İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

UYDU (GRACE) GRAVİMETRİ YÖNTEMİ İLE BELİRLENEN SU KÜTLESİ DEĞİŞİMLERİNİN ÖLÇÜLMÜŞ HİDROMETEOROLOJİK VERİLERLE KARŞILAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Anıl Kızılaslan

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği Programı

MAYIS 2014

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

UYDU (GRACE) GRAVİMETRİ YÖNTEMİ İLE BELİRLENEN SU KÜTLESİ DEĞİŞİMLERİNİN ÖLÇÜLMÜŞ HİDROMETEOROLOJİK VERİLERLE KARŞILAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Anıl Kızılaslan
501111504

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Bihrat ÖNÖZ
Eş Danışman: Doç. Dr. Oral YAĞCI

MAYIS 2014

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501111504 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Mehmet Anıl Kızılaslan**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **"Uydu (GRACE) gravimetri yöntemi ile belirlenen su kütlesi değişimlerinin ölçülmüş hidrometeorolojik verilerle karşılaştırılması "** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	**Prof. Dr. Bihrat Önöz** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
Eş Danışman :	**Doç. Dr. Oral Yağcı** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Prof. Dr. Esin Çevik** Yıldız Teknik Üniversitesi	.....
	Doç. Dr. Sevinç Sırdaş İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
	Yrd. Doç. Dr. Necati Erdem Ünal İstanbul Teknik Üniversitesi	.....

Teslim Tarihi : 24.06.2014
Savunma Tarihi : 27.05.2014

Annem, babam ve ablama,

ÖNSÖZ

Lisans eğitimimin henüz ortasındayken hidrolik ve su kaynakları konusu üzerine yüksek lisans eğitimi almaya karar vermiştim. 2011 yılında mezun olduktan sonra İstanbul Teknik Üniversitesi Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği Yüksek Lisans Programına kabul edildim. Bu tez ile birlikte yüksek lisans eğitimim sona eriyor. Gerek bu tezin hazırlanmasında, gerekse yüksek lisans eğitimim boyunca benden desteklerini hiç esirgemeyen değerli hocalarım Prof. Dr. Bihrat Önöz ve Doç. Dr. Oral Yağcı'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Araştırma görevlisi olarak çalışmaya başladığım günden beri beni hep destekleyen sayın hocam Doç. Dr. Emrah Doğan'a; tezimin önemli verilerini temin etmemde yardımcı olan Prof. Dr. Orhan Akyılmaz'a teşekkür ederim.

İlk günden beri bana inanan, maddi manevi desteklerini hiç esirgemeyen, attığım her adımda yanımda olduklarına inandığım ablam Berfu Kızılaslan Tunçer'e, annem Suha Kızılaslan'a, babam Halit Kızılaslan'a ve eniştem Kadir Tunçer'e sonsuz teşekkür ederim. İyi ki varsınız...

Mayıs 2014

Mehmet Anıl Kızılaslan
(İnşaat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ vii
İÇİNDEKİLER ix
KISALTMALAR xi
ÇİZELGE LİSTESİ xiii
ŞEKİL LİSTESİ xv
ÖZET xvii
SUMMARY xix
1.GİRİŞ 1
1.1 Amaç 1
1.2 Kapsam 4
1.3 Literatürdeki Çalışmalar 6
2.TEMEL HİDROLOJİK KAVRAMLAR 13
2.1 Yağış 13
2.2 Buharlaşma 15
2.3 Yüzeysel Akış 16
3.GRACE UYDUSU 19
4.YÖNTEM 23
4.1 Veri 23
4.2 Metot 24
4.3 Trend Analizi 24
4.3.1 Mann Kendall trend analizi 24
4.3.2 Çoklu regresyon analizi 26
4.4 GRACE seviye değişim (ΔS_{GRACE}) ve $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ grafiği 27
5.UYGULAMA 31
5.1 Çalışma Alanı 31
5.2 Verilerin Değerlendirilmesi 33
5.2.1 Meteorolojik veriler 33
5.2.1.1 Yağış 33
5.2.1.2 Buharlaşma 39
5.2.1.3 Kar su eşdeğeri 44
5.2.2 Akım verileri 47
5.3 Verilerin Değerlendirilmesi 53
5.3.1 Meteorolojik verilerin trend Mann-Kendall analizi 53
5.3.2 Meteorolojik verilerin regresyon analizi 53
5.3.3 Akım verilerinin trend Mann-Kendall analizi 54
5.3.4 Akım verilerinin regresyon analizi 54
5.3.5 GRACE seviye değişimlerinin analizi 55
5.4 Su Bütçesi 56
5.4.1 GRACE seviye değişimleri ile ΔS grafiklerinin oluşturulması 57
5.4.2 Kutu grafiklerinin oluşturulması 67
5.5 Karşılaştırma 86
6. SONUÇ VE ÖNERİLER 87
KAYNAKLAR 89

ÖZGEÇMİŞ..... 91

KISALTMALAR

ABD	**:** Amerika Birleşik Devletleri
CNES/GRGS	**:** Centre National d'Études Spatiales, Toulouse/Groupe de Recherche de Géodésie Spatiale
DPT	**:** Devlet Planlama Teşkilatı
GLDAS	**:** Global Land Data Assimilation System
GRACE	**:** Gravity Recovery And Climate Experiment
IPPC	**:** Intergovernmental Panel on Climate Change
JPL	**:** Jet Propulsion Laboratory
LEGOS	**:** Laboratoire d'Etudes en Geophysiqu et Ocenographie Spatiale
NASA/GFZ	**:** National Aeronautics and Space Administration/GeoForschungs Zentrum Postdam
TRMM	**:** Tropical Rainfall Measuring Mission
UTCSR – CSR	**:** University of Texas, Center for Space Research

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1: Meteoroloji İstasyonları 23
Çizelge 4.2: Akım Gözlem İstasyonları 24
Çizelge 5.1: Grid merkezi koordinatları 31
Çizelge 5.2: Meteoroloji istasyonları ve temsil ettiği gridler 33
Çizelge 5.3: Akım gözlem istasyonları ve temsil ettiği gridler 48
Çizelge 5.4: Meteoroloji istasyonları trend testi sonuçları 53
Çizelge 5.5: Meteoroloji istasyonları regresyon analizi sonuçları 54
Çizelge 5.6: Akım gözlem istasyonları trend analizi sonuçları 54
Çizelge 5.7: Akım gözlem istasyonları regresyon analizi sonuçları 55
Çizelge 5.8: Seviye değişimi Mann – Kendall Z değerleri 55
Çizelge 5.9: Seviye değişimi regresyon sonuçları 56

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Hidrolojik çevrim 2
Şekil 1.2: Uygulamanın çalışma sahası 6
Şekil 1.3: GRACE uyudusu ve meteorolojik verilerle elde edilen seviye değişimlerinin (a)mevsimsel, (b)aylık ortalama, (c)ortalama mevsimsel, (d)yıllık (e)dairesel olarak değişim grafiği 8
Şekil 1.4: (a) Su depolaması değişim GRACE'ten (b)GLDAS'tan tahmin edilen toplam su kütlesi değişimi (c)GLDAS ve GRACE'den yer altı suyu değişim trendi 9
Şekil 1.5: Uygulamanın çalışma sahası 10
Şekil 3.1: GRACE uydusu 20
Şekil 4.1: ΔS_{GRACE} ve $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$'in negatif olma durumu ($\Delta S_{GRACE} < \Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$) 27
Şekil 4.2: ΔS_{GRACE} ve $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$'in negatif olma durumu ($\Delta S_{GRACE} > \Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$) 28
Şekil 4.3: ΔS_{GRACE} ve $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$'in pozitif olma durumu ($\Delta S_{GRACE} < \Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$) 28
Şekil 4.4: ΔS_{GRACE} ve $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$'in pozitif olma durumu ($\Delta S_{GRACE} > \Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$) 29
Şekil 4.5: ΔS_{GRACE}'in negatif $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$'in pozitif olma durumu 29
Şekil 4.6: $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$'in negatif ΔS_{GRACE}'in pozitif olma durumu 30
Şekil 5.1: Uygulamanın çalışma sahası 32
Şekil 5.2: Boğazlıyan meteoroloji istasyonu yağış grafiği 34
Şekil 5.3: Divriği meteoroloji istasyonu yağış grafiği 34
Şekil 5.4: Tercan meteoroloji istasyonu yağış grafiği 35
Şekil 5.5: Tomarza meteoroloji istasyonu yağış grafiği 35
Şekil 5.6: Adıyaman meteoroloji istasyonu yağış grafiği 36
Şekil 5.7: Diyarbakır meteoroloji istasyonu yağış grafiği 37
Şekil 5.8: Ceyhan meteoroloji istasyonu yağış grafiği 37
Şekil 5.9: Gaziantep meteoroloji istasyonu yağış grafiği 38
Şekil 5.10: Şanlıurfa meteoroloji istasyonu yağış grafiği 38
Şekil 5.11: Boğazlıyan meteoroloji istasyonu buharlaşma grafiği 39
Şekil 5.12: Divriği meteoroloji istasyonu buharlaşma grafiği 40
Şekil 5.13: Tercan meteoroloji istasyonu buharlaşma grafiği 40
Şekil 5.14: Tomarza meteoroloji istasyonu buharlaşma grafiği 41
Şekil 5.15: Adıyaman meteoroloji istasyonu buharlaşma grafiği 41
Şekil 5.16: Diyarbakır meteoroloji istasyonu buharlaşma grafiği 42
Şekil 5.17: Ceyhan meteoroloji istasyonu buharlaşma grafiği 42
Şekil 5.18: Gaziantep meteoroloji istasyonu buharlaşma grafiği 43
Şekil 5.19: Şanlıurfa meteoroloji istasyonu buharlaşma grafiği 43
Şekil 5.20: Boğazlıyan meteoroloji istasyonu kar su eşdeğeri grafiği 44
Şekil 5.21: Divriği meteoroloji istasyonu kar su eşdeğeri grafiği 44
Şekil 5.22: Tercan meteoroloji istasyonu kar su eşdeğeri grafiği 45
Şekil 5.23: Tomarza meteoroloji istasyonu kar su eşdeğeri grafiği 45

