24.06 cm; JPL için Ekim ayında -21.56 cm; CSR için Ekim ayında -22.60 cm; ort_TWS için Kasım ayında -22.19 cm; COST-G için Ekim ayında -24.33 cm değerlerine düşerek minimum değerleri almıştır.

Şekil 79c'ye bakıldığında TWS verilerinin 2008, 2014, 2016, 2018 ve 2021 yıllarında en düşük değerlere düşerek ülkede yaşanan kuraklıklarla doğru orantılı olduğu görülmüştür.

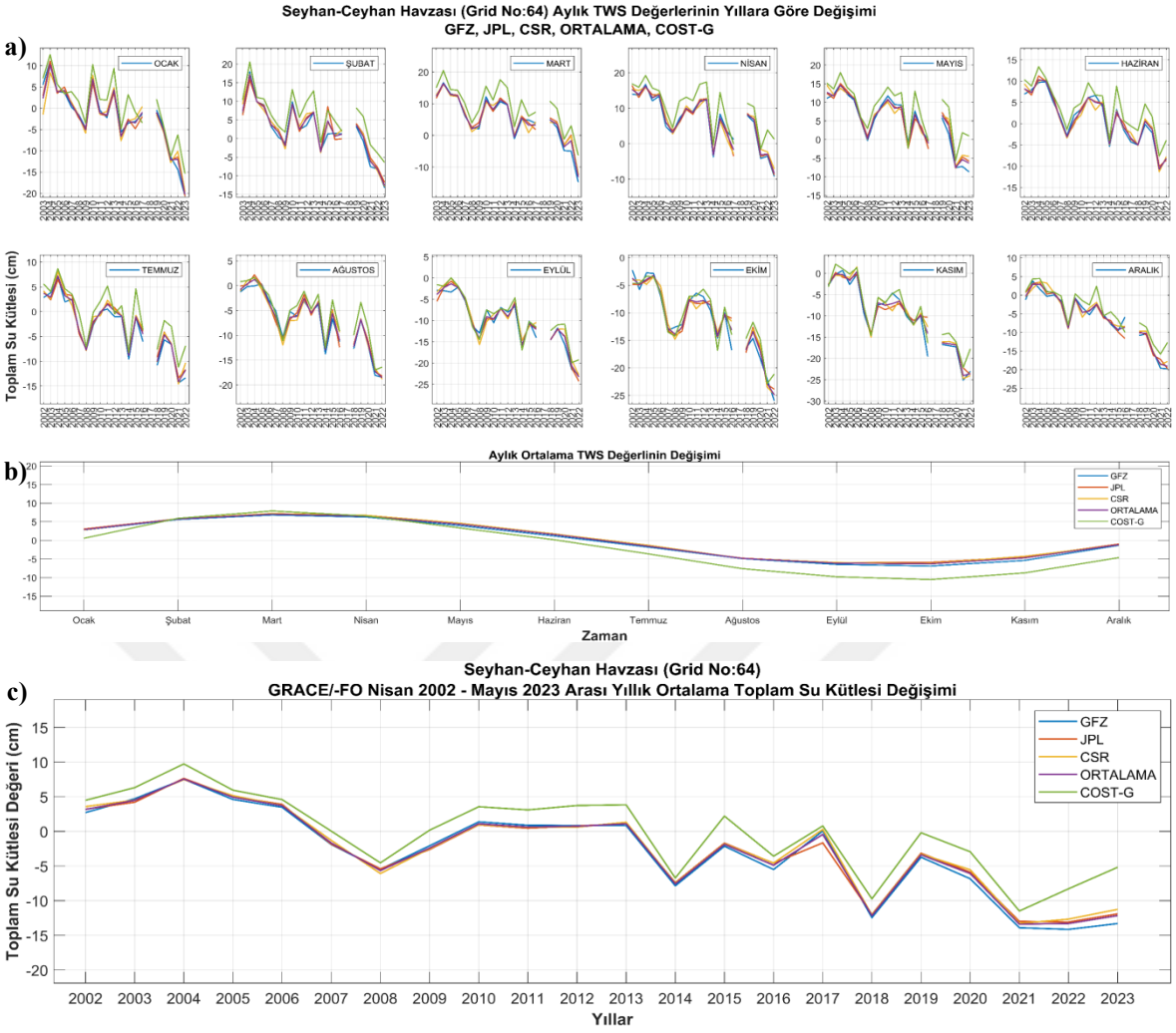


Şekil 79. 61 No'lu gride ait aylık ve yıllık ortalamalarının değişim grafikleri

• Seyhan-Ceyhan Havzası (Grid No: 64), Şekil 80a'da görüleceği üzere tüm aylarda 2007, 2008, 2014 ve 2020 sonrası yıllarda en düşük değerleri görmektedir. Genel olarak bakıldığında ise tüm aylarda 2002 Nisan itibariyle azalış eğilimi göstermektedir. Farklı TWS verilerinin her bir ayı için geçerli olan 2008 yılına kadar sürekli azalış devam etmiştir. Ardından artışlar yaşansa da 2014 yılında tekrar en düşük değerlere kadar artışlar ve azalışlar yaşandığı görülmektedir. GRACE-FO misyonunun başlangıcıyla sürekli olarak bir azalışın devam etmiştir. Ayrıca COST-G TWS verilerinin diğer TWS verilerine uyum sağladığı görülmektedir.

Şekil 80b'ye bakıldığında TWS değerleri, GFZ için Şubat ayında 17.94 cm; JPL için Nisan ayında 16.39 cm; CSR için Şubat ayında 17.25 cm; ort_TWS için Şubat ayında 16.99 cm; COST-G için Şubat ayında 20.56 cm değerlerine ulaşarak maksimum değerleri almıştır. TWS değerleri, GFZ için Ekim ayında -25.96 cm; JPL için Eylül ayında -24.25 cm; CSR için Ekim ayında -24.84 cm; ort_TWS için Ekim ayında -24.89 cm; COST-G için Ekim ayında -22.85 cm değerlerine düşerek minimum değerleri almıştır.

Şekil 80c'ye bakıldığında TWS verilerinin 2008, 2014, 2016, 2018 ve 2021 yıllarında en düşük değerlere düşerek ülkede yaşanan kuraklıklarla doğru orantılı olduğu görülmüştür.

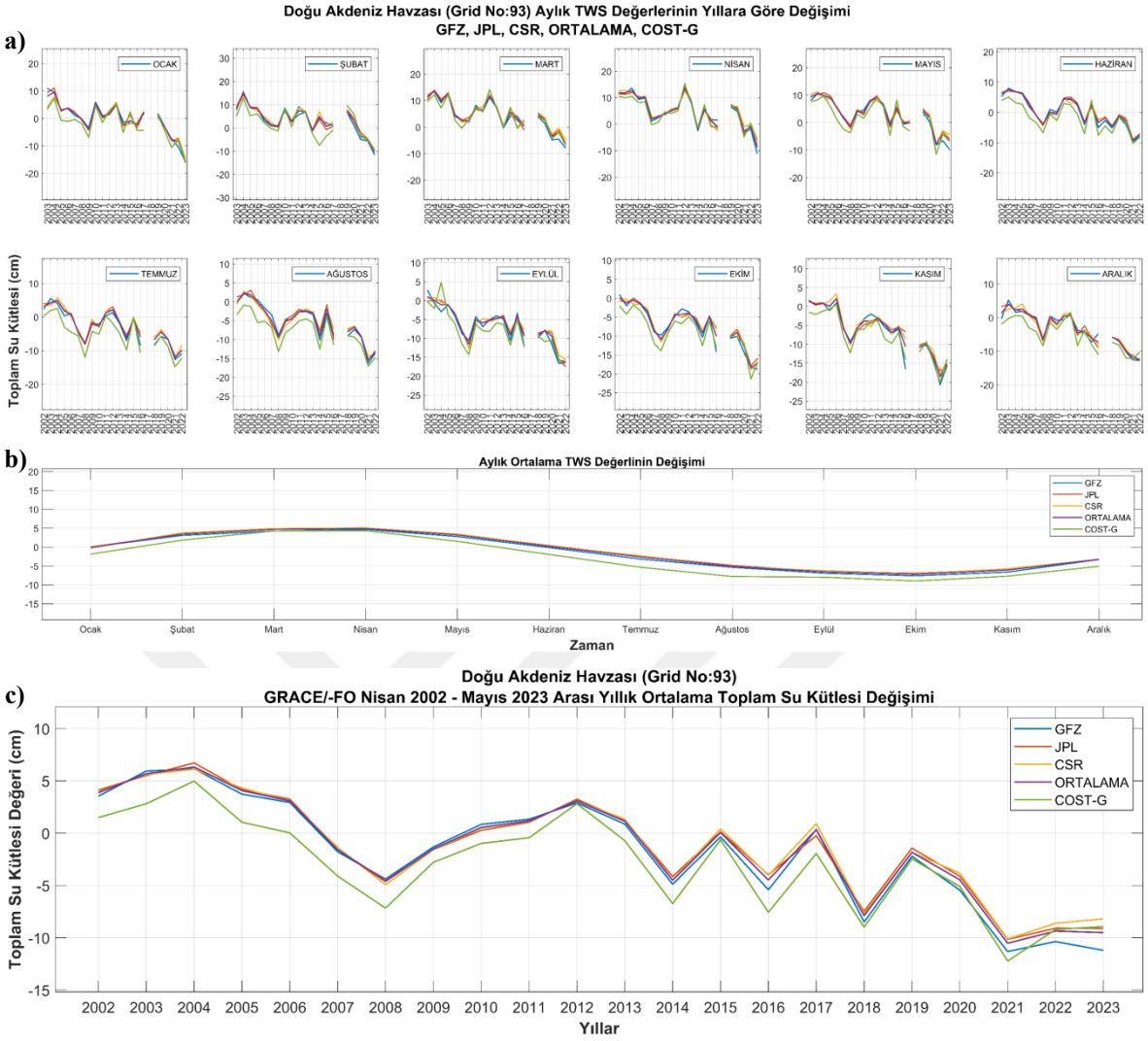


Şekil 80. 64 No'lu gride ait aylık ve yıllık ortalamalarının değişim grafikleri

• Doğu Akdeniz Havzası (Grid No: 93), Şekil 81a'da görüleceği üzere tüm aylarda 2007, 2008, 2014 ve 2020 sonrası yıllarda en düşük değerleri görmektedir. Genel olarak bakıldığında ise tüm aylarda 2002 Nisan itibariyle azalış eğilimi göstermektedir. Farklı TWS verilerinin her bir ayı için geçerli olan 2008 yılına kadar sürekli azalış devam etmiştir. Ardından artışlar yaşansa da 2014 yılında tekrar en düşük değerlere kadar artışlar ve azalışlar yaşandığı görülmektedir. GRACE-FO misyonunun başlangıcıyla sürekli olarak bir azalışın devam etmiştir. Ayrıca COST-G TWS verilerinin diğer TWS verilerine uyum sağladığı görülmektedir.

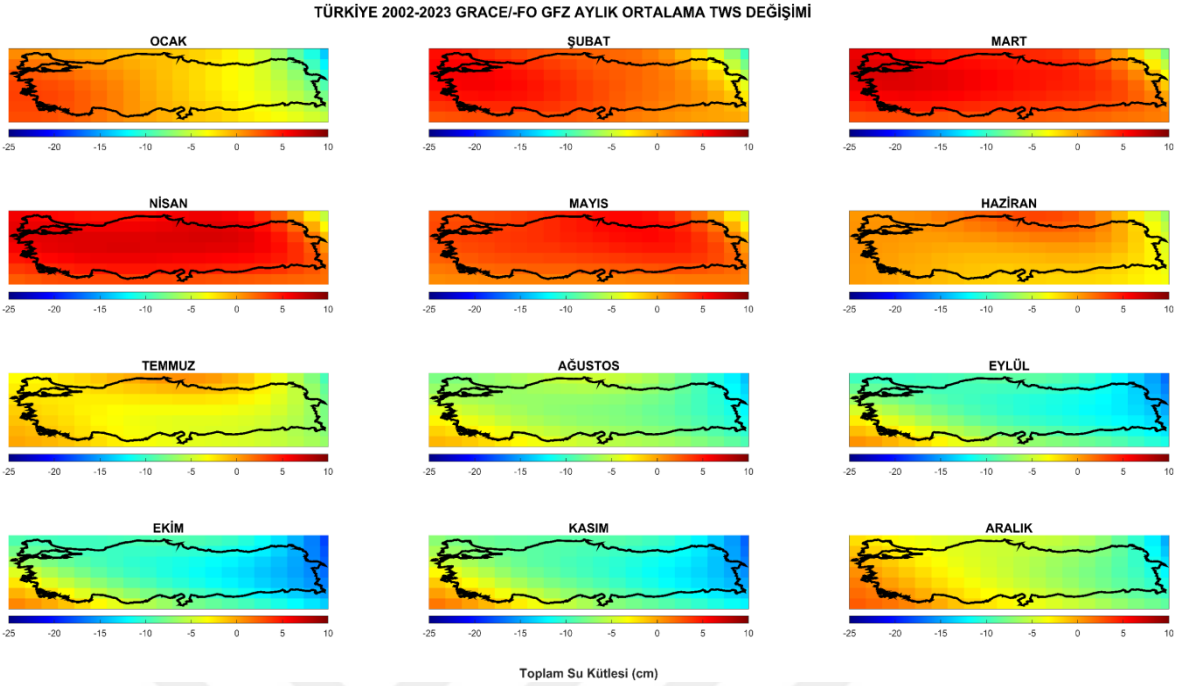
Şekil 81b'ye bakıldığında TWS değerleri, GFZ için Şubat ayında 15.63 cm; JPL için Şubat ayında 14.36 cm; CSR için Şubat ayında 15.19 cm; ort_TWS için Şubat ayında 15.06 cm; COST-G için Şubat ayında 15.35 cm değerlerine ulaşarak maksimum değerleri almıştır. TWS değerleri, GFZ için Kasım ayında -20.71 cm; JPL için Ekim ayında -17.93 cm; CSR için Ekim ayında -18.82 cm; ort_TWS için Kasım ayında -18.62 cm; COST-G için Ekim ayında -21.36 cm değerlerine düşerek minimum değerleri almıştır.

Şekil 81c'ye bakıldığında TWS verilerinin 2008, 2014, 2016, 2018 ve 2021 yıllarında en düşük değerlere düşerek ülkede yaşanan kuraklıklarla doğru orantılı olduğu görülmüştür.

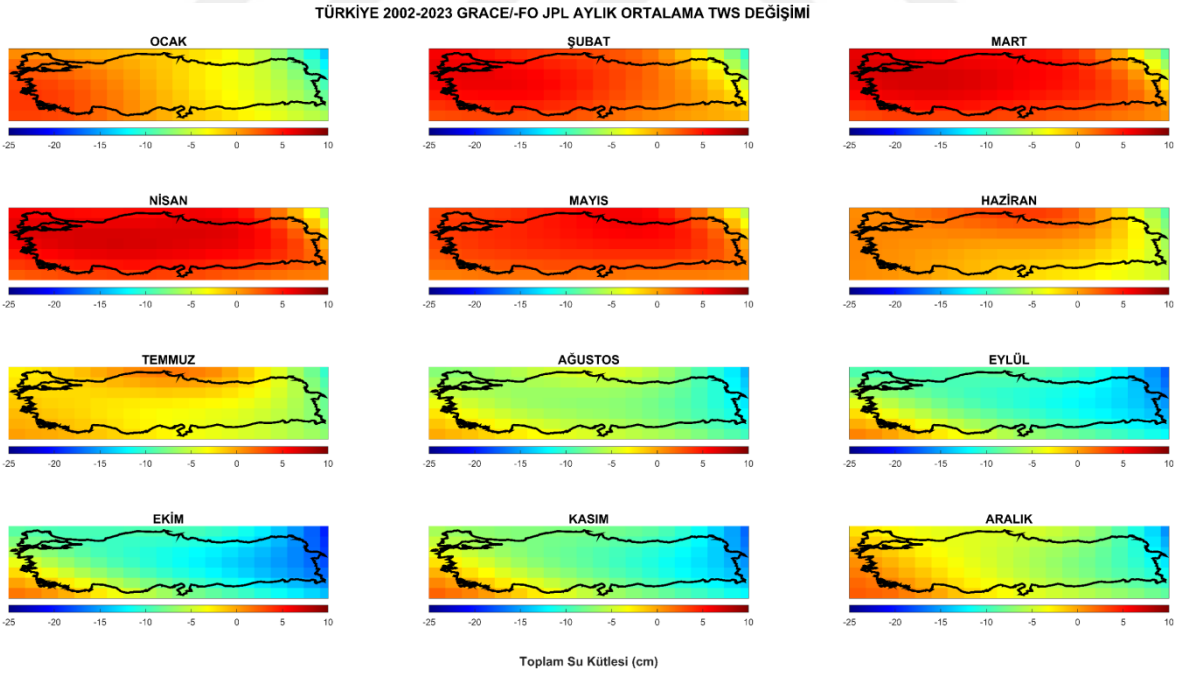


Şekil 81. 93 No'lu gride ait aylık ve yıllık ortalamalarının değişim grafikleri

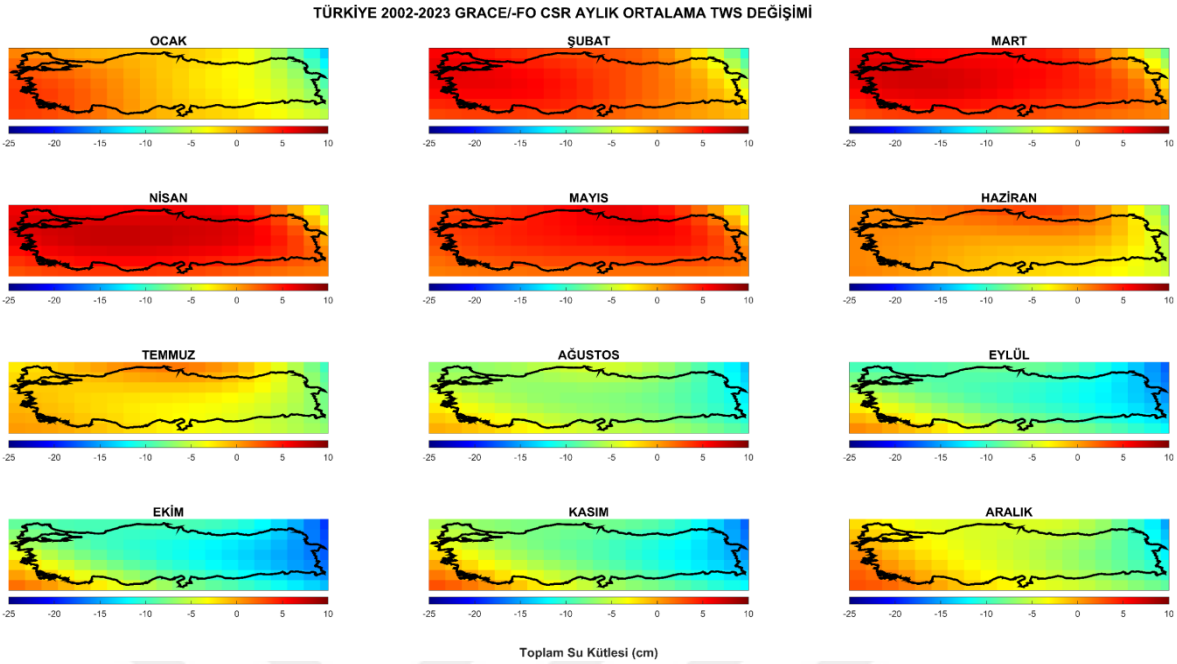
Çalışmada, ayrıca Türkiye geneli 2002 - 2023 döneminde GFZ, JPL, CSR ve COST-G TWS'lerden elde edilen aylık ortalamalarının grid bazlı değişimlerini incelemek üzere Şekil 81-Şekil 84'deki şekilde aylık değişim haritaları Matlab 2023b platformunda oluşturulmuştur. TWS değerlerinin Ocak ayı ile artmaya başladığı Türkiye genelinde TWS değerlerinin en yüksek ve en yaygın olduğu ay Nisan olduğu görülmektedir. Ardından Mayıs ayı ile birlikte azalışların başladığı ve Ekim ayında Türkiye genelinde TWS değerlerinin en düşük ve en yaygın zaman olduğu görülmektedir.



Şekil 82. 2002-2023 GRACE/-FO GFZ TWS aylık ortalamaların Türkiye'deki değişimi

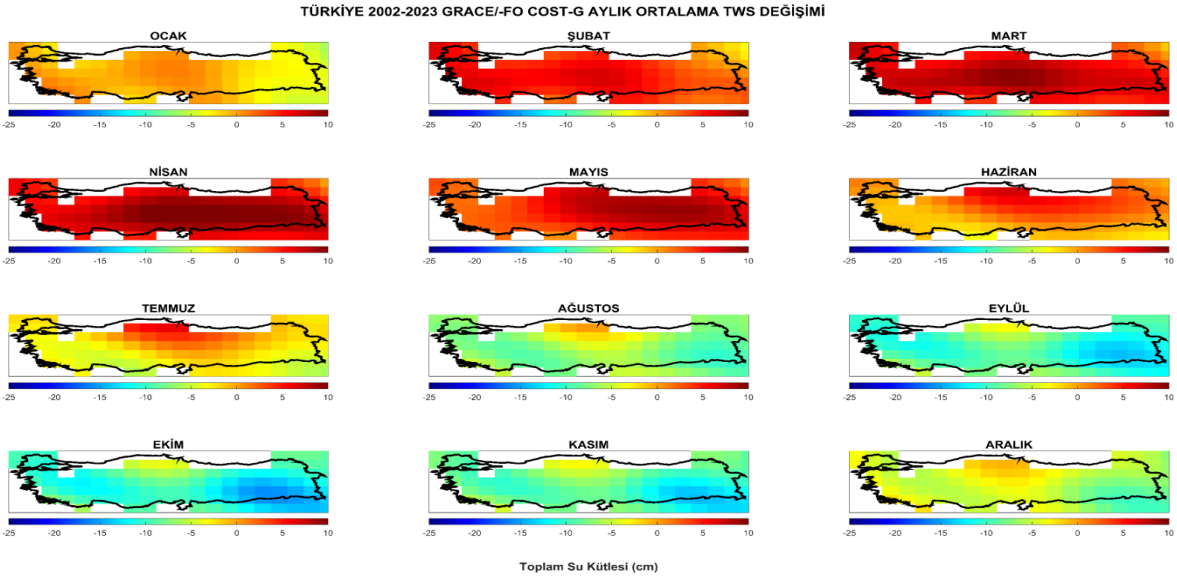


Şekil 83. 2002-2023 GRACE/-FO JPL TWS aylık ortalamaların Türkiye'deki değişimi



Şekil 84. 2002-2023 GRACE/-FO CSR TWS aylık ortalamaların Türkiye'deki değişimi

COST-G TWS değerlerinin Türkiye üzerindeki dağılımını gösteren Şekil 85'te GFZ, JPL ve CSR gibi tam olarak ülkeyi içerisinde barındırdığı söylenemez. Bunun nedeni COST-G tarafından o gridlerde veri sağlanmamasıdır. Grafiklerdeki dağılımlara bakıldığında Nisan ayında COST-G TWS değerleri tüm ülkede en yüksek değerlere ulaştığı ardından azalışa geçtiği ve Ekim ayında en düşük değerlere düştüğü görülmektedir.



Şekil 85. 2002-2023 GRACE/-FO COST-G TWS aylık ortalamaların Türkiye'deki değişimi

Tablo 18. Aylık ortalama TWS verilerinin minimum ve maksimum değerlerini aldığı aylar

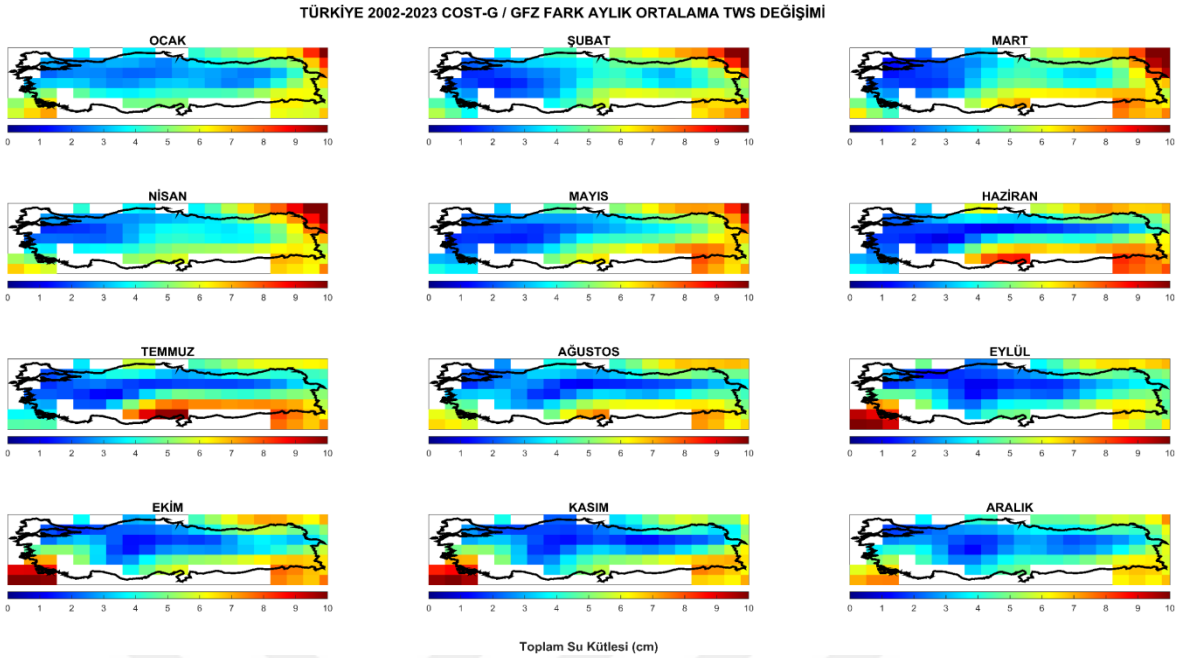
Grid No	GFZ		JPL		CSR		ort_TWS		COST-G	
	Min	Maks	Min	Maks	Min	Maks	Min	Maks	Min	Maks
2	Ekim	Şubat	Kasım	Şubat	Ekim	Mart	Ekim	Mart	Ekim	Mart
7	Ekim	Şubat	Kasım	Nisan	Eylül	Nisan	Kasım	Nisan	Ekim	Nisan
28	Ekim	Nisan	Eylül	Nisan	Kasım	Nisan	Kasım	Nisan	Kasım	Nisan
31	Ekim	Mart	Eylül	Mart	Kasım	Mayıs	Eylül	Mart	Ekim	Nisan
34	Ekim	Mayıs	Kasım	Mayıs	Kasım	Mayıs	Kasım	Mayıs	Ekim	Nisan
38	Ekim	Mart	Ekim	Şubat	Ekim	Mart	Ekim	Mart	Ekim	Şubat
41	Kasım	Şubat	Kasım	Şubat	Ekim	Mart	Ekim	Nisan	Ekim	Mart
50	Ekim	Mayıs	Ekim	Mayıs	Kasım	Nisan	Ekim	Mart	Ekim	Mayıs
56	Kasım	Nisan	Ekim	Şubat	Ekim	Mart	Ekim	Mart	Ekim	Şubat
61	Kasım	Şubat	Ekim	Mart	Ekim	Şubat	Kasım	Şubat	Ekim	Nisan
64	Ekim	Şubat	Eylül	Nisan	Ekim	Şubat	Ekim	Şubat	Ekim	Şubat
84	Ekim	Şubat	Ekim	Şubat	Kasım	Nisan	Ekim	Mart	Ekim	Nisan
88	Ekim	Şubat	Ekim	Mayıs	Kasım	Nisan	Ekim	Mayıs	Ekim	Şubat
93	Kasım	Şubat	Ekim	Şubat	Ekim	Şubat	Kasım	Şubat	Ekim	Nisan

2.3.6. COST-G ve Bağımsız Analiz Merkezlerinden Elde Edilen TWS Farklarının Analizi

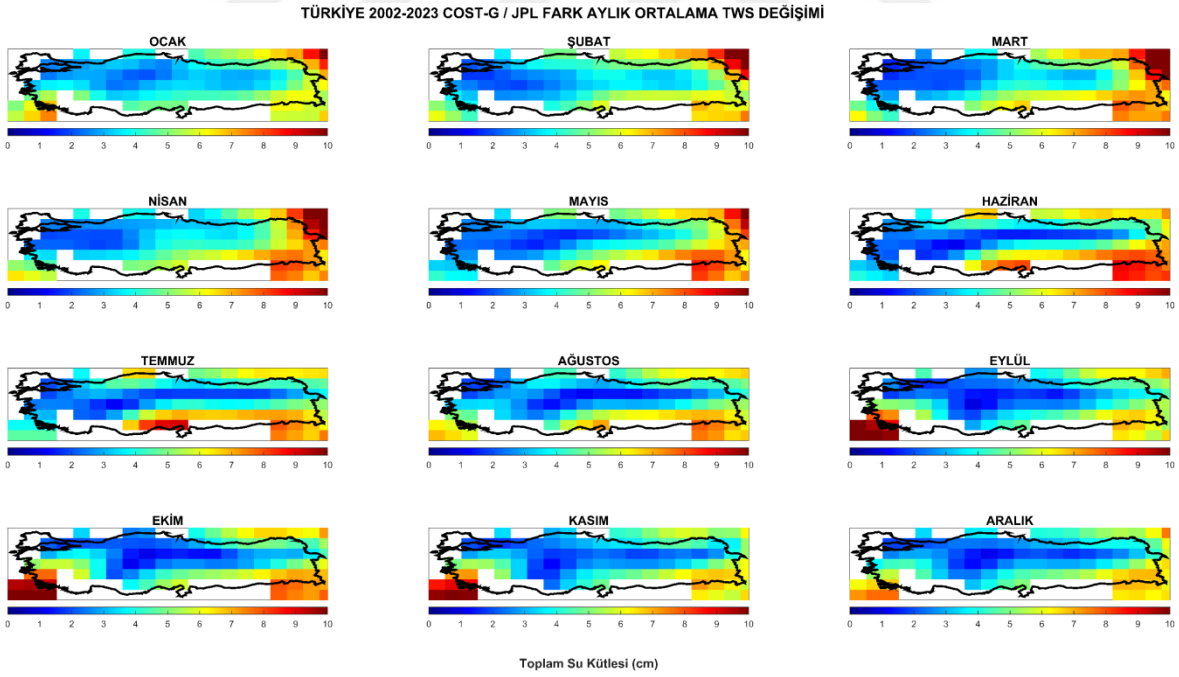
Çalışmada daha sonra COST-G modelinden elde edilmiş olan TWS verilerinin GFZ, JPL ve CSR TWS verilerinden farklılığının incelenmesi için aylık TWS farklarının mutlak değerleri

$$\begin{aligned} Fark_GFZ &= |COSTG\ TWS - GFZ\ TWS| \\ Fark_JPL &= |COSTG\ TWS - JPL\ TWS| \\ Fark_CSR &= |COSTG\ TWS - CSR\ TWS| \end{aligned} \quad (60)$$

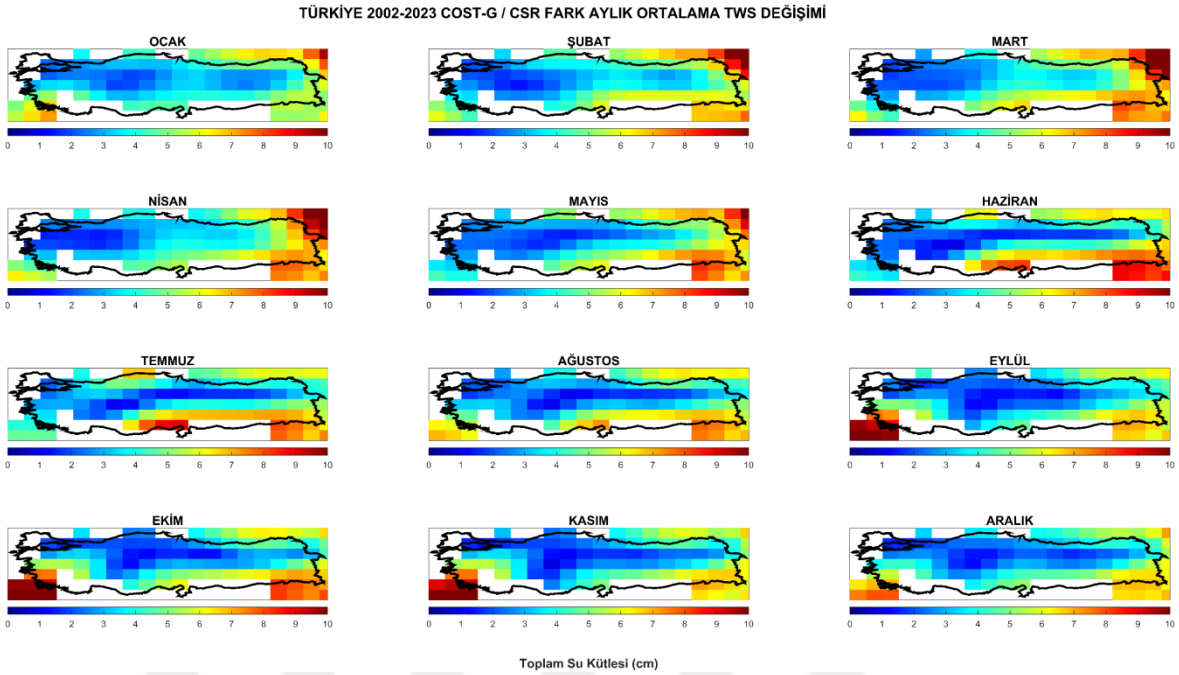
şeklinde hesaplanmıştır. Buna göre TWS farklarının aylık değişimleri Şekil 86 - Şekil 88 arasındaki grafiklerde görülmektedir. Grafiklerden de anlaşılacağı üzere Türkiye'nin doğu bölgelerinde COST-G TWS verilerinin GFZ, JPL ve CSR TWS verilerinden farkları yüksek; batı bölgelerinde daha az olduğu görülmektedir. Özellikle Güneydoğu Anadolu Bölgesi farkların en yüksek olduğu bölgedir. En düşük farklar ise genelde İç Anadolu Bölgesi'nde olduğu görülmektedir. Haziran ve Temmuz aylarında Akdeniz bölgesindeki farklar yükseldiği; Eylül ve Ekim aylarında Türkiye'nin güneybatı bölgelerinde farkların arttığı; genel olarak en düşük farkların TWS değerlerinin en düşük olduğu Eylül, Ekim ve Kasım aylarında olduğu görülmektedir.