Şekil 5.24: Adıyaman meteoroloji istasyonu kar su eşdeğeri grafiği 46
Şekil 5.25: Diyarbakır meteoroloji istasyonu kar su eşdeğeri grafiği..... 46
Şekil 5.26: Şanlıurfa meteoroloji istasyonu kar su eşdeğeri grafiği 47
Şekil 5.27: Bulakbaşı akım gözlem istasyonu aylık ortalama akım grafiği 48
Şekil 5.28: Söğütlühan akım gözlem istasyonu aylık ortalama akım grafiği..... 49
Şekil 5.29: Kemah akım gözlem istasyonu aylık ortalama akım grafiği 49
Şekil 5.30: Yamula akım gözlem istasyonu aylık ortalama akım grafiği 50
Şekil 5.31: Göksun akım gözlem istasyonu aylık ortalama akım grafiği 50
Şekil 5.32: Loğmar akım gözlem istasyonu aylık ortalama akım grafiği 51
Şekil 5.33: Kadıncık akım gözlem istasyonu aylık ortalama akım grafiği 51
Şekil 5.34: Afrin akım gözlem istasyonu aylık ortalama akım grafiği 52
Şekil 5.35: Fatopaşa akım gözlem istasyonu aylık ortalama akım grafiği..... 52
Şekil 5.36: 38 numaralı grid ΔS_{GRACE} ile $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ grafiği..... 58
Şekil 5.37: 39 numaralı grid ΔS_{GRACE} ile $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ grafiği..... 59
Şekil 5.38: 40 numaralı grid ΔS_{GRACE} ile $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ grafiği..... 60
Şekil 5.39: 53 numaralı grid ΔS_{GRACE} ile $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ grafiği..... 61
Şekil 5.40: 54 numaralı grid ΔS_{GRACE} ile $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ grafiği..... 62
Şekil 5.41: 55 numaralı grid ΔS_{GRACE} ile $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ grafiği..... 63
Şekil 5.42: 68 numaralı grid ΔS_{GRACE} ile $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ grafiği..... 64
Şekil 5.43: 69 numaralı grid ΔS_{GRACE} ile $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ grafiği..... 65
Şekil 5.44: 70 numaralı grid ΔS_{GRACE} ile $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ grafiği..... 66
Şekil 5.45: Ocak ayı ΔS_{GRACE} ile $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ grafiği..... 69
Şekil 5.46: Şubat ayı ΔS_{GRACE} ile $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ grafiği..... 70
Şekil 5.47: Mart ayı ΔS_{GRACE} ile $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ grafiği 71
Şekil 5.48: Nisan ayı ΔS_{GRACE} ile $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ grafiği..... 73
Şekil 5.49: Mayıs ayı ΔS_{GRACE} ile $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ grafiği 74
Şekil 5.50: Haziran ayı ΔS_{GRACE} ile $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ grafiği..... 75
Şekil 5.51: Temmuz ayı ΔS_{GRACE} ile $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ grafiği 77
Şekil 5.52: Ağustos ayı ΔS_{GRACE} ile $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ grafiği 78
Şekil 5.53: Eylül ayı ΔS_{GRACE} ile $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ grafiği 79
Şekil 5.54: Ekim ayı ΔS_{GRACE} ile $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ grafiği 81
Şekil 5.55: Kasım ayı ΔS_{GRACE} ile $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ grafiği..... 82
Şekil 5.56: Aralık ayı ΔS_{GRACE} ile $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ grafiği..... 83
Şekil 5.57: Gridlerdeki yağış, akım, buharlaşma ve kar su eşdeğeri değişimleri 84
Şekil 5.58: Gridlerdeki yeraltı suyu değişimleri 85

UYDU (GRACE) GRAVİMETRİ YÖNTEMİ İLE BELİRLENEN SU KÜTLESİ DEĞİŞİMLERİNİN ÖLÇÜLMÜŞ HİDROMETEOROLOJİK VERİLERLE KARŞILAŞTIRILMASI

ÖZET

Su yeryüzündeki tüm canlılar için hayati önemi olan doğal bir kaynaktır. Su kaynaklarının etkin bir şekilde değerlendirilmesi, suyun öneminin giderek arttığı bu günlerde ülkemizin pek çok bölgesinde çalışma konusudur. Bir ülkede su seviyesinin değişimini gözlemlemek, ülkemiz gibi tarımsal faaliyetlerin yapıldığı yerlerde önem arz etmektedir. Seviye değişimleri pek çok uydu tarafından gözlemlenmekte ve pek çok çalışmada veri olarak kullanılmaktadır. Uydudan elde edilen veriler ile hidrometeorolojik olarak ölçülmüş değerleri kıyaslamak ise verilerin güvenilirliğini artırmaktadır.

Bu çalışmada, 2002 yılının mart ayında firlatılan GRACE (Gravity Recovery And Climate Experiment) uydusu ölçümlerinden yararlanılarak Türkiye'de seçilen dokuz adet gridin seviye değişimleri incelenmiştir. Seçilen bölgeleri temsil etmesi adına her bir grid içerisinde kalan meteoroloji istasyonlarından aylık toplam yağış, buharlaşma, kar su eş değeri verileri ile akım gözlem istasyonlarından aylık ortalama akım verileri elde edilmiştir. Değerlendirmeler; Mart 2003 ile Mayıs 2008 arasında aylık olarak yapılmıştır.

Her bir griddeki seviye değişimlerine, meteorolojik verilere ve ortalama akım verilerine zaman içerisindeki artış veya azalışlarını belirlemek adına Mann- Kendall trend analizi testi ve regresyon analizi yapılmıştır.

Sonuç olarak, 0.05 anlamlılık düzeyinde L1B çözünürlüğünde dokuz gridden üçünün seviye değişimlerinde anlamlı bir azalma, L2 çözünürlüğünde ise 1 gridde anlamlı bir azalma görülmüştür. Aynı anlamlılık düzeyinde yağış ve buharlaşma ölçümlerinde anlamlı bir artış ya da azalış görülmemekle birlikte; yağışlarda bir azalma buharlaşma da ise bir artma görülmektedir. Ortalama akım ölçümlerinde ise 4 akım gözlem istasyonu verilerinde anlamlı bir azalma belirlenmiştir.

Uydu verileri ile meteoroloji ve akım gözlem istasyonlarından ölçülmüş veriler kullanılarak kutu grafikleri ile çizilmiş ve yer altı suyu değişimleri incelenmiştir.

Yapılan çalışmanın, su kaynaklarının kullanılmasına ilişkin yapılacak olan çalışmalara yardımcı olması ve bölgenin genel su değişimi ile ilgili referans bilgi vermesi öngörülmektedir.

COMPARISON OF TOTAL WATER STORAGE CHANGES BY GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment) WITH SATELLITE GRAVIMETRY METHOD AND HYDROMETEOROLOGICAL DATA

SUMMARY

Water is a vital resource for every living thing on the Earth. The definition by Scientific Hydrological Committee of the US Federal Council for Science and Technology in 1962 is as follows:"Hydrology is a basic and an applied science that treats the waters of the Earth, their occurrence, circulation, and distribution, their chemical and physical properties, and their reaction with their environment, including their relation to living things". Thanks to this definition, hydrology has become a subject matter studies by many other scientific disciplines. Hydrology has a interdisciplinary nature and is in close relation to such sciences as mathematics, physical, and chemistry.

Global warming caused serious problems concerning water resources, which is thought to result in a decrease in agricultural and forestry products, energy shortage, a populations flow from coastal to central areas.

For the preservation of eco-balance and a sustainable development of human communities, water resources should be exploited in the wisest way possible so as to satisfy the present and future need for water.

Recently, due to the increasing importance of water, efficient use of water resources has been drawing more attention in Turkish academic milieu. It is crucial to monitor the fluctuations in the water levels in agricultural countries like Turkey. These variations are monitored via satellites and used as data in numerous studies. Comparing satellite data with hydrometeorologically obtained data increases the reliability the processed data.

The present study analyses the variations in nine grid levels in Turkey relying on data obtained from GRACE (Gravity Recovery And Climate Experiment), which was launched in March 2002. The satellite is intended to determine the static gravity field of the Earth and its temporal changes. With this satellite, variations in the terrestrial water storage, tidal and atmospheric mass, and glacial mass can be monitored by means of temporal changes in the globe's gravitational force. The measurement of earth's gravitational force and its temporal variations and the determination of their interrelation to climatic changes are among the missions of GRACE.

GRACE mission consists of two identical satellites orbiting about 220±50 km apart in a circular trajectory 460 km above the Earth at inclination of 89º to the equator. Intersatellite distances which are recalculated every 5 seconds and variations in these distances allow the researchers to monitor temporal mass variations.

By means of the energy conservation principle, the difference between gravitational forces of the two satellites on the orbit can be measured on the basis of the evaluation of the variations in intersatellite distance, the satellites' positions and velocity and accelerometric data.

Two types of data are obtained from the satellites; i.e. monthly L2 harmonic gravity field model and L1 satellite on-orbit data. L1B data refers to a sub-set of GRACE data used for the calculation of spherical harmonic coefficient, called L2 data.

The present study primarily focuses on Southeastern Anatolia (in Turkey), where numerous dams were constructed within the framework of GAP (Southeasten Anatolia Project), on which there is little but hard-to-process data, and which neighbours transborder rivers.

To create a highly representative data set, the study relies on monthly data on total precipitation, evaporation, snow water equivalent from meteorology stations within the grid and monthly average flow estimates from flow observation stations. Measurements and evaluations were performed from March 2003 till May 2008.

Whether a statistically continuous variation (increase-decrease) occurs in the value of a random variable in a time series (trend) can be revealed via statistical tests. The Mann-Kendall is one of the common trend test, a non-parametric test.

Mann-Kendall is often times used to analyze and describe such hydrometeorological data as precipitation, temperature, evaporation, and flow. If the data from an observation station continuously increase or decrease over time, then it can be suggested that there is a pattern, i.e. trend.

Regression analysis is used to estimate whether a statistically significant relationship exists among variables in the system. If so, it is used to obtain the regression equation of this relationship, to produce estimations, and to calculate reliability range of these estimations.

The level variations in each grid, meteorological data and average current data were analyzed via Mann-Kendall trend analysis and regression analysis to discover probable increases and decreases in these variables over time.

In conclusion, out of nine grids the analyses of L1B and L2 resolution data revealed a significant ($p<0.05$) decrease in three grids and in one grid, respectively. No significant increase or decrease was observed in measurements concerning precipitation and evaporation ($p<0.05$); but an increase in evaporation and a decreasing trend in precipitation were observed. Average flow measurements revealed a statistical significance in four flow monitoring stations.