Şekil 86. 2002 - 2023 GRACE/-FO GFZ ve COST-G TWS fark dağılımı



Şekil 87. 2002 - 2023 GRACE/-FO JPL ve COST-G TWS fark dağılımı

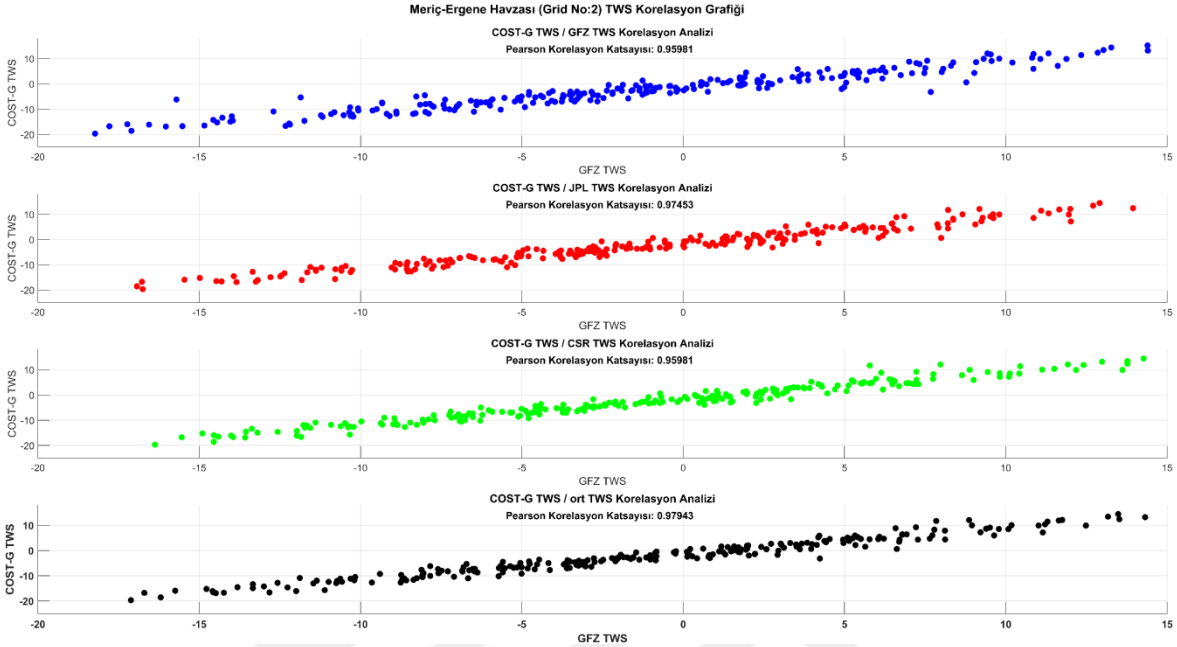


Şekil 88. 2002 - 2023 GRACE/-FO CSR ve COST-G TWS fark dağılımı

2.3.7. COST-G TWS ve Bağımsız Analiz Merkezlerinden Elde Edilen TWS Verilerinin Korelasyon Analizi

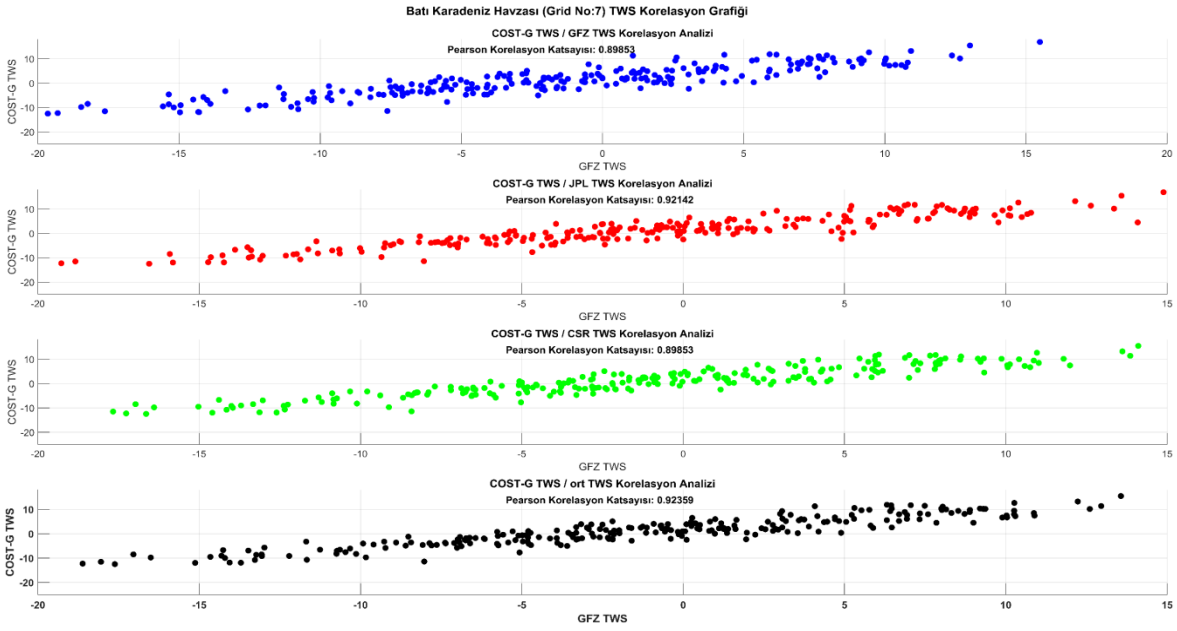
Bölüm 2.3.2, Bölüm 2.3.3 ve Bölüm 2.3.4'te her bir TWS verisine trend analizi uygulandıktan sonra Bölüm 1.8.3'te anlatıldığı gibi GFZ, JPL, CSR ve ort_TWS değerlerinin COST-G TWS ile arasındaki ilişkiyi analiz etmek amacıyla korelasyon analizi yapılmıştır. Korelasyon analizinde Eşitlik 53 kullanılarak Pearson Korelasyon Katsayıları hesaplanmıştır. Buna göre korelasyon analiz sonuçları havzalara göre değerlendirilmiştir. Grafikte yer alan mavi renk, GFZ/COST-G; kırmızı, JPL/COST-G; yeşil, CSR/COST-G; siyah, ort_TWS/COST-G arasındaki ilişkiyi göstermektedir.

- Meriç-Ergene Havzası (Grid No: 2)



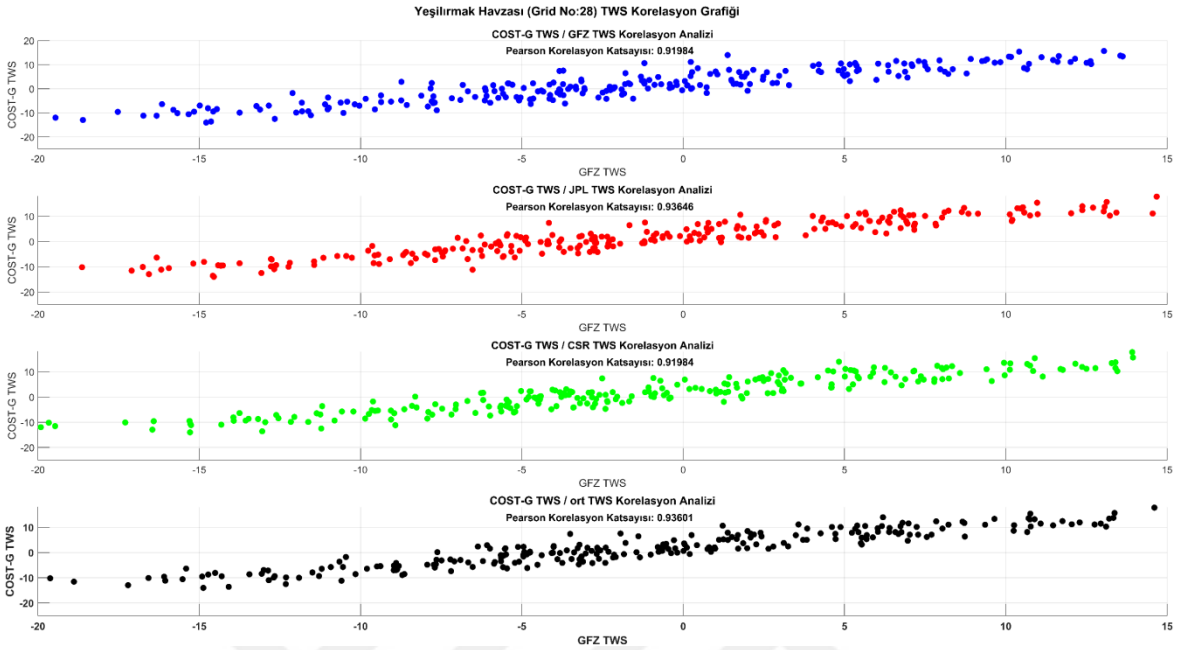
Şekil 89. 2 No'lu gride ait korelasyon grafikleri

- Batı Karadeniz Havzası (Grid No: 7)



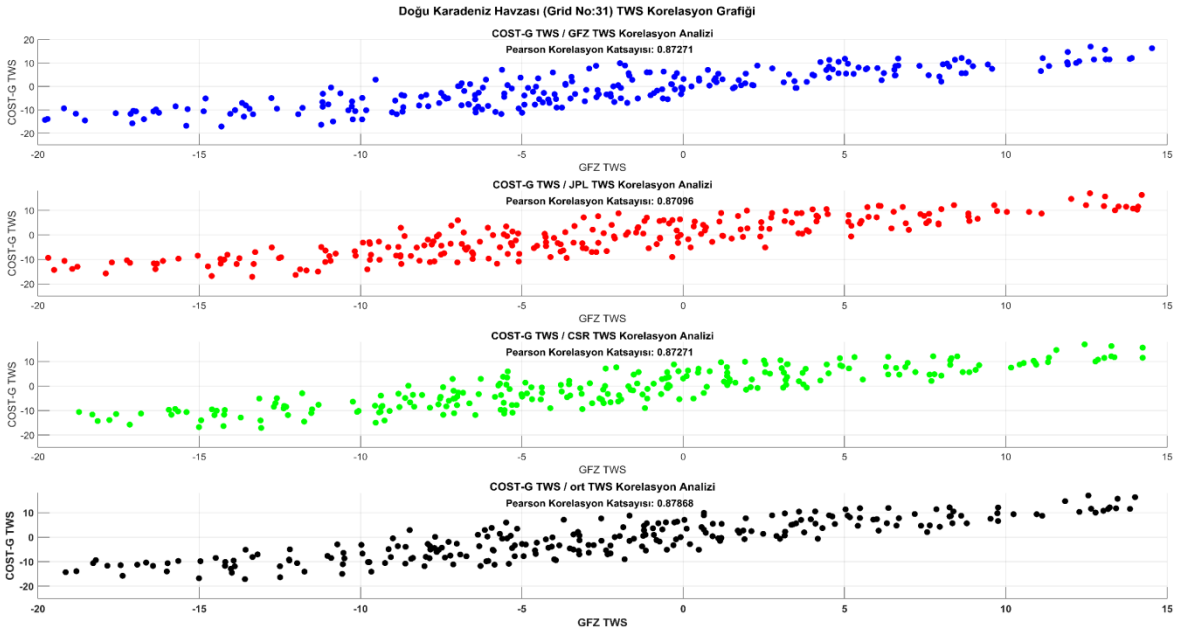
Şekil 90. 7 No'lu gride ait korelasyon grafikleri

- Yeşilırmak Havzası (Grid No: 28)



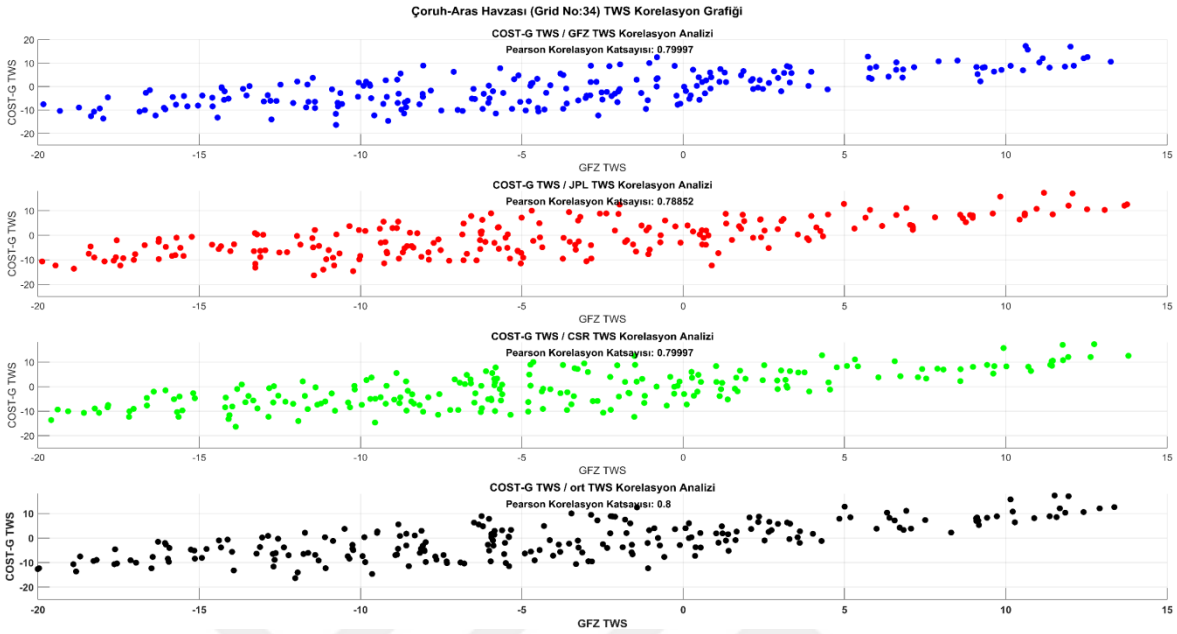
Şekil 91. 28 No'lu gride ait korelasyon grafikleri

- Doğu Karadeniz Havzası (Grid No: 31)



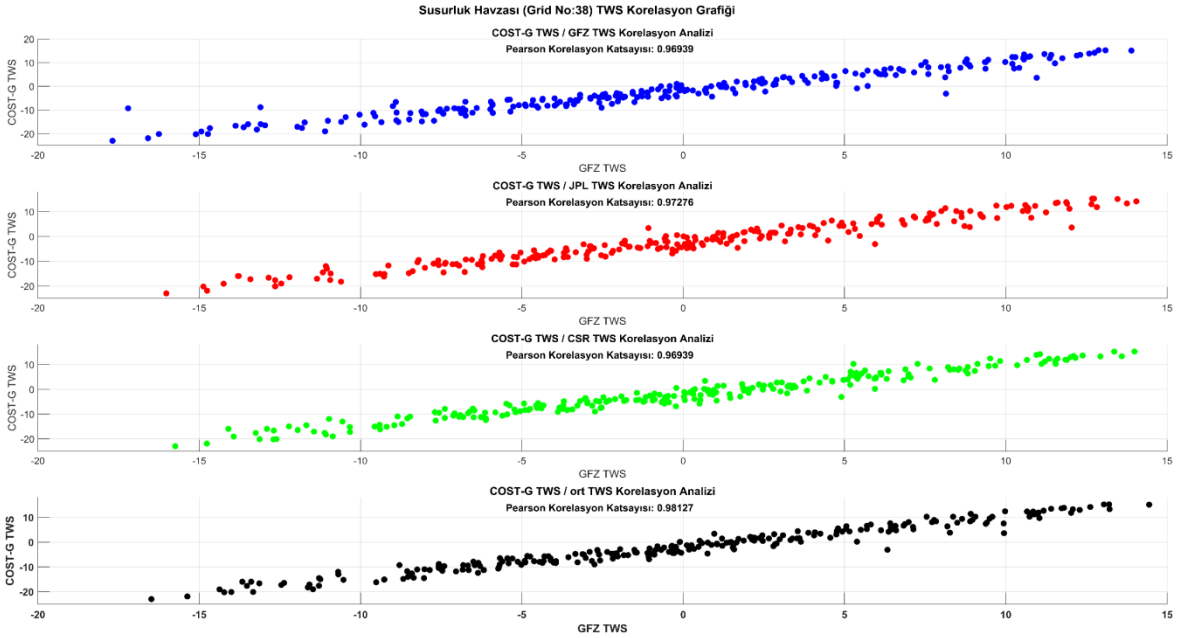
Şekil 92. 31 No'lu gride ait korelasyon grafikleri

- Çoruh-Aras Havzası (Grid No: 34)



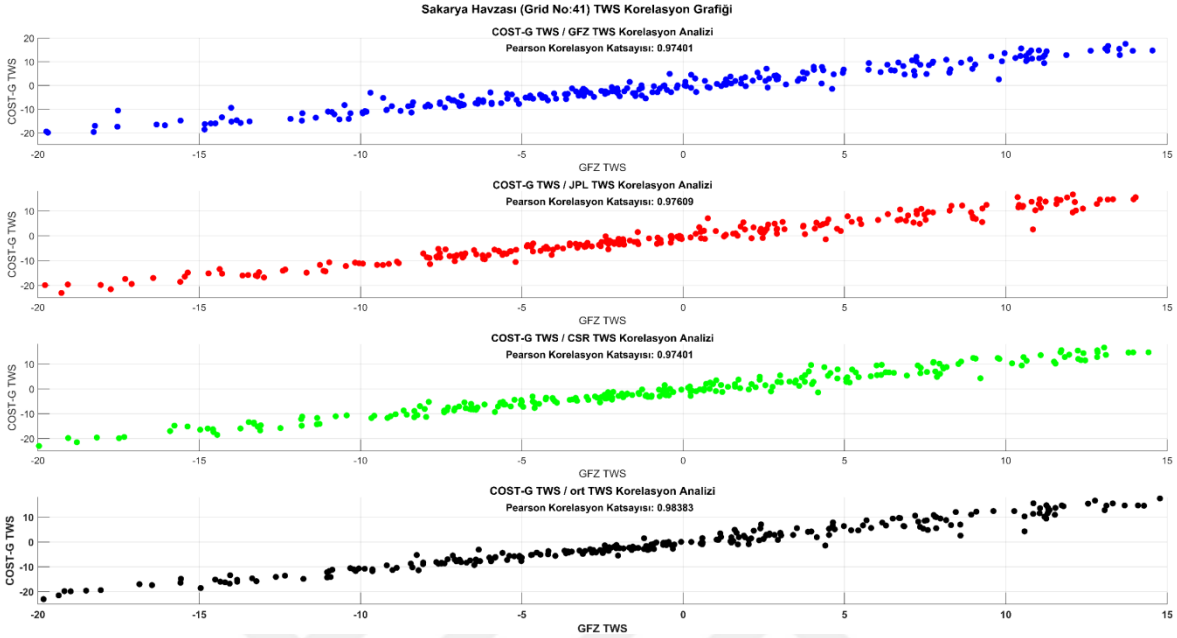
Şekil 93. 34 No'lu gride ait korelasyon grafikleri

- Susurluk Havzası (Grid No: 38)



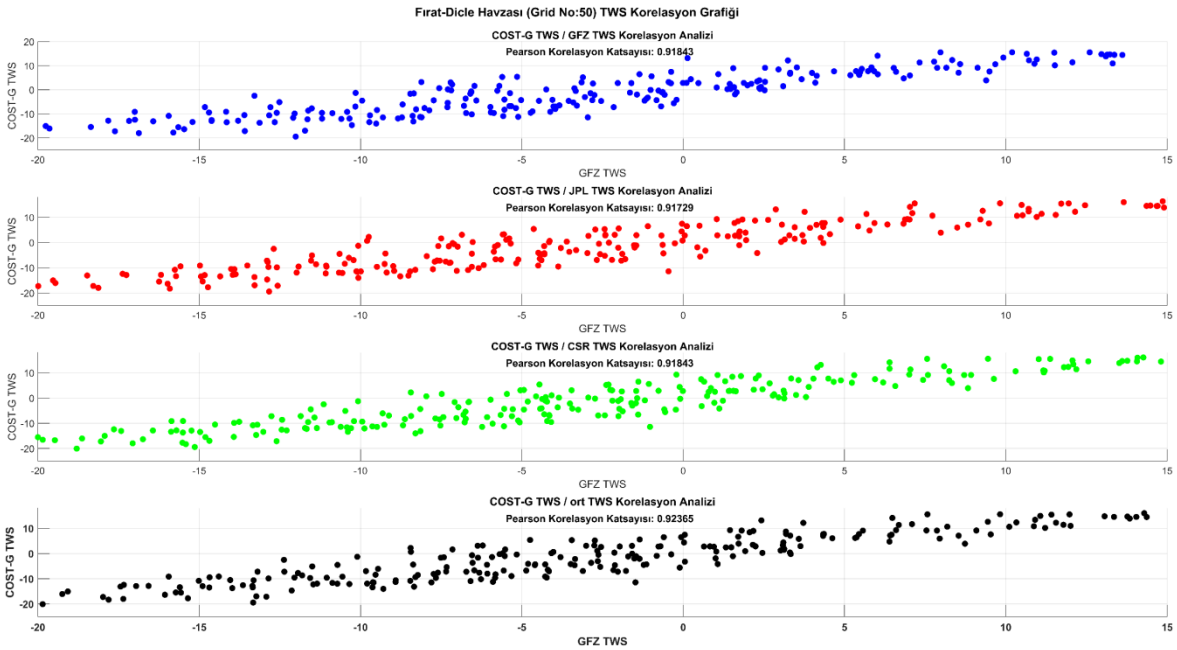
Şekil 94. 38 No'lu gride ait korelasyon grafikleri

- Sakarya Havzası (Grid No: 41)



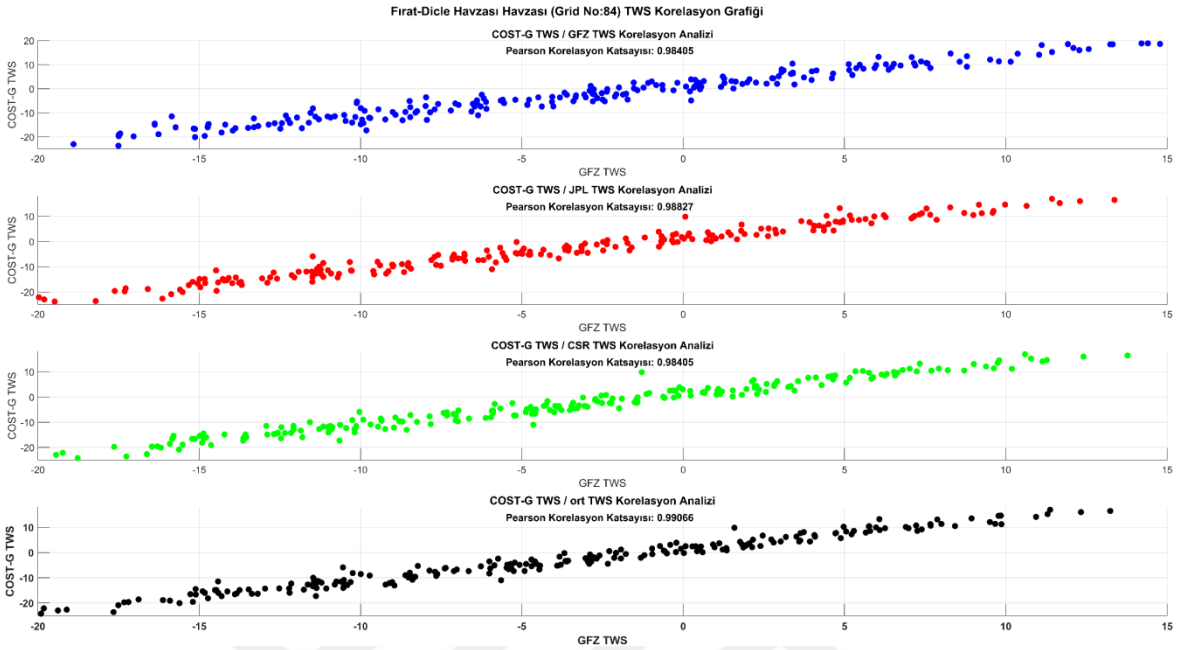
Şekil 95. 41 No'lu gride ait korelasyon grafikleri

- Fırat-Dicle Havzası (Grid No: 50)



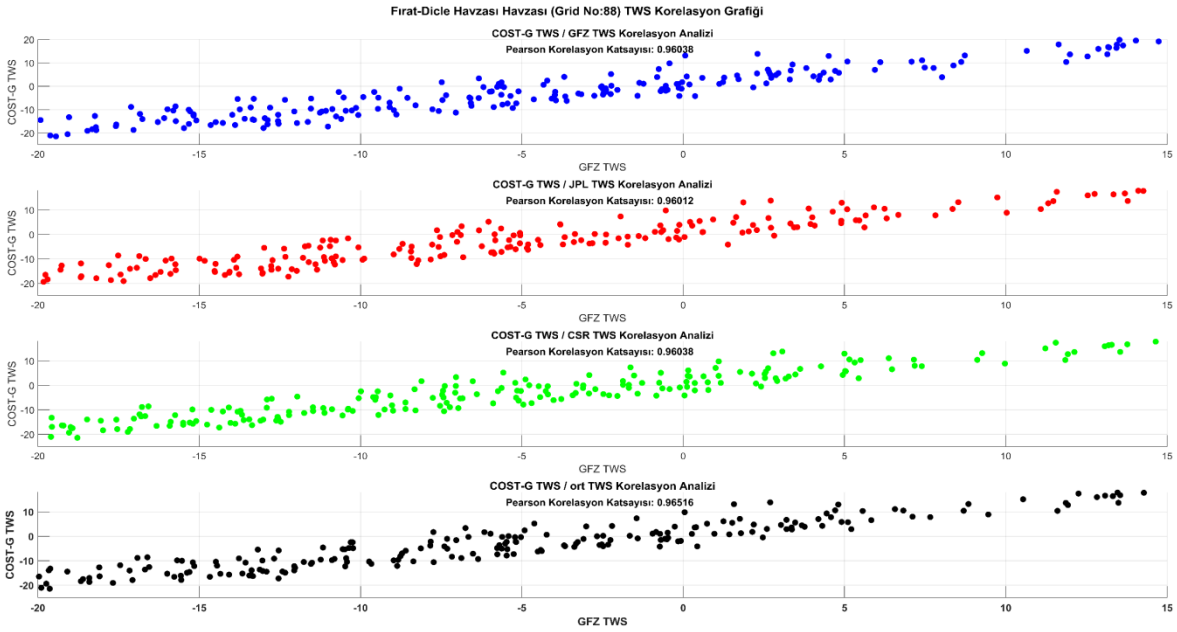
Şekil 96. 50 No'lu gride ait korelasyon grafikleri

- Fırat-Dicle Havzası (Grid No: 84)



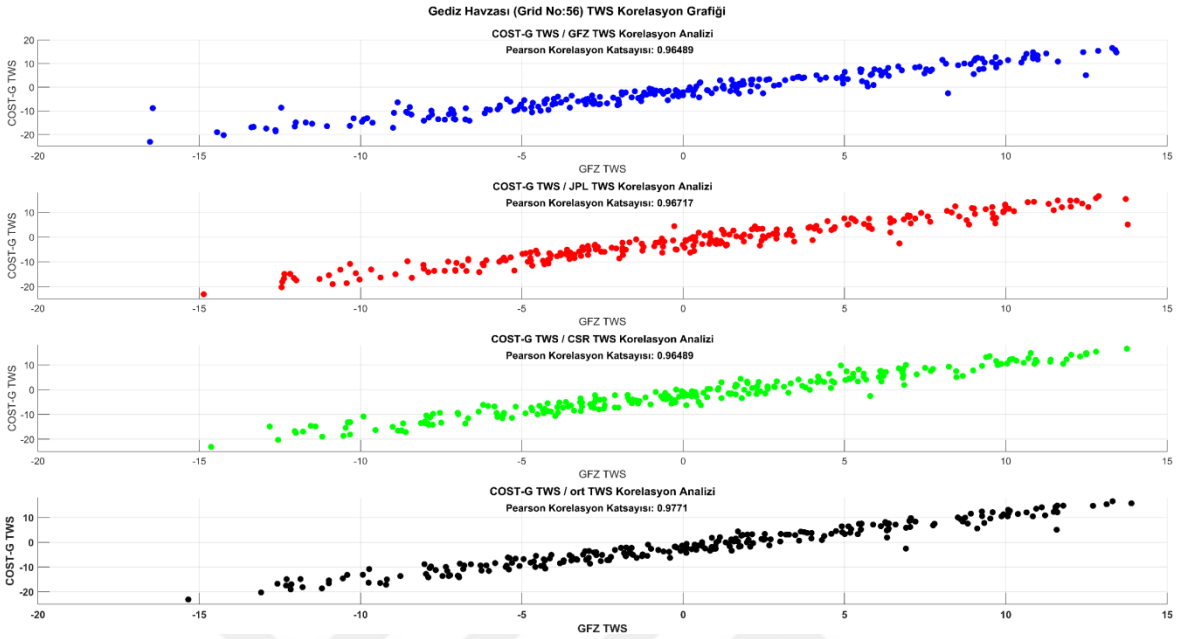
Şekil 97. 84 No'lu gride ait korelasyon grafikleri

- Fırat-Dicle Havzası (Grid No: 88)



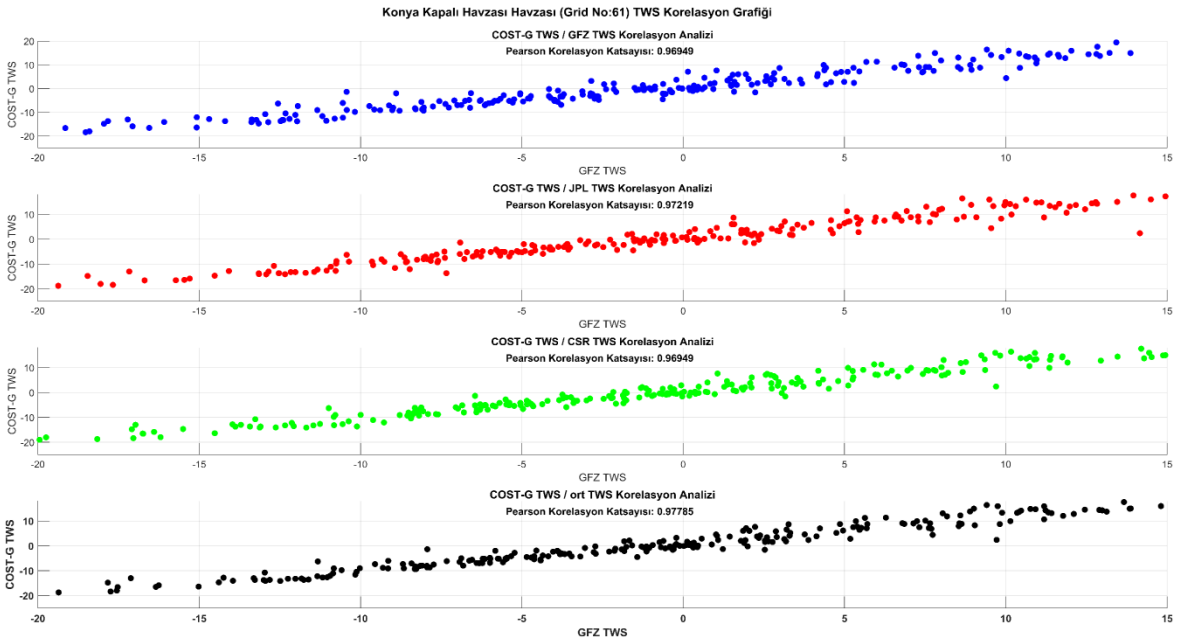
Şekil 98. 88 No'lu gride ait korelasyon grafikleri

- Gediz Havzası (Grid No: 56)



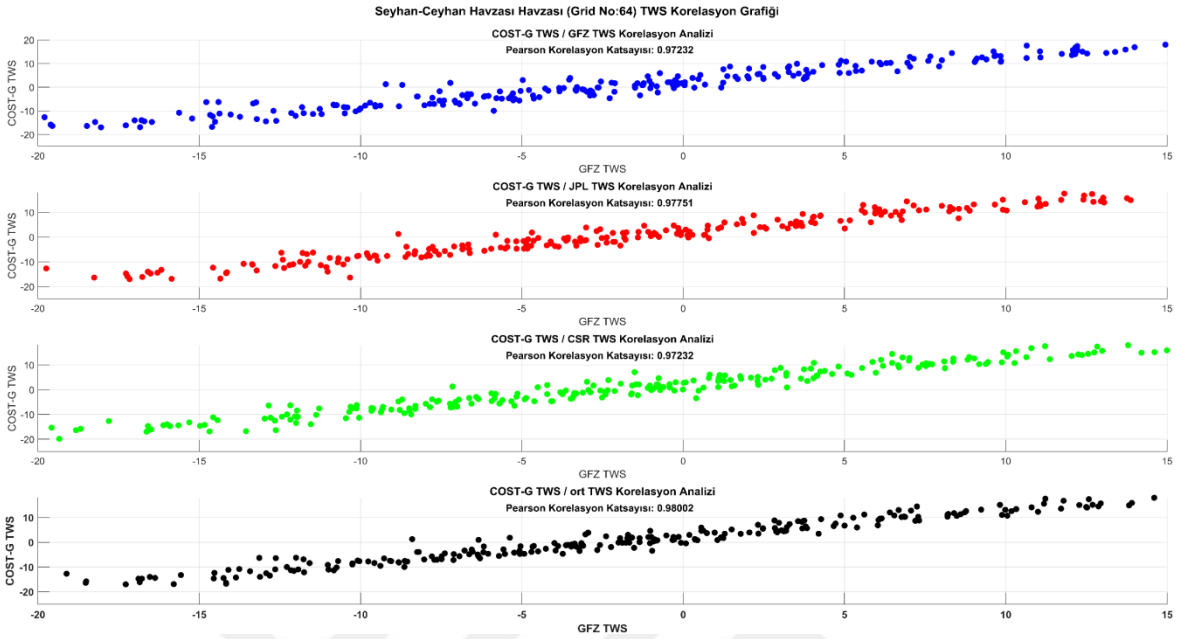
Şekil 99. 56 No'lu gride ait korelasyon grafikleri

- Konya Kapalı Havzası (Grid No: 61)



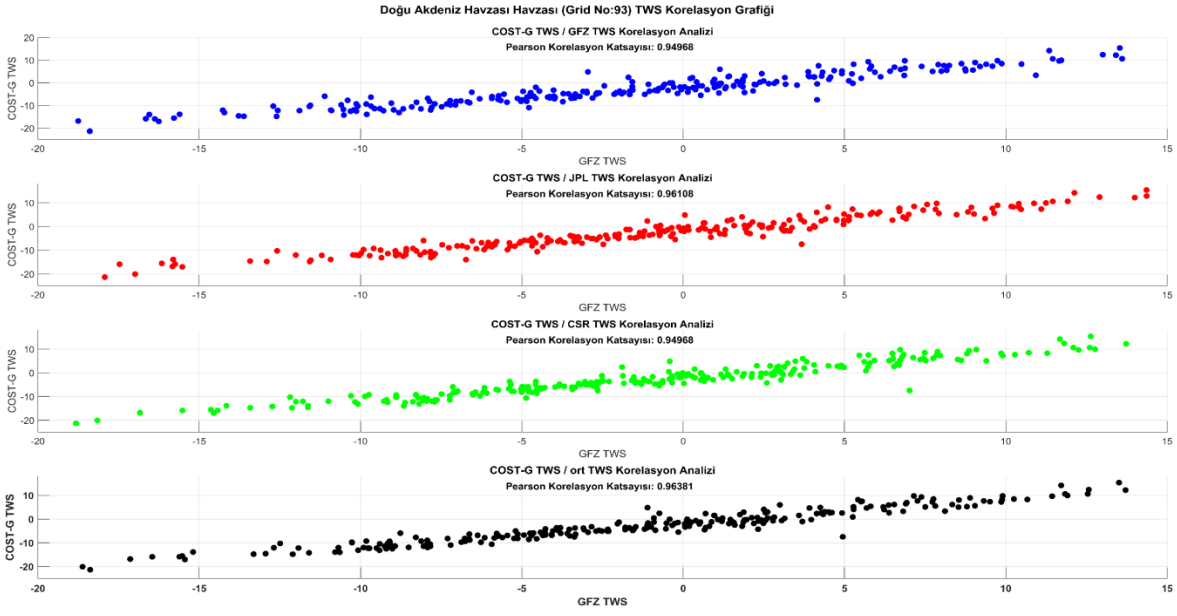
Şekil 100. 61 No'lu gride ait korelasyon grafikleri

- Seyhan-Ceyhan Havzası (Grid No: 64)



Şekil 101. 64 No'lu gride ait korelasyon grafikleri

- Doğu Akdeniz Havzası (Grid No: 93)



Şekil 102. 93 No'lu gride ait korelasyon grafikleri

TWS verileri arasındaki korelasyon değerleri hesaplanmasının ardından Bölüm 1.8.3'de de anlatıldığı üzere Eşitlik 54 - Eşitlik 57 kullanılarak korelasyon katsayılarının anlamlılık testleri gerçekleştirilmiştir. Tablo 17'de görüleceği üzere elde edilen Pearson korelasyon katsayılarının tüm gridlerde anlamlı sonuç verdiği tespit edilmiştir.

Tablo 19. COST-G TWS ile GFZ, JPL, CSR ve ort_TWS verileri arasındaki korelasyon değerleri ve anlamlılığı

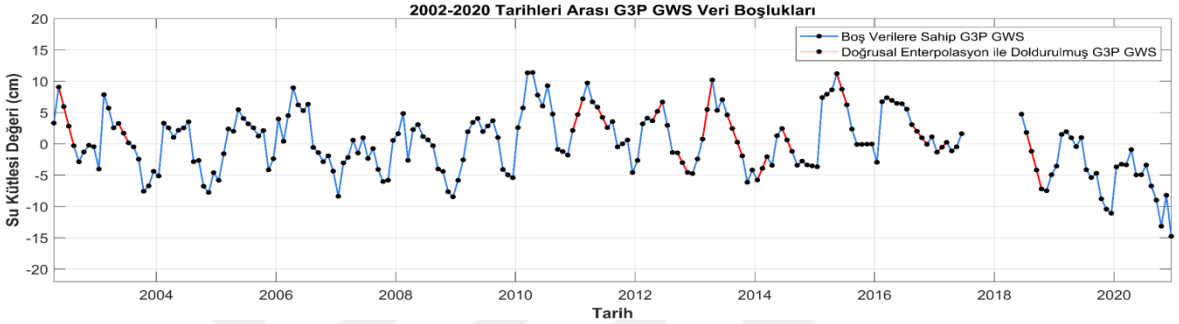
TWS													
havza no	GFZ			JPL			CSR			ort_TWS			t tablo değeri
	Korelasyon Katsayısı (rxy)	Test rxy	rxy anlamlılık	Korelasyon Katsayısı (rxy)	Test rxy	rxy anlamlılık	Korelasyon Katsayısı (rxy)	Test rxy	rxy anlamlılık	Korelasyon Katsayısı (rxy)	Test rxy	rxy anlamlılık	
2	0.96	54.29	**anlamlı**	0.97	68.98	**anlamlı**	0.98	77.94	**anlamlı**	0.98	77.06	**anlamlı**	1.65
7	0.90	32.50	**anlamlı**	0.92	37.64	**anlamlı**	0.93	39.18	**anlamlı**	0.92	38.24	**anlamlı**	1.65
28	0.92	37.22	**anlamlı**	0.94	42.38	**anlamlı**	0.93	40.90	**anlamlı**	0.94	42.22	**anlamlı**	1.65
31	0.87	28.38	**anlamlı**	0.87	28.14	**anlamlı**	0.88	29.17	**anlamlı**	0.88	29.22	**anlamlı**	1.65
34	0.80	21.16	**anlamlı**	0.79	20.35	**anlamlı**	0.80	21.33	**anlamlı**	0.80	21.17	**anlamlı**	1.65
38	0.97	62.68	**anlamlı**	0.97	66.61	**anlamlı**	0.98	75.82	**anlamlı**	0.98	80.86	**anlamlı**	1.65
41	0.97	68.27	**anlamlı**	0.98	71.28	**anlamlı**	0.98	87.31	**anlamlı**	0.98	87.20	**anlamlı**	1.65
50	0.92	36.86	**anlamlı**	0.92	36.57	**anlamlı**	0.92	38.41	**anlamlı**	0.92	38.26	**anlamlı**	1.65
56	0.96	58.32	**anlamlı**	0.97	60.42	**anlamlı**	0.97	67.71	**anlamlı**	0.98	72.90	**anlamlı**	1.65
61	0.97	62.78	**anlamlı**	0.97	65.90	**anlamlı**	0.98	72.23	**anlamlı**	0.98	74.16	**anlamlı**	1.65
64	0.97	66.06	**anlamlı**	0.98	73.57	**anlamlı**	0.98	72.52	**anlamlı**	0.98	78.21	**anlamlı**	1.65
84	0.98	87.81	**anlamlı**	0.99	102.71	**anlamlı**	0.99	104.88	**anlamlı**	0.99	115.32	**anlamlı**	1.65
88	0.96	54.71	**anlamlı**	0.96	54.51	**anlamlı**	0.97	59.94	**anlamlı**	0.97	58.55	**anlamlı**	1.65
93	0.95	48.13	**anlamlı**	0.96	55.23	**anlamlı**	0.96	55.01	**anlamlı**	0.96	57.39	**anlamlı**	1.65

2.4. GRACE/-FO Tabanlı GWS Değişim Analizleri

Bu çalışmada iki farklı GWS verisi kullanılacağı Bölüm 2.2'de bahsedilmiştir. Bunlar G3P servisinden elde edilen GWS verisi ve Bölüm 1.7.2'de yer alan Eşitlik 14 ve Eşitlik 15 kullanılarak COST-G TWS verilerinden GLDAS hidrolojik parametrelerin çıkartılması ile edilen GLDAS tabanlı GWS verileridir. Verilerle ilgili analizlere geçmeden önce GWS verilerinin değişim analizlerini gerçekleşmeden önce Bölüm 1.8.1'de anlatılan doğrusal enterpolasyon yöntemine göre G3P GWS zaman serilerinde boşluklar doldurulmuştur. GLDAS tabanlı GWS verisi için boşluk doldurma işlemi yapılmamıştır. Çünkü Bölüm 2.3.1'de COST-G verilerindeki boşluklar doldurulmuş olup GLDAS GWS için TWS verisi olarak kullanılmıştır. G3P ve GLDAS tabanlı GWS zaman serilerine Bölüm 1.8.2'de anlatılan basit doğrusal regresyon modeliyle trend analizi yapılmıştır. Ardından her havzada GWS verilerinin arasındaki ilişkiyi temsil edecek Pearson Korelasyon Katsayıları hesaplanmıştır.

2.4.1. G3P GWS Zaman Serilerinde Boşluk Doldurma

G3P servisinin sağlamış olduğu GWS verilerinde çeşitli nedenlerden ötürü (batarya, kalibrasyon) veri sağlanamayan aylara sahiptir. GRACE/-FO misyonunda olduğu gibi içerisinde sürekli olmayan parça parça toplam 22 aylık veri boşlukları Bölüm 1.8.1'de anlatıldığı üzere doğrusal enterpolasyon yöntemi ile doldurulmuştur (Şekil 103). Bu işlem yapılırken zaman serilerinde devamlılığın sağlanması göz önünde bulundurulmuştur.

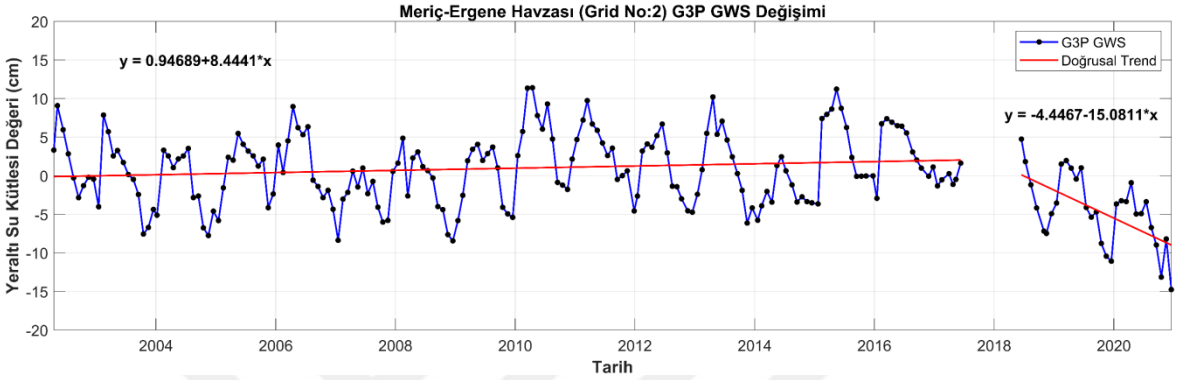


Şekil 103. GRACE/-FO misyonlarındaki veri boşluklarını gösteren zaman serisi grafiği

2.4.2. G3P Modeliyle Elde Edilen GWS Değişimlerinin Trend Analizi ile İncelenmesi

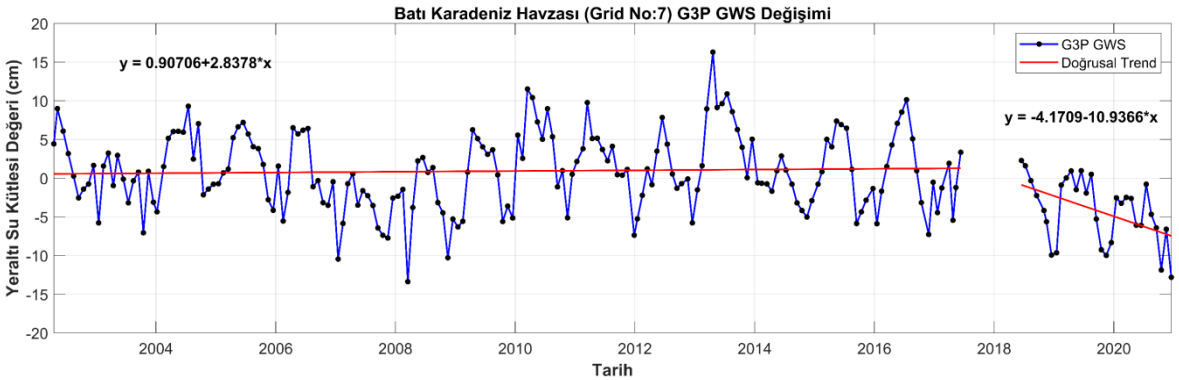
Bölüm 1.7.2'de bahsedildiği üzere Tablo 6'da yer alan Copernicus servisinin sağlamış olduğu verileri kullanarak Eşitlik 14 ve Eşitlik 15'i kullanılarak üretilen G3P GWS verilerinin zaman serisi grafikleri elde edilmiş ve basit doğrusal regresyon modeli ile trend analizleri yapılmıştır. Gridlerdeki G3P GWS değişimleri, trend analizlerinden elde edilen a1 trend bileşeni katsayısına (eğim) göre değerlendirilmiştir. Şekil 104 - Şekil 117'ye kadar olan zaman serisi grafiklerinde mavi renkte çizgi rengine sahip veriler G3P GWS değerlerini, kırmızı çizgi ise G3P GWS verilerinin trend bileşenini temsil eder. Zaman serisini iki trend bileşeni ile temsil edilmesinin nedeni G3P'nin temelinde COST-G TWS verilerinin oluşundan kaynaklı GRACE ve GRACE-FO misyonları arasında var olan veri boşluğu G3P GWS verilerinde de bulunmaktadır. Regresyon analizi yaparken misyon boşluğunun modele etki etmemesi adına parçalı trend hesaplanmıştır. 2018 - 2020 dönemi (31 ay) kısa olduğu için hesaplanan trend parametrelerinin göstermiş olduğu eğilim bölge için genel bir anlam ifade etmeyebilir. Buna göre bağımsız analiz merkezleri TWS verileri zaman serileri trend analiz sonuçları havzalara göre değerlendirilmiştir.

• Meriç-Ergene Havzası (Grid No:2), 2002-2017 döneminde (GRACE) G3P GWS verilerinde 8.44 ± 7.28 cm/ay'lık artış; 2018 - 2020 (GRACE-FO) döneminde ise -15.08 ± 6.43 cm/ay'lık azalış eğilimi gösterdiği görülmektedir. Ocak 2007 ve Ekim 2008'de düşük değerler alarak Türkiye'de yaşanan kuraklığı doğrular nitelikte olduğu görülmektedir. 2018 yılından itibaren ise sürekli bir azalış eğilimine sahip olduğu görülmektedir (Şekil 104).



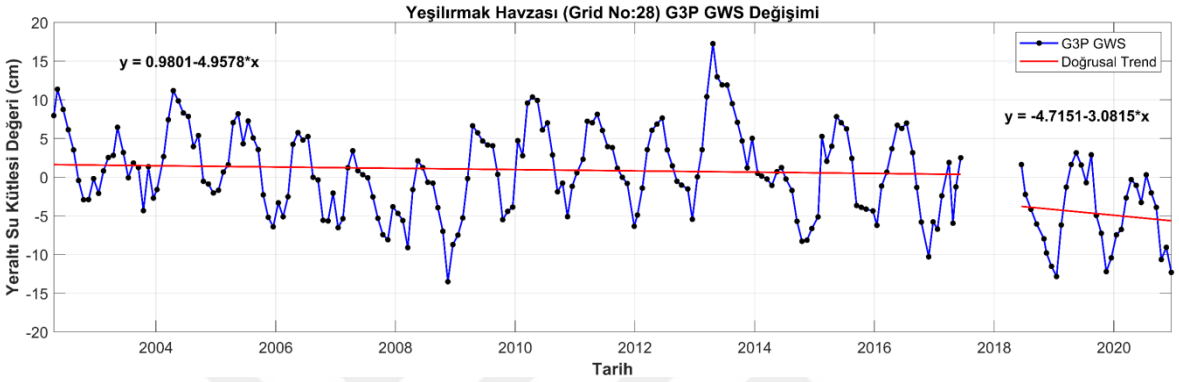
Şekil 104. 2 No'lu gride ait G3P GWS değişiminin zaman serisi grafiği

• Batı Karadeniz Havzası (Grid No:7), 2002 - 2017 döneminde G3P GWS verilerinde 2.84 ± 8.07 cm/ay'lık artış; 2018 - 2020 döneminde ise -10.94 ± 6.35 cm/ay'lık azalış eğilimi gösterdiği görülmektedir. Ocak 2007 ve Mart 2008'de düşük değerler alarak Türkiye'de yaşanan kuraklığı doğrular nitelikte olduğu görülmektedir. 2018 yılından itibaren ise sürekli bir azalış eğilimine sahip olduğu görülmektedir (Şekil 105).



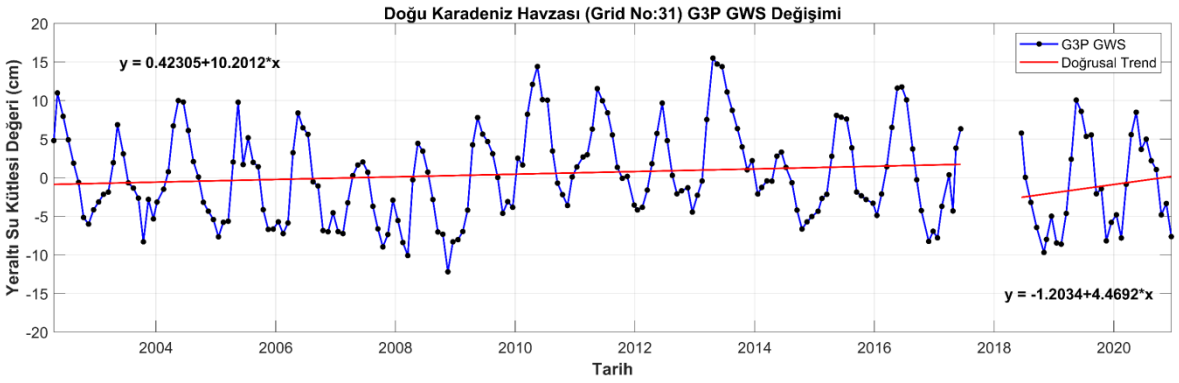
Şekil 105. 7 No'lu gride ait G3P GWS değişiminin zaman serisi grafiği

• Yeşilırmak Havzası (Grid No:28), 2002 - 2017 döneminde G3P GWS verilerinde -4.96 ± 8.89 cm/ay'lık; 2018 - 2020 döneminde ise -3.08 ± 8.40 cm/ay'lık azalış eğilimi gösterdiği görülmektedir. Kasım 2008'de düşük değer alarak Türkiye'de yaşanan kuraklığı doğrular nitelikte olduğu görülmektedir. 2018 yılından itibaren ise sürekli bir azalış eğilimine sahip olduğu görülmektedir (Şekil 106).



Şekil 106. 28 No'lu gride ait G3P GWS değişiminin zaman serisi grafiği

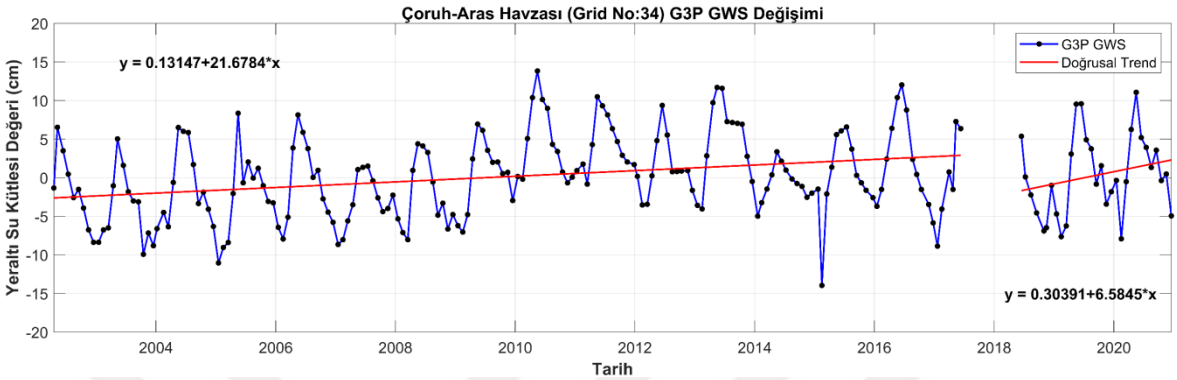
• Doğu Karadeniz Havzası (Grid No:31), 2002 - 2017 döneminde G3P GWS verilerinde 10.20 ± 9.61 cm/ay'lık; 2018 - 2020 döneminde ise 4.47 ± 10.19 cm/ay'lık artış eğilimi gösterdiği görülmektedir. Kasım 2008'de düşük değer alarak Türkiye'de yaşanan kuraklığı doğrular nitelikte olduğu görülmektedir. Trend katsayıları artış yönünde olsa da grafiğe bakıldığında çok sık artış ve azalışların yaşandığı görülmektedir (Şekil 107).



Şekil 107. 31 No'lu gride ait G3P GWS değişiminin zaman serisi grafiği

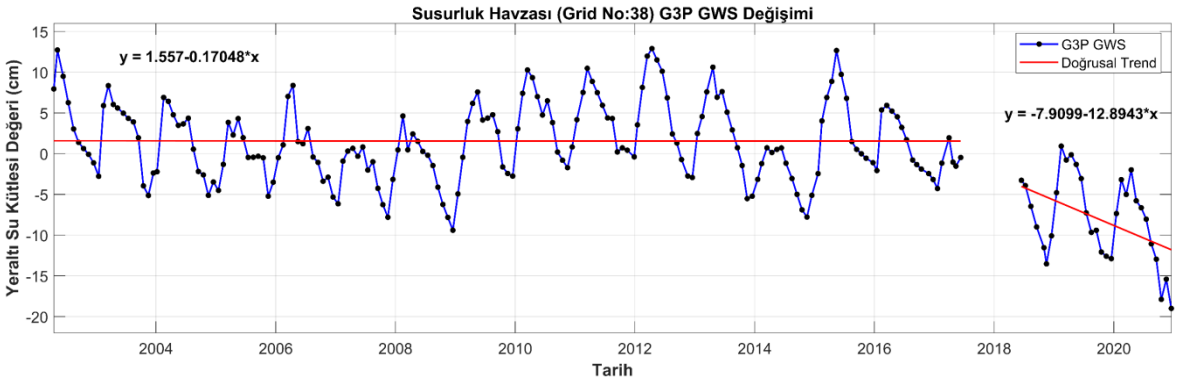
• Çoruh-Aras Havzası (Grid No:34), 2002 - 2017 döneminde G3P GWS verilerinde 21.68 ± 8.37 cm/ay'lık; 2018 - 2020 döneminde ise 6.58 ± 8.77 cm/ay'lık artış eğilimi

gösterdiği görülmektedir. Şubat 2015'de düşük değer alarak Türkiye'de yaşanan kuraklığı doğrular nitelikte olduğu görülmektedir. Trend katsayıları artış yönünde olsa da grafiğe bakıldığında çok sık artış ve azalışların yaşandığı görülmektedir (Şekil 108).



Şekil 108. 34 No'lu gride ait G3P GWS değişiminin zaman serisi grafiği

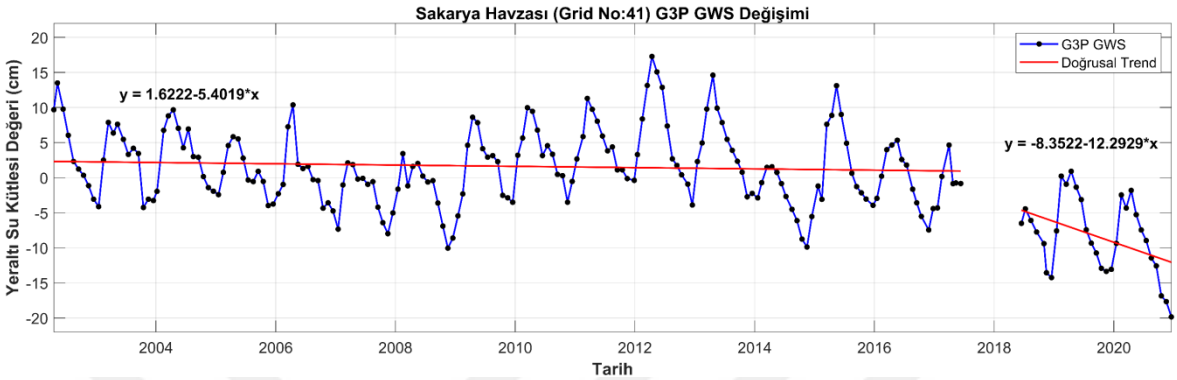
• Susurluk Havzası (Grid No:38), 2002 - 2017 döneminde G3P GWS verilerinde -0.17 ± 7.80 cm/ay'lık; 2018 - 2020 döneminde ise -12.89 ± 8.02 cm/ay'lık azalış eğilimi gösterdiği görülmektedir. Aralık 2008, Kasım 2018 ve Kasım 2020'de düşük değer alarak Türkiye'de yaşanan kuraklığı doğrular nitelikte olduğu görülmektedir. 2002 - 2017 döneminde sık sık artış ve azalışlar olurken, 2018 yılından itibaren ise daha çok azalış eğilimi hakimdir (Şekil 109).



Şekil 109. 38 No'lu gride ait G3P GWS değişiminin zaman serisi grafiği

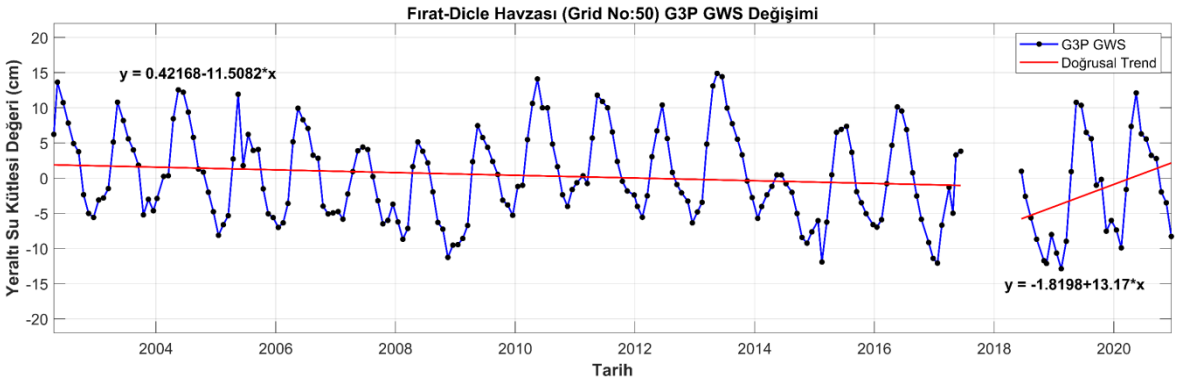
• Sakarya Havzası (Grid No:41), 2002 - 2017 döneminde G3P GWS verilerinde -5.40 ± 8.66 cm/ay'lık; 2018 - 2020 döneminde ise -12.29 ± 8.50 cm/ay'lık azalış eğilimi gösterdiği görülmektedir. Kasım 2008 ve Kasım 2020'de düşük değer alarak Türkiye'de

yaşanan kuraklığı doğrular nitelikte olduğu görülmektedir. 2002 - 2017 döneminde sık sık artış ve azalışlar olurken, 2018 yılından itibaren ise daha çok azalış eğilimi hakimdir (Şekil 110).



Şekil 110. 41 No'lu gride ait G3P GWS değişiminin zaman serisi grafiği

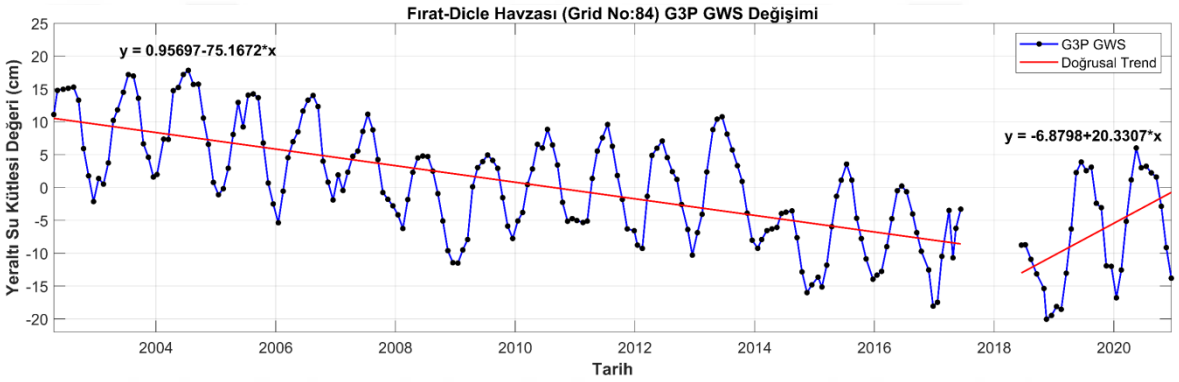
• Fırat-Dicle Havzası (Grid No:50), 2002 - 2017 döneminde G3P GWS verilerinde -11.51 ± 10.29 cm/ay'lık azalış; 2018 - 2020 döneminde ise 13.17 ± 12.10 cm/ay'lık artış eğilimi gösterdiği görülmektedir. Kasım 2008, Şubat 2015, Ocak 2017 ve Şubat 2019'da düşük değer alarak Türkiye'de yaşanan kuraklığı doğrular nitelikte olduğu görülmektedir. 2002 - 2017 döneminde sık sık artış ve azalış yaşanmaktadır. En yüksek ve en düşük değerler arasındaki farkların yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 111).



Şekil 111. 50 No'lu gride ait G3P GWS değişiminin zaman serisi grafiği

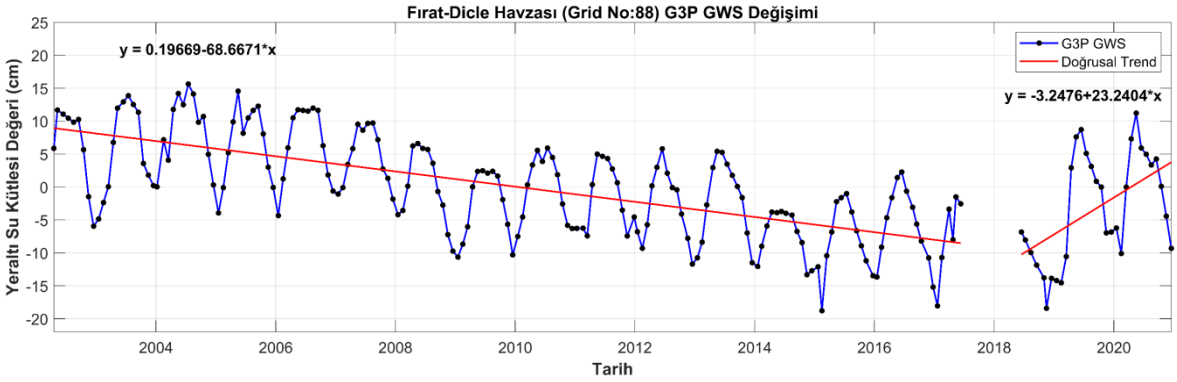
• Fırat-Dicle Havzası (Grid No:84), 2002 - 2017 döneminde G3P GWS verilerinde -75.17 ± 10.28 cm/ay'lık azalış; 2018-2020 döneminde ise 20.33 ± 12.69 cm/ay'lık artış eğilimi gösterdiği görülmektedir. Kasım 2008, Şubat 2015, Ocak 2017 ve Şubat 2019'da

düşük değer alarak Türkiye'de yaşanan kuraklığı doğrular nitelikte olduğu görülmektedir. 2002 - 2017 döneminde sık sık artış ve azalış yaşanmaktadır. En yüksek ve en düşük değerler arasındaki farkların yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca bölgedeki su kaynaklarında ciddi azalışların yaşandığı görülmektedir. Grid Fırat-Dicle Havzası'nın güneyinde kalmaktadır. Batısında yer alan gride göre çok daha yüksek değerde azalış eğilimi göstermesi Türkiye'nin Güneydoğu Bölgelerinde su kaynaklarındaki su kıtlığı ile paralel sonuç çıkarmaktadır. Bu bölgede 2018 yılından itibaren hesaplanan trendin artış eğilimi göstermesi, 2018 yılından itibaren hesaplanan kısa dönemli (31 ay) trend analizlerinin uzun dönemlik yorumların yapılmasında sorun teşkil edeceği sonucunu ortaya çıkarmaktadır (Şekil 112).