As indicated in Chapter 3, GRACE is able to remotely sense total vertical variations in water masses; that is, variations in groundwater, soil humidity, surface water, snow and glaciers. It was calculated via the equation;

> $\Delta S_{HYDROMETEOROLOGIC}$ = monthly total precipitation – monthly total evaporation + monthly total snow water equivalent + monthly average surface flow

The data on groundwater (GW) were not included in the calculation of the ΔS_{GRACE} variable obtained with the hydrometeorological data. So the difference between level variations obtained from ΔS_{GRACE} and $\Delta S_{HYDROMETEOROLOGIC}$ would yield significant data on the use of groundwater.

Box plots established and estimated groundwater changes with satellite data and hydrometeorological data.

Climatic features of the region indicate that the area receives some amount of precipitation in winter. It was also observed that at this time of the year more groundwater is saved in the regions where less irrigation is conducted and less water is used for daily activities. On the contrary, in spring more water is used for irrigation and daily routines due to the reduction in precipitation, which in return causes groundwater depletion.

Moreover, groundwater is used more in the south grids than the north because less snow melts in the south grids. The least amount of groundwater was observed in summer since at that time of the year the area receives a very little amount of precipitation, groundwater is overused for irrigation, and the need for water to drink and for daily routines is higher than the rest of the year.

However, in autumn precipitation rates increase again, which means the oscillation between the peak and the bottom values goes back to normal and more groundwater is accumulated, particularly in the north grid.

As a result; for grid 38; $\Delta S_{GRACE,}$ precipitation, evapotranspration, surface flow, snow water equivalent increase; for grid 39; ΔS_{GRACE}, evapotranspration, surface flow, snow water equivalent increase, precipitation decrease; for grid 40; precipitation, surface flow, snow water equivalent decrease, ΔS_{GRACE}, evapotranspration increase; for grid 53; precipitation, surface flow, snow water equivalent decrease, ΔS_{GRACE}, evapotranspration increase; for grid 55; precipitation, surface flow (significant), decrease, ΔS_{GRACE}, evapotranspration, snow water equivalent increase; for grid 68; ΔS_{GRACE} (significant), precipitation, surface flow decrease, evapotranspration (significant), snow water equivalent increase; for grid 69; ΔS_{GRACE} (significant), precipitation, surface flow decrease, evapotranspration (significant), snow water equivalent increase and for grid 70; ΔS_{GRACE} (significant), precipitation, surface flow, snow water equivalent decrease, evapotranspration (significant), increase.

For groundwater change; in grid 38, 39, 40, 53, groundwater increase in January, February, March, April, November and December; decrease in May, June, July, August, September and October. In grid 54, 55, 68, 69 and 70 groundwater increase in January, February, March, November and December; decrease in April, May, June, July, August, September and October

Although Turkey is surrounded by water on three sides, wrong irrigation techniques, it is most likely to face water shortage due to the increase in the demand and need for water to drink and for daily use. The current study is intended to investigate the fluctuations in the water storage in the Southeastern Anatolia, which is quite an important region for Turkey. The determination of the variations in the region's groundwater levels has notably helped better understand the variations of an important water resource.

The study is expected to contribute to future research on the exploitation of water resources and to serve as a reference work on variations in the amount of water supplies.

1. GİRİŞ

Yüzeysel su hidrolojisi; dünya yüzeyindeki suyun oluşum, dağılım ve hareketi olarak tanımlanabilirken, yer altı suyu hidrolojisi, suyun dünya yüzeyi altındaki oluşum, dağılım ve hareketi olarak tanımlanır. Yer altı suyu genel olarak, suyu jeolojik bir katmanda tutmak olarak algılanabilir (Todd ve Mays, 2005). Küresel ısınma sonucu su kaynaklarında ciddi sorunlar yaşanmakta olup tarım ve orman ürünlerinde azalışa, enerji sıkıntısına, kıyı kesimlerden iç kısımlara doğru nüfus hareketine neden olması beklenmektedir. Ekolojik dengenin korunması ve insan topluluklarının sürdürülebilir gelişiminin sağlanması için, su kaynaklarının bugün ve gelecekteki gereksinimleri karşılayabilecek en akılcı şekilde kullanılması gerekmektedir (Karaman ve Gökalp, 2010). Aynı zamanda kuraklık gibi doğa olaylarına ek olarak havzanın üst kısmında bulunan kullanıcıların yönetim kararları, havza altında yaşayanları önemli biçimde etkilemektedir. Suyun insan kaynaklı ve iklim değişikliği sebebiyle değerinin arttığı bu dönemde bir ülke yüzeysel su hidrolojisinin değişimini belirlemek ve bu değişime sebep olan etkenleri incelemek yarar sağlayacaktır.

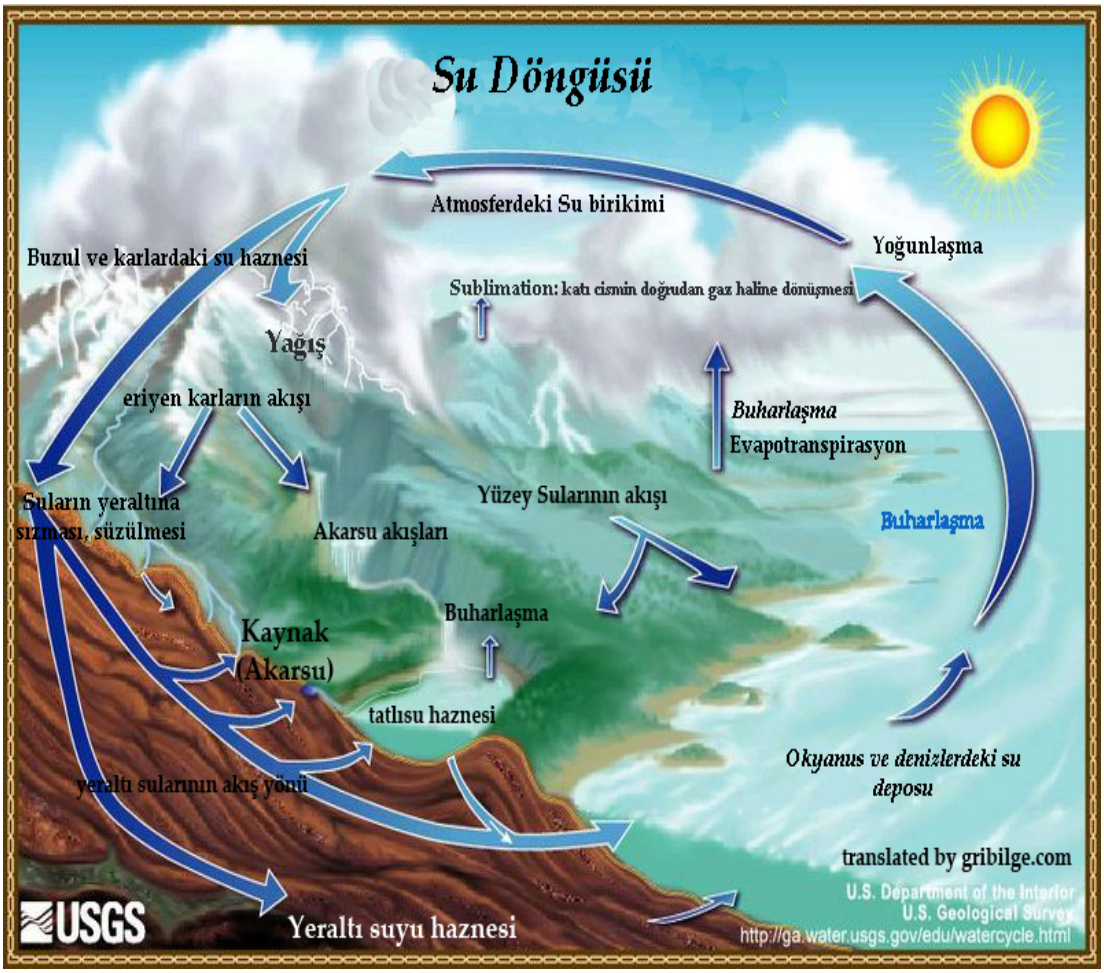
1.1 Amaç

Su yeryüzünde canlıların yaşaması için gerekli olduğu ve olabilecek zararları önlemek için suyu kontrol altına almak gerektiğinden insanlık tarihinin başlangıcından beri su ile ilgilenmişler, suyun özelliklerini tanımaya, hareketini yöneten yasaları belirlemeye, yaratabileceği tehlikeleri önlemeye ve sudan en iyi şekilde yararlanmaya çalışmışlardır (Bayazıt, 2003).

1962 yılında A.B.D. Bilim ve Teknoloji Federal Konseyi Bilimsel Hidroloji Komisyonu tarafından yapılan tanımlamada: ‘’Hidroloji, yer küresinde (yani yeryüzünde, yer altında ve atmosferde) suyun çevrimini, dağılımını, fiziksel ve kimyasal özelliklerini, çevreyle ve canlılarla karşılıklı ilişkilerini inceleyen temel ve uygulamalı bir bilimdir.’’ olarak belirtilmiştir.

Bu tanımıyla hidroloji diğer birçok bilimlerin alanlarına da girmektedir. Disiplinler arası bir niteliği olan hidroloji bilimi matematik, fizik ve kimya gibi bilimlerle yakın bir ilişki içindedir. Hidrolojiyle diğer bilimler arasındaki sınırları kesin olarak çizmek çok güçtür.

Su, doğada sıvı, katı ve gaz hallerinde yer küresinin çeşitli kısımlarında durmadan dönmektedir. Suyun doğada dönüp durduğu yolların tümüne birden hidrolojik çevrim denir. Atmosferde buhar halinde bulunan su yoğunlaşarak yağış şeklinde yeryüzüne düşer. Karalar üzerine düşen suyun büyük bir kısmı (%60-75 kadarı) zeminden ve su yüzeylerinden buharlaşma ve bitkilerden terleme yoluyla denizlere erişmeden atmosfere geri döner, bir kısmı bitkiler tarafından alıkonur (tutma), bir kısmı zeminden süzülerek yeraltına geçer (sızma). Geriye kalan su ise yerçekimi etkisiyle hareket ederek akarsulara ve onlar yoluyla denize ulaşır (yüzeysel akış). Yeraltına sızan su ise yer altı akışı yoluyla sonunda yeryüzüne çıkarak yüzeysel akışa katılır. Denizlere ulaşan su da buharlaşarak atmosfere geri döner. Görüldüğü gibi su katı, sıvı ve gaz hallerinde doğanın çeşitli kısımları arasında ve çeşitli yollar izleyerek dönüp durmaktadır. Bu çevrim için gerekli enerji güneşten ve yerçekiminden sağlanır. Yerküresinin iklim sistemi ile yakından ilişkisi olan hidrolojik çevrim günlük ve yıllık periyotları olan bir süreçtir. Şekil 1.1'de su döngüsü ve elemanları gösterilmiştir.



Şekil 1.1: Hidrolojik çevrim (URL-1)

Sistem, düzenli bir şekilde birbirleriyle ilişkili olan ve çevresinden belli bir sınırla ayrılan bileşenler takımı olarak tanımlanır. Sistemi çevresinden ayıran sınırın çizilmesi incelenen problemin özelliklerine bağlıdır. Hidrolojik çalışmalarda göz önüne alınan sistem bir akarsu havzasının bir bölümü olacağı gibi bir havzanın tümü de olabilir, birkaç havza bir arada bir sitem olarak da düşünülebilir. Bir sistemin çevresiyle olan ilişkileri girdi ve çıktı vektörleriyle belirlenir.

Kütlenin korunumu ilkesi hidrolojik çevrimin herhangi bir parçasında suyun ne yok olduğunu ne de yoktan var olduğunu gösteren süreklilik denklemine götürür.

$$x - y = \frac{dS}{dt} \tag{1.1}$$

Bu denklemde x göz önüne alınan hidrolojik sisteme birim zamanda giren su miktarı, y birim zamanda sistemden çıkan su miktarı, S ise sistemde birikmiş su miktarıdır. Bu denklem herhangi sonlu bir Δt zaman aralığındaki değerler (X,Y,ΔS) göz önüne alınarak da yazılabilir,

$$X - Y = \Delta S \tag{1.2}$$

1.2 denklemi belli bir zaman aralığında sisteme giren X su miktarı ile çıkan Y su miktarının farkının birikmiş su miktarındaki ΔS değişimine eşit olduğunu gösterir.

Su kaynaklarının gittikçe azaldığı bu günlerde küresel ısınmanın etkileri sıklıkla görülmektedir. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)' nin 2001 yılında yayınladığı belgelere göre küresel ısınma 19. yüzyılın sonlarında başlayan ve atmosferdeki birikmelerle artmaya devam eden sera gazları nedeniyle kuvvetlenen sera etkisiyle oluşmuş ve 2000'li yıllarda etkisini en yüksek seviyede göstermeye başlamıştır.

Türkiye, üç yanı denizlerle çevrili ve ortalama yüksekliği 1100 m olan bir ülkedir. Ülkemiz genel olarak Akdeniz iklimi etkisinde olsa dahi birçok alt iklim tipi bölgelerde görülmektedir. Ülkemizde küresel ısınmanın özellikle su kaynaklarının azalmasına, orman yangınlarına, kuraklık ve çölleşme ile bunlara bağlı ekolojik bozulmalara sebep olacağı öngörülmekte ve küresel ısınmanın potansiyel etkileri açısından risk grubu ülkeler arasında yer almaktadır (DPT, 2000)

Küresel ısınma sonucunda Türkiye'nin karşılaşabileceği problemler; doğal ekolojik sistemlerin bileşimini ve üretkenliğini bozacağı ve biyolojik çeşitliliği azaltacağı, ormanlarının, olası bir iklim değişikliğinde (sıcaklık, yağış uç olaylar, zararlıların yayılışı ve yangınlar), su kaynaklarının azalması, orman yangınları, kuraklık ve çölleşme ile bunlara bağlı ekolojik bozulmalardan ülkemizin olumsuz etkileneceği, tarım alanlarının kötü kullanımı, su yönetim eksiklerine bağlı su baskınları, tuzlanma, çoraklaşma, aşırı pestisit ve gübre kullanımına bağlı kirlenme, İç Anadolu, Güney Doğu Anadolu, Ege ve Akdeniz Bölgeleri gibi yarı kurak ve yarı nemli bölgelerinde tarım, ormancılık ve su kaynakları açısından olumsuz etkilere yol açabileceği şeklinde açıklanabilir (Öztürk, 2002).

Yapılan bu çalışma; hidrolojinin temel parçalarından biri olan kütlenin korunumu denklemini kullanarak Türkiye'deki su potansiyeli değişimi incelenmiştir. NASA/GFZ (Geo Forschungs Zentrum Potsdam) ortak misyonu olarak Mart 2002'de fırlatılan GRACE (Gravity Recovery And Climate Experiment) uydusundan elde edilen seviye değişimleri ile Meteoroloji Genel Müdürlüğü' nden alınan yağış, buharlaşma verileri; Elektrik İşleri Etüd İdaresi' nden alınan akım verileri bir arada değerlendirilmiştir.

Çalışmanın konusu ülkemizin su potansiyelinin en yoğun olduğu Doğu/Güneydoğu Anadolu Bölgesi' ndeki su potansiyeli değişimlerinin irdelenmesi olarak belirlenmiş ve önümüzdeki yıllarda kıymetinin daha da çok artacağı düşünülen suyun değişimini bölgesel olarak incelenmesi hedeflenmiştir.

1.2 Kapsam

20. yüzyıldan itibaren su kaynaklarının kontrolü ve kullanımı ile ilgili çalışmalar hız kazanmış ve günümüzde 'Su Kaynaklarının Geliştirilmesi' adı altında bir bilim dalını oluşturulmuştur. Bu bilim dalının oluşmasına pek çok etken sebep olmuştur. Bunlardan bazıları;

- Dünya nüfusunun hızla artışı ve endüstriyel gelişmelerle birlikte suya olan ihtiyacın artması;
- Suyu kullanma amacının yalnızca ekonomik olmaktan çıkarak çevre kirlenmesinin kontrolü, doğanın korunması, hakların gözetilmesi gibi amaçları da barındırması;

- Teknolojinin ilerlemesi ile su ile yapılacak olan projelerin çeşitlenmesi ve bu seçeneklerin karşılaştırılarak seçim yapılması;
- Su kaynakları proje kararlarının kesin ve değiştirilmesi zor olması;
- Ülkenin refah seviyesinin gelişmesinde suyun ve su kaynakları projelerinin itici güç oluşturması (Bayazıt, 1994) gibi etkenler belirtilebilir.

Su kaynaklarının geliştirilmesi ve efektif olarak kullanılabilmesi için su potansiyelinin doğru belirlenmesi, potansiyeldeki değişimin bilinmesi ve yorumlanabilmesi gerekmektedir. Bu amaçla, çalışmada birbirini takip eden 220 ve 450 km yükseklikteki iki adet uydudan oluşan, mikro ölçeklerde çözünürlüğü olan 10 günden aylara kadar aralıklı Dünya'nın gravite alanındaki değişimleri belirleyen GRACE uydusundan elde edilen su potansiyeli değişimleri incelenmiştir.

Yapılan çalışmanın başlıca adımları şunlardır;

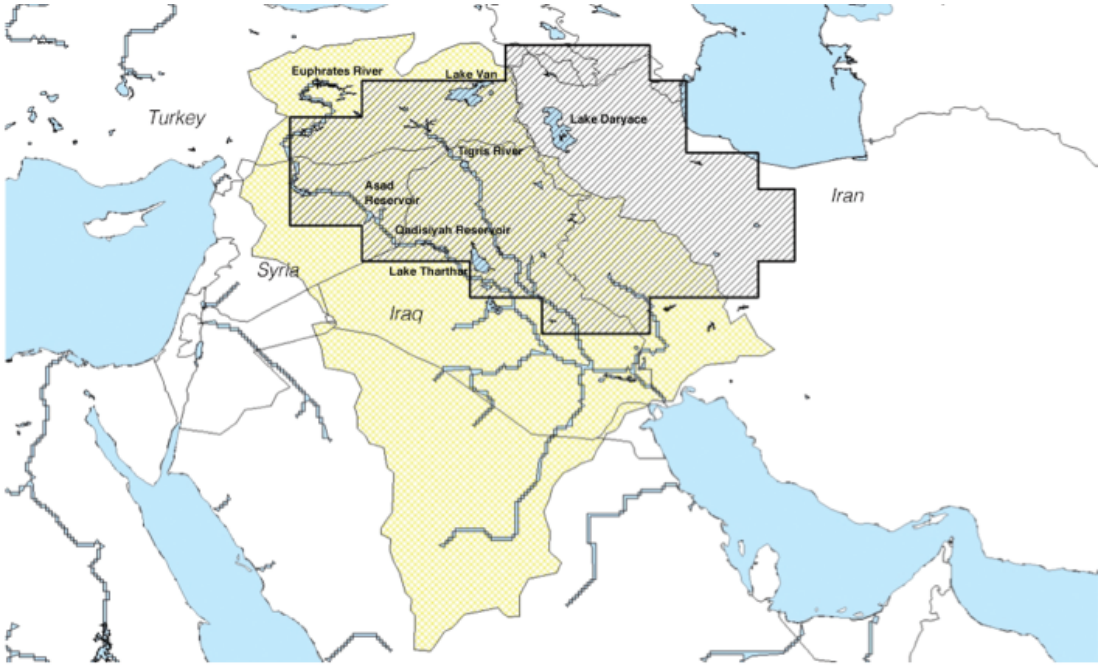
- Uydudan elde edilen ülke için önem arz eden bölgelerde 9 adet grid belirlenmesi
- Seçilen gridlerdeki seviye değişim verilerine parametrik olmayan Mann-Kendall trend testi uygulanması
- Seviye değişim verilerine regresyon analizinin uygulanması
- Gridlerin bulunduğu bölge ile ilgili araştırmalar sonucu Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden çeşitli istasyonlardan yağış ve buharlaşma verilerinin, Elektrik İşleri Etüd İdaresi' nden akım verilerinin elde edilmesi
- Aylık toplam yağış, buharlaşma, kar su eşdeğeri ve akım verilerine Mann-Kendall trend testi ve regresyon analizi uygulanması
- ΔS = Aylık toplam yağış ± Aylık toplam buharlaşma ± Aylık toplam kar su eşdeğeri ± Aylık ortalama yüzeysel akış işlemi yapılarak $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$(mm) değerinin belirlenmesi ve bu değerler ile GRACE uydusundan elde edilen ΔS_{GRACE} seviye değişimlerinin karşılaştırılarak işaret ve kutu grafikleri ile yorumlanması.

1.3 Literatürdeki Çalışmalar

Literatürde GRACE uydusu ile ilgili pek çok çalışma yer almaktadır.