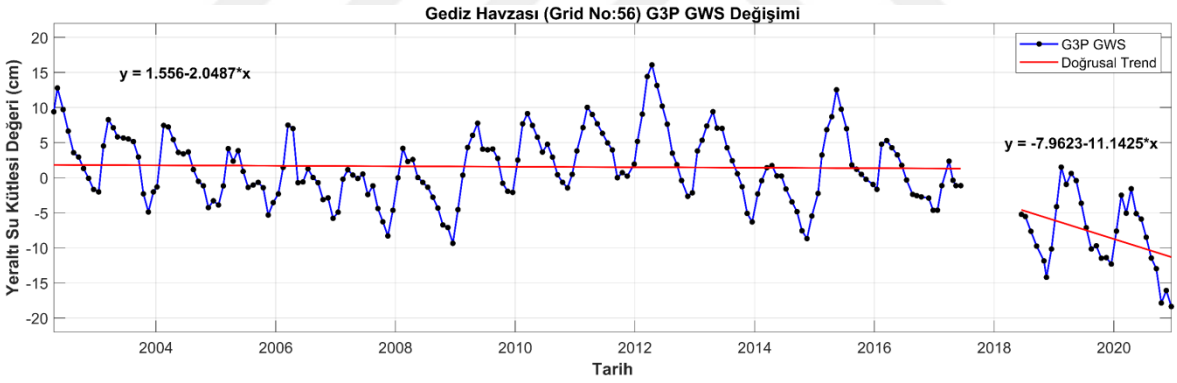
Şekil 112. 84 No'lu gride ait G3P GWS değişiminin zaman serisi grafiği

• Fırat-Dicle Havzası (Grid No:88), 2002 - 2017 döneminde G3P GWS verilerinde -68.67 ± 9.28 cm/ay'lık azalış; 2018 - 2020 döneminde ise 23.24 ± 12.31 cm/ay'lık artış eğilimi gösterdiği görülmektedir. Kasım 2008, Şubat 2015, Ocak 2017 ve Şubat 2019'da düşük değer alarak Türkiye'de yaşanan kuraklığı doğrular nitelikte olduğu görülmektedir. 2002 - 2017 döneminde sık sık artış ve azalış yaşanmaktadır. En yüksek ve en düşük değerler arasındaki farkların yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca bölgedeki su kaynaklarında ciddi azalışların yaşandığı görülmektedir. Grid Fırat-Dicle Havzası'nın güneyinde kalmaktadır. Batısında yer alan gride göre çok daha yüksek değerde azalış eğilimi göstermesi Türkiye'nin Güneydoğu Bölgelerinde su kaynaklarındaki su kıtlığı ile paralel sonuç çıkarmaktadır. Bu bölgede 2018 yılından itibaren hesaplanan trendin artış eğilimi göstermesi, 2018 yılından itibaren hesaplanan kısa dönemli (31 ay) trend analizlerinin uzun dönemlik yorumların yapılmasında sorun teşkil edeceği sonucunu ortaya çıkarmaktadır (Şekil 113).



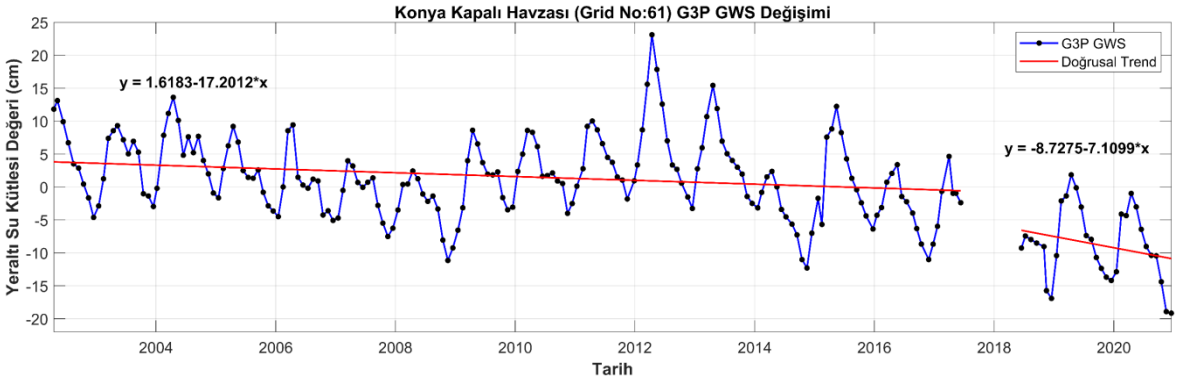
Şekil 113. 88 No'lu gride ait G3P GWS değişiminin zaman serisi grafiği

• Gediz Havzası (Grid No:56), 2002 - 2017 döneminde G3P GWS verilerinde -2.05 ± 7.95 cm/ay'lık; 2018-2020 döneminde ise -11.14 ± 8.39 cm/ay'lık azalış eğilimi gösterdiği görülmektedir. Kasım 2007, Aralık 2008, Kasım 2014 ve Kasım 2018'de düşük değer alarak Türkiye'de yaşanan kuraklığı doğrular nitelikte olduğu görülmektedir. 2002 - 2017 döneminde sık sık artış ve azalış yaşanmaktadır (Şekil 114).



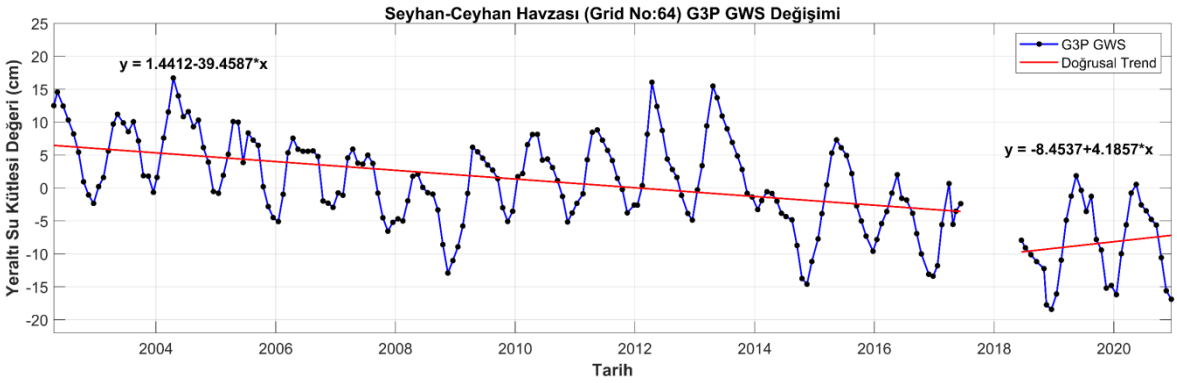
Şekil 114. 56 No'lu gride ait G3P GWS değişiminin zaman serisi grafiği

• Konya Kapalı Havzası (Grid No:61), 2002 - 2017 döneminde G3P GWS verilerinde -17.20 ± 9.53 cm/ay'lık; 2018-2020 döneminde ise -7.11 ± 9.30 cm/ay'lık azalış eğilimi gösterdiği görülmektedir. Kasım 2008, Kasım 2014, Kasım 2016 ve Aralık 2018'de düşük değer alarak Türkiye'de yaşanan kuraklığı doğrular nitelikte olduğu görülmektedir. 2002 - 2017 döneminde sık sık artış ve azalış yaşanmaktadır. Ayrıca Nisan 2012'de en yüksek TWS değerini almıştır (Şekil 115).



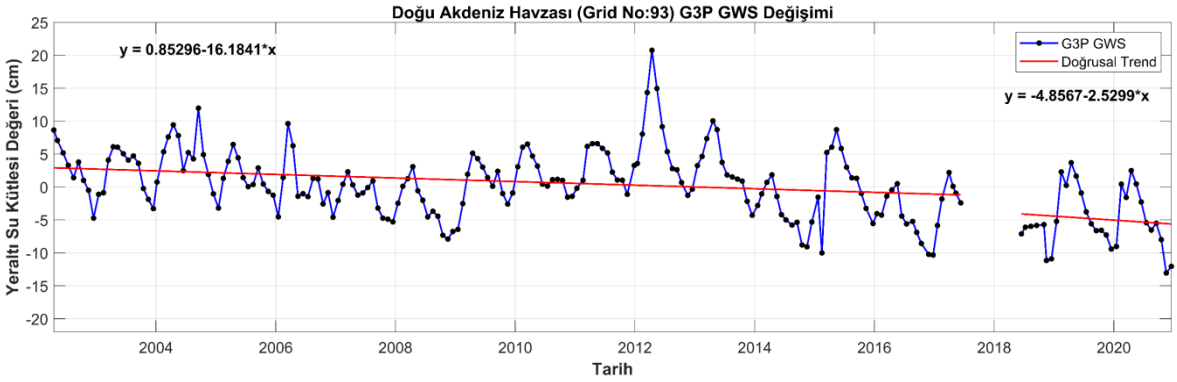
Şekil 115. 61 No'lu gride ait G3P GWS değişiminin zaman serisi grafiği

• Seyhan-Ceyhan Havzası (Grid No:64), 2002 - 2017 döneminde G3P GWS verilerinde -39.46 ± 9.62 cm/ay'lık azalış; 2018-2020 döneminde ise 4.19 ± 10.35 cm/ay'lık artış eğilimi gösterdiği görülmektedir. Kasım 2008, Kasım 2014, Aralık 2016 ve Aralık 2018'de düşük değer alarak Türkiye'de yaşanan kuraklığı doğrular nitelikte olduğu görülmektedir. 2002 - 2017 döneminde sık sık artış ve azalış yaşanmaktadır. 61.Grid (Konya Kapalı Havzası) ile benzer artış ve azalış modeline sahip olduğu da görülmektedir. Ayrıca Nisan 2012'de en yüksek TWS değerini almıştır (Şekil 116).



Şekil 116. 64 No'lu gride ait G3P GWS değişiminin zaman serisi grafiği

• Doğu Akdeniz Havzası (Grid No:93), 2002 - 2017 döneminde G3P GWS verilerinde -16.18 ± 7.82 cm/ay'lık; 2018 - 2020 döneminde ise -2.53 ± 7.73 cm/ay'lık azalış eğilimi gösterdiği görülmektedir. Kasım 2008, Şubat 2015, Aralık 2016 ve Kasım 2018'de düşük değer alarak Türkiye'de yaşanan kuraklığı doğrular nitelikte olduğu görülmektedir. 2002 - 2017 döneminde sık sık artış ve azalış yaşanmaktadır. Ayrıca Nisan 2012'de en yüksek TWS değerini almıştır (Şekil 117).

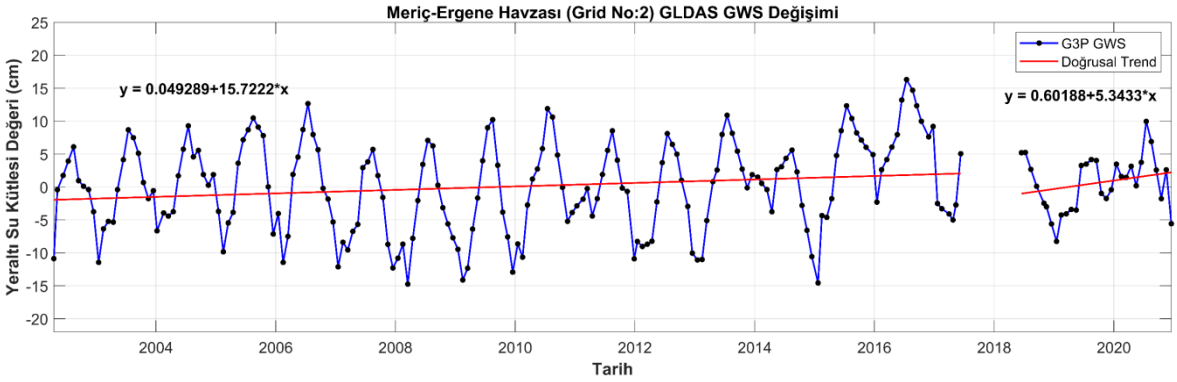


Şekil 117. 93 No'lu gride ait G3P GWS değişiminin zaman serisi grafiği

2.4.3. GLDAS Model Verileriyle Hesaplanan GWS Değişimlerinin Trend Analizi ile İncelenmesi

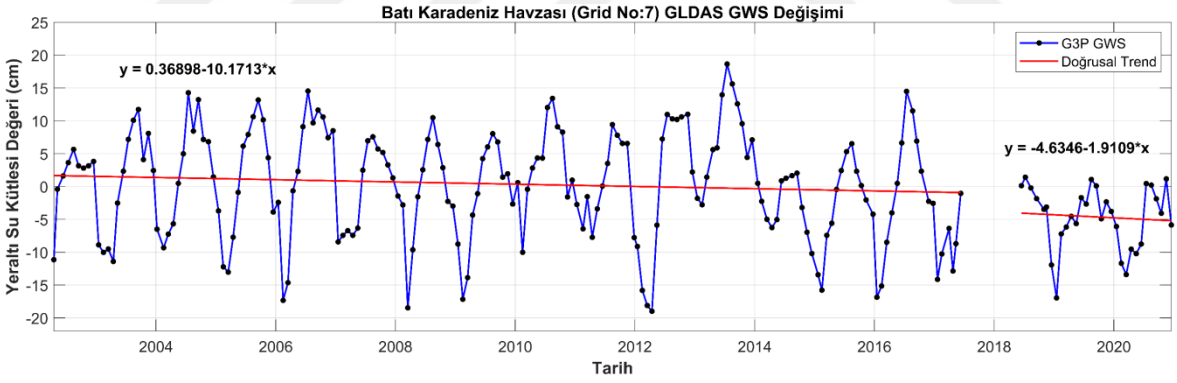
Bölüm 2.2'de bahsedildiği üzere GLDAS modelinden hidrolojik parametrelerin toplamı şeklinde "GLDAS TWS" verilerine erişilmiştir. Elde edilen veride boşluklar olmadığından boşluk doldurma işlemine tabi tutulmamıştır. Eşitlik 14 ve Eşitlik 15'ten yararlanılarak COST-G TWS verilerinden hidrolojik parametreler toplamı olan GLDAS TWS verisinin çıkartılmasıyla GLDAS tabanlı GWS verileri elde edilmiştir. Daha sonra Şekil 117 - Şekil 130'dan da görüleceği üzere elde edilen verilere Bölüm 1.8.2'de bahsedildiği gibi basit doğrusal regresyon analizi uygulanmıştır. Buna göre GLDAS tabanlı GWS verileri zaman serileri trend analiz sonuçları havzalara göre değerlendirilmiştir.

- Meriç-Ergene Havzası (Grid No:2), 2002 - 2017 döneminde (GRACE) GLDAS GWS verilerinde 15.72 ± 11.24 cm/ay'lık; 2018-2020 (GRACE-FO) döneminde ise 5.34 ± 17.96 cm/ay'lık azalış eğilimi gösterdiği görülmektedir. Mart 2008, Şubat 2009, Aralık 2009, Ocak 2015 ve Ocak 2019'da düşük değerler alarak Türkiye'de yaşanan kuraklığı doğrular nitelikte olduğu görülmektedir (Şekil 118).



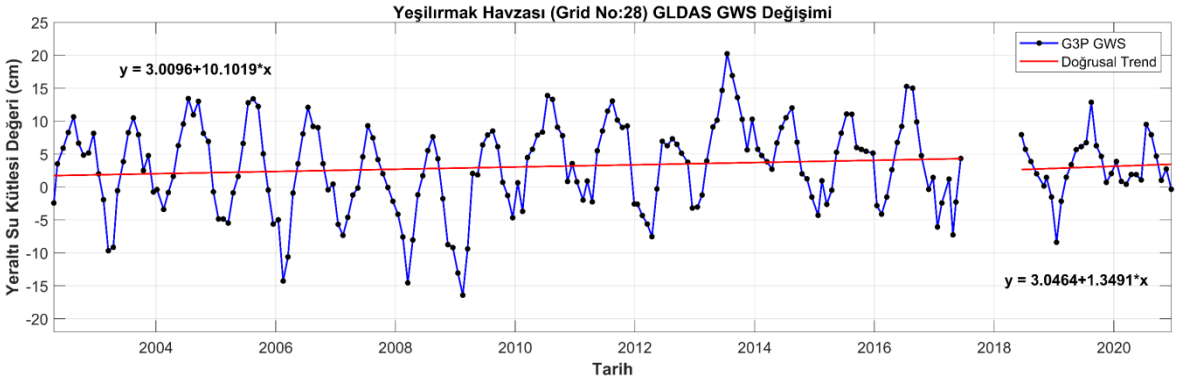
Şekil 118. 2 No'lu gride ait GLDAS GWS değişiminin zaman serisi grafiği

• Batı Karadeniz Havzası (Grid No:7), 2002 - 2017 döneminde GLDAS GWS verilerinde -10.17 ± 13.58 cm/ay'lık; 2018 - 2020 döneminde ise -1.91 ± 8.16 cm/ay'lık azalış eğilimi gösterdiği görülmektedir. Şubat 2006, Mart 2008, Şubat 2009, Nisan 2012, Ocak 2016 ve Ocak 2019'da düşük değerler alarak Türkiye'de yaşanan kuraklığı doğrular nitelikte olduğu görülmektedir. 2018 yılından itibaren ise sürekli bir azalış eğilimine sahip olduğu görülmektedir (Şekil 119).



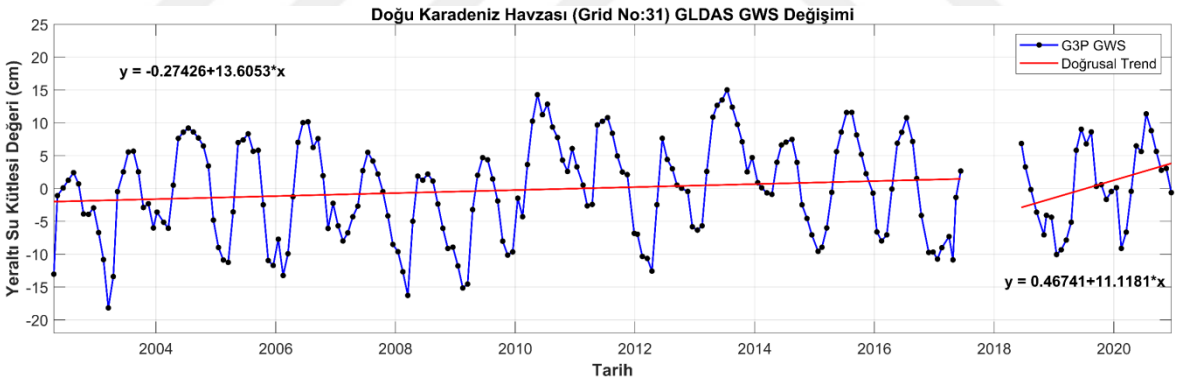
Şekil 119. 7 No'lu gride ait GLDAS GWS değişiminin zaman serisi grafiği

• Yeşilırmak Havzası (Grid No:28), 2002 - 2017 döneminde GLDAS GWS verilerinde 10.10 ± 11.09 cm/ay'lık; 2018 - 2020 döneminde ise 1.35 ± 6.86 cm/ay'lık artış eğilimi gösterdiği görülmektedir. Şubat 2006, Mart 2008, Şubat 2009, Nisan 2012, Ocak 2016 ve Ocak 2019'da düşük değerler alarak Türkiye'de yaşanan kuraklığı doğrular nitelikte olduğu görülmektedir (Şekil 120).



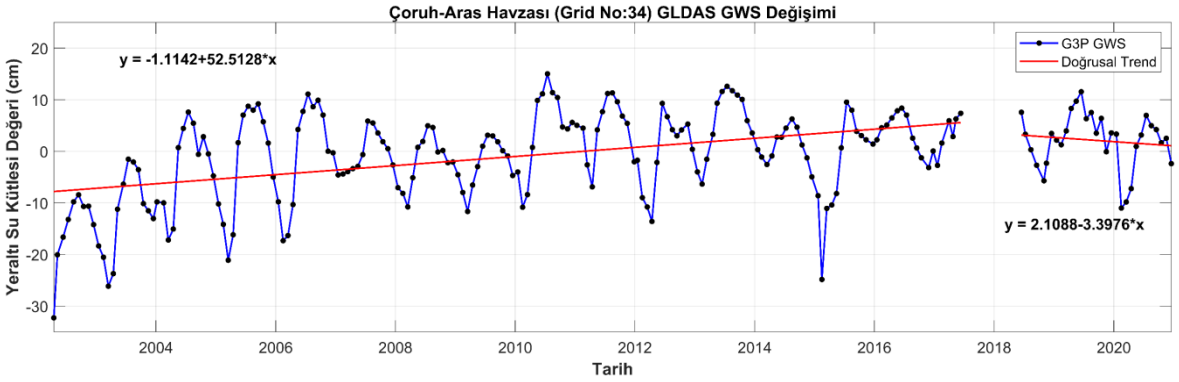
Şekil 120. 28 No'lu gride ait GLDAS GWS değişiminin zaman serisi grafiği

• Doğu Karadeniz Havzası (Grid No:31), 2002 - 2017 döneminde GLDAS GWS verilerinde 13.61 ± 12.18 cm/ay'lık; 2018 - 2020 döneminde ise 11.12 ± 9.97 cm/ay'lık artış eğilimi gösterdiği görülmektedir. Şubat 2006, Mart 2008, Şubat 2009, Nisan 2012, Ocak 2016 ve Ocak 2019'da düşük değerler alarak Türkiye'de yaşanan kuraklığı doğrular nitelikte olduğu görülmektedir. 2018 yılından itibaren ise sürekli bir azalış eğilimine sahip olduğu görülmektedir (Şekil 121).



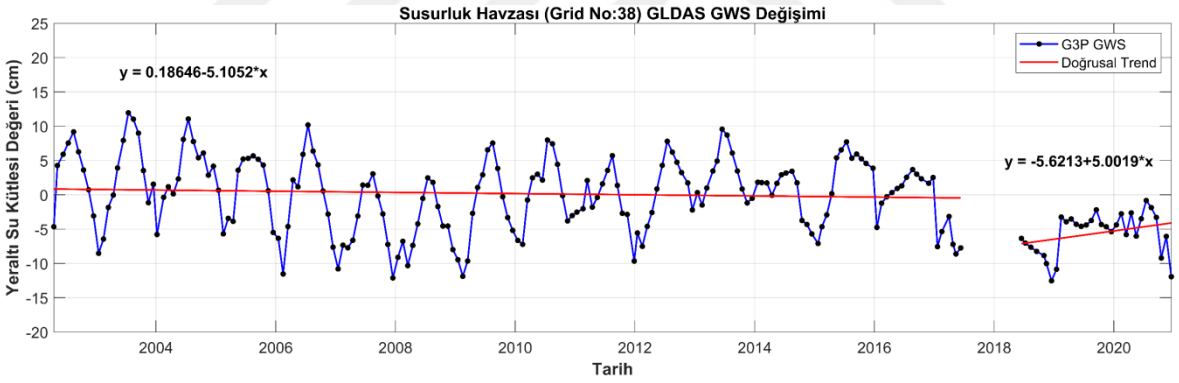
Şekil 121. 31 No'lu gride ait GLDAS GWS değişiminin zaman serisi grafiği

• Çoruh-Aras Havzası (Grid No:34), 2002 - 2017 döneminde GLDAS GWS verilerinde 52.51 ± 12.93 cm/ay'lık artış; 2018 - 2020 döneminde ise -3.40 ± 9.23 cm/ay'lık azalış eğilimi gösterdiği görülmektedir. Nisan 2002, Şubat 2015 ve Şubat 2020'de düşük değerler alarak Türkiye'de yaşanan kuraklığı doğrular nitelikte olduğu görülmektedir. 2018 yılından itibaren ise sürekli bir azalış eğilimine sahip olduğu görülmektedir (Şekil 122).



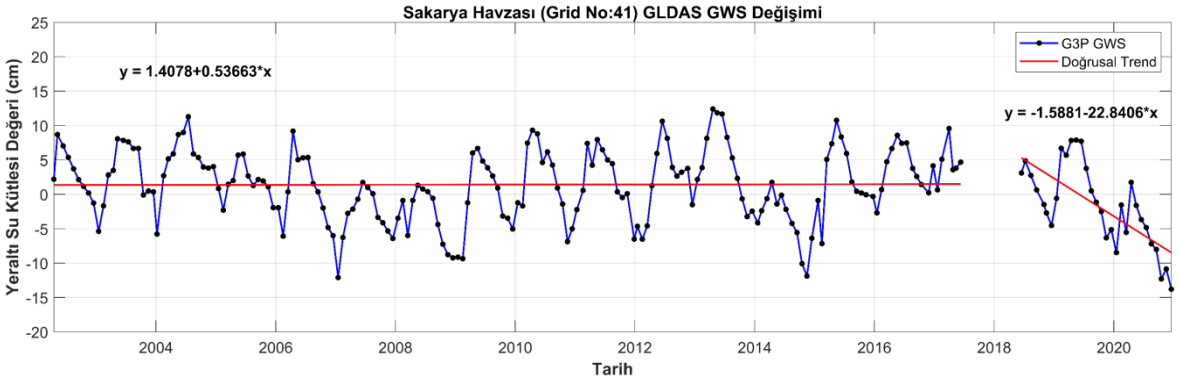
Şekil 122. 34 No'lu gride ait GLDAS GWS değişiminin zaman serisi grafiği

• Susurluk Havzası (Grid No:38), 2002 - 2017 döneminde GLDAS GWS verilerinde -5.11 ± 8.78 cm/ay'lık azalış; 2018 - 2020 döneminde ise 5.00 ± 4.96 cm/ay'lık artış eğilimi gösterdiği görülmektedir. Şubat 2006, Ocak - Aralık 2007, Şubat 2009 ve Aralık 2018'de düşük değerler alarak Türkiye'de yaşanan kuraklığı doğrular nitelikte olduğu görülmektedir (Şekil 123).



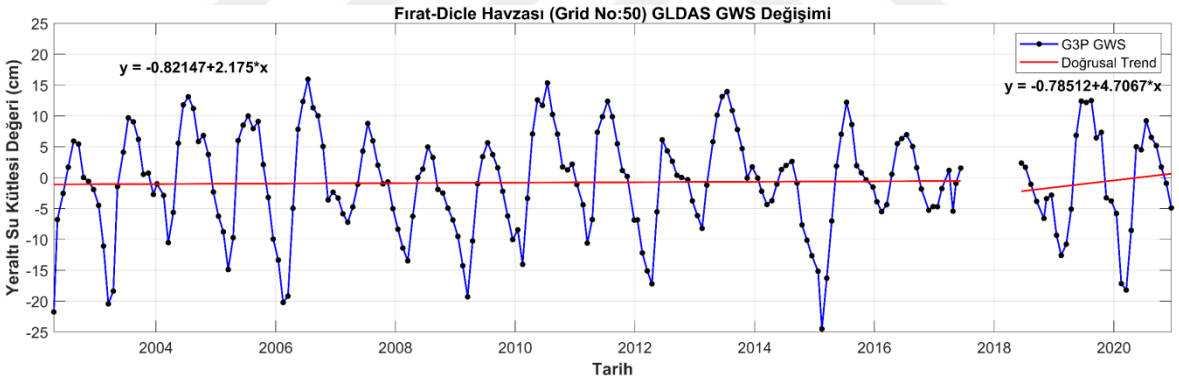
Şekil 123. 38 No'lu gride ait GLDAS GWS değişiminin zaman serisi grafiği

• Sakarya Havzası (Grid No:41), 2002 - 2017 döneminde GLDAS GWS verilerinde 0.54 ± 8.48 cm/ay'lık artış; 2018 - 2020 döneminde ise -22.84 ± 7.36 cm/ay'lık azalış eğilimi gösterdiği görülmektedir. Ocak 2007, Kasım 2014 ve Aralık 2020'de düşük değerler alarak Türkiye'de yaşanan kuraklığı doğrular nitelikte olduğu görülmektedir. 2018 yılından itibaren ise sürekli bir azalış eğilimine sahip olduğu görülmektedir (Şekil 124).



Şekil 124. 41 No'lu gride ait GLDAS GWS değişiminin zaman serisi grafiği

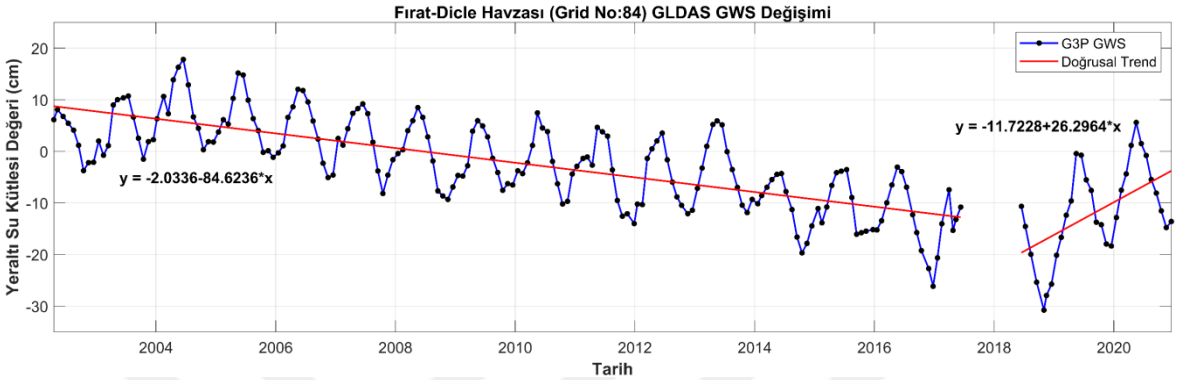
• Fırat-Dicle Havzası (Grid No:50), 2002 - 2017 döneminde GLDAS GWS verilerinde 2.18 ± 13.57 cm/ay'lık; 2018 - 2020 döneminde ise 4.71 ± 14.18 cm/ay'lık artış eğilimi gösterdiği görülmektedir. Şubat 2006, Mart 2009, Nisan 2012, Şubat 2015 ve Mart 2020'de düşük değerler alarak Türkiye'de yaşanan kuraklığı doğrular nitelikte olduğu görülmektedir. Ayrıca en artış ve azalışlar büyük farklar oluşturarak meydana gelmiştir (Şekil 125).



Şekil 125. 50 No'lu gride ait GLDAS GWS değişiminin zaman serisi grafiği

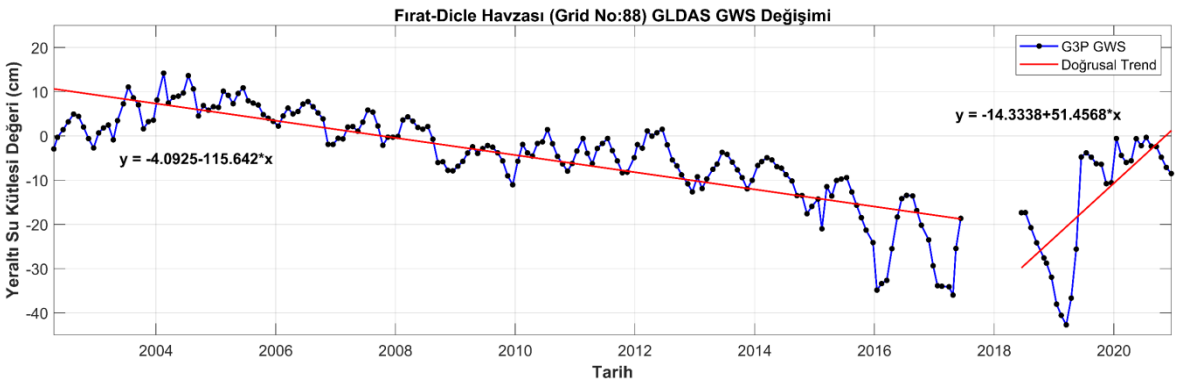
• Fırat-Dicle Havzası (Grid No:84), 2002 - 2017 döneminde GLDAS GWS verilerinde -84.62 ± 9.44 cm/ay'lık azalış; 2018 - 2020 döneminde ise 26.30 ± 13.35 cm/ay'lık artış eğilimi gösterdiği görülmektedir. 2002 - 2017 döneminde sık sık artış ve azalış yaşanmaktadır. En yüksek ve en düşük değerler arasındaki farkların yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca bölgedeki su kaynaklarında ciddi azalışların yaşandığı görülmektedir. Grid Fırat-Dicle Havzası'nın güneyinde kalmaktadır. Batısında yer alan gride göre çok daha yüksek değerde azalış eğilimi göstermesi Türkiye'nin Güneydoğu Bölgelerinde su kaynaklarındaki su kıtlığı ile paralel sonuç çıkarmaktadır. Bu bölgede 2018 yılından itibaren

hesaplanan trendin artış eğilimi göstermesi, 2018 yılından itibaren hesaplanan kısa dönemli (31 ay) trend analizlerinin uzun dönemlik yorumların yapılmasında sorun teşkil edeceği sonucunu ortaya çıkarmaktadır. Tüm bu yorumlar griddeki G3P ve GLDAS GWS verilerinin uyumlu olduğunu göstermektedir (Şekil 126).



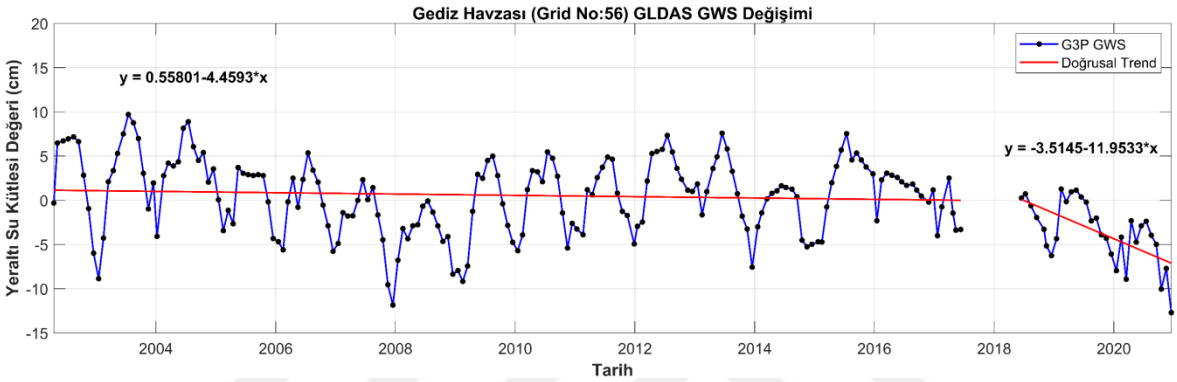
Şekil 126. 84 No'lu gride ait GLDAS GWS değişiminin zaman serisi grafiği

• Fırat-Dicle Havzası (Grid No:88), 2002 - 2017 döneminde GLDAS GWS verilerinde -115.64 ± 9.38 cm/ay'lık azalış; 2018 - 2020 döneminde ise 51.46 ± 16.57 cm/ay'lık artış eğilimi gösterdiği görülmektedir. G3P ile karşılaştırıldığında arada iki katına kadar değer farkının var olduğu görülmektedir. Ancak elde edilen eğilimler benzemektedir. Yaşanan azalışın ciddi boyutta olduğu G3P verisinin de bu değerleri destekleyecek şekilde sonuç vermesi Fırat - Dicle bölgesi adına endişe vericidir. Ayrıca yakın zamanda Fırat-Dicle için en kurak geçen 2016 - 2020 dönemidir (Şekil 127).