Vey ve diğerleri (2013), çalışmalarında Sibirya'da devamlı donmuş toprak tabakasına sahip Yakutsk bölgesinde GRACE uydusundan elde edilen verileri incelemişlerdir. 2003 – 2007 yıllarında bölgede bir tabaka kalınlaşması belirlemişler, 2007 – 2011 yılları arasında ise tersine tabaka incelmesi ile karşılaşmışlar. Tüm yıllara bakıldığında ise tabaka kalınlığı değişimde bir trende rastlamamışlar. Çalışmada GRACE verileri Ocak 2003 ile Aralık 2011 arasında aylık olarak kullanılmıştır. Aylık olan bu verileri üç yaklaşımla değerlendirmişler; (1) verilerde 9 yıl boyunca linner trendini araştırmışlar (2) ikinci derecede bir denklemle olası artış ve azalışa bakmışlar (3) iki lineer trendi 2003 – 2007 için ve 2007 – 2011 için uygulamışlar.

Voss ve diğerleri (2013) çalışmalarında Dicle – Fırat – Batı İran bölgesindeki tatlı su birikiminin trendini incelemişlerdir. Bu incelemede GRACE uydusundan elde edilmiş Ocak 2003 – Aralık 2009 tarihleri arasında 84 aylık veri kullanmışlardır. Bölgede toplam su kütlesi değişiminde yüksek oranda (-27.2 ± 0,6 mm/yıl) bir azalma saptamışlardır. Şekil 1.2'de Voss ve diğerleri tarafından yapılan çalışmanın sahası harita üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 1.2: Uygulamanın çalışma sahası (Voss ve diğ., 2013)

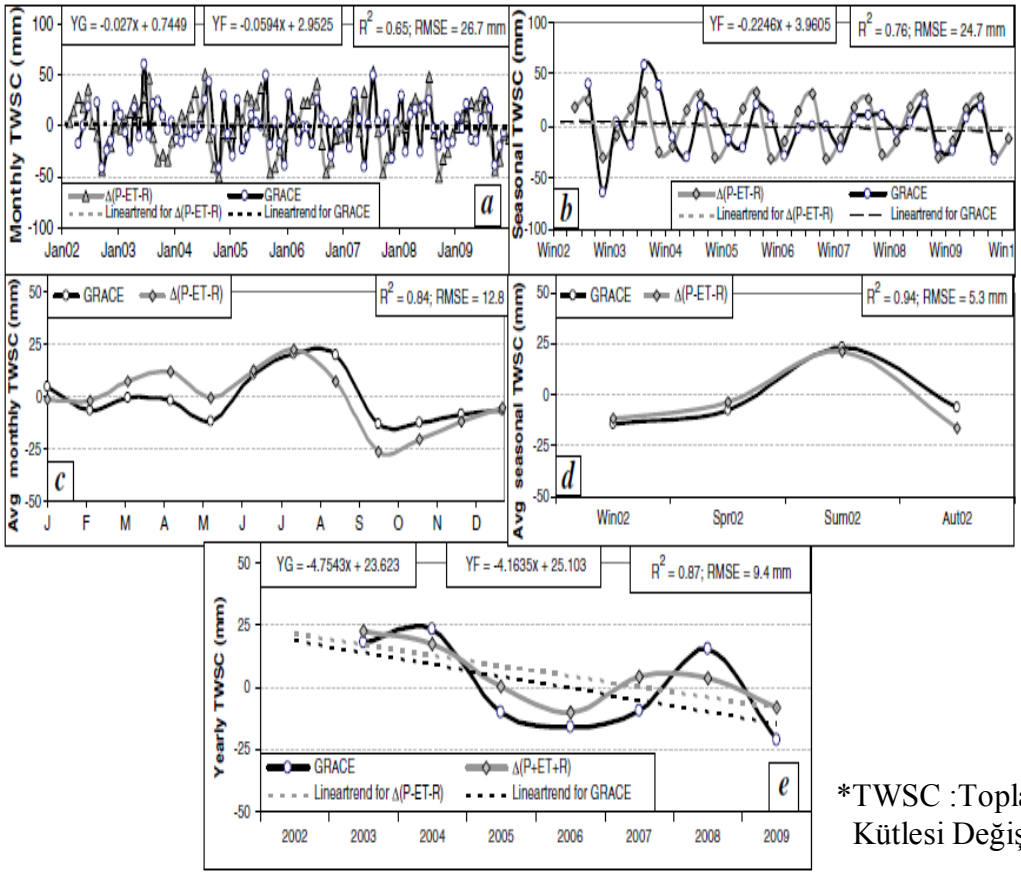
Bu azalma trendinin ana sebebinin yer altı suyu olduğunu belirlemişler ve bu belirlemede GLDAS' tan yağış, buharlaşma, yüzeysel akış, toprak nemi ve kar su

eşdeğeri verilerini temin etmişlerdir. GLDAS NASA'ya bağlı arazi veri asimilasyon sistemidir. Sistem sayesinde 3 saatlikten aylığa kadar pek çok veri setine ulaşılabilir. Çalışmada ayrıca Van Gölü, Urmia Gölü, Tharthar Gölü, Asad ve Qadisiyah barajlarının su seviye değişimlerini Laboratoire d'Etudes en Geophysiqu et Ocenographie Spatiales (LEGOS)'tan elde etmiş ancak bölge için önem arz eden Saksak, Atatürk, Mossoul Barajlarını dikkate almamışlardır. Sonuç olarak bölgede yılda 17.3 ± 2,1 mm/yıl yer altı suyu kaybı olduğunu belirlemişlerdir.

Li ve diğerleri (2013) Avrupa'da bulunan 9 ana havzada (Finlandiya, Vistula, Rhina/Elber/Seine, Rhone/Po, Aşağı Danube, Yukarı Danube, Dnieper, Türkiye) 7 yıllık periyotta karasal su kütlesi değişimini incelemişlerdir. Bölgede veri kaydının az olmasından dolayı toprak nemi ile ilgili verileri GRACE elde edilmiş ve bu verinin değişimini incelenmiştir. Aynı zamanda GRACE uydusu verilerinin yardımıyla yer altı suyu tahmini yapmışlardır. Bu tahminde GRACE verileri ile elde ettikleri trend ve mevsimsellik sonuçlarını kullanmışlardır. Çalışmada karasal su kütlesi değişimi simüle edilmiştir.

Pereira ve Pacino (2013) Güney Amerika'nın %17'sini oluşturuan Brezilya, Arjantin, Paraguay, Bolivya ve Uruguay'ın içinde bulunduğu La Palata havzası üzerinde çalışmışlardır. GRACE verisi gravite trendi ile gravite genliğini ve eşdeğer su yüksekliğini belirlemek için analiz edilmiş ve karşılaştırılmıştır. 4 veri işlem merkezinin sonuçları kullanılmıştır. Bunlar UTCSR – CSR (University of Texas, Center for Space Research), GFZ (Geo Forschungs Zentrum, Potsdam), JPL (Jet Propulsion Laboratory, NASA), CNES/GRGS (Centre National d'Études Spatiales, Toulouse/Groupe de Recherche de Géodésie Spatiale)'dir. Sonuç olarak GRACE uydusundan elde edilen seviye değişim verileri ile La Palata havzasında kütle değişimleri belirlenmiştir. Havza güneyinde negatif gravite trendi belirlenmiş ve bu durum bölgede bulunan Paran Nehri'nin meteorolojik olaylardan fazlaca etkilenerek mevsimsel değişiklikler göstermesine dayandırılmıştır. 4 veri işlem merkezi sonuçlarında trend ve genlik şekillerinde farklılıklar gözlemlenmiştir. Eşdeğer su yüksekliği yağış verileri ile tahmin edilmiş GRACE verileri incelendiğinde 2007 yılında etkili bir yağış, 2009 güzünde ise kuraklık gözlenmiştir. Bu durum El Nino ve La Nina olayları ile bağdaştırılmıştır.

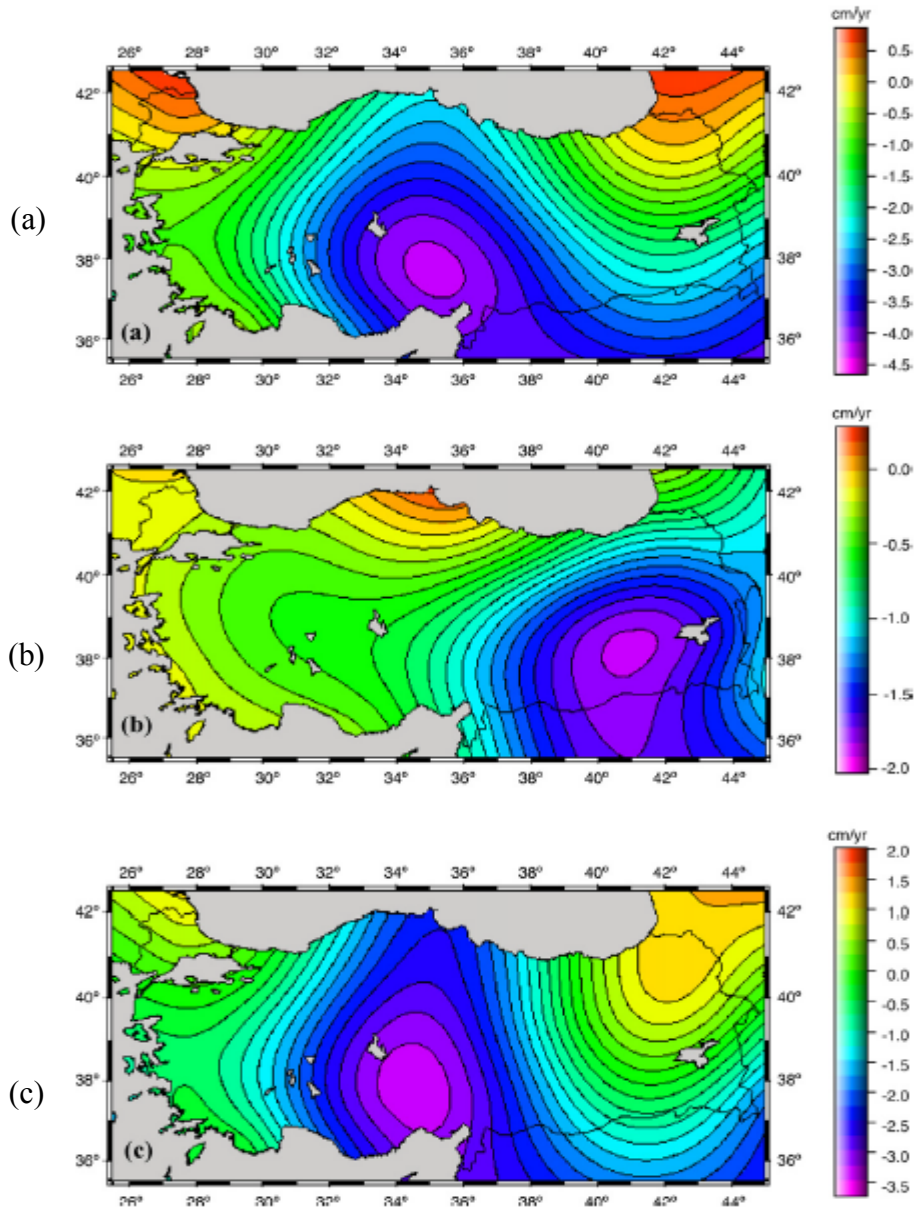
Moivo ve diğerleri (2013) Çin'in tahıl üretiminin büyük bir kısmını karşılayan Doğu Çin bölgesinde 2002 – 2009 yılları arasında akış, buharlaşma, yağış ve GRACE uydusundan elde edilen seviye değişim verileri üzerinde çalışmışlardır. Buharlaşma ve akış verilerin GLDAS'tan yağış verilerini ise Doğu Çin'de bulunan meteoroloji istasyonlarından elde etmişlerdir. Veriler Nisan 2002 - Aralık 2009 arasında aylık bazda değerlendirilmiştir. Genel olarak su kütlesi birikimi ile akış ve meteoroloji verileri arasında bir uyum görülmüştür. Buharlaşmanın incelenen süreçte nispeten stabil, GRACE seviye değişim verileri ile akış verileri arasındaki ayrılığın ise giderek daraldığı gözlemlenmiştir. Su kütlesi birikim değişimlerinde negatif bir trend belirlenmiş, yaz aylarında kazanım kış aylarında ise kayıp görülmüştür. Bu mevsimsel değişiklik yağış trendine ve tarımsal aktivitelere dayandırılmıştır. Şekil 1.3'te Moivo ve diğerleri tarafından yapılan çalışmaya ait grafikler verilmiştir.