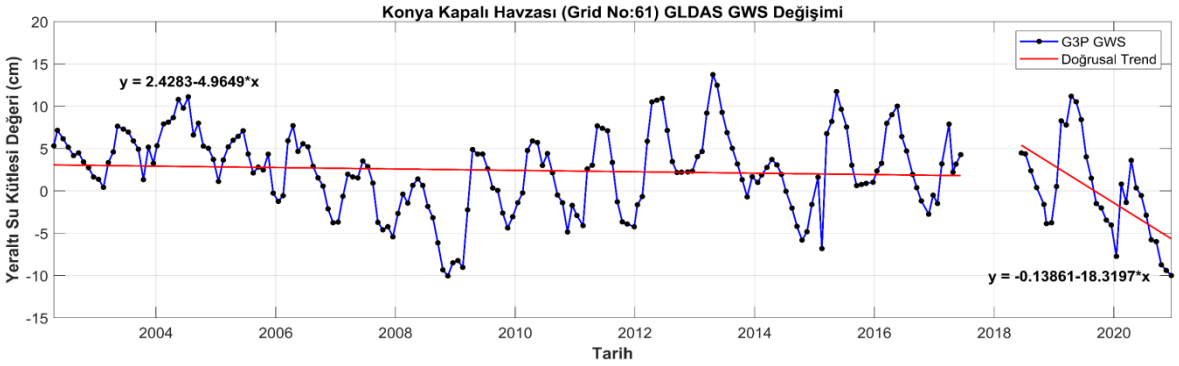
Şekil 127. 88 No'lu gride ait GLDAS GWS değişiminin zaman serisi grafiği

• Gediz Havzası (Grid No:56), 2002 - 2017 döneminde GLDAS GWS verilerinde -4.46 ± 6.92 cm/ay'lık; 2018 - 2020 döneminde ise -11.95 ± 4.73 cm/ay'lık azalış eğilimi gösterdiği görülmektedir. Aralık 2007, Aralık 2013 ve Aralık 2018'de düşük değer alarak Türkiye'de yaşanan kuraklığı doğrular nitelikte olduğu görülmektedir. 2002 - 2017 döneminde sık sık artış ve azalış yaşanmaktadır. 2018 yılından itibaren ise sürekli bir azalış eğilimine sahip olduğu görülmektedir. G3P GWS değişimiyle uyumlu sonuçlar olduğu görülmüştür (Şekil 128).



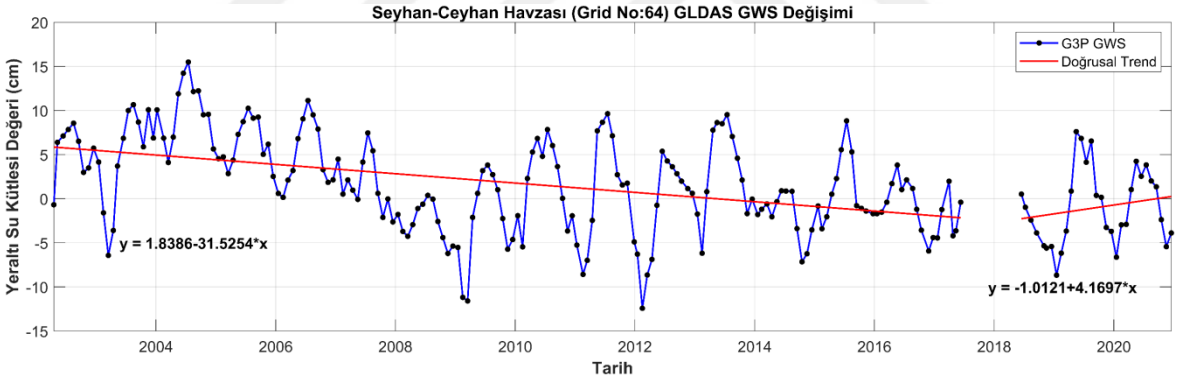
Şekil 128. 56 No'lu gride ait GLDAS GWS değişiminin zaman serisi grafiği

• Konya Kapalı Havzası (Grid No:61), 2002 - 2017 döneminde GLDAS GWS verilerinde -4.96 ± 7.60 cm/ay'lık; 2018 - 2020 döneminde ise -18.32 ± 8.03 cm/ay'lık azalış eğilimi gösterdiği görülmektedir. Kasım 2008, Şubat 2015 ve Ocak 2020'de düşük değer alarak Türkiye'de yaşanan kuraklığı doğrular nitelikte olduğu görülmektedir. 2002 - 2017 döneminde sık sık artış ve azalış yaşanmaktadır. Ayrıca Nisan 2012'de en yüksek TWS değerini almıştır (Şekil 129).



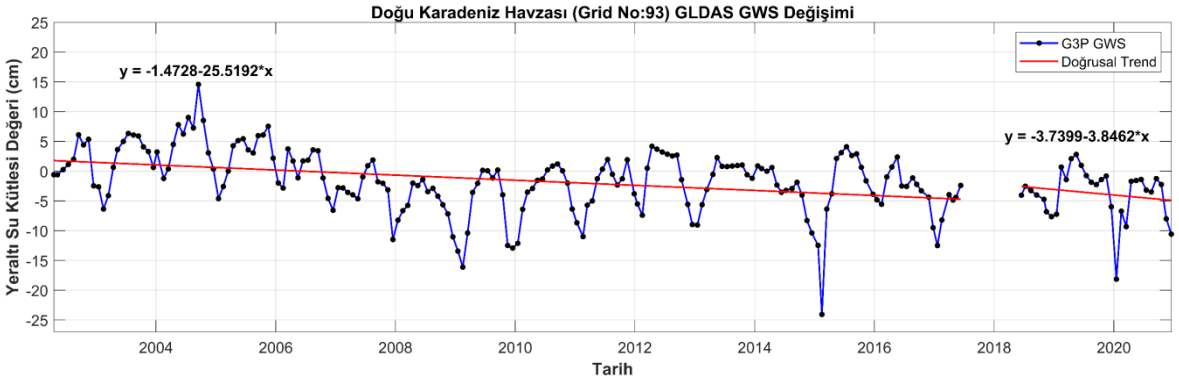
Şekil 129. 61 No'lu gride ait GLDAS GWS değişiminin zaman serisi grafiği

• Seyhan-Ceyhan Havzası (Grid No:64), 2002 - 2017 döneminde GLDAS GWS verilerinde -31.53 ± 8.03 cm/ay'lık azalış; 2018 - 2020 döneminde ise 4.17 ± 7.31 cm/ay'lık artış eğilimi gösterdiği görülmektedir. Mart 2003, Mart 2009, Şubat 2012 ve Ocak 2019'da düşük değer alarak Türkiye'de yaşanan kuraklığı doğrular nitelikte olduğu görülmektedir. 2002 - 2017 döneminde sık sık artış ve azalış yaşanmaktadır (Şekil 130).



Şekil 130. 64 No'lu gride ait GLDAS GWS değişiminin zaman serisi grafiği

• Doğu Akdeniz Havzası (Grid No:93), 2002 - 2017 döneminde GLDAS GWS verilerinde -25.52 ± 8.04 cm/ay'lık; 2018 - 2020 döneminde ise -3.85 ± 7.18 cm/ay'lık azalış eğilimi gösterdiği görülmektedir. Kasım 2008, Şubat 2015, Aralık 2016 ve Kasım 2018'de düşük değer alarak Türkiye'de yaşanan kuraklığı doğrular nitelikte olduğu görülmektedir. 2002 - 2017 döneminde sık sık artış ve azalış yaşanmaktadır (Şekil 131).



Şekil 131. 93 No'lu gride ait GLDAS GWS değişiminin zaman serisi grafiği

Bu bölümde uygulanan G3P ve GLDAS GWS zaman serilerinde basit doğrusal regresyon modeli trend hesabından sonra sırasıyla;

- Eşitlik 39 - Eşitlik 42 ile regresyon katsayılarının anlamlılık testi
- Eşitlik 43 - Eşitlik 46 ile varyansların eşdeğerlik testi,
- Eşitlik 47 - Eşitlik 50 ile regresyon katsayılarının eşdeğerlik testi

uygulanmıştır.

Regresyon katsayılarının anlamlılık testinden elde edilen sonuçlara göre; belirli havzalara ait gridlerde anlamsız katsayı sonucu elde edilmiştir. G3P GWS verilerinde 2002 - 2017 döneminde 7, 28, 38, 41 ve 56 No'lu gridlerden elde edilen a_1 trend katsayılarının %95 istatistik güven içerisinde t testi dağılımına göre anlamsız olduğu tespit edilmiştir. G3P GWS verilerinde 2018-2020 döneminde 28, 31, 38, 61, 64 ve 93 No'lu gridlerden elde edilen a_1 trend katsayılarının %95 istatistik güven içerisinde t testi dağılımına göre anlamsız olduğu tespit edilmiştir. GLDAS GWS verilerinde 2002-2017 döneminde 7, 28, 38, 41, 50, 56 ve 61 No'lu gridlerden elde edilen a_1 trend katsayılarının %95 istatistik güven içerisinde t testi dağılımına göre anlamsız olduğu tespit edilmiştir. GLDAS GWS verilerinde 2018 - 2020 döneminde 2, 7, 28, 34, 50, 64 ve 93 No'lu gridlerden elde edilen a_1 trend katsayılarının %95 istatistik güven içerisinde t testi dağılımına göre anlamsız olduğu tespit edilmiştir (Tablo 20).

Varyansların eşdeğerlik testinden elde edilen sonuçlara göre; 2002-2017 döneminde 2, 7, 28, 31, 34, 50, 56, 61 ve 64 No'lu; 2018-2020 dönemine bakıldığında ise sadece 38, 56 ve 64 No'lu gridlerinden elde edilen sonuçların eşdeğer olmadığı tespit edilmiştir. (Tablo 21).

Regresyon katsayılarının eşdeğerlik testinden elde edilen sonuçlara göre 2002 - 2017 döneminde 2, 7, 28, 31, 34, 50, 56, 61 ve 64 No'lu; 2018-2020 dönemine bakıldığında ise sadece 2, 38, 56 ve 64 No'lu gridlerinden elde edilen sonuçların eşdeğer olmadığı tespit edilmiştir. (Tablo 22).

Tablo 20. GWS verilerinin trend anlamlılık testi tablosu

G3P																						
havza no	2002-2017											2018-2020										
	a0	a1	m0	ma0	Tma0	ma1	Tma1	a1_sınır	a0	a1	t tablo değeri	a0	a1	m0	ma0	Tma0	ma1	Tma1	a1_sınır	a0	a1	t tablo değeri
2	0.95	8.44	4.40	0.33	39.35	4.40	1.92	7.28	**anlamlı**	**anlamlı**	1.65	-4.45	-15.08	3.79	0.68	36.42	3.79	3.98	6.43	**anlamlı**	**anlamlı**	1.70
7	0.91	2.84	4.88	0.36	34.00	4.88	0.58	8.07	**anlamlı**	**anlamsız**	1.65	-4.17	-10.94	3.74	0.67	34.60	3.74	2.93	6.35	**anlamlı**	**anlamlı**	1.70
28	0.98	-4.96	5.38	0.40	33.36	5.38	0.92	8.89	**anlamlı**	**anlamsız**	1.65	-4.72	-3.08	4.94	0.89	29.58	4.94	0.62	8.40	**anlamlı**	**anlamsız**	1.70
31	0.42	10.20	5.81	0.43	13.32	5.81	1.75	9.61	**anlamlı**	**anlamlı**	1.65	-1.20	4.47	6.00	1.08	6.22	6.00	0.75	10.19	**anlamlı**	**anlamsız**	1.70
34	0.13	21.68	5.06	0.37	4.75	5.06	4.28	8.37	**anlamlı**	**anlamlı**	1.65	0.30	6.58	5.16	0.93	1.82	5.16	1.28	8.77	**anlamlı**	**anlamsız**	1.70
38	1.56	-0.17	4.72	0.35	60.37	4.72	0.04	7.80	**anlamlı**	**anlamsız**	1.65	-7.91	-12.89	4.72	0.85	51.93	4.72	2.73	8.02	**anlamlı**	**anlamlı**	1.70
41	1.62	-5.40	5.24	0.39	56.70	5.24	1.03	8.66	**anlamlı**	**anlamsız**	1.65	-8.35	-12.29	5.00	0.90	51.74	5.00	2.46	8.50	**anlamlı**	**anlamlı**	1.70
50	0.42	-11.51	6.22	0.46	12.40	6.22	1.85	10.29	**anlamlı**	**anlamlı**	1.65	-1.82	13.17	7.12	1.28	7.92	7.12	1.85	12.10	**anlamlı**	**anlamlı**	1.70
56	1.56	-2.05	4.81	0.36	59.19	4.81	0.43	7.95	**anlamlı**	**anlamsız**	1.65	-7.96	-11.14	4.94	0.89	50.00	4.94	2.26	8.39	**anlamlı**	**anlamlı**	1.70
61	1.62	-17.20	5.77	0.43	51.36	5.77	2.98	9.53	**anlamlı**	**anlamlı**	1.65	-8.73	-7.11	5.47	0.98	49.45	5.47	1.30	9.30	**anlamlı**	**anlamsız**	1.70
64	1.44	-39.46	5.82	0.43	45.32	5.82	6.78	9.62	**anlamlı**	**anlamlı**	1.65	-8.45	4.19	6.09	1.09	43.03	6.09	0.69	10.35	**anlamlı**	**anlamsız**	1.70
84	0.96	-75.17	6.22	0.46	28.15	6.22	12.08	10.28	**anlamlı**	**anlamlı**	1.65	-6.88	20.33	7.47	1.34	28.55	7.47	2.72	12.69	**anlamlı**	**anlamlı**	1.70
88	0.20	-68.67	5.61	0.41	6.41	5.61	12.23	9.28	**anlamlı**	**anlamlı**	1.65	-3.25	23.24	7.24	1.30	13.90	7.24	3.21	12.31	**anlamlı**	**anlamlı**	1.70
93	0.85	-16.18	4.73	0.35	33.01	4.73	3.42	7.82	**anlamlı**	**anlamlı**	1.65	-4.86	-2.53	4.55	0.82	33.09	4.55	0.56	7.73	**anlamlı**	**anlamsız**	1.70
GLDAS																						
havza no	2002-2017											2018-2020										
	a0	a1	m0	ma0	Tma0	ma1	Tma1	a1_sınır	a0	a1	t tablo değeri	a0	a1	m0	ma0	Tma0	ma1	Tma1	a1_sınır	a0	a1	t tablo değeri
2	0.05	15.72	6.80	0.50	1.33	6.80	2.31	11.24	**anlamsız**	**anlamlı**	1.65	0.60	5.34	4.11	0.74	4.53	10.57	1.30	17.96	**anlamlı**	**anlamsız**	1.70
7	0.37	-10.17	8.21	0.61	8.22	8.21	1.24	13.58	**anlamlı**	**anlamsız**	1.65	-4.63	-1.91	4.80	0.86	29.92	4.80	0.40	8.16	**anlamlı**	**anlamsız**	1.70
28	3.01	10.10	6.71	0.50	82.13	6.71	1.51	11.09	**anlamlı**	**anlamsız**	1.65	3.05	1.35	4.04	0.73	23.39	4.04	0.33	6.86	**anlamlı**	**anlamsız**	1.70
31	-0.27	13.61	7.37	0.54	6.81	7.37	1.85	12.18	**anlamlı**	**anlamlı**	1.65	0.47	11.12	5.87	1.05	2.47	5.87	1.89	9.97	**anlamlı**	**anlamlı**	1.70
34	-1.11	52.51	7.82	0.58	26.08	7.82	6.72	12.93	**anlamlı**	**anlamlı**	1.65	2.11	-3.40	5.43	0.98	12.04	5.43	0.63	9.23	**anlamlı**	**anlamsız**	1.70
38	0.19	-5.11	5.31	0.39	6.43	5.31	0.96	8.78	**anlamlı**	**anlamsız**	1.65	-5.62	5.00	2.92	0.52	59.65	2.92	1.71	4.96	**anlamlı**	**anlamlı**	1.70
41	1.41	0.54	5.13	0.38	50.20	5.13	0.10	8.48	**anlamlı**	**anlamsız**	1.65	-1.59	-22.84	4.33	0.78	11.37	4.33	5.28	7.36	**anlamlı**	**anlamlı**	1.70
50	-0.82	2.18	8.21	0.61	18.31	8.21	0.26	13.57	**anlamlı**	**anlamsız**	1.65	-0.79	4.71	8.34	1.50	2.92	8.34	0.56	14.18	**anlamlı**	**anlamsız**	1.70
56	0.56	-4.46	4.18	0.31	24.41	4.18	1.07	6.92	**anlamlı**	**anlamsız**	1.65	-3.51	-11.95	2.79	0.50	39.12	2.79	4.29	4.73	**anlamlı**	**anlamlı**	1.70
61	2.43	-4.96	4.60	0.34	96.70	4.60	1.08	7.60	**anlamlı**	**anlamsız**	1.65	-0.14	-18.32	4.73	0.85	0.91	4.73	3.88	8.03	**anlamsız**	**anlamlı**	1.70
64	1.84	-31.53	4.85	0.36	69.31	4.85	6.49	8.03	**anlamlı**	**anlamlı**	1.65	-1.01	4.17	4.30	0.77	7.29	4.30	0.97	7.31	**anlamlı**	**anlamsız**	1.70
84	-2.03	-84.62	5.71	0.42	65.17	5.71	14.82	9.44	**anlamlı**	**anlamlı**	1.65	-11.72	26.30	7.86	1.41	46.26	7.86	3.35	13.35	**anlamlı**	**anlamlı**	1.70
88	-4.09	-115.64	5.67	0.42	132.04	5.67	20.39	9.38	**anlamlı**	**anlamlı**	1.65	-14.33	51.46	9.75	1.75	45.55	9.75	5.28	16.57	**anlamlı**	**anlamlı**	1.70
93	-1.47	-25.52	4.87	0.36	55.40	4.87	5.25	8.04	**anlamlı**	**anlamlı**	1.65	-3.74	-3.85	4.23	0.76	27.42	4.23	0.91	7.18	**anlamlı**	**anlamsız**	1.70

Tablo 21. GWS verilerinin m_0^2 düzeyindeki eşdeğerlik testleri sonuçları

	2002-2017					2018-2020				
havza no	**G3P**	**GLDAS**	**Test G3P-GLDAS**	**yorum**	**F tablo değeri**	**G3P**	**GLDAS**	**Test G3P-GLDAS**	**yorum**	**F tablo değeri**
2	4.40	6.80	2.39	**eşdeğer değil**	1.28	3.79	4.11	1.18	**eşdeğer**	1.86
7	4.88	8.21	2.83	**eşdeğer değil**	1.28	3.74	4.80	1.65	**eşdeğer**	1.86
28	5.38	6.71	1.56	**eşdeğer değil**	1.28	4.94	4.04	1.50	**eşdeğer**	1.86
31	5.81	7.37	1.61	**eşdeğer değil**	1.28	6.00	5.87	1.04	**eşdeğer**	1.86
34	5.06	7.82	2.38	**eşdeğer değil**	1.28	5.16	5.43	1.11	**eşdeğer**	1.86
38	4.72	5.31	1.27	**eşdeğer**	1.28	4.72	2.92	2.61	**eşdeğer değil**	1.86
41	5.24	5.13	1.04	**eşdeğer**	1.28	5.00	4.33	1.34	**eşdeğer**	1.86
50	6.22	8.21	1.74	**eşdeğer değil**	1.28	7.12	8.34	1.37	**eşdeğer**	1.86
56	4.81	4.18	1.32	**eşdeğer değil**	1.28	4.94	2.79	3.14	**eşdeğer değil**	1.86
61	5.77	4.60	1.57	**eşdeğer değil**	1.28	5.47	4.73	1.34	**eşdeğer**	1.86
64	5.82	4.85	1.44	**eşdeğer değil**	1.28	6.09	4.30	2.00	**eşdeğer değil**	1.86
84	6.22	5.71	1.19	**eşdeğer**	1.28	7.47	7.86	1.11	**eşdeğer**	1.86
88	5.61	5.67	1.02	**eşdeğer**	1.28	7.24	9.75	1.81	**eşdeğer**	1.86
93	4.73	4.87	1.06	**eşdeğer**	1.28	4.55	4.23	1.16	**eşdeğer**	1.86

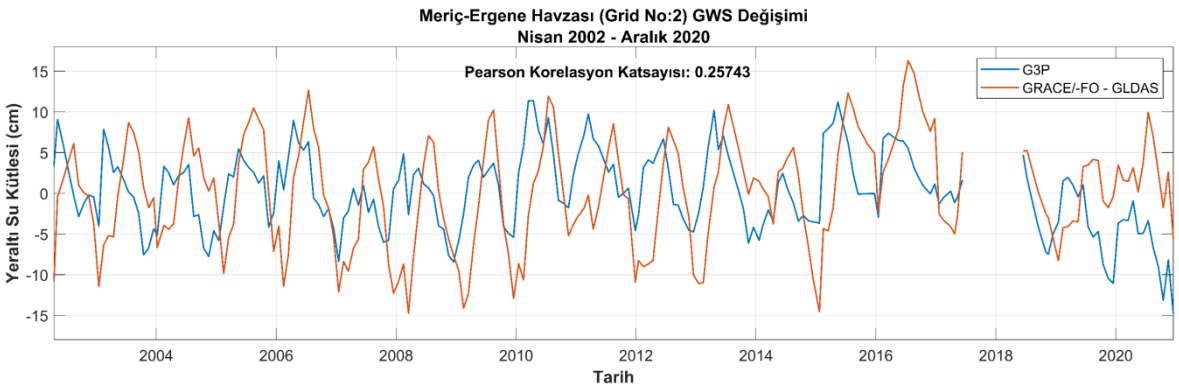
Tablo 22. GWS verilerinin $m_{a_1}^2$ düzeyindeki eşdeğerlik testleri sonuçları

havza no	2002-2017							2018-2020						
	G3P		GLDAS		Test G3P-GLDAS	yorum	F tablo değeri	G3P		GLDAS		Test G3P-GLDAS	yorum	F tablo değeri
	a1	ma1	a1	ma1				a1	ma1	a1	ma1			
2	8.44	4.40	15.72	6.80	2.39	**eşdeğer değil**	1.28	-15.08	3.79	5.34	10.57	7.80	**eşdeğer değil**	1.86
7	2.84	4.88	-10.17	8.21	2.83	**eşdeğer değil**	1.28	-10.94	3.74	-1.91	4.80	1.65	**eşdeğer**	1.86
28	-4.96	5.38	10.10	6.71	1.56	**eşdeğer değil**	1.28	-3.08	4.94	1.35	4.04	1.50	**eşdeğer**	1.86
31	10.20	5.81	13.61	7.37	1.61	**eşdeğer değil**	1.28	4.47	6.00	11.12	5.87	1.04	**eşdeğer**	1.86
34	21.68	5.06	52.51	7.82	2.38	**eşdeğer değil**	1.28	6.58	5.16	-3.40	5.43	1.11	**eşdeğer**	1.86
38	-0.17	4.72	-5.11	5.31	1.27	**eşdeğer**	1.28	-12.89	4.72	5.00	2.92	2.61	**eşdeğer değil**	1.86
41	-5.40	5.24	0.54	5.13	1.04	**eşdeğer**	1.28	-12.29	5.00	-22.84	4.33	1.34	**eşdeğer**	1.86
50	-11.51	6.22	2.18	8.21	1.74	**eşdeğer değil**	1.28	13.17	7.12	4.71	8.34	1.37	**eşdeğer**	1.86
56	-2.05	4.81	-4.46	4.18	1.32	**eşdeğer değil**	1.28	-11.14	4.94	-11.95	2.79	3.14	**eşdeğer değil**	1.86
61	-17.20	5.77	-4.96	4.60	1.57	**eşdeğer değil**	1.28	-7.11	5.47	-18.32	4.73	1.34	**eşdeğer**	1.86
64	-39.46	5.82	-31.53	4.85	1.44	**eşdeğer değil**	1.28	4.19	6.09	4.17	4.30	2.00	**eşdeğer değil**	1.86
84	-75.17	6.22	-84.62	5.71	1.19	**eşdeğer**	1.28	20.33	7.47	26.30	7.86	1.11	**eşdeğer**	1.86
88	-68.67	5.61	-115.64	5.67	1.02	**eşdeğer**	1.28	23.24	7.24	51.46	9.75	1.81	**eşdeğer**	1.86
93	-16.18	4.73	-25.52	4.87	1.06	**eşdeğer**	1.28	-2.53	4.55	-3.85	4.23	1.16	**eşdeğer**	1.86

2.4.4. G3P ve GLDAS Model Verileriyle Elde Edilen/Hesaplanan GWS Verilerinin Korelasyon Analizi

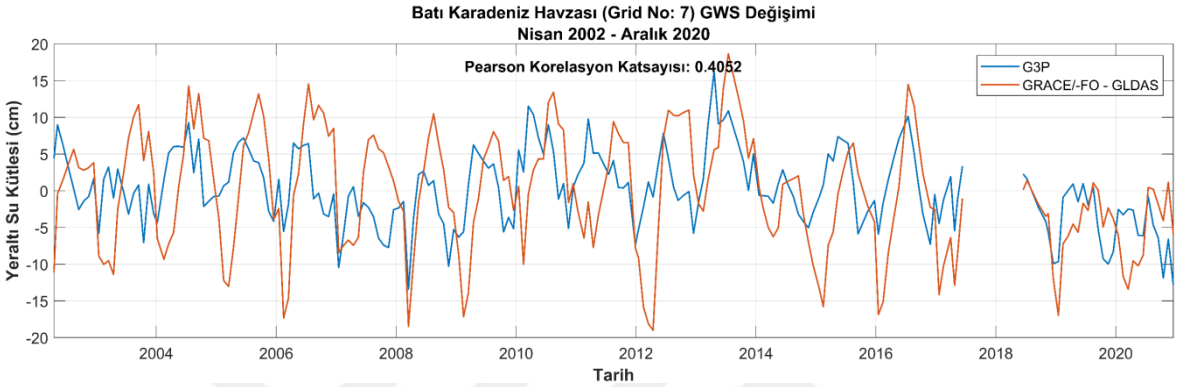
Bölüm 2.4.1 ve Bölüm 2.4.2'de G3P ve GLDAS tabanlı GWS verilerine trend analizi yapıldıktan sonra Bölüm 1.8.3'te anlatıldığı iki veri arasındaki ilişkiyi analiz etmek amacıyla korelasyon analizi yapılmıştır. Korelasyon analizinde Eşitlik 53 kullanılarak Pearson Korelasyon Katsayıları hesaplanmıştır. Buna göre G3P ve GLDAS tabanlı GWS verileri korelasyon analiz sonuçları havzalara göre değerlendirilmiştir.

• Meriç-Ergene Havzası (Grid No:2), 0.26 Pearson Korelasyon Katsayısı ile en düşük korelasyon değerine sahip olmakla beraber GLDAS tabanlı GWS ve G3P GWS verilerinin birbirine göre ötelenmiş sonuçlar olarak görülmektedir. Ayrıca 2018 - 2020 döneminde iki veri birbirine zıt eğilimde oldukları gözlenmiştir. Aralarındaki korelasyon zayıf olarak nitelendirilebilir (Şekil 132).



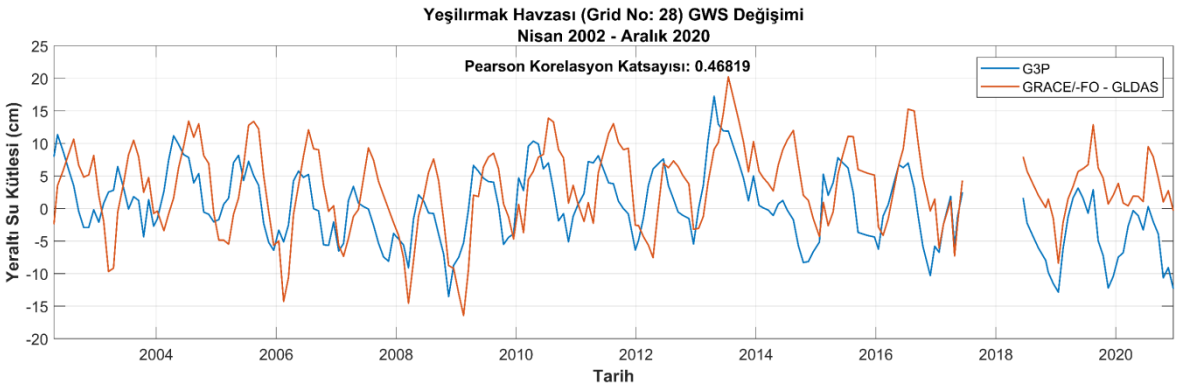
Şekil 132. 2 No'lu gride ait G3P ve GLDAS tabanlı GWS değişiminin zaman serisi grafiği

• Batı Karadeniz Havzası (Grid No: 7), 0.41 Pearson Korelasyon Katsayısı ile düşük korelasyon değerine sahip olmakla beraber GLDAS tabanlı GWS ve G3P GWS verilerinin birbirine göre ötelenmiş sonuçlar olarak görülmektedir. Ayrıca genlik farkının da var olduğu görülmektedir. 2020 yılının son aylarında birbirine zıt yönde eğilimde oldukları görülmektedir. Aralarındaki korelasyon orta seviye olarak nitelendirilebilir (Şekil 133).



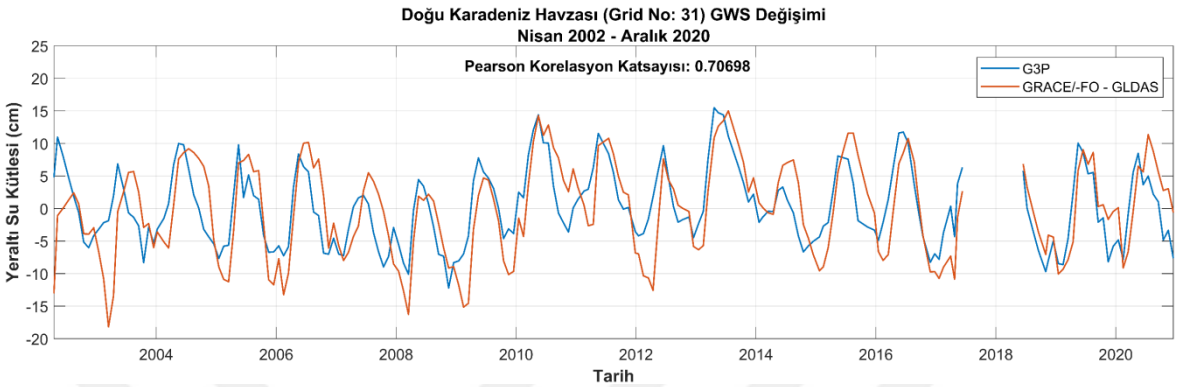
Şekil 133. 7 No'lu gride ait G3P ve GLDAS tabanlı GWS değişiminin zaman serisi grafiği

• Yeşilırmak Havzası (Grid No: 28), 0.47 Pearson Korelasyon Katsayısı ile düşük korelasyon değerine sahip olmakla beraber GLDAS tabanlı GWS verilerinin G3P GWS verilerine göre ötelenmiş sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca genlik farkının da var olduğu görülmektedir. Aralarındaki korelasyon orta seviye olarak nitelendirilebilir (Şekil 134).



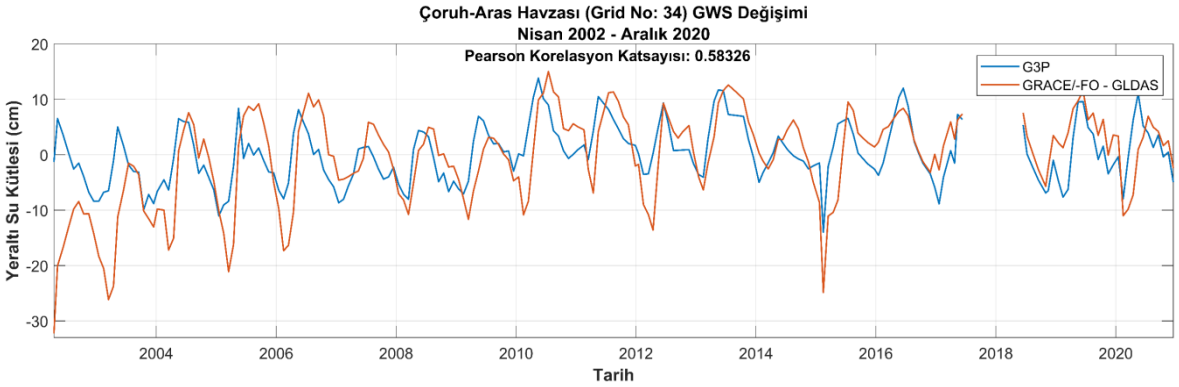
Şekil 134. 28 No'lu gride ait G3P ve GLDAS tabanlı GWS değişiminin zaman serisi grafiği

• Doğu Karadeniz Havzası (Grid No: 31), 0.71 Pearson Korelasyon Katsayısı ile yüksek korelasyon değerine sahip olmakla beraber GLDAS tabanlı GWS ile G3P GWS verileri arasında güçlü bir ilişkinin olduğu söylenebilir (Şekil 135).