*TWSC :Toplam Su Kütlesi Değişimi

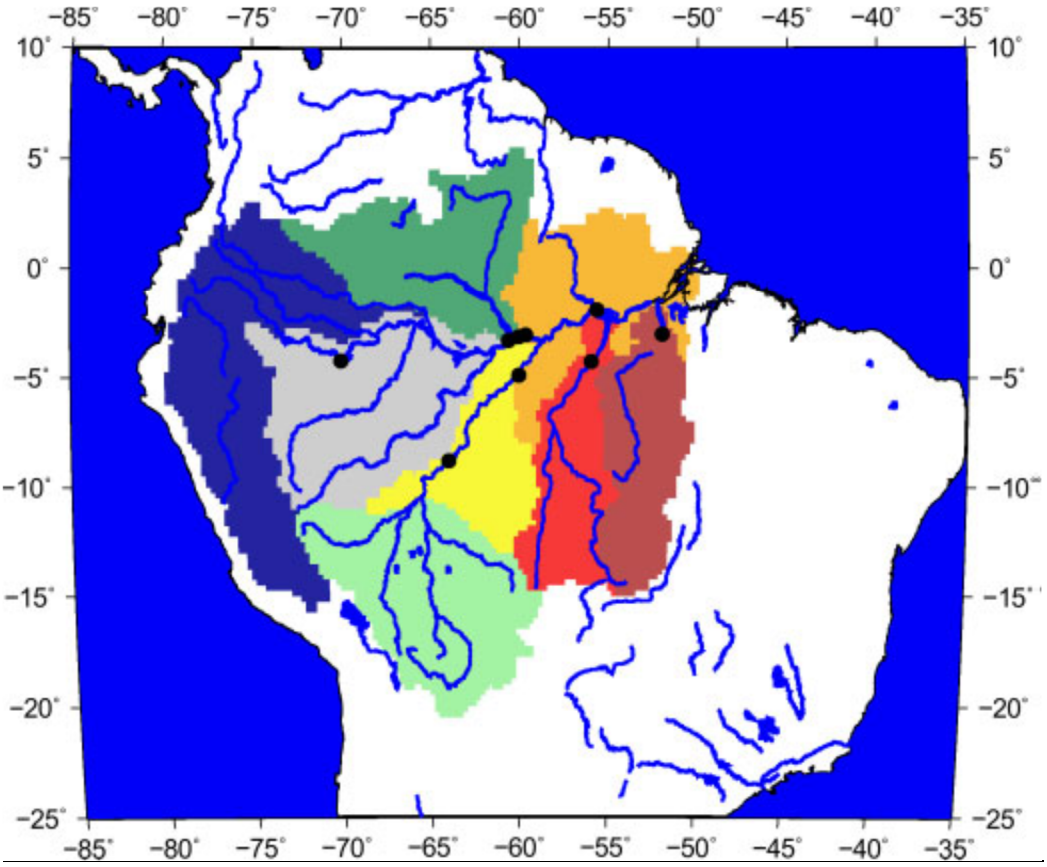
Şekil 1.3: GRACE uyudusu ve meteorolojik verilerle elde edilen seviye değişimlerinin (a)mevsimsel, (b)aylık ortalama, (c)ortalama mevsimsel, (d)yıllık (e)dairesel grafikleri (Moivo ve diğ., 2013)

Lenk (2013) çalışmasında orta ve geniş uzaysal ölçeklerde nicel olarak yüzeysel su değişimini ve yer altı suyu değişimi incelemiştir. Mart 2003 ile Mart 2009 periyotlarında Türkiye Güney bölgelerinde yüzeysel sularda yılda 4 cm 'ye kadar bir azalma gözlemlemiştir. Aynı bölgede ayrıca GLDAS verileri ile inceleme yapmış ve bölgede bir azalma trendi gözlemlemiş ancak ihmal edilebilecek kadar küçük değerler elde etmiştir. Şekil 1.4'te Lenk tarafından yapılan çalışmanın sahası ve GRACE, GLDAS'tan elde edilen su kütlesi değişimleri ile GRACE ve GLDAS'tan elde edilen yeraltı suyu değişimleri verilmiştir.



Şekil 1.4: (a) Su depolaması değişim GRACE'ten (b)GLDAS'tan tahmin edilen toplam su kütlesi değişimi (c)GLDAS ve GRACE'den yer altı suyu değişim trendi (Lenk, 2012)

Frappart ve diğ. (2013) çalışmalarında Amazon havzasında 2003-2010 yılları arası aylık zaman ölçeğinde yağışın yüzeysel su depolamasına katkısını GRACE ve TRMM kullanarak incelemişlerdir. Yüzeysel su depolama TRMM yağış ve 2003 – 2010 yılları arası Amazon havzasının ana havzalarından çıkan akım ile karşılaştırılmıştır. Bu iki veri arasında çok büyük farklılıklar gözlemlemişler ve bunu yağış miktarına, zamansal gecikmelere, Amazon havzası boyunca su taşınımına, incelenen yıllar arasında gerçekleşen klimatolojik olaylara (2005 – 2010 kuraklığı, 2009 taşkını vs.) bağlamışlardır. Şekil 1.5'te Frappart tarafından yapılan çalışmanın sahası verilmiştir.



Şekil 1.5: Güney Amerika, Amazon Havzası (Frappart ve diğ. , 2012)

Forootan ve diğ. (2014) çalışmalarında Ekim 2002'den Mart 2011 kadar olan aylık

(1) GLDAS'tan elde edilen yüzeysel su değişimlerini
(2) Hazar Denizinin yapısal doğrulaması yapılmış toplam su depolamasını
(3) Umman ve Basra körfezlerinin toplam su depolamasını
(4) Aral Denizinin toplam su depolaması değişimlerini
(5) Seçilen bölgedeki göllerin su depolamalarını incelemişlerdir.

(1) ve (5) verileri GRACE – TWS (Toplam Su Kütlesi) ile sisteme eklemiş ve toplam değişimde bu iki etken tahmin etmiştir. Sonuç olarak yıllık artış Hazar

Denizi ’nde 152 mm, Basra ve Umman körfezlerinde 101 mm, Aral Denizinde 71 mm olarak belirlemişlerdir. Merkez ve güney bölgelerde su kütlesi değişimi -155 mm/yıl olarak hesaplamışlardır. 2005 – 2011 arası kurak dönemde 6 önemli havzada yer altı suyu değişimi ise Khazar -6.7, Basra -6.11, Urmia -11.2, Markezi -9.1, Hamoon -3.1 ve Srakhs -4.2 mm/yıl olarak belirlemişlerdir.

2. TEMEL HİDROLOJİK KAVRAMLAR

2.1 Yağış

Atmosferden katı ya da sıvı halde yeryüzüne düşen sulara yağış denir. Sıvı haldeki yağış yağmur şeklindedir, katı haldeki yağış ise kar, dolu, çiy, kırağı şekillerinde olabilir. Yağmur ve kar hidrolojik bakımdan en önemli iki yağış şekli olup hidrolojik açıdan aralarındaki önemli fark yağmur halinde düşen sular derhal akış haline geçtikleri halde karın genellikle uzun bir süre sonra erimesidir (Bayazıt, 2003).

Havadaki su buharının yağış halinde yeryüzüne düşmesi için şu şartların birlikte gerçekleşmesi gerekir:

1. Atmosferin o bölgesinde yeterli miktarda su buharı bulunmalıdır: Atmosferdeki su buharının büyük bir kısmının kaynağı denizlerdeki buharlaşmadır, karalar üzerine düşen yağışın %90' ı denizlerdeki buharlaşmadan kaynaklanır. Nemli hava parseli yükselmelidir. Yükselen nemli hava parseli genişler.

2. Hava soğumalıdır: Hava soğuyunca su buharı taşıma kapasitesi azalır, doyma noktasının üstüne çıkılınca su buharı sıvı hale geçebilir.

3. Yoğunlaşma olmalıdır: Yoğunlaşma, adlarına yoğunlaşma çekirdeği denen çok küçük (mikron mertebesinde) tozlar üzerinde olur. Bu tozlar (organik cisimler, volkanik kül, sülfirik ve nitrik asit, kil taneleri, tuz ve duman) atmosferde daima mevcut olduğundan hava doymuş hale geçince bu şartlar her zaman gerçekleşir. Su buharının yoğunlaşmasıyla bulutlar meydana gelir. Bulutlardaki su damlacıklarının yarıçapları 2-50 mikron arasında kaldığından bunlar buharlaşmadan yeryüzüne kadar düşemezler, hava hareketleri ile atmosferde kalırlar.

4. Yeryüzüne düşebilecek ortalama 1 mm yarıçapında damlalar oluşmalıdır: Bu ya üzerinde su buharının yoğunlaşabileceği buz kristallerinin varlığıyla ya da küçük damlacıkların çarpışarak birleşmesi sonunda olabilir. -10 °C' den düşük sıcaklıktaki bulutlarda yeterli sayıda buz kristali varsa, buz üzerinde toplanmasıyla iri kristaller meydana gelebilir. Daha sıcak bulutlarda ise iri damlalar bu şekilde oluşmaz, tuz çekirdekleri üzerinde oluştuğu sanılan nispeten iri damlacıkların birbirleriyle çarpışıp daha büyümeleri ile yağış görülebilir. Bu şartlar her zaman gerçekleşmediği için diğer üç şart var olduğu halde yağış meydana gelmeyebilir (Bayazıt, 2003).

Genel olarak yağışın bir hava kütlesi taşıması, ardından soğuması ve nemin yoğunlaşması gerekmektedir. Bu taşıma mekanizması üç tipte olabilir. Bunlar; cephesel (depresyonik), orografik ve konvektif taşımadır. Cephesel yağışta, sıcak hava ile soğuk hava karşılaşır ve sıcak hava cephe boyunca yükselir. Orografik yağışta, hava kütlesi yükselirken soğur ve yağışa dönüşür. Konvektif yağış ise yeryüzüne yakın bölgelerde taşınım etkisi ile yukarı çekilen sıcak hava sebebiyle oluşur (Mays, 2011).

Yağış özellikle meteorolojinin inceleme alanına girer. Ancak yağış ölçümleri akım ölçümlerine göre daha uzun bir süredir yapılmakta olup birçok bölgede oldukça sık yağış ölçme ağları kurulmuş durumdadır.

Ölgen (2010), çalışmasında 1950 – 2009 yılları arası rasat süresini kapsayan toplam 64 istasyonun yağış verilerini kullanarak yağış değişkenlik katsayısını hesaplamıştır.

$$DK = \frac{\sigma_S}{\bar{P}_S} * 100$$

Denklemi ile değişkenliği yüzde cinsinden hesaplamıştır. Burada Ps bir istasyondaki uzun dönemlik ortalama yağış, σs aynı istasyona ait uzun dönemlik yağışın standart sapmasıdır. Çalışma sonucunda Türkiye'de yıllık yağış değişkenliğinin güneyden kuzeye doğru düzenli bir şekilde azaldığı gözlenmiştir. En yüksek değişkenlik katsayısı %31.89 ile Mardin iken, en düşük değişkenlik %11.92 ile Rize'de görülmüştür.

Çalışma sahamızın da içinde olduğu bölgede yağış değişkenliği oldukça fazladır. Bu da bölge ile ilgili verilerde belirli periyot boyunca yıllar arasında değerlerde değişkenlikler olduğunu kanıtlar niteliktedir.

Bulut ve diğ (2006) çalışmalarında Atatürk Baraj gölünün bölge iklimi üzerine etkisini trend analizi ile tespit etmişlerdir. Şanlıurfa için sıcaklıklar ve bağıl nemde artan bir değişim olduğunu, toplam yağış miktarında ve rüzgar hızında ise önemli bir değişim olmadığını görmüşlerdir.

Bahadır (2011), çalışmasında GAP bölgesinde sıcaklık ve yağış değişimini incelemiştir. Çalışmasında ülkemizin güney kısmını kaplayan GAP bölgesinde sıcaklık artışının yer yer şiddetli bir eğilim gösterdiğini, yağışta ise başta Mardin ve çevresi olmak üzere azalmalar meydana geldiğini gözlemlemiştir.

2.2 Buharlaşma

Buharlaşma, suyun sıvı halden gaz yani su buharı haline geçmesine denir. Su yüzeyindeki moleküller bulundukları ortamda kendilerini tutmaya çalışan diğer molekülleri yenecek kinetik enerjiyi kazandıkları halde çekimden kurtulup su ortamından havaya fırlarlar. Yüzey yakınlarında sudan havaya havadan suya geçen pek çok moleküle rastlanır. Buharlaşmanın gerçekleşmesi için sudan havaya geçen moleküllerin havadan suya geçen moleküllerden daha çok olması gerekmektedir (Bayazıt, 2003).

Bitki yapraklarındaki gözeneklerdeki su kaybına ise terleme denir. Çoğu zaman arazi yüzey bitkileri ile kaplı ise terleme ile buharlaşmayı birbirinden ayırt etmek güçleşir. Dolayısıyla, bu tip alanlar için terleme ve buharlaşma birleştirilerek evapotranspirasyon adını alır (Usul, 2008).

Buharlaşma aynı zamanda zemin ve kar yüzeyinden de olabilir. Zemin yüzeyinden buharlaşma genel olarak su yüzeyinden buharlaşmaya benzer. Ancak, özellikle az geçirimli zeminlerde su moleküllerinden elde etmeleri gereken kinetik enerji daha büyüktür. Kar yüzeyinden yani kar ve buzun doğrudan buhar haline geçmesine süblimasyon denir. Süblimasyon çok rüzgarlı havalarda günde 5 mm'ye kadar varabilir fakat genel olarak ayda 5 ile 30 mm arasında değişir, bu değer aynı şartlarda su yüzeyinden buharlaşmanın yaklaşık 5'te biri kadardır (Bayazıt, 2003).

Buharlaşma meteorolojik olarak radyasyon, nispi nem, hava sıcaklığı, rüzgar ve atmosfer basıncına bağlıdır. Radyasyon, su moleküllerinin ihtiyacı olan enerjiyi elde etmesini sağlar. Nispi nem, havanın nemini artırarak daha fazla buhar alma durumunu ortadan kaldırır ve buharlaşma hızını düşürür. Sıcaklık, doygun buhar basıncını artırarak havanın buhar taşıma kapasitesini artırır ve buharlaşma için gerekli olan enerjinin kazanılmasını sağlar. Rüzgar, doygun hale gelen hava tabakalarını uzaklaştırarak doygun olmayan havanın buharlaşma mahaline gelmesini sağlar ve buharlaşmayı hızlandırır.

Buharlaşmayı etkileyen bir diğer faktör ise buharlaşma yüzeyi özellikleridir. Suyun sıcaklığı, tuzluluğu, aerodinamik karakteri ve enerji karakteri bu özelliklerden bazılarıdır. Su sıcaklığı arttıkça molekül hareketi dolayısıyla su yüzeyinden havaya geçen su molekülü miktarı artar ve buharlaşma hızlanır. Tuzluluk ile buharlaşma arasında ise ters orantı bulunmaktadır. Suyun tuzluluk oranı %1 arttığında buharlaşma

%1 oranında azalır. Areodinamik karakter, su yüzeyinin pürüzlülüğü, ince ve kalın taneli oluşu ve yüzeyin genişliği ile tanımlanır. Enerji karakteri ise yüzeyin güneş radyasyonunu yansıtma katsayısı ile tanımlanır (Usul, 2008).

2.3 Yüzeysel Akış

Hidrolojide kullanılan coğrafi birim olan akarsu havzası, akışını bir yüzeysel su yolu yani akarsu üzerinde alınan bir çıkış noktasına gönderen yüzey olarak tanımlanır. Bu şekilde tanımlanan akarsu havzası üzerine düşen yağışı çıkış noktasındaki akış haline dönüştüren bir sistem olarak düşünülebilir. Bir havzayı komşu havzalardan ayıran su ayrım çizgisinin topografik ayrım çizgileriyle çakıştığı, yani çıkış noktasından başlayarak arazideki en yüksek noktalardan geçtiği kabul edilebilir (Bayazıt, 2003).

Akarsu akımı bir havzada meydana gelen bütün meteorolojik ve hidrolojik oluşumların beraberce ortaya çıkardığı bir sonuçtur. Hidrolojist için akarsu akımı hemen hemen bütün çalışmalarda bağımlı değişkendir, bağımsız değişkenlerse meteorolojik faktörler ve havza karakteristikleridir (Usul, 2008).

Havza karakteristikleri

1. Akışın zemine sızması ve yer altı akışını etkileyen zemin cinsi ve jeolojik yapısı,
2. Bitkilerdeki terleme ve tutma kayıplarını belirleyen, havza yüzeyindeki akım miktarını, hızını ve kar erimesini etkileyen bitki örtüsü,
3. Havzada akışa katkıda bulunan ve bulunmayan alanları içinde bulundurmasıyla akışı etkileyen havza büyüklüğü,
4. Hidrografın şeklini ve pik debisini etkileyen havza biçimi,
5. Akışın yıl içerisindeki dağılımının düzenini, geçiş süresini ve birim alandan geçen maksimum debiyi etkileyen havza eğimi,
6. Havzadaki yağış miktarını, sıcaklığı, bitki örtüsünü ve kar örtüsünü etkileyen ortalama kot,
7. Akışın zaman içinde dağılımını etkileyen alanın çıkış noktasına olan uzaklığı

şeklinde belirlenmiştir.

Havza karakteristikleri dışında akarsu karakteristiği de akışa etki eder. Akarsu karakteristiği; akarsu yoğunluğu, drenaj yoğunluğu, akarsunun profili, ağının şekli, mertebesi, enkesiti ile etkiler.

3. GRACE UYDUSU

NASA/GFZ (Geo Forschung Zentrum Postdam) tarafından ortaklaşa Mart 2002'de fırlatılan GRACE (Gravity Recovery And Climate Experiment) uydusu yeryuvarının statik gravite alanına ve bunun zamana bağlı değişimlerini belirlemeyi amaçlar. Uydu sayesinde karasal su kütleleri, okyanus ve atmosfer kütlelerindeki, buzullardaki değişimler yeryuvarının gravite alanının zamana bağlı değişimlerinden belirlenebilir. Yeryuvarı gravite alanı ve bunun zamana bağlı değişimini ölçülmesi ve bunların iklim değişikliği ile olan ilişkisinin belirlenmesi GRACE uydusunun misyonları arasında sayılabilir (Tapley ve diğ. 2004).

GRACE uydusu yerden yüksekliği 460 km ve ekvatora göre eğikliği 89º olan aralarında 220 ± 50 km başlangıç mesafesi olacak şekilde tasarlanmış, dairesel bir yörüngede serbest olarak hareket eden özdeş iki uydudan oluşmaktadır (GRACE Science Mission Requirement Document, 2000).