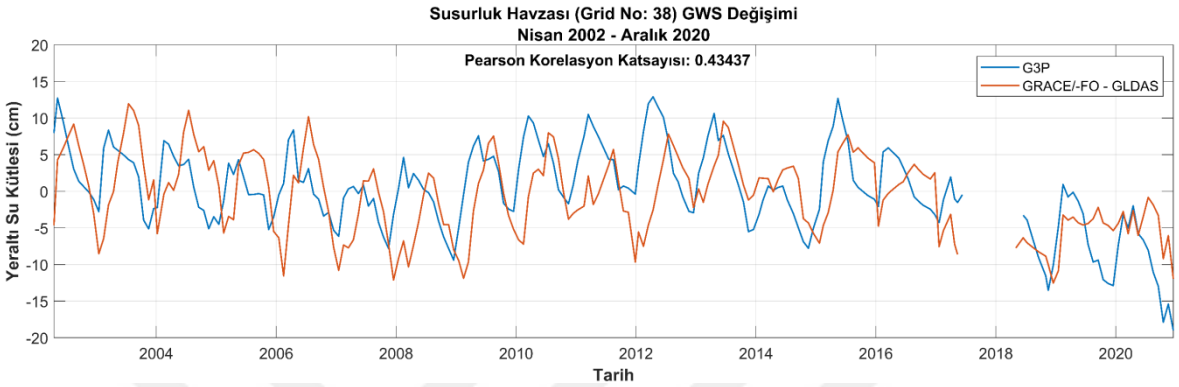
Şekil 135. 31 No'lu gride ait G3P ve GLDAS tabanlı GWS değişiminin zaman serisi grafiği

• Çoruh-Aras Havzası (Grid No: 34), 0.58 Pearson Korelasyon Katsayısı ile yüksek korelasyon değerine sahip olmakla beraber GLDAS tabanlı GWS ile G3P GWS verileri arasında orta seviyede bir ilişkinin olduğu söylenebilir. 2002 - 2017 döneminde verilerin arasında genlik farkının ve veriler arasında ötelemenin olduğu görülmektedir. Ancak 2018 - 2020 döneminde verilerin hem genlik hem de öteleme sorununun olmadığı görülmektedir (Şekil 136).



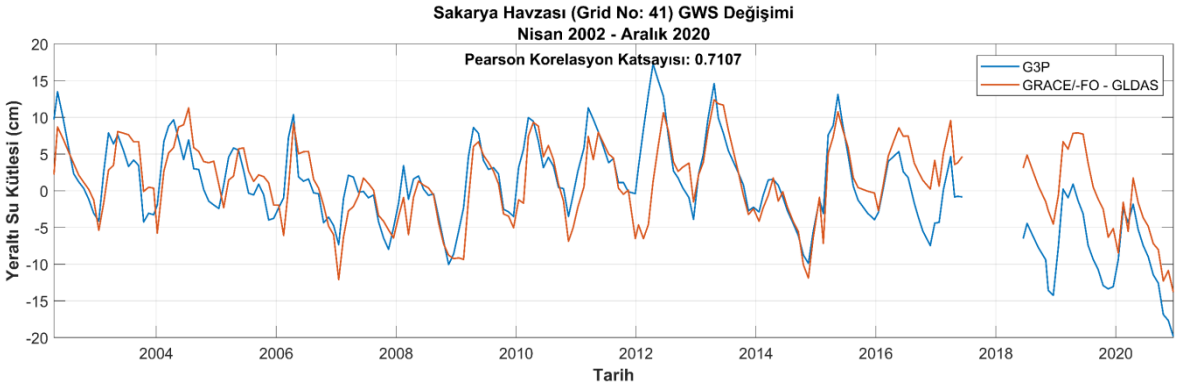
Şekil 136. 34 No'lu gride ait G3P ve GLDAS tabanlı GWS değişiminin zaman serisi grafiği

• Susurluk Havzası (Grid No: 38), 0.43 Pearson Korelasyon Katsayısı ile düşük korelasyon değerine sahip olmakla beraber GLDAS tabanlı GWS ve G3P GWS verilerinin birbirine göre ötelenmiş sonuçlar olarak görülmektedir. Ayrıca genlik farkının da var olduğu görülmektedir. Aralarındaki korelasyon orta seviye olarak nitelendirilebilir (Şekil 137).



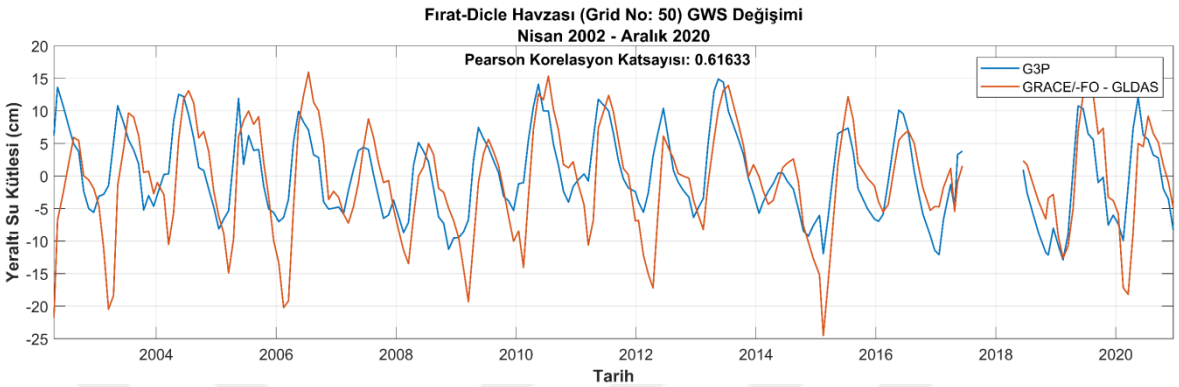
Şekil 137. 38 No'lu gride ait G3P ve GLDAS tabanlı GWS değişiminin zaman serisi grafiği

• Sakarya Havzası (Grid No: 41), 0.71 Pearson Korelasyon Katsayısı ile yüksek korelasyon değerine sahip olmakla beraber GLDAS tabanlı GWS ile G3P GWS verileri arasında güçlü bir ilişkinin olduğu söylenebilir (Şekil 138).



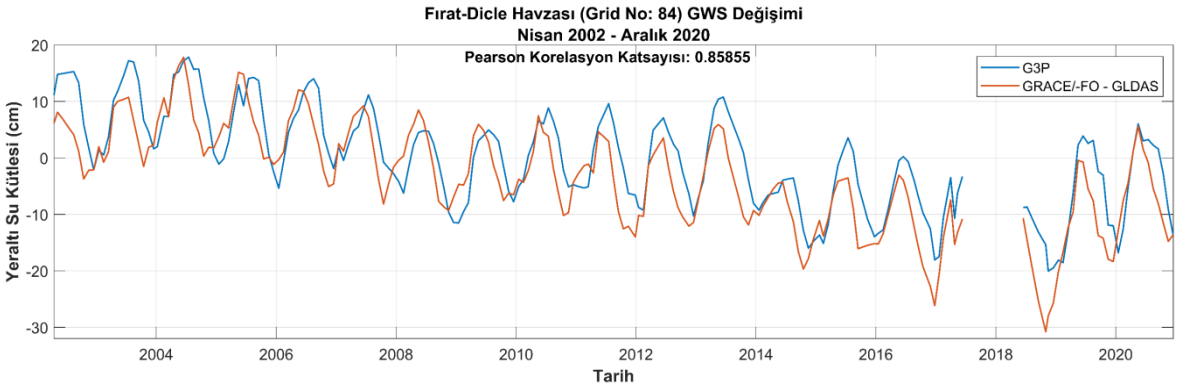
Şekil 138. 41 No'lu gride ait G3P ve GLDAS tabanlı GWS değişiminin zaman serisi grafiği

• Fırat-Dicle Havzası (Grid No: 50), 0.62 Pearson Korelasyon Katsayısı ile yüksek korelasyon değerine sahip olmakla beraber GLDAS tabanlı GWS ile G3P GWS verileri arasında güçlü bir ilişkinin olduğu söylenebilir (Şekil 139).



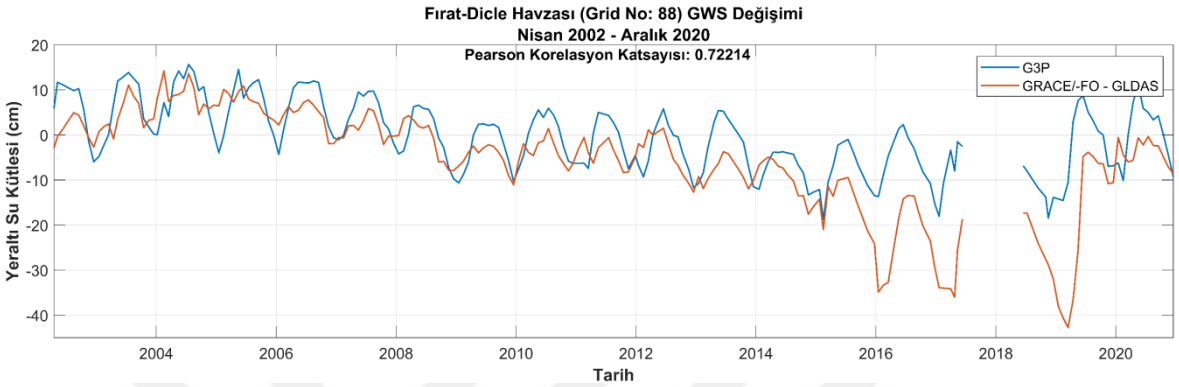
Şekil 139. 50 No'lu gride ait G3P ve GLDAS tabanlı GWS değişiminin zaman serisi grafiği

• Fırat-Dicle Havzası (Grid No: 84), 0.86 Pearson Korelasyon Katsayısı ile yüksek korelasyon değerine sahip olmakla beraber GLDAS tabanlı GWS ile G3P GWS verileri arasında güçlü bir ilişkinin olduğu söylenebilir (Şekil 140).



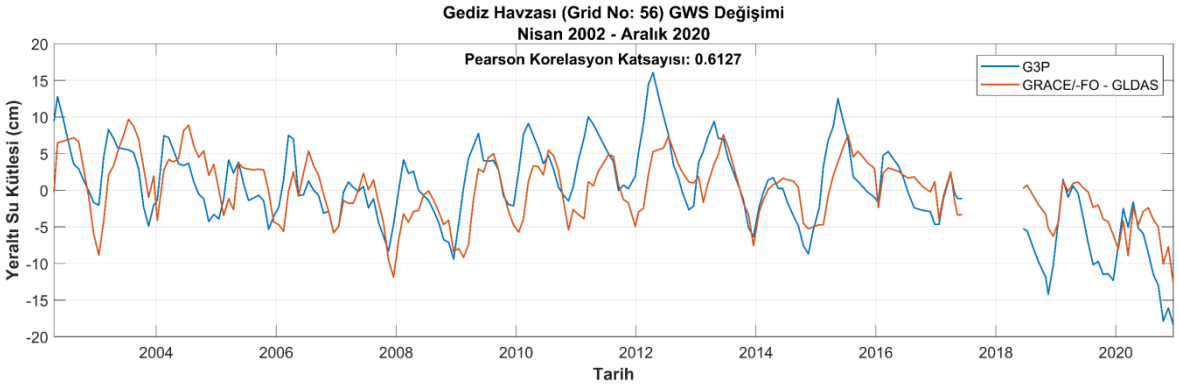
Şekil 140. 84 No'lu gride ait G3P ve GLDAS tabanlı GWS değişiminin zaman serisi grafiği

• Fırat-Dicle Havzası (Grid No: 88), 0.72 Pearson Korelasyon Katsayısı ile yüksek korelasyon değerine sahip olmakla beraber GLDAS tabanlı GWS ile G3P GWS verileri arasında güçlü bir ilişkinin olduğu söylenebilir. Ancak 2015 sonrası değerler arasında sapmalar da mevcuttur (Şekil 141).



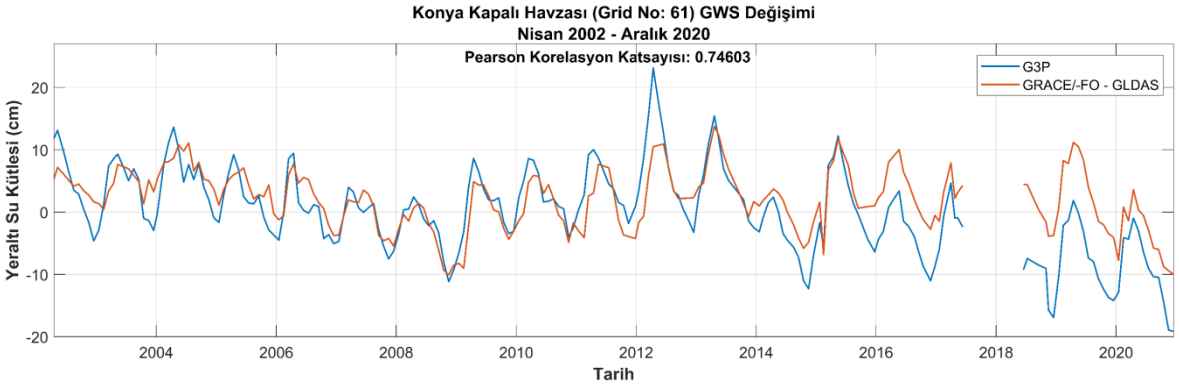
Şekil 141. 88 No'lu gride ait G3P ve GLDAS tabanlı GWS değişiminin zaman serisi grafiği

• Gediz Havzası (Grid No: 56), 0.61 Pearson Korelasyon Katsayısı ile yüksek korelasyon değerine sahip olmakla beraber GLDAS tabanlı GWS ile G3P GWS verileri arasında güçlü bir ilişkinin olduğu söylenebilir (Şekil 142).



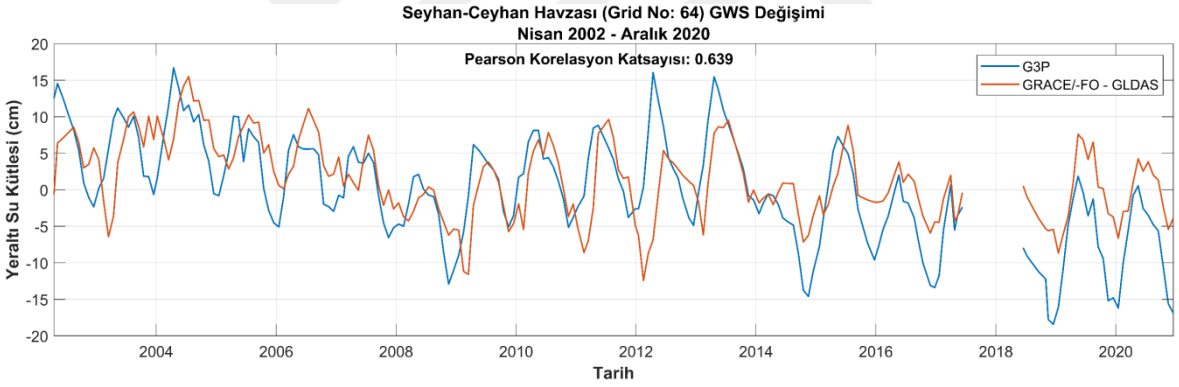
Şekil 142. 56 No'lu gride ait G3P ve GLDAS tabanlı GWS değişiminin zaman serisi grafiği

• Konya Kapalı Havzası (Grid No: 61), 0.75 Pearson Korelasyon Katsayısı ile yüksek korelasyon değerine sahip olmakla beraber GLDAS tabanlı GWS ile G3P GWS verileri arasında güçlü bir ilişkinin olduğu söylenebilir. 2018 itibariyle veriler arasında daha fazla farklılıklar meydana gelmiştir (Şekil 143).



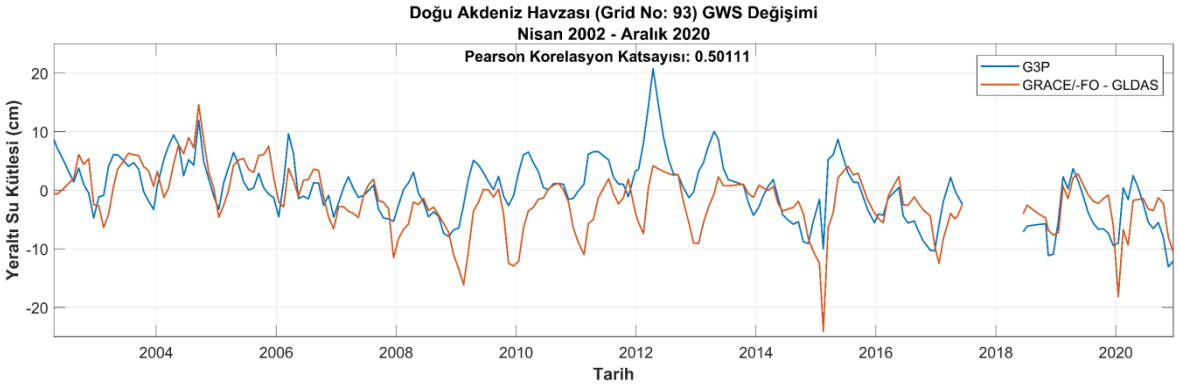
Şekil 143. 61 No'lu gride ait G3P ve GLDAS tabanlı GWS değişiminin zaman serisi grafiği

• Seyhan-Ceyhan Havzası (Grid No: 64), 0.64 Pearson Korelasyon Katsayısı ile yüksek korelasyon değerine sahip olmakla beraber GLDAS tabanlı GWS ile G3P GWS verileri arasında güçlü bir ilişkinin olduğu söylenebilir (Şekil 144).



Şekil 144. 64 No'lu gride ait G3P ve GLDAS tabanlı GWS değişiminin zaman serisi grafiği

• Doğu Akdeniz Havzası (Grid No: 93), 0.50 Pearson Korelasyon Katsayısı ile yüksek korelasyon değerine sahip olmakla beraber GLDAS tabanlı GWS ile G3P GWS verileri arasında orta seviyede bir ilişkinin olduğu söylenebilir (Şekil 112). Özelikle 2008 - 2015 yılına bakıldığında verilerin arasında genlik farkının ve veriler arasında ötelemenin olduğu görülmektedir (Şekil 145).



Şekil 145. 93 No'lu gride ait G3P ve GLDAS tabanlı GWS değişiminin zaman serisi grafiği

G3P ve GLDAS GWS verileri arasındaki korelasyon değerleri hesaplanmasının ardından Bölüm 1.8.3'de de anlatıldığı üzere Eşitlik 54 - 57 kullanılarak korelasyon katsayılarının anlamlılık testleri gerçekleştirilmiştir. Tablo 19'da görüleceği üzere elde edilen Pearson korelasyon katsayılarının tüm gridlerde anlamlı sonuç verdiği tespit edilmiştir.

Tablo 23. G3P ve GLDAS tabanlı elde edilen GWS değerleri arasındaki korelasyon değerleri ve anlamlılık test sonuçları

GWS				
havza no	**Korelasyon Katsayısı (rxy)**	**Test rxy**	**rxy anlamlılık**	**t tablo değeri**
2	0.26	3.88	**anlamlı**	1.65
7	0.41	6.45	**anlamlı**	1.65
28	0.47	7.71	**anlamlı**	1.65
31	0.71	14.56	**anlamlı**	1.65
34	0.58	10.46	**anlamlı**	1.65
38	0.43	7.00	**anlamlı**	1.65
41	0.71	14.71	**anlamlı**	1.65
50	0.62	11.40	**anlamlı**	1.65
56	0.61	11.29	**anlamlı**	1.65
61	0.75	16.31	**anlamlı**	1.65
64	0.64	12.10	**anlamlı**	1.65
84	0.86	24.38	**anlamlı**	1.65
88	0.72	15.20	**anlamlı**	1.65
93	0.50	8.43	**anlamlı**	1.65

2.4.5. G3P ve GLDAS GWS Farklarının Analizi

G3P ve GLDAS modellerinden elde edilen aylık GWS zaman serilerindeki farkları incelemek için, her iki yöntemden elde edilen GWS farklarının mutlak değerleri üzerinden maksimum, minimum ve ortalama hesaplanmıştır. Tablo 20'de da görüleceği üzere iki veri arasındaki farklar en çok 12 cm ve 31 cm arasında değişmektedir. Ortalama iki veri arasındaki farklar yaklaşık 5 cm olarak hesaplanmıştır. En fazla fark 34 ve 88 No'lu gridde çok yüksek farklar görülmüştür.

Tablo 24. G3P GWS ve GLDAS tabanlı GWS verileri arasında hesaplanan fark değerlerinin istatistikleri

havza no	Minimum Değer (cm)	Maksimum Değer (cm)	Ortalama Değer (cm)
2	0.0613	16.3778	6.0617
7	0.1120	19.3091	6.3823
28	0.0140	13.6045	5.9805
31	0.1236	17.8444	4.2134
34	0.0165	30.9430	5.1151
38	0.0729	16.5782	5.0499
41	0.0150	17.7299	3.4397
50	0.0206	27.9789	5.0905
56	0.0048	12.2469	3.7377
61	0.0003	13.7344	3.8234
64	0.0146	22.9319	4.6076
84	0.0018	15.4066	4.6745
88	0.0544	39.5967	6.9176
93	0.0091	16.5761	4.1804

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

GRACE/-FO uydu misyonları sayesinde küresel ölçekte su kütlesinin değişiminin izlenmesi mümkündür. Bizlere sağladığı TWS verileri ile GRACE/-FO misyonlarının sağladığı konumsal çözünürlük (1 derece enlem × 1 derece boylam, 0.5 derece enlem × 0.5 derece boylam) dahilinde istenilen bölgede, GRACE/-FO misyonlarının veri sağladığı periyotlarda (2002 - devam) yeraltı su kütlesi hakkında bilgiler edinilebilir. Yapılan bu çalışmada, GRACE/-FO tabanlı TWS ve GWS verileri kullanılarak Türkiye'de DSI kayıtlarına göre tanımlı 25 havzaya denk gelen 14 gridde 2002 - 2023 döneminde zaman serisi analizi yöntemleri ve çeşitli tanımlayıcı istatistiklerle su kütlesi değişimleri izlenmiştir. Çalışmada kullanılan GFZ, JPL ve CSR analiz merkezleri tarafından işlenerek yayınladığı veriler, yapılan çalışma kapsamında bu bağımsız çözümlerin aritmetik ortalaması alınarak hesaplanan ort_TWS verileri, COST-G kombinasyon merkezi tarafından yayınlanan kombine edilmiş COST-G TWS verilerin hepsi Seviye-3 düzeyinde veriler olduğu için Bölüm 1.5.1, Bölüm 1.5.2, Bölüm 1.5.3'te yer alan veri işleme adımları veriler yayınlanmadan önce uygulanmıştır. Bu nedenle TWS verilerinin kullanılması için gerekli tüm işlem yükü kullanıcıya yansıtılmamıştır. Bu Seviye-3 verilerinin en önemli avantajıdır. Bir diğer avantajı ise TWS değerlerinin coğrafi gridler halinde olmasıdır. Bu sayede istenilen bölgeye ait TWS değerleri basit bir şekilde enlem/boylam bilgisiyle elde edilebilir.

Bölüm 2.3'de TWS analizi çalışmalarında

1. GRACE/-FO misyonlarının çeşitli seviyelerde verilerini işleyerek kullanıcılara sağlayan GFZ, JPL ve CSR amaliz merkezlerinden elde edilen TWS verileri,

2. Bu çalışma kapsamında GFZ, JPL ve CSR TWS verilerinin ortalaması alınarak hesaplanan ort_TWS verileri,

3. COST-G kombinasyon merkezi tarafından yayınlanan kombine edilmiş COST-G TWS verileri

kullanılmıştır.

Çalışmada TWS analizlerinde ilk olarak GRACE/-FO analiz merkezlerinden elde edilen TWS zaman serilerinde doğrusal enterpolasyonla boşluk doldurma gerçekleştirilmiştir;

- GRACE misyonu (2002 Nisan - 2017 Haziran) içerisinde sürekli olmayan aralıklı olarak toplam 20 aylık veri boşluğu,
- GRACE-FO misyonu (2018 Haziran - 2023 Ekim) içerisinde ise GFZ analiz merkezinin yayınladığı TWS verilerinde toplam 3 ay; JPL ve CSR TWS verilerinde toplam 2 aylık veri boşluğu,
- GRACE ve GRACE-FO misyonları arasında (2017 Haziran - 2018 Haziran) yaşanan veri sağlanmayan dönemde toplam 11 aylık veri boşluğu

bulunmaktadır. Bu nedenle GRACE/-FO misyonları 2002 Nisan - 2023 Ekim döneminde GFZ analiz merkezi için 225 ay; JPL ve CSR analiz merkezleri için 226 aylık veri sağlamıştır. GRACE/-FO misyonlarının sahip olduğu bu veri boşlukları zaman serilerinde serinin devamlılığı konusunda negatif yönde etki etmektedir. Bu nedenle çalışmada misyonlar içerisindeki boşluklar doğrusal enterpolasyon yöntemi ile doldurulmuştur (Bölüm 2.3.1).

Misyonlar arası 11 aylık sürekli veri boşluğu doldurulmamıştır. Enterpolasyon yöntemleri veya regresyon yöntemlerinin kullanılması misyonlar arası boşluğun doldurulması verinin orijinalliğine yüksek derecede etki edeceği için bu teknikler kullanılmamıştır. Literatür çalışması yapıldığında misyonlar arası boşlukların GRACE dönemi (2002 Nisan - 2017 Haziran) verileri kullanılarak çeşitli makine öğrenmesi algoritmaları tarafından tahmin edilerek doldurulması mümkündür. Ancak bu sonuçların doğrulanması için yine GRACE GRACE-FO dönemindeki veriler kullanıldığı için ve veri boşlukları için elde edilen tahminlerin yanlı olması kaçınılmazdır. Bu sebeple misyonlar arası gibi sürekli ve büyük veri boşlukları dışarıdan benzer modeller kullanılarak doldurulması ve GRACE ve GRACE-FO dönemlerindeki veriler ile karşılaştırılması yapılarak tahmin edilip doldurulması daha doğru olacaktır. Literatürde bu konuda yapılan çalışmalara bakıldığında yaygın olarak kullanılan SWARM misyonunun kullanıldığı görülmektedir. Yapılan çalışmaya ek olarak devamında yüksek doğrulukta zaman serilerinin analizi yapılması adına SWARM misyonu ve makine öğrenmesi algoritmalarının kullanılmasıyla misyonlar arasındaki veri boşlukları doldurulabilir. Birden çok yöntemin kullanılması ile hesaplanan doğruluk ölçütleri ile GRACE/-FO misyonlarına en yakın sonuç üreten yöntem seçilebilir. Bu sayede zaman serilerinde devamlılık sağlanmış olacaktır.

Bu tez çalışmasının temel motivasyonu boşluk doldurma olmadığı için uygulanması en basit olması için doğrusal enterpolasyon yöntemi tercih edilmiştir. Ancak ileriki

dönemlerde yapılacak boşluk doldurma uygulamalarında (SSA, PCA, SARIMA) ve makine öğrenimi tabanlı boşluk doldurma uygulaması yapılması planlanmaktadır.

Çalışmada TWS analizlerinde ikinci olarak GRACE/-FO analiz merkezlerinden elde edilen TWS değişimlerinin basit doğrusal regresyon ile trend analizi yapılmıştır. Bunun için 14 gridde oluşturulan aylık TWS zaman serilerinde basit doğrusal regresyonla trend analizi yapılmış ve bu yolla TWS değişimleri değerlendirilmiştir. Her analiz merkezi için elde edilen a_1 katsayılarının (GFZ, JPL, CSR) ortalaması alınarak ortalama eğilim miktarları hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre;

- Tüm gridlere TWS değerlerinde azalış eğiliminin hâkim olduğu değerlendirilmiştir (Şekil 26- Şekil 39),
- Fırat-Dicle Havzası üzerindeki 88 No'lu grid en çok azalış gösteren (Şekil 35),
- Meriç-Ergene Havzası üzerindeki 2 No'lu en az azalış gösteren (Şekil 26),

grid alanları olduğu değerlendirilmiştir (Bölüm 2.3.2). Bu çalışmada elde edilen sonuçlar çalışma alanında yapılacak ileriki çalışmalar veya alınması gereken önlemler adına öncül bilgi niteliğindedir. Yapılan trend analizleri sayesinde ileriye dönük tahminler yapılarak bölgenin gelecekteki durumu hakkında bilgiler edinilebilir. Yapılan çalışmada misyonlar arasındaki 11 aylık boşluk nedeniyle GRACE ve GRACE-FO misyonları için ayrı ayrı trendler hesaplanmıştır.

Çalışmada TWS analizlerinde üçüncü olarak GRACE/-FO kombinasyon merkezi COST-G'den elde edilen TWS değişimlerinin izlenmesi için basit doğrusal regresyon ile trend analizi yapılmıştır (Bölüm 2.3.3). Elde edilen sonuçlara göre;

- Tüm gridlere TWS değerlerinin artış ve azalış eğilimlerine sahip olduğu değerlendirilmiştir (Şekil 40 - Şekil 53),
- Fırat-Dicle Havzası üzerindeki 84 ve 88 No'lu grid 2002 Nisan - 2017 Haziran döneminde sırasıyla -94.20 ± 14.59 cm/ay, -92.40 ± 15.19 cm/ay'lık azalış; 2018 Haziran - 2023 Ekim döneminde -27.16 ± 17.37 cm/ay'lık, -35.89 ± 18.70 cm/ay'lık azalış ile en çok azalış gösteren (Şekil 48, Şekil 49),
- Meriç-Ergene Havzası üzerindeki 2 No'lu grid 2002 Nisan - 2017 Haziran döneminde 0.14 ± 11.40 cm/ay'lık artış; 2018 Haziran - 2023 Mayıs döneminde -10.31 ± 10.92 cm/ay'lık azalış ile en az azalış gösteren (Şekil 40),

grid alanları olduğu değerlendirilmiştir.

Çalışmada TWS analizlerinde dördüncü olarak GRACE/-FO analiz merkezleri verilerinin kombinasyonu ile hesaplanan TWS değişimlerinin izlenmesi için basit doğrusal regresyon ile trend analizi yapılmıştır (Bölüm 2.3.4). Elde edilen sonuçlara göre;

- Tüm gridlere TWS değerlerinde azalış eğiliminin hâkim olduğu değerlendirilmiştir (Şekil 54- Şekil 67),
- Fırat-Dicle Havzası üzerindeki 84 ve 88 No'lu grid 2002 Nisan - 2017 Haziran döneminde sırasıyla -69.04 ± 11.56 cm/ay, -97.53 ± 11.54 cm/ay'lık azalış; 2018 Haziran - 2023 Ekim döneminde -27.82 ± 14.07 cm/ay'lık, -33.13 ± 14.23 cm/ay'lık azalış ile en çok azalış gösteren (Şekil 61, Şekil 63),
- Meriç-Ergene Havzası üzerindeki 2 No'lu grid 2002 Nisan - 2017 Haziran döneminde -5.25 ± 10.77 cm/ay'lık artış; 2018 Haziran - 2023 Mayıs döneminde -12.08 ± 10.43 cm/ay'lık azalış ile en az azalış gösteren (Şekil 54),

grid alanları olduğu belirlenmiştir.

Trend analizleri sonucunda elde edilen a_1 katsayılarının anlamlılık testleri sonucunda GRACE döneminde 2, 7, 38, 56 No'lu gridlerde anlamsız sonuç elde edilmiştir. GRACE-FO döneminde sadece COST-G TWS verilerinde anlamsız sonuçlar elde edilmiştir (Tablo 25).

Tablo 25. GRACE/-FO TWS verileri a_1 trend katsayısı anlamsız olan gridler

Trend Analizi Uygulanan TWS Verisi	**Grid No**	
	GRACE 2002 - 2017	**GRACE-FO 2018 - 2023**
GFZ	2, 38, 56	-
JPL	2, 7, 38, 56	-
CSR	2, 7, 38, 56	-
ort_TWS	2, 7, 38, 56	-
COST-G	2, 7, 28, 31, 34, 38, 41	2, 7, 28, 31, 50

a_1 katsayılarının anlamlılık testlerinin ardından eşdeğerlik testi uygulanmıştır. Eşdeğerlik testlerinin sonucunda Tablo 13 (m_0) ve Tablo 14'te (m_{a_1}) GFZ, JPL, CSR ve ort_TWS verilerinin tüm gridlerde eşdeğer olduğu; COST-G TWS verilerinin diğer TWS verileri ile birçok gridde eşdeğer olmadığı tespit edilmiştir (Tablo 26).

Tablo 26. TWS verilerinin eşdeğerlik testi sonuçları

GFZ, JPL, CSR, ort_TWS COST-G	**Grid No**	
	GRACE	**GRACE-FO**
m_0	31, 34, 38, 41, 50, 56, 61, 64, 84, 88, 93	50, 56, 88
m_{a_1}	31, 34, 38, 41, 50, 56, 61, 64, 84, 88, 93	50, 56, 84, 88

Çalışmada TWS analizlerinde beşinci olarak, GFZ, JPL, CSR, ort_TWS ve COST-G TWS verilerinin aylık ve yıllık ortalamalarının alınmasıyla elde edilen zaman serilerinin tanımlayıcı istatistikler ile yorumlanması yapılmıştır (Bölüm 2.3.5) (Şekil 68-Şekil 81). Elde edilen sonuçlar ile Türkiye genelinde TWS değerlerinin

- Eylül - Ekim - Kasım döneminde en düşük değerleri aldığı,
- Şubat - Mart - Nisan döneminde ise en yüksek değerleri aldığı

görülmüştür (Şekil 82 - Şekil 85). Bu sonuçlara ek olarak Şekil 86 - Şekil 88'de görüleceği üzere COST-G TWS değerleri ve bağımsız analiz merkezleri TWS değerlerinden farklılıkları, aylık ve yıllık ortalamalarda da görüldüğü saptanmıştır (Şekil 68c - Şekil 81c).

Çalışmada TWS analizlerinde altıncı olarak COST-G TWS ile GFZ, JPL, CSR, TWS verilerinin farklarının tanımlayıcı istatistikler ile yorumlanması yapılmıştır (Şekil 86 - Şekil 88). Her bir analiz merkezinde uygulanan işlem algoritmalarında/kullanılan yazılımlardaki farklılıklar sebebiyle yayınlanan TWS verileri arasında farklılıkların yaşanması kaçınılmazdır. Bölüm 1.7.1'de anlatıldığı üzere ve Şekil 15'te görüldüğü gibi COST-G verileri çözüm düzeyinde ve normal denklemler düzeyinde ağırlıklandırılarak kombinasyonları yapılmaktadır. Ayrıca COST-G bünyesinde GRACE/-FO misyonlarının sahip olduğu GFZ, JPL ve CSR analiz merkezlerinden farklı kurumlar ve araştırma merkezleri bulunmaktadır. Bu nedenle GRACE/-FO resmi analiz merkezleri tarafından yayınlanan TWS verileri arasında farkların olması mümkündür. Çalışmada hesaplanan ort_TWS ağırlıklandırma işlemi uygulanmadan direkt olarak aritmetik ortalama ile hesaplanmıştır. Bu çalışmanın devamı niteliğinde yapılacak çalışmalarda ağırlıklandırılmış ve farklı analiz merkezlerinin sağladığı TWS verileri ile karşılaştırılması gerektiği düşünülmektedir. Bu noktada yapılan bu çalışmada TWS verileri arasındaki farklar hesaplanıp (Bölüm 2.3.6) fark grafikleri oluşturulmuştur. Buna göre;

- Doğu bölgelerinde (özellikle Güneydoğu Anadolu Bölgesi) COST-G TWS verilerinin GFZ, JPL ve CSR TWS verilerinden farkları yüksek olduğu,
- Batı bölgelerinde daha az olduğu,
- İç Anadolu Bölgesi'nde en düşük farkların olduğu

görülmüştür.

Çalışmada TWS analizlerinde yedinci olarak, analiz merkezlerince yayınlanan TWS verileri ve ort_TWS verisinin COST-G TWS verileri ile arasındaki korelasyonlar incelenmiştir (Bölüm 2.3.7). Elde edilen Şekil 89 - Şekil 102 korelasyon grafiklerine göre,

- En yüksek korelasyon 84 No'lu gridde (Şekil 97);
- En düşük korelasyon ise 34 No'lu gridde (Şekil 93)

gözlenmiştir. Korelasyon katsayılarının anlamlılığı testleri sonucunda Tablo 19'da da görüleceği üzere tüm gridlerde korelasyon katsayılarının anlamlı olduğu tespit edilmiştir.

GRACE/-FO uydularının konumsal çözünürlüğü 1 derece enlem × 1 derece boylam olacak şekilde kullanıcıya sunulmaktadır. Ancak çalışmada kullanılan TWS verileri Seviye-2 işlem adımları sonucu elde edilen 60 derece × 60 mertebe çözümünden elde edilir. Bu nedenle Seviye 3 GRACE/-FO TWS verilerinin 300 km konumsal çözünürlüğüne sahiptir. Bu yüzden çalışmalarda küçük havza bazında yapılan çalışmalarda hata payının yüksek olabileceği göz önüne alınmalıdır. Veri kullanıcısı tarafından yaşanan konumsal çözünürlük kafa karışıklığı JPL analiz merkezi tarafından yayınlanan 3 derece enlem × 3 derece boylam maskon çözümleri ile giderilmeye çalışılmıştır. Ancak büyük ölçekteki alanlar için uygun olan bu veriler küçük ölçekte çalışılması gereken bölgeler için uygun değildir. Bu durumun etkisi giderilmesi adına var olan verilerin ölçek indirgeme (downscaled) yöntemleri kullanılarak kullanıcının çalışmasında kullanacağı bölge için yeniden oluşturulması mümkündür. Bu sayede daha küçük bölgeler için daha yüksek konumsal çözünürlükte veriler elde edilmiş olur. Fakat ölçek indirgeme tekniklerinde en yakın komşu ve enterpolasyon yöntemleri de kullanıldığından dolayı verilerin daha düşük enlem boylam gridlerindeki verilerin doğruluğu sorgulanmalıdır. 31 Aralık 2032 başlangıç tarihli MAGIC misyonu sayesinde hem konumsal çözünürlük hem de zamansal çözünürlükte büyük oranda gelişmeler yaşanması beklenmektedir. MAGIC misyonu basit olarak anlatmak gerekirse, iki GRACE/-FO misyonu yani toplamda iki adet ikiz uydudan oluşacaktır. Bu sayede konumsal çözünürlükteki artış küçük bölgelerde yapılacak olan çalışmalar için doğruluğu yükseltecektir.

Bölüm 2.4'te GWS analizi çalışmalarında

1. G3P modelinden elde edilen GWS verileri,

2. Bu çalışma kapsamında COST-G kombinasyon merkezi tarafından yayınlanan kombine edilmiş COST-G TWS verileri ve GLDAS modelinden elde edilen hidrolojik parametrelerin kullanılmasıyla hesaplanan GLDAS tabanlı GWS verileri

kullanılmıştır.

Çalışmada GWS analizlerinde ilk olarak G3P modelinden elde edilen GWS zaman serilerinde doğrusal enterpolasyonla boşluk doldurma gerçekleştirilmiştir (Bölüm 2.4.1) (Şekil 130);

- G3P GWS verilerinde TWS verilerinde olduğu gibi 2002 Nisan - 2017 Haziran döneminde sürekli olmayan aralıklı olarak toplam 20 aylık veri boşluğu,
- 2018 Haziran - 2020 Aralık döneminde ise toplam 2 aylık veri boşluğu,
- 2002 Nisan - 2017 Haziran ve 2018 Haziran-2020 Aralık dönemleri arasında (2017 Haziran - 2018 Haziran) yaşanan veri sağlanmayan dönemde toplam 11 aylık veri boşluğu

bulunmaktadır.

Çalışmada GWS analizlerinde ikinci olarak G3P modelinden elde edilen GWS ve GLDAS tabanlı hesaplanan GWS değişimlerinin basit doğrusal regresyon ile trend analizi yapılmıştır (Bölüm 2.4.2, Bölüm 2.4.3). Bunun için 14 gridde oluşturulan aylık GWS zaman serilerinde basit doğrusal regresyonla trend analizi yapılmış ve bu yolla GWS değişimleri değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre;

- Tüm gridlere ait Şekil 104 ile Şekil 131 arasındaki grafikler değerlendirildiğinde azalış ve artış eğilimlerinin olduğu söylenebilir.
- 2 No'lu, 31 No'lu ve 34 No'lu gridlerde artış eğiliminin hâkim olduğu (Şekil 104, Şekil 107, Şekil 108),
- Fırat-Dicle Havzası üzerinde yer alan 84 ve 88 No'lu gridlerinde G3P GWS verilerinde sırasıyla -75.17 ± 10.28 cm/ay, -68.67 ± 9.28 cm/ay; GLDAS GWS verilerinde sırasıyla -84.62 ± 9.44 cm/ay, -115.64 ± 9.38 cm/ay azalış ile en çok azalış gösteren bölge olduğu (Şekil 112, Şekil 113; Şekil 126, Şekil 127),

• Gediz Havzası üzerinde yer alan 56 No'lu gridde G3P GWS verilerinde -2.05 ± 7.95 cm/ay, -11.14 ± 8.39 cm/ay; GLDAS GWS verilerinde sırasıyla -4.46 ± 6.92 cm/ay, -11.95 ± 4.73 cm/ay azalış ile en az azalış gösteren bölge olduğu (Şekil 114, Şekil 128),

görülmüştür.

• Yeşilırmak Havzası üzerinde yer alan 28 No'lu gridde G3P GWS verileri -4.96 ± 8.89 cm/ay, -3.08 ± 8.40 cm/ay azalış eğilimindeyken GLDAS GWS verileri 10.10 ± 11.09 cm/ay, 1.35 ± 6.86 cm/ay artış eğilimi göstermiştir (Şekil 106, Şekil 120).

Trend analizleri sonucunda elde edilen a_1 katsayılarının anlamlılık testleri sonucunda 2002 - 2017 döneminde hem G3P hem de GLDAS tabanlı GWS verilerinde 7, 28, 38, 41 ve 56 No'lu gridlerde anlamsız sonuç elde edilmiştir. 2018 - 2020 döneminde G3P GWS verilerinde 28, 31 ve 34 No'lu gridlerde anlamsız sonuçlar elde edilirken GLDAS GWS verilerinde 2, 7, 28, 34, 50, 64, 93 No'lu gridlerde anlamsız sonuçlar elde edilmiştir (Tablo 27).

Tablo 27. GWS verileri a_1 trend katsayısı anlamsız olan gridler

Trend Analizi Uygulanan GWS Verisi	**Grid No**	
	2002 - 2017	**2018 - 2020**
G3P	7, 28, 38, 41, 56	28, 31, 34
GLDAS	7, 28, 38, 41, 50, 56, 61	2, 7, 28, 34, 50, 64, 93

a_1 katsayılarının anlamlılık testlerinin ardından eşdeğerlik testi uygulanmıştır. Eşdeğerlik testlerinin sonucunda Tablo 21 (m_0) ve Tablo 22'de (m_{a_1}) G3P ve GLDAS GWS verilerinin 2002-2017 döneminde 2, 7, 28, 31, 34, 50, 56, 61 ve 64 No'lu gridlerde eşdeğer olmadığı; 2018-2020 döneminde 38, 56 ve 64 No'lu gridlerde eşdeğer olmadığı tespit edilmiştir (Tablo 28).

Tablo 28. GWS verilerinin eşdeğerlik testi sonuçları

G3P-GLDAS Eşdeğerlik Testi	Grid No	
	2002 - 2017	2018 - 2020
m_0	2, 7, 28, 31, 34, 50, 56, 61, 64	38, 56, 64
m_{a_1}	2, 7, 28, 31, 34, 50, 56, 61, 64	2, 38, 56, 64

Çalışmada GWS analizlerinde üçüncü olarak, G3P GWS ve GLDAS tabanlı GWS verileri arasında korelasyon analizi yapılmıştır (Bölüm 2.4.4) (Tablo 23). Korelasyon analizi sonucunda

- Fırat-Dicle Havzası üzerinde yer alan 84 No'lu grid 0.86 Pearson Korelasyon Katsayısı ile en yüksek korelasyona sahip bölge olduğu (Şekil 140),
- Meriç-Ergene Havzası üzerinde yer alan 2 No'lu grid 0.26 Pearson Korelasyon Katsayısı ile en düşük korelasyona sahip bölge olduğu (Şekil 132)

görülmüştür. Korelasyon katsayılarının elde edilmesinin ardından katsayıların anlamlılık testleri yapılmış ve tüm gridlerde anlamlı sonuçlar elde edilmiştir (Tablo 23).

Çalışmada GWS analizlerinde dördüncü olarak, G3P GWS ve GLDAS tabanlı GWS verileri arasındaki farklar elde edilmiştir (Bölüm 2.4.5) (Tablo 24). Yapılan hesaplamalar sonucunda

- Fırat-Dicle Havzası üzerinde yer alan 88 No'lu gridde 39.5967 cm ile en yüksek farkın olduğu,
- Gediz Havzası üzerinde yer alan 56 No'lu gridde 12.2469 cm ile en az farkın olduğu

görülmüştür.

4. SONUÇLAR

Son yıllarda bilim insanlarının küresel ısınma, iklim değişikliği, kuraklık analizlerinin temelinde yer alan su kaynaklarının izlenmesi çalışmaları ülkelerin kalkınma planlarında yer almaktadır. Bu sebeplerdir ki gerek bölgesel gerekse küresel anlamda su potansiyelinin izlenmesi önemli araştırma alanlarından biri olarak yerini almaktadır.

GRACE/-FO uydu misyonları sayesinde Dünya'nın yerçekimi alanındaki değişimler ile sahip olunan su kaynaklarındaki değişimler izlenmektedir. Misyonun temel prensibi yerçekimi alanındaki değişimin ikiz uydular arasındaki mesafenin değişimine etki etmesi ve bu sayede Dünya'nın yerçekimi alanının belirlenmesidir. Su kütleleri direkt olarak yerçekimi alanını etkileyen faktör olduğundan elde edilen yerçekimi alanının su kütlesi değişimlerine dönüştürülmesi mümkündür. GRACE, Nisan 2002 itibaren başta 5 yıllık bir misyon olarak geliştirilse de 2017 Haziran'a kadar devam ederek; GRACE-FO ise GRACE uydu misyonunun devamı niteliğinde 2018 Haziran itibaren günümüzde de devam ederek küresel ölçekte Toplam Su Kütlesi verileri sağlamışlardır. Bu sebeple GRACE/-FO uydu misyonu su kaynaklarının izlenmesinde ve kuraklık analizlerinin yapılmasında önemli rol oynamaktadır.

Bu tez çalışmasında, Türkiye sınırları içerisinde yer alan ve DSİ tarafından sınırları belirlenen toplam 25 havzanın 12'sinde 1 derece enlem × 1 derece boylam genişlikli 14 farklı grid alanı için;

1. Yeraltı Su Kütlesi (GWS) ve Toplam Su Kütlesi (TWS) değişimlerinin belirlenmesi,
2. Global hidrolojik modellere dayalı GWS verisi sağlayan G3P ve GLDAS modellerinin Türkiye için uygulanabilirliğinin araştırılması

amacıyla TWS ve GWS zaman serisi irdelemeleri yapılmıştır (Bölüm 2.3 ve 2.4).

TWS verilerinin irdelenmesi aşamasında; ilk olarak veri içerisinde bulunan boşluklar doğrusal enterpolasyon yöntemi kullanılarak doldurulmuştur (Bölüm 2.3.1). Sonuç olarak TWS verilerinin sahip olduğu toplam 22 aylık misyon içi veri boşlukları tamamlanmış oldu (Şekil 24). Bu sayede zaman serilerinde devamlılık sağlanmıştır. Ancak 11 aylık misyonlar arası boşluklar doldurulmamıştır.

TWS analizlerinde ikinci olarak bağımsız GFZ, JPL ve CSR analiz merkezleri tarafından servis edilen TWS verilerinin trend analizleri yapılmıştır (Bölüm 2.3.2). Şekil 25 -Şekil 38'deki zaman serisi grafikleri 12 havza (14 grid) için elde edilmiş olup her bir havza için a_1 trend katsayısı hesaplanmıştır. Elde edilen katsayı değerlerine incelendiğinde;

- GFZ TWS verilerine ait a_1 katsayılarının 2, 7, 38, 41 ve 56 No'lu gridlerde JPL ve CSR TWS verilerine ait a_1 katsayıları ile aynı işaretli olduğu ancak büyüklüklerinin farklılık gösterdiği,
- JPL TWS verilerine ait a_1 katsayılarının 31, 34 ve 50 No'lu gridlerde GFZ ve CSR TWS verilerine ait a_1 katsayılarının ile aynı işaretli olduğu ancak büyüklüklerinin farklılık gösterdiği,
- Geri kalan gridlerde (28, 31, 34, 41, 61, 64, 84, 88, 93) GFZ, JPL ve CSR TWS a_1 katsayılarının hem işaret hem de büyüklük olarak birbirine uyumlu olduğu,

görülmüştür. Trend analizlerinin temel amacı gridler üzerindeki TWS eğilimlerinin yönü ve büyüklüğünü belirlemektir. Bu nedenle havzalar bazında TWS değerlerinin eğilimleri hakkında analizler yapılmıştır. Yapılan analiz sonucunda Türkiye genelinde tüm havzalarda GFZ, JPL ve CSR TWS değerlerinin azalış eğilimine sahip olduğu görülmüştür. Buna ek olarak;

- Türkiye'nin su kaynaklarının %28'sini oluşturan Fırat-Dicle Havzasında yer alan 88 No'lu grid en çok azalış gösteren,
- Meriç-Ergene Havzasında yer alan 2 No'lu grid en az azalış gösteren bölge olduğu tespit edilmiştir (Tablo 29).

Tablo 29. Gridlere (2,88) ait GFZ, JPL ve CSR a_1 trend katsayıları (cm/ay)

	2 No'lu Grid (en az)		**88 No'lu Grid (en çok)**	
	GRACE	**GRACE-FO**	**GRACE**	**GRACE-FO**
GFZ	-7.80 ± 11.08	-16.03 ± 10.34	-95.12 ± 11.80	-32.22 ± 14.00
JPL	-3.69 ± 10.76	-11.13 ± 10.63	-99.48 ± 11.47	-32.96 ± 14.26
CSR	-4.25 ± 10.81	-9.07 ± 10.50	-97.98 ± 11.63	-34.21 ± 14.56

TWS analizlerinde üçüncü olarak COST-G kombinasyon merkezi tarafından Bölüm 1.7.1'de anlatıldığı üzere Normal Denklemler düzeyinde kombine edilmiş COST-G TWS verilerine trend analizi yapılmıştır (Bölüm 2.3.3). Trend analizleri sonucunda;

• 2, 7, 28 ve 31 No'lu gridlerde Nisan 2002 - Haziran 2017 döneminde GFZ, JPL ve CSR TWS verilerinin aksine artış eğiliminin olduğu gözlenmiştir (Tablo 30).

• Fırat-Dicle Havzasında yer alan 84 ve 88 No'lu grid en çok azalış gösteren (Şekil 48, Şekil 49) (Tablo 31),

• Meriç-Ergene Havzasında yer alan 2 No'lu grid en az azalış gösteren (Şekil 40) bölge olduğu tespit edilmiştir (Tablo 31).

Tablo 30. 2, 7, 28 ve 31 No'lu gridlere ait GFZ, JPL, CSR ve COST-G a_1 trend katsayıları (cm/ay)

Grid No	GRACE (2002-2017)				GRACE-FO (2018-2023)			
	GFZ	JPL	CSR	COST-G	GFZ	JPL	CSR	COST-G
2	-7.80 ± 11.08	-3.69 ± 10.76	-4.25 ± 10.81	0.14 ± 11.40	-16.03 ± 10.34	-11.13 ± 10.63	-9.07 ± 10.50	-10.31 ± 10.92
7	-13.29 ± 10.73	-7.08 ± 10.85	-9.59 ± 10.76	9.25 ± 9.75	-15.27 ± 10.19	-12.34 ± 10.83	-10.29 ± 10.96	-7.55 ± 9.41
28	-18.83 ± 11.48	-18.02 ± 11.45	-17.37 ± 11.33	2.63 ± 11.54	-17.91 ± 11.41	-16.52 ± 11.95	-15.05 ± 12.06	-5.69 ± 11.81
31	-28.43 ± 11.62	-32.38 ± 11.42	-29.49 ± 11.28	3.12 ± 12.90	-15.92 ± 11.87	-15.44 ± 12.19	-14.97 ± 12.30	-5.06 ± 13.65

Tablo 31. 2, 84 ve 88 No'lu gridlere ait COST-G TWS a_1 trend katsayıları (cm/ay)

Grid No	GRACE (2002-2017)	GRACE-FO (2018-2023)
2	0.14 ± 11.40	-10.31 ± 10.92
84	-94.20 ± 14.59	-27.16 ± 17.37
88	-92.40 ± 15.19	-35.89 ± 18.70

TWS analizlerinde dördüncü olarak GFZ, JPL ve CSR TWS verilerinin ağırlıksız aritmetik ortalaması hesaplanarak elde edilen ort_TWS verilerine trend analizi yapılmıştır (Bölüm 2.3.4). Trend analizleri sonucunda genel olarak tüm havza gridlerinde azalış eğiliminin hâkim olduğu ve

• Fırat-Dicle Havzasında yer alan 84 ve 88 No'lu grid en çok azalış gösteren (Şekil 62, Şekil 63),

• Meriç-Ergene Havzasında yer alan 2 No'lu grid en az azalış gösteren (Şekil 54) bölge olduğu tespit edilmiştir (Tablo 32).

Tablo 32. 2, 84 ve 88 No'lu gridlere ait ort_TWS a_1 trend katsayıları (cm/ay)

Grid No	GRACE (2002-2017)	GRACE-FO (2018-2023)
2	-5.25 ± 10.77	-12.08 ± 10.43
84	-97.53 ± 11.56	-27.82 ± 14.07
88	-69.04 ± 11.54	-33.13 ± 14.23

TWS analizlerinde beşinci olarak GFZ, JPL, CSR, ort_TWS ve COST-G TWS verilerinin havza bazında gridlerde aylık ortalamaları hesaplanarak minimum, maksimum ve ortalama değerleri hesaplanmıştır (Bölüm 2.3.5). Hesaplamalar sonucunda Şekil 68 - Şekil 81'de;

• a) grafiklerinde TWS verilerinin 2, 41, 56, 61, 64, 84, 88 ve 93 No'lu gridlerde çok iyi uyum gösterdiği; 7, 28, 31, 34, 38, 50 No'lu gridlerde GFZ, JPL, CSR ve ort_TWS değerleri kendi içerisinde uyumlu olsa da COST-G TWS değerlerinin diğer TWS değerlerinden aykırı sonuçlar verdiği,

• b) grafiklerinde TWS verilerinin Eylül, Ekim ve Kasım aylarında en düşük değerler aldığı; Şubat, Mart ve Nisan aylarında en yüksek değerler aldığı; Şekil 82 - Şekil 85 arasındaki aylık ortalama TWS değerlerinin Türkiye'deki dağılımını gösteren haritalar da bu sonucu desteklediği,

• c) grafiklerinde TWS verilerinin Türkiye'de yaşanan kurak yıllar ile paralel bir şekilde 2007 - 2008, 2013 - 2014, 2020 - 2021 dönemlerinde en düşük değerler aldığı tespit edilmiştir (Tablo 13 - Tablo 15).

TWS analizlerinde altıncı adım olarak, beşinci adımda COST-G TWS verilerinin diğer TWS verilerinden farklarının olmasının görülmesi üzerine GFZ, JPL, CSR TWS verilerinin COST-G TWS verisinden farkları hesaplanmıştır (Bölüm 2.3.6). Hesaplamalar sonucunda Şekil 86 - Şekil 88 fark haritaları elde edilmiştir. Elde edilen haritaların incelenmesi soncunda;

• Türkiye'nin doğu bölgelerinde COST-G TWS verilerinin GFZ, JPL ve CSR TWS verilerinden farkları yüksek; batı bölgelerinde daha az olduğu,

• Özellikle Güneydoğu Anadolu Bölgesi farkların en yüksek olduğu,

- En düşük farkların İç Anadolu Bölgesi'nde olduğu
- Haziran ve Temmuz aylarında Akdeniz bölgesindeki farklar yükseldiği, Eylül ve Ekim aylarında Türkiye'nin güneybatı bölgelerinde farkların arttığı,
- En düşük farkların TWS değerlerinin en düşük olduğu Eylül, Ekim ve Kasım aylarında olduğu görülmüştür.

TWS analizlerinde yedinci adım olarak GFZ, JPL, CSR ve ort_TWS TWS verilerinin COST-G ile arasındaki korelasyon incelenmiştir (Bölüm 2.3.7). Korelasyon analizi sonucunda;

- 7, 28, 31, 34, 38, 50 No'lu gridlerde en düşük korelasyon değerlerinin elde edilmesiyle Bölüm 2.3.5'te tespit edilen farklılıklara destekleyici sonuçlar elde edildiği,
- Fırat-Dicle Havzasında yer alan 84 No'lu grid en yüksek korelasyona sahip olduğu,
- Çoruh-Aras Havzasında yer alan 34 No'lu grid en düşük korelasyona sahip olduğu gözlenmiştir (Tablo 17).

TWS verilerinin analiz edilmesinin ardından havza bazlı gridler üzerinde GWS değerlerinin değişimi incelenmiştir. Bunun için G3P ve GLDAS tabanlı GWS verileri kullanılmıştır. İlk olarak G3P GWS verisi içerisinde bulunan boşluklar doğrusal enterpolasyon yöntemi (Bölüm 1.8.1) kullanılarak doldurulmuştur (Bölüm 2.4.1). Sonuç olarak GWS verilerinin sahip olduğu toplam 22 aylık misyon içi veri boşlukları tamamlanmış oldu (Şekil 102). Bu sayede zaman serilerinde devamlılık sağlanmıştır. Ancak 11 aylık misyonlar arası boşluklar doldurulmamıştır.

GWS analizlerinde ikinci olarak G3P ve GLDAS tabanlı GWS verilerine trend analizi yapılmıştır (Bölüm 2.4.2 ve Bölüm 2.4.3). Analizler sonucunda;

- 2, 31 ve 34 No'lu gridlerde artış eğiliminin hakim olduğu,
- En çok azalışın Fırat-Dicle Havzasında yer alan 84, ve 88 No'lu gridlerde yaşandığı (Tablo 23) ve bu çıktının aynı gridlerdeki TWS analizi ile uyumlu olduğu,
- En az azalışın 38 ve 56 No'lu gridlerde yaşandığı ve bu çıktının aynı gridlerdeki TWS analizi ile uyumlu olduğu görülmüştür (Tablo 33).

Tablo 33. 2, 31, 34, 84 ve 84 No'lu gridlerin G3P ve GLDAS GWS verilerine ait a_1 trend katsayıları (cm/ay)

Grid No	GRACE (2002-2017)		GRACE-FO (2018-2023)	
	G3P	GLDAS	G3P	GLDAS
2	8.44 ± 7.28	15.72 ± 11.24	-15.08 ± 6.43	5.34 ± 17.96
31	10.20 ± 9.61	13.61 ± 12.18	4.47 ± 10.19	11.12 ± 9.97
34	21.68 ± 8.37	52.51 ± 12.93	6.58 ± 8.77	-3.40 ± 9.23
84	-75.17 ± 10.28	-84.62 ± 9.44	20.33 ± 12.69	26.30 ± 13.35
88	-68.67 ± 9.28	-115.64 ± 9.38	23.24 ± 12.31	51.46 ± 16.57

Tablo 27'de;

- 31 No'lu gridde her iki dönem de artış eğiliminin devam ettiği,
- 34 No'lu gridde 2002 - 2017 dönemindeki GLDAS GWS a_1 katsayısı G3P GWS a_1 katsayısının yaklaşık iki katı kadar olduğu, aradaki farkın çok yüksek olduğu,
- 84 ve 88 No'lu gridlerin 2002 - 2017 döneminde önemli sayılabilecek bir oranda azalış yaşadığı, 2018 - 2023 döneminde ise artış eğiliminde olduğu

görülmüştür.

GWS analizlerinde üçüncü olarak, trend analizi işlemi sonucunda G3P ve GLDAS tabanlı veriler arasında görülen farklar ve sapmalar neticesinde havza bazında gridlerde iki veri arasında korelasyon analizi yapılmıştır (Bölüm 2.4.4). Hesaplanan Pearson korelasyonları ile (Şekil 132-Şekil 145);

- Fırat-Dicle Havzasında yer alan 84 No'lu gridin 0.86 Pearson Korelasyon Katsayısı ile en yüksek korelasyona sahip olduğu,
- Meriç-Ergene Havzasında yer alan 2 No'lu gridin 0.26 Pearson Korelasyon Katsayısı ile en düşük korelasyona sahip olduğu görülmüştür (Tablo 23).

GWS analizlerinde dördüncü olarak G3P GWS ve GLDAS GWS verileri arasındaki farklar hesaplanmıştır. Hesaplanan farkların minimum, maksimum ve ortalama değerleri Tablo 24'de görülmektedir.

Korelasyon analizi sonucunda en düşük korelasyon değerine 2 No'lu gridinde elde edilirken GWS verileri arasındaki farklar 34 ve 88 nolu gridlere göre daha az hesaplanmıştır. Bunun sebebi Şekil 132, Şekil 136 ve Şekil 141'de de görüleceği üzere değerlerin genliklerindeki ve GLDAS GWS değerlerinin G3P GWS verilerine göre ötelenmiş olarak elde edilmesidir.

Tablo 34. 2, 34, 84, 88 No'lu gride ait GWS fark ve korelasyon değerleri

Grid No	Minimum Değer (cm)	Maksimum Değer (cm)	Ortalama Değer (cm)	Korelasyon Değeri
2	0.0613	16.3778	6.0617	0.25743
34	0.0165	30.9430	5.1151	0.58326
84	0.0018	15.4066	4.6745	0.85855
88	0.0544	39.5967	6.9176	0.72214

Çalışmanın ilk amacı TWS ve GWS verilerindeki değişim analizlerinin yapılmasının ardından ikincil amaç olarak global hidrolojik modellere dayalı GWS verisi sağlayan G3P ve GLDAS modellerinin Türkiye için uygulanabilirliği elde edilen sonuçlar ile irdelenmiştir. Sonuç olarak G3P ve GLDAS tabanlı GWS verileri arasında dikkat çekici farkların olduğu görülmüştür (Tablo 34).

5. ÖNERİLER

Yapılan analizler ve elde edilen sonuçlara göre GRACE/-FO uydu misyonu ile Türkiye'de TWS ve GWS değişimlerinin izlenmesi üzerine ileriki dönemlerde yapılabilecek iyileştirme çalışmaları için aşağıdaki öneriler yapılabilir;

1. TWS verilerinin konumsal çözünürlüğü arttırılmalıdır.

Bu çalışmada Bölüm 2.2'de Tablo 10'da da belirtildiği üzere kullanılan verilerin konumsal çözünürlüğü küçük havzalarda veya gridlerde yapılacak çalışmalar için elverişli olmadığı söylenebilir. Bölüm 1.5 içerisinde TWS verilerinin işleme adımlarından bahsedildiği üzere Seviye-3 veriler 60 derece × 60 mertebe çözümüne sahip Seviye-2 verilerden türetilmiştir. Bu nedenle konumsal çözünürlüğü 300 km civarında bir alanı kapsamaktadır. Yapılacak küçük ölçekli çalışmalarda bu konumsal çözünürlüklü bir verinin kullanılması elde edilecek sonuçlarda hata oranlarını yükseltecektir. Bu nedenle veriler elde edildikten sonra konumsal çözünürlüğü arttıracak çalışmaların yapılması (downscaled) önerilir.

2. Veriler içerisindeki boşluklar TWS ve GWS verilerine uygun modeller yardımıyla doldurulmalıdır.

TWS verilerinin ve G3P GWS verileri elde edildikten sonra karşılaşılan ilk problem veriler içerisinde yer alan veri boşluklarıdır. Bu sorunla baş edebilmek adına;

- Çeşitli makine öğrenmesi temelli boşluk doldurma algoritmaları kullanılabilir.
- SWARM uydu misyonu kullanılarak uzun ve sürekli olan veri boşlukları doldurulabilir.

3. GRACE-FO dönemi (2018 Haziran-2023 Mayıs) kısa olduğu için trend hesabı ile elde edilen çıktıların bölge adına genel yorum yapmada kullanılmamalıdır.

Bir bölge için iklimi, bölge yapısı, kuraklık modeli için uzun dönemli (30 yıl) gözlemlerin yapılması gerekmektedir. Bununla birlikte MAGIC misyonu ile birlikte uzun dönemli TWS değişiminin izlenmesi mümkün hale gelecektir.

4. Bağımsız analiz merkezlerinin kombinasyonu için gelişmiş kombinasyon yöntemlerinin uygulanması değerlendirilmelidir.

GFZ, JPL ve CSR TWS verilerinin ortalaması hesaplanarak ort_TWS verileri elde edilmiştir. Ancak farklı kombinasyon teknikleri (Ağırlıklı Ortalama, Normal Denklemler düzeyinde kombinasyon) kullanılarak daha güvenilir kombine edilmiş TWS verileri elde edilebilir.

5. Nisan 2002-Haziran 2017 döneminde GFZ, JPL ve CSR TWS değerlerinin ortalama 15-20 cm/ay azalış miktarı gösterirken COST-G TWS değerlerinin artış eğilimi göstermesi COST-G TWS verileri için sorun teşkil etmektedir. Bununla birlikte her bölgede bu farklıkların yaşanmaması, COST-G TWS verilerinin çalışma alanına göre yorumlanması gerektiği düşünülmektedir.

6. G3P GWS verileri, bölgesel ölçekte hazırlanan hidrolojik modeller ile karşılaştırılmalıdır. Uydu misyonlarından elde edilen sonuçların yerinde gözlem kuyularının verileri ile karşılaştırılması sonuçların doğruluğu açısından tutarlı bir yaklaşım olacaktır. Ancak Türkiye'de yerinde gözlemlerin yapıldığı kuyular ülke geneline homojen bir biçimde yayılmamış olması, verilere erişmenin zor olduğu, istenilen zaman aralıklarında verilerin olup olmamasının bilinmemesi sınırlayıcı birer etken olmaktadır. Yapılan çalışma sonucunda genel olarak tüm gridlerde 2002 - 2023 arası dönemde sürekli olarak bir azalış eğiliminin görüldüğü Türkiye'de, yerinde gözlemlerin kullanılması adına daha çok çalışmaların yapılması gerektiği düşünülmektedir.

6. KAYNAKLAR

Ahi, G. O. (2021). Evaluation of Filtering Effects on Terrestrial Water Storage Estimation From New GRACE Releases. Geocarto International, 36(4), 449-464.

Ahi, G. O., & Cekim, H. O. (2021). Long-Term Temporal Prediction of Terrestrial Water Storage Changes Over Global Basins Using GRACE and Limited GRACE-FO Data. Acta Geodaetica et Geophysica, 56(2), 321-344.

Ahi, G. O., & Jin, S. (2019). Hydrologic Mass Changes and Their Implications in Mediterranean-Climate Turkey From GRACE Measurements. Remote Sensing, 11(2), 120.

Akengin, H., Dölek, İ., & Özdemir, Y. (2021). Türkiye'nin Fiziki Coğrafyası. Pegem Akademi Yayıncılık, Ankara.

Amin, H., Bagherbandi, M., & Sjöberg, L. E. (2020). Quantifying Barystatic Sea-Level Change From Satellite Altimetry, GRACE and Argo Observations Over 2005–2016. Advances in Space Research, 65(8), 1922-1940.