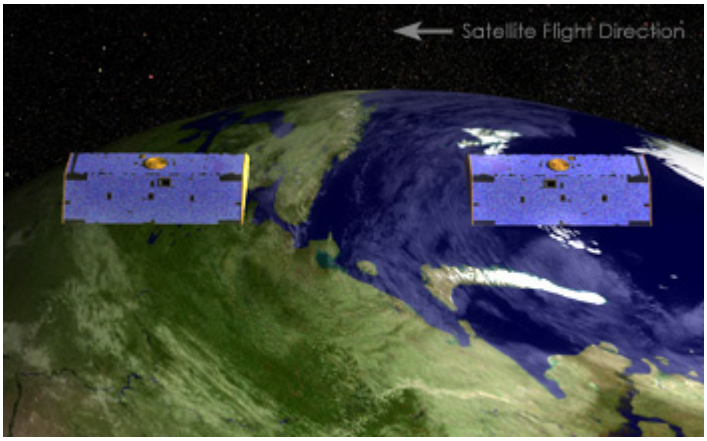
Her 5 saniyede bir belirlenebilen uydular arası mesafeler ve bu mesafelerin değişimleri yeryuvarındaki zamana bağlı kütle değişimlerinin belirlenmesine olanak sağlamaktadır. Özdeş iki uydunun yörünge üzerindeki çekim potansiyelleri arasındaki fark enerjinin korunumu ilkesi yardımıyla uydular arasındaki uzaklık değişimi, uydu konumları, hızları ve ivme ölçer verilerinin birlikte değerlendirilmesi ile hesaplanabilmektedir (Akyılmaz ve diğ., 2005).

Hesaplanan bu potansiyel farkı gözlemleri sabit bir sınırda, yani yörünge üzerinde sınır değerler olarak ele alınmakta ve bu gözlemlerden global gravite alanını ifade eden küresel harmonik katsayılar hesaplanabilmektedir. Bu şekilde belirlenen gravite alanı 2002 yılından önce hesaplanmış en iyi global gravite alanı modellerinden 50 kat daha yüksek doğruluğa sahiptir.

Söz konusu kütle degişimlerine bağlı olan gravite anomalisi sinyallerinden, gravite alanı üzerinde geçici etkiye sahip olan atmosferik kütle değişimleri, kutup, okyanus ve katı yeryuvarı gelgit etkileri ve atmosferik yüklemeye karşı barotropik okyanus tepkileri gibi iyi bilinen jeofiziksel etkiler çıkarıldığında geriye kalan gravite anomalisi büyük oranda karasal su kütlelerindeki değişim ile ilişkilidir. Karasal su seviyesi degişimleri yeryuvarı yüzeyindeki ince bir tabakada ortaya çıktığından, GRACE su

miktarlarının düşey doğrultudaki toplam degişiklikleri, yani yeraltı suları, toprak nemi, yüzey suyu, kar ve buzullardaki degisimlerin toplamını algılamaktadır (Swenson ve dig., 2003).

Uydudan iki tip veri elde edilebilir. Bunlar GRACE aylık L2 küresel harmonik gravite alanı çekim modeli ve L1B uydu yörünge üzeri verileridir. L1B verileri L2 verisi olarak adlandırılan küresel harmonik katsayıların hesaplanmasında kullanılan alt seviye GRACE verileridir. L1B verilerine (ftp://podaac.jpl.nasa.gov/allData/grace/L1B/) adresinden, L2 verilerine (ftp://podaacftp.jpl.nasa.gov/allData/grace/L2) adresinden ücretsiz olarak ulaşılabilir (Akyılmaz ve diğ., 2012). Şekil 3.1'de GRACE uydusunun görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.1: GRACE uydusu

Birinci tür veri GRACE seviye-2 (L2) verisi olarak bilinen ve aylık olarak yayınlanan küresel harmonik gravite alanı modelleridir. Bu modeller, 60-ıncı derece ve mertebeye hesaplanmış küresel harmonik Stoke's katsayıları ve bunların standart sapmalarını içermektedir. L2 verileri ile hesaplana EWT'ler için uzun dönemli GRACE ve mevcut yersel/hava/deniz gravite ölçüleri ve uydu altimetre tekniğinden belirlenen deniz seviyesi anomali verilerinden hesaplanmış olan GGM03C statik gravite alanı referans olarak alınmıştır. Diğer bir veri türü de GRACE seviye-1B (L1B) verileri olarak adlandırılan ve ön işlemlere tabi tutularak yayınlanan uydu yörünge bilgileri yanı sıra uydular arası mesafe ve mesafe değişimi ölçüleri ile yıldız kamerası ve ivme ölçer verileridir. Öncelikle KBR ölçüleri uydu yörünge bilgileri ile dengelenerek ve ivme ölçer tarafından sağlanan korunumsuz kuvvetlerin etkisi elimine edilerek 5 saniyelik

epoklar halinde yörünge üzerinde uydular arası toplam potansiyel farkı hesaplanmıştır (Akyılmaz ve diğ., 2012).

4. YÖNTEM

4.1 Veri

Bu çalışmada GRACE (Gravity Recovery And Climate Experiment) uydusundan Ocak 2003 Mayıs ve 2008 arası 64 aylık olarak seviye değişim verileri kullanılmıştır. Türkiye için önem arz ettiği düşünülen bölge belirlenmiş ve bu bölgede 9 adet grid seçilmiştir.

Bölge, verilerin oldukça kısıtlı olduğu, işlenebilirliğinin zor olduğu, sınır aşan sulara komşu olduğu, GAP ile birlikte üzerine pek çok baraj inşaa edildiği için seçilmiştir.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü' den seçilen bölgeyi temsil etmek üzere 9 istasyon seçilmiştir. Bu istasyonlardan yağış, buharlaşma ve kar su eşdeğeri verileri GRACE uydusu ile aynı tarihlerin örtüşmesi için yalnızca Ocak 2003 ve Mayıs 2008 tarihleri arası 64 ay değerlendirilmiştir.

Elektrik İşleri Etüd İdaresi ve Devlet Su İşleri 'nden yine seçilen bölgeyi temsil eden 9 adet akım gözlem istasyonundan yüzeysel akış verileri temin edilmiştir. Çalışmada aylık ortalama akım verileri kullanılmıştır.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü 'nden temin edilen yağış, buharlaşma ve kar su eşdeğeri verilerinin temin edildiği istasyonlar Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1: Meteoroloji İstasyonları

İstasyon Numarası	İstasyon Adı	Bulunduğu Şehir
17734	Divriği	Sivas
17718	Tercan	Erzincan
17265	Adıyaman	Adıyaman
17280	Diyarbakır Havaalanı	Diyarbakır
17261	Gaziantep	Gaziantep
17960	Ceyhan	Adana
17837	Tomarza	Kayseri
17760	Boğazlıyan	Yozgat
17270	Şanlıurfa	Şanlıurfa

Elektrik İşleri Etüd İdaresi'nden alınan akım verilerinin istasyonları Çizelge 4.2'de sunulmuştur.

Çizelge 4.2: Akım Gözlem İstasyonları

İstasyon Numarası	İstasyon Adı
E15A039	Bulakbaşı
E15A035	Söğütlühan
E21A019	Keman
E15A001	Yamula
E20A009	Göksun
E21A066	Loğmar
E17A032	Kadıncık
E19A006	Afrin
E21A035	Fatopaşa

4.2 Metot

Çalışmada kullanılan analiz yöntemleri bu bölümde açıklanmıştır. Bu yöntemler; Mann Kendall trend analizi, regresyon analizi ve kutu grafikleridir.

4.3 Trend Analizi

Bir zaman serisinde rastgele değişkenin değerinde istatistik anlamda sürekli bir değişme (artma–azalma) olup olmadığı (trend/gidiş) istatistik testlerle ortaya çıkarılabilir. Bu testlerden en güçlüsü parametrik olmayan bir test olan Mann-Kendall trend testidir (Bayazıt ve Önöz, 2008).

4.3.1 Mann Kendall trend analizi

Mann Kendall trend testi yağış, sıcaklık, buharlaşma, akım gibi hidrometeorolojik verilere sıkça uygulanan bir testtir. Bir gözlem istasyonundan elde edilen veriler zaman içerisinde sürekli artar veya azalırsa bir gidişe sahip olduğu söylenebilir.

Bu gidiş testi $i = 1,\ldots, n$-1'e kadar sıralanmış olan bir xi veri setine ve $j = i + 1,\ldots,n$'e kadar sıralanmış olan bir x_j veri setine uygulanır. Her bir sıralanmış rakam xi bir referans noktası olarak kullanılır ve diğer sıralanmış veri grubu x_j ile aşağıdaki denklemde verildiği gibi kıyaslanır (Bayazıt ve Önöz, 2008).

$$sgn\left(x_j - x_i\right) = \begin{cases} 1 & ; \quad x_j > x_i \\ 0 & ; \quad x_j = x_i \\ -1 & ; \quad x_j < x_i \end{cases} \tag{4.1}$$

Mann – Kendall S test istatistiği ise denlem 4.2 ile hesaplanır.

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^{n} sgn\,(\,x_j - x_i\,) \tag{4.2}$$

Denklemde *n* yıl olarak veri uzunluğudur. *S* değeri ise $n \geq 8$ olduğunda aşağıda verilen ortalama ve varyans ile yaklaşık olarak normal dağılım gösterir. Eğer $n \geq 30$ ise t-testi Z testine yaklaşır.

Başka bir deyişle Mann – Kendall S test istatistiği i<j için $x_i<x_j$ olan çiftlerin sayısı P ve $x_i>x_j$ olan çiftlerin sayısı M ile gösterilirse;

$$S = P - M \tag{4.3}$$

şeklinde hesaplanır. Kendall korelasyon katsayısı;

$$\tau = \frac{S}{[n(n-1)/2]} \tag{4.4}$$

n≥10 için varyans (σ_s)

$$\sigma_s = \sqrt{n(n-1)(2n+5)/18} \tag{4.5}$$

$$Var(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i+1}^{p} \; t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \tag{4.6}$$

Burada, *p* veri setindeki tekrar gözlem sayıları, *ti* değeri *i* uzunluğundaki bir seride tekrarlanan gözlemleri göstermektedir. Eşitlikteki toplama terimi sadece veride tekrar gözlem olduğunda kullanılır. Standartlaştırılmış Mann-Kendall istatistiği *Z* ise Denklem (4.7)'de verildiği gibi hesaplanabilmekte ve seride gidiş (trend) yoktur sıfır

hipotezi (H_0) varsayımı altında ortalaması sıfır