Atayer, E. S. (2012). Yeryuvarı Gravite Alanının Aylık GRACE Çözümleri ile İzlenmesi ve Duyarlılığı Üzerine Bir İnceleme. YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Atlı, M. N. (2022). Su Kütle Değişimlerinin Farklı Uydu ve Model Verileri ile Belirlenmesi. KTÜN, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya

Barnoud, A., Pfeffer, J., Guérou, A., Frery, M. L., Siméon, M., Cazenave, A.,Chen, J., Llovel, W., Thierry, V., Legeais, J.F. & Ablain, M. (2021). Contributions of Altimetry and Argo to Non-Closure of The Global Mean Sea Level Budget Since 2016. Geophysical Research Letters, 48(14).

Beaudoing, H. & M. Rodell, NASA/GSFC/HSL (2020), GLDAS Noah Land Surface Model L4 monthly 1.0 x 1.0 degree V2.1, Greenbelt, Maryland, USA, Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC), Erişim Tarihi: 29.01.2024

Beaudoing, H. & M. Rodell, NASA/GSFC/HSL (2020), GLDAS VIC Land Surface Model L4 monthly 1.0 x 1.0 degree V2.1, Greenbelt, Maryland, USA, Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC), Erişim Tarihi: 29.01.2024

Bektaşoğlu, M., & Kayıkçı, E. T. (2023). GRACE/GRACE-FO Uydu Verileri ile Fırat-Dicle Nehri Su Kütlesi Değişiminin Zaman Serisi Analizi. *XXII. Türkiye Ulusal Jeodezi Komisyonu (TUJK) Sempozyumu, Bildiri Özetleri Kitabı*, s. 72-73. Trabzon.

Bektaşoğlu, M., & Kayıkçı, E. T. (2023). Doğu Karadeniz Bölgesi İçin G3P Yeraltı Su Rezerv Verilerinin Zaman Serisi Analizi. *HİDRO'2023: Ulusal Hidrojeoloji ve Su Kaynakları Sempozyumu, Bildiriler Kitabı,* s. 203-210. Trabzon.

Bektaşoğlu, M., & Kayıkçı, E. T. (2022). Karadeniz Bölgesi İçin GRACE/GRACE-FO Uydu Gözlemlerinden Elde Edilen Toplam Su Kütlesi ve Yeraltı Suyu Rezervi Zaman Serilerinin Analizi. *TÜCAUM 2022 Uluslararası Coğrafya Sempozyumu. Bildiriler Kitabı,* s. 314-332. Ankara.

Bektaşoğlu, M., & Kayıkçı, E. T. (2022). GRACE Uydusu ve GLDAS Modelinden Elde Edilen Toplam Su Kütlesi Değerlerinin Karşılaştırılması. *6. Geleceğin Mühendisleri Uluslararası Öğrenci Sempozyumu, Bildiriler Kitabı.* s. 251-258. Çevrimiçi.

Bektaşoğlu, M., & Kayıkçı, E. T. (2020). GRACE Uydu Verileri ile Su Kaynaklarının Analiz Edilmesi. *4. Geleceğin Mühendisleri Uluslararası Öğrenci Sempozyumu, Bildiriler Kitabı,* s. 93-97. Çevrimiçi.

Beşel, C. (2017). IGS İstasyonları Zenit Troposferik Gecikme Parametresi Zaman Serilerinde Trend ve Mevsimsel Etki Analizleri. KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.

Bhanja, S. N., Mukherjee, A., & Rodell, M. (2020). Groundwater Storage Change Detection From In Situ and GRACE-based Estimates in Major River Basins Across India. Hydrological Sciences Journal, 65(4), 650-659.

Boergens, Eva; Dobslaw, Henryk; Dill, Robert (2020): COST-G GravIS RL01 Continental Water Storage Anomalies. V. 0005. GFZ Data Services.

Caron, L., Ivins, E. R., Larour, E., Adhikari, S., Nilsson, J., & Blewitt, G. (2018). GIA Model Statistics for GRACE Hydrology, Cryosphere, and Ocean Science. Geophysical Research Letters, 45(5), 2203-2212.

Case vd. (2010). GRACE Level 1B Data Product User Handbook

Chambers, D. P., & Bonin, J. A. (2012). Evaluation of Release-05 GRACE Time-Variable Gravity Coefficients Over The Ocean. Ocean Science, 8(5), 859-868.

Chen, J., Famigliett, J. S., Scanlon, B. R., & Rodell, M. (2016). Groundwater storage changes: present status from GRACE observations. Remote sensing and water resources, 207-227.

Chen, J., Cazenave, A., Dahle, C., Llovel, W., Panet, I., Pfeffer, J., & Moreira, L. (2022). Applications and Challenges of GRACE and GRACE Follow-On Satellite Gravimetry. Surveys in Geophysics, 1-41.

Cheng, M., & Ries, J. (2017). The Unexpected Signal in GRACE Estimates of C 20. Journal of Geodesy, 91(8), 897-914.

Cheng, M., & Ries, J. (2023). C20 and C30 Variations From SLR for GRACE/GRACE-FO Science Applications. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 128(2).

Chinnasamy, P., & Agoramoorthy, G. (2015). Groundwater Storage and Depletion Trends in Tamil Nadu State, India. Water Resources Management, 29, 2139-2152.

Ciracì, E., Velicogna, I., & Swenson, S. (2020). Continuity of The Mass Loss of The World's Glaciers and Ice Caps From The GRACE and GRACE Follow-On Missions. Geophysical Research Letters, 47(9).

Dahle, C., Murböck, M., Flechtner, F., Dobslaw, H., Michalak, G., Neumayer, K. H., Abrykosov, O., Reinhold, A., König, R., Sulzbach, R. & Förste, C. (2019). The GFZ GRACE RL06 Monthly Gravity Field Time Series: Processing Details and Quality Assessment. Remote Sensing, 11(18), 2116.

De Linage, C., Rivera, L., Hinderer, J., Boy, J. P., Rogister, Y., Lambotte, S., & Biancale, R. (2009). Separation of Coseismic and Postseismic Gravity Changes for The 2004 Sumatra–Andaman Earthquake from 4.6 Yr of GRACE Observations and Modelling of The Coseismic Change by Normal-Modes Summation. Geophysical Journal International, 176(3), 695-714.

Dobslaw, H., Bergmann-Wolf, I., Dill, R., Poropat, L., Thomas, M., Dahle, C., Esselborn, S., König, R. & Flechtner, F. (2017). A New High-Resolution Model of Non-Tidal Atmosphere and Ocean Mass Variability for De-aliasing of Satellite Gravity Observations: AOD1B RL06. Geophysical Journal International, 211(1), 263-269.

Dobslaw, H., Dill, R., Bagge, M., Klemann, V., Boergens, E., Thomas, M., Dahle, C. & Flechtner, F. (2020). Gravitationally Consistent Mean Barystatic Sea Level Rise From Leakage-Corrected Monthly GRACE Data. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 125(11).

Dobslaw, H., Flechtner, F., Bergmann-Wolf, I., Dahle, C., Dill, R., Esselborn, S., Sasge, I. & Thomas, M. (2013). Simulating High-Frequency Atmosphere-Ocean Mass Variability for Dealiasing of Satellite Gravity Observations: AOD1B RL05. Journal of Geophysical Research: Oceans, 118(7), 3704-3711.

Duan, X. J., Guo, J. Y., Shum, C. K., & Van Der Wal, W. (2009). On The Postprocessing Removal of Correlated Errors in GRACE Temporal Gravity Field Solutions. Journal of Geodesy, 83, 1095-1106.

Elameen, A. M., Jin, S., & Alriah, M. A. A. (2024). Drought Monitoring and Evaluation in Major African Basins from Satellite Gravimetry. In 3S Technology Applications in Meteorology, 323-341.

Famiglietti, J. S., Lo, M., Ho, S. L., Bethune, J., Anderson, K. J., Syed, T. H., ... & Rodell, M. (2011). Satellites Measure Recent Rates of Groundwater Depletion in California's Central Valley. Geophysical Research Letters, 38(3).

Felix Landerer. 2021. TELLUS_GRAC_L3_CSR_RL06_LND_v04. Ver. RL06 v04. PO.DAAC, CA, USA. Erişim Tarihi: 2024-01-29

Felix Landerer. 2021. TELLUS_GRAC_L3_JPL_RL06_LND_v04. Ver. RL06 v04. PO.DAAC, CA, USA. Erişim Tarihi: 2024-01-29

Felix Landerer. 2021. TELLUS_GRAC_L3_GFZ_RL06_LND_v04. Ver. RL06 v04. PO.DAAC, CA, USA. Erişim Tarihi: 2024-01-29

Felix Landerer. 2023. CSR TELLUS GRACE-FO Level-3 Monthly Land Water-Equivalent-Thickness Surface Mass Anomaly Release 6.2 version 04. Ver. RL06.2v04. PO.DAAC, CA, USA. Erişim Tarihi: 2024-01-29

Felix Landerer. 2023. GFZ TELLUS GRACE-FO Level-3 Monthly Land Water-Equivalent-Thickness Surface Mass Anomaly Release 6.1 version 04. Ver. RL06.1v04. PO.DAAC, CA, USA. Erişim Tarihi: 2024-01-29

Felix Landerer. 2023. JPL TELLUS GRACE-FO Level-3 Monthly Land Water-Equivalent-Thickness Surface Mass Anomaly Release 6.1 version 04. Ver. RL06.1v04. PO.DAAC, CA, USA. Erişim Tarihi: 2024-01-29

Feng, W., Zhong, M., Lemoine, J. M., Biancale, R., Hsu, H. T., & Xia, J. (2013). Evaluation Of Groundwater Depletion in North China Using The Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) Data And Ground-Based Measurements. Water Resources Research, 49(4), 2110-2118.

Flechtner, F. (2007). AOD1B Product Description Document for Product Releases 01 to 04. GRACE Project Document, 327-750.

Flechtner, F., Dobslaw, H., & Fagiolini, E. (2014). AOD1B Product Description Document for Product Release 05. Technical Note.

Frappart, F., & Ramillien, G. (2018). Monitoring Groundwater Storage Changes Using The Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) Satellite Mission: A Review. Remote Sensing, 10(6), 829.

Frappart, F., Seoane, L., & Ramillien, G. (2013). Validation of GRACE-derived Terrestrial Water Storage From A Regional Approach Over South America. Remote Sensing of Environment, 137, 69-83.

Ghobadi-Far, K., Han, S. C., Allgeyer, S., Tregoning, P., Sauber, J., Behzadpour, S., Mayer-Gür, T., Sneeuw, N. & Okal, E. (2020). GRACE Gravitational Measurements of Tsunamis After The 2004, 2010, and 2011 Great Earthquakes. Journal of Geodesy, 94, 1-9.

Girotto, M., & Rodell, M. (2019). Terrestrial Water Storage. In Extreme Hydroclimatic Events and Multivariate Hazards in A Changing Environment. Elsevier.

Gu, Y., Huang, F., Huang, J., Yuan, H., Yu, B., & Gao, C. (2024). Filling The Gap Between GRACE and GRACE Follow-On Observations Based on Principal Component Analysis. Geophysical Journal International, 236(3), 1216-1233.

Günay, G. (2011). Türkiye'nin Yüzey Suları ve Yeraltı Suları Potansiyeli. Bilim Aklın Aydınlığında Eğitim, 132, 56-60.

Güntner, A., Sharifi, E., Behzadpour, S., Boergens, E., Dahle, C., Darbeheshti, N., Dobslaw, H., Dorigo, W., Dussailant, I., Flechtner, F., Haas, J., Jäggi, A., Kidd, R., Kosmale,

M., Kvas, A., Luojus, K., Mayer-Gürr, T., Meyer, U., Pasik, A., Paul, F., Pedinotti, V., Preimesberger, Wolfgang; Ruz Vargas, Claudia; Vayre, Maxime; Zemp, Michael (2023): Global Gravity-based Groundwater Product (G3P). V. 1.11. GFZ Data Services.

Gyawali, B., Ahmed, M., Murgulet, D., & Wiese, D. N. (2022). Filling Temporal Gaps Within and Between GRACE and GRACE-FO Terrestrial Water Storage Records: An Innovative Approach. Remote Sensing, 14(7), 1565.

Houborg, R., Rodell, M., Li, B., Reichle, R., & Zaitchik, B. F. (2012). Drought Indicators Based On Model-Assimilated Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) Terrestrial Water Storage Observations. Water Resources Research, 48(7).

Humphrey, V., Rodell, M., & Eicker, A. (2023). Using Satellite-Based Terrestrial Water Storage Data: A review. Surveys in Geophysics, 1-29.

Iqbal, N., Hossain, F., Lee, H., & Akhter, G. (2016). Satellite Gravimetric Estimation of Groundwater Storage Variations Over Indus Basin in Pakistan. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 9(8), 3524-3534.

Jean, Y., Meyer, U., & Jäggi, A. (2018). Combination of GRACE Monthly Gravity Field Solutions From Different Processing Strategies. Journal of Geodesy, 92, 1313-1328.

Jäggi, A. et al. (2020). International Combination Service for Time-Variable Gravity Fields (COST-G). International Association of Geodesy Symposia, Beyond 100: The Next Century in Geodesy, 152, Springer.

Kapluhan, E. (2013). Türkiye'de Kuraklık ve Kuraklığın Tarıma Etkisi. Marmara Coğrafya Dergisi, (27), 487-510.

Karasu, İ. G. (2019). Intercomparison of GRACE-based Groundwater Level Change and In-Situ Measurements Over Central Anatolia Basins, Turkey. ODTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans, Ankara.

Keleş, M. (2022), Filling The Data Gap Between GRACE and GRACE Follow-On Missions Using Deep Learning Algorithms. İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Kusche, J. (2007). Approximate Decorrelation and Non-Isotropic Smoothing of Time-Variable GRACE-type Gravity Field Models. Journal of Geodesy, 81(11), 733-749.

Kvas, A., Behzadpour, S., Ellmer, M., Klinger, B., Strasser, S., Zehentner, N., & Mayer-Gürr, T. (2019). ITSG-Grace2018: Overview and Evaluation of A New GRACE-Only Gravity Field Time Series. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 124(8), 9332-9344.

Landerer, F. W. ve Cooley, S. S. (2021), GRACE-FO Level-3 Data Product User Handbook.

Landerer, F. W., & Swenson, S. C. (2012). Accuracy of Scaled GRACE Terrestrial Water Storage Estimates. Water resources research, 48(4).

Lemoine, J.-M., Biancale, R., Reinquin, F., Bourgogne, S., Gégout, P. (2019): CNES/GRGS RL04 Earth Gravity Field Models From GRACE and SLR Data. GFZ Data Services.

Lenk, O. (2013). Satellite Based Estimates of Terrestrial Water Storage Variations in Turkey. Journal of Geodynamics, 67, 106-110.

Lıkando, O. N. (2019). Estimation of Groundwater Storage Change and Recharge Using GRACE and GLDAS Data, Firat Basin, Turkey Case. ESTÜ, Yer ve Uzay Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir.

Li, B., H. Beaudoing, and M. Rodell, NASA/GSFC/HSL (2020), GLDAS Catchment Land Surface Model L4 monthly 1.0 x 1.0 degree V2.1, Greenbelt, Maryland, USA, Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC), Erişim Tarihi: 29.01.2024

Li, B., Rodell, M., Kumar, S., Beaudoing, H. K., Getirana, A., Zaitchik, B. F. vd. (2019). Global GRACE Data Assimilation for Groundwater and Drought Monitoring: Advances and Challenges. Water Resources Research, 55(9), 7564-7586.

Li, W., Wang, W., Zhang, C., Wen, H., Zhong, Y., Zhu, Y., & Li, Z. (2019). Bridging Terrestrial Water Storage Anomaly During GRACE/GRACE-FO Gap Using SSA Method: A Case Study in China. Sensors, 19(19), 4144.

Liu, X., Feng, X., Ciais, P., Fu, B., Hu, B., & Sun, Z. (2020). GRACE Satellite-Based Drought Index Indicating Increased Impact of Drought Over Major Basins in China During 2002–2017. Agricultural and Forest Meteorology, 291, 108057.

Llovel, W., Willis, J. K., Landerer, F. W., & Fukumori, I. (2014). Deep-Ocean Contribution to Sea Level and Energy Budget Not Detectable Over The Past Decade. Nature Climate Change, 4(11), 1031-1035.

Long, D., Scanlon, B. R., Longuevergne, L., Sun, A. Y., Fernando, D. N., & Save, H. (2013). GRACE Satellite Monitoring of Large Depletion in Water Storage in Response to The 2011 Drought in Texas. Geophysical Research Letters, 40(13), 3395-3401.

Long, D., Yang, Y., Wada, Y., Hong, Y., Liang, W., Chen, Y., Yong, B., Hou, A., Wei, J. & Chen, L. (2015). Deriving Scaling Factors Using A Global Hydrological Model to Restore GRACE Total Water Storage Changes for China's Yangtze River Basin. Remote Sensing of Environment, 168, 177-193.

Marım, G., Sensoy, A., Sorman, A., & Sorman, A. (2008). Yukarı Fırat Havzası İçin Elde Edilen Kar Çekilme Eğrilerinin Zamansal Analizi ve Modelleme Çalışmaları. Kar Hidrolojisi Konferansı. Erzurum.

Massotti, L., Siemes, C., March, G., Haagmans, R., & Silvestrin, P. (2021). Next Generation Gravity Mission Elements of The Mass Change And Geoscience İnternational Constellation: From Orbit Selection to İnstrument And Mission Design. Remote Sensing, 13(19), 3935.

Meyer U., A. Jäggi, Y. Jean, G. Beutler, AIUB-RL02: An Improved Time-Series of Monthly Gravity Fields From GRACE Data. Geophysical Journal International, 205(2), 1196–1207.

Meyer, U., Jäggi, A., Beutler, G., & Bock, H. (2015). The Impact of Common Versus Separate Estimation of Orbit Parameters on GRACE Gravity Field Solutions. Journal of Geodesy, 89, 685-696.

Meyer, U., Lasser, M., Jaeggi, A., Dahle, C., Flechtner, F., Kvas, A., Behzadpour, S., Mayer-Gürr, T., Lemoine, J.-M., Koch, I., Flury, J. & Bourgogne, S. (2020). International Combination Service for Time-variable Gravity Fields (COST-G) Monthly GRACE-FO Series.

Meyer, U., Jean, Y., Kvas, A., Dahle, C., Lemoine, J. M., & Jäggi, A. (2019). Combination of GRACE Monthly Gravity Fields On The Normal Equation Level. Journal of Geodesy, 93, 1645-1658.

Molodtsova, T., Molodtsov, S., Kirilenko, A., Zhang, X., & VanLooy, J. (2016). Evaluating Flood Potential with GRACE in The United States. Natural Hazards and Earth System Sciences, 16(4), 1011-1018.

Nazari, A., Zaryab, A., & Ahmadi, A. (2023). Estimation of Groundwater Storage Change in The Helmand River Basin (Afghanistan) Using GRACE Satellite Data. Earth Science Informatics, 16(1), 579-589.

Özek, T. (2010). Zaman Serisi Modelleri Üzerine Bir Simülasyon Çalışması. SÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya.

Öztürk, E. Z. (2022). GRACE Misyonu ve GLDAS Modeli ile Su Kütlesi Değişimlerinin İzlenmesi ve İklimsel Faktörlerin Değişimlere Etkisi: Konya Havzası Örneği. Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 8(1), 103-110.

Panet, I., Narteau, C., Lemoine, J. M., Bonvalot, S., & Remy, D. (2022). Detecting Preseismic Signals in GRACE Gravity Solutions: Application to The 2011 Tohoku Mw 9.0 Earthquake. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 127(8).

Ramillien, G., Famiglietti, J. S., & Wahr, J. (2008). Detection of Continental Hydrology and Glaciology Signals From GRACE: A Review. Surveys In Geophysics, 29, 361-374.

Reager, J. T., & Famiglietti, J. S. (2009). Global Terrestrial Water Storage Capacity and Flood Potential Using GRACE. Geophysical Research Letters, 36(23).

Richey, A. S., Thomas, B. F., Lo, M. H., Reager, J. T., Famiglietti, J. S., Voss, K., Swenson S. & Rodell, M. (2015). Quantifying Renewable Groundwater Stress with GRACE. Water Resources Research, 51(7), 5217-5238.

Rodell, M., Chen, J., Kato, H., Famiglietti, J. S., Nigro, J., & Wilson, C. R. (2007). Estimating Groundwater Storage Changes in The Mississippi River Basin (USA) Using GRACE. Hydrogeology Journal, 15, 159-166.

Rodell, M., Famiglietti, J. S., Wiese, D. N., Reager, J. T., Beaudoing, H. K., Landerer, F. W., & Lo, M. H. (2018). Emerging Trends in Global Freshwater Availability. Nature, 557(7707), 651-659.

Rodell, M., Houser, P. R., Jambor, U. E. A., Gottschalck, J., Mitchell, K., Meng, C. J., Arsenault, K., Cosgrove, B., Radakovich, J., Bosilovich, M., Entin, J. K., Walker, J. P., Lohmann, D. & Toll, D. (2004). The Global Land Data Assimilation System. Bulletin of the American Meteorological Society, 85(3), 381-394.

Rodell, M., Velicogna, I., & Famiglietti, J. S. (2009). Satellite-Based Estimates of Groundwater Depletion İn India. Nature, 460(7258), 999-1002.

Rui, H., Loeser, C., Teng, W. L., Ostrenga, D. M., Wei, J. C., & Vollmer, B. (2019). Assimilated Hydrological Data at NASA GES DISC with Examples of Extreme Events. In Asia Oceania Geosciences Society (AOGS) Annual Meeting.

Sakamura, C. (2014), Comparison of Degree 60 and Degree 96 Monthly Solutions, GRACE Technical Note 10.

Save, H., Tapley, B., & Bettadpur, S. (2018, April). GRACE RL06 Reprocessing and Results From CSR. EGU General Assembly Conference, Abstracts, s.10697. Vienna.

Schmidt, R., Petrovic, S., Güntner, A., Barthelmes, F., Wünsch, J., & Kusche, J. (2008). Periodic Components of Water Storage Changes From GRACE and Global Hydrology Models. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 113(B8).

Seo, K. W., & Wilson, C. R. (2005). Simulated Estimation of Hydrological Loads From GRACE. Journal of Geodesy, 78, 442-456.

Shamsudduha, M., Taylor, R. G., & Longuevergne, L. (2012). Monitoring Groundwater Storage Changes in The Highly Seasonal Humid Tropics: Validation of GRACE Measurements in The Bengal Basin. Water Resources Research, 48(2).

Shihor, L., Balidakis, K., Dill, R., Dobslaw, H. (2023), GRACE Product Description Document for AOD1B Release 07.

Sun, A. Y. (2013). Predicting Groundwater Level Changes Using GRACE Data. Water Resources Research, 49(9), 5900-5912.

Swenson, S., Chambers, D., & Wahr, J. (2008). Estimating Geocenter Variations From A Combination of GRACE and Ocean Model Output. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 113(B8).

Swenson, S., & Wahr, J. (2002). Estimated Effects of The Vertical Structure of Atmospheric Mass on The Time-Variable Geoid. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 107(B9), ETG-4.

Swenson, S., & Wahr, J. (2006). Post-Processing Removal of Correlated Errors in GRACE Data. Geophysical Research Letters, 33(8).

Swenson, S., Yeh, P. J. F., Wahr, J., & Famiglietti, J. (2006). A Comparison of Terrestrial Water Storage Variations From GRACE With In Situ Measurements From Illinois. Geophysical Research Letters, 33(16).

Tamisiea, M. E., Mitrovica, J. X., & Davis, J. L. (2007). GRACE Gravity Data Constrain Ancient Ice Geometries and Continental Dynamics Over Laurentia. Science, 316(5826), 881-883.

Tang, L., Li, J., Chen, J., Wang, S. Y., Wang, R., & Hu, X. (2020). Seismic Impact of Large Earthquakes on Estimating Global Mean Ocean Mass Change From GRACE. Remote Sensing, 12(6), 935.

Tapley, B. D., Bettadpur, S., Ries, J. C., Thompson, P. F., & Watkins, M. M. (2004). GRACE Measurements of Mass Variability in The Earth System. Science, 305(5683), 503-505.

Tapley, B. D., Watkins, M. M., Flechtner, F., Reigber, C., Bettadpur, S., Rodell, M., vd. (2019). Contributions of GRACE to Understanding Climate Change. Nature Climate Change, 9(5), 358-369.

Thomas, B. F., Famiglietti, J. S., Landerer, F. W., Wiese, D. N., Molotch, N. P., & Argus, D. F. (2017). GRACE Groundwater Drought İndex: Evaluation Of California Central Valley Groundwater Drought. Remote Sensing of Environment, 198, 384-392.

Türkeş, M. (1998). Influence of Geopotential Heights, Cyclone Frequency and Southern Oscillation on Rainfall Variations in Turkey. International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society, 18(6), 649-680.

Türkeş, M., Akgündüz, A. S., & Demirörs, Z. (2009). Drought Periods and Severity Over The Konya Sub-region of The Central Anatolia Region According to The Palmer Drought Index. Coğrafi Bilimler Dergisi, 7(2), 129-144.

Uz, M., Atman, K. G., Akyilmaz, O., Shum, C. K., Keleş, M., Ay, T., Tandoğdu, B., Zhang, Y. & Mercan, H. (2022). Bridging The Gap Between GRACE and GRACE-FO Missions With Deep Learning Aided Water Storage Simulations. Science of The Total Environment, 830, 154701.

Velicogna, I., Mohajerani, Y., Landerer, F., Mouginot, J., Noel, B., Rignot, E., vd. (2020). Continuity of Ice Sheet Mass Loss in Greenland and Antarctica From The GRACE and GRACE Follow-On Missions. Geophysical Research Letters, 47(8).

Velicogna, I., & Wahr, J. (2013). Time-Variable Gravity Observations of Ice Sheet Mass Balance: Precision and Limitations of The GRACE Satellite Data. Geophysical Research Letters, 40(12).

Vishwakarma, B. D. (2020). Monitoring Droughts From GRACE. Frontiers in Environmental Science, 8, 584690.

Volkov, D. L., Johns, W. E., & Belonenko, T. V. (2016). Dynamic Response of The Black Sea Elevation to Intraseasonal Fluctuations of The Mediterranean Sea Level. Geophysical Research Letters, 43(1), 283-290.

Wahr, J., Molenaar, M., & Bryan, F. (1998). Time Variability of The Earth's Gravity Field: Hydrological and Oceanic Effects and Their Possible Detection Using GRACE. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 103(B12), 30205-30229.

Wan, X., You, W., Kusche, J., Li, F., Yang, X., Fan, D., Pu, L. & Jiang, Z. (2023). Evaluating Different Predictive Strategies For Filling The Global GRACE/-FO Terrestrial Water Storage Anomalies Gap. Journal of Hydrology, 626, 130216.

Watkins, M. M., Gruber, T., Bettadpur, V. S. (2000), Science Data System Development Plan.

Xiong, J., Yin, J., Guo, S., Gu, L., Xiong, F., & Li, N. (2021). Integrated Flood Potential Index for Flood Monitoring in the GRACE Era. Journal of Hydrology, 603, 127115.

Yang, Y., Feng, W., Zhong, M., Mu, D., & Yao, Y. (2022). Basin-Scale Sea Level Budget From Satellite Altimetry, Satellite Gravimetry, and Argo Data Over 2005 to 2019. Remote Sensing, 14(18), 4637.

Yang, X., You, W., Tian, S., Jiang, Z., & Wan, X. (2023). A Two-Step Linear Model to Fill the Data Gap Between GRACE and GRACE-FO Terrestrial Water Storage Anomalies. Water Resources Research, 59(11).

Yeh, P. J. F., Swenson, S. C., Famiglietti, J. S., & Rodell, M. (2006). Remote Sensing of Groundwater Storage Changes in Illinois Using The Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE). Water Resources Research, 42(12).

Yıldırım, Ö. Y. (2015) GRACE Uydu Verileri ile Türkiye'nin Uzun Dönemli Su Kütle Değişiminin İncelenmesi. GTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Gebze.

Yi, S., & Sneeuw, N. (2021). Filling The Data Gaps Within GRACE Missions Using Singular Spectrum Analysis. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 126(5).

Zaitchik, B. F., Rodell, M., & Reichle, R. H. (2008). Assimilation of GRACE Terrestrial Water Storage Data Into A Land Surface Model: Results for The Mississippi River Basin. Journal of Hydrometeorology, 9(3), 535-548.

Zhang, L., Tang, H., Chang, L., & Sun, W. (2020). Performance of GRACE Mascon Solutions in Studying Seismic Deformations. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 125(10).

Zhang, X., Li, J., Dong, Q., Wang, Z., Zhang, H., & Liu, X. (2022). Bridging The Gap Between GRACE and GRACE-FO Using A Hydrological Model. Science of The Total Environment, 822, 153659.

Zhong, Y., Zhong, M., Feng, W., Zhang, Z., Shen, Y., & Wu, D. (2018). Groundwater Depletion in The West Liaohe River Basin, China and Its Implications Revealed by GRACE and In Situ Measurements. Remote Sensing, 10(4), 493.

URL-1. (2024, Ocak 15) https://sutema.org/kuresel-su-dongusu

URL-2. (2024, Ocak 15) https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/ce/CHAMP_concept.png

URL-3. (2024, Ocak 15) https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/FutureEO/GOCE/Introducing_GOCE

URL-4. (2024, Ocak 15) https://gracefo.jpl.nasa.gov/mission/overview/

URL-5. (2023, Kasım 20) https://database.eohandbook.com/database/missionsummary.aspx?missionID=1386

URL-6. (2024, Ocak 15) https://www.eoportal.org/satellite-missions/magic

URL-7. (2023, Kasım 18) https://earthobservatory.nasa.gov/features/GRACE

URL-8. (2023, Kasım 22) https://www.gfz-potsdam.de/en/grace

URL-9. (2023, Kasım 20) https://earth.esa.int/eogateway/missions/grace

URL-10. (2023, Eylül 13) https://cost-g.org/service

URL-11. (2023, Eylül 12) https://www.g3p.eu/what-we-have-for-you/materials

URL-12. (2023, Eylül 12) https://www.g3p.eu/what-we-do

URL-13. (2023, Aralık 25) https://ldas.gsfc.nasa.gov/

URL-14. (2024, Ocak 5) https://www.kaggle.com/code/satishgunjal/tutorial-time-series-analysis-and-forecasting

URL-15. (2024, Ocak 7) https://tr.wikipedia.org/wiki/Türkiye_coğrafyası

URL-16. (2024, Ocak 15) https://database.eohandbook.com/database/missionsummary.aspx?missionID=1386

URL-17. (2024, Şubat 1) https://www.dsi.gov.tr/

URL-18 (2024, Şubat 2) https://sutema.org/turkiyenin-tatli-sulari

ÖZGEÇMİŞ

Murat Bektaşoğlu, ilk ve orta öğrenimini Trabzon Mehmet Akif Ersoy İlkokulu ve Ortaokulu'nda tamamlamıştır. 2012 yılında lise eğitimini Kanuni Anadolu Lisesi'nde başlamış ve 2016 yılında tamamlamıştır. 2016 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Harita Mühendisliği Bölümü öğrencisi olarak lisans eğitimine başlamıştır. 2020 yılında lisans eğitimini bitirmiştir. Yüksek Lisans eğitimine 2020 yılında başlamış olup şu an tez aşamasındadır. Danışmanı Prof. Dr. Emine TANIR KAYIKÇI'dır. Araştırma alanları Jeodezi Anabilim Dalı olup Hidroloji, Meteoroloji, İklim gibi bilimsel kollarda da araştırmalar yapmaktadır. Yüksek Lisans eğitimi sırasında danışmanı ile beş adet bildiri yayınlamıştır. 2023 Şubat-Nisan aylarını kapsayan zaman diliminde GFZ Alman Yerbilimleri Araştırma Merkezi'nde Erasmus Staj+ yapmıştır. Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Harita Mühendisliği Bölümü Jeodezi Anabilim Dalında Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.

Bekar ve iyi derecede İngilizce bilmektedir.

Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan/bildiri kitaplarında basılan bildiriler:

Bektaşoğlu, M., & Kayıkçı, E. T. (2022). Karadeniz Bölgesi İçin GRACE/GRACE-FO Uydu Gözlemlerinden Elde Edilen Toplam Su Kütlesi ve Yeraltı Suyu Rezervi Zaman Serilerinin Analizi. *TÜCAUM 2022 Uluslararası Coğrafya Sempozyumu. Bildiriler Kitabı,* s. 314-332. Ankara.

Bektaşoğlu, M., & Kayıkçı, E. T. (2022). GRACE Uydusu ve GLDAS Modelinden Elde Edilen Toplam Su Kütlesi Değerlerinin Karşılaştırılması. *6. Geleceğin Mühendisleri Uluslararası Öğrenci Sempozyumu, Bildiriler Kitabı.* s. 251-258. Çevrimiçi.

Bektaşoğlu, M., & Kayıkçı, E. T. (2020). GRACE Uydu Verileri ile Su Kaynaklarının Analiz Edilmesi. *4. Geleceğin Mühendisleri Uluslararası Öğrenci Sempozyumu, Bildiriler Kitabı,* s. 93-97. Çevrimiçi.

Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan/bildiri kitaplarında basılan bildiriler:

Bektaşoğlu, M., & Kayıkçı, E. T. (2023). GRACE/GRACE-FO Uydu Verileri ile Fırat-Dicle Nehri Su Kütlesi Değişiminin Zaman Serisi Analizi. *XXII. Türkiye Ulusal Jeodezi Komisyonu (TUJK) Sempozyumu, Bildiri Özetleri Kitabı*, s. 72-73. Trabzon.

Bektaşoğlu, M., & Kayıkçı, E. T. (2023). Doğu Karadeniz Bölgesi İçin G3P Yeraltı Su Rezerv Verilerinin Zaman Serisi Analizi. *HİDRO'2023: Ulusal Hidrojeoloji ve Su Kaynakları Sempozyumu, Bildiriler Kitabı,* s. 203-210. Trabzon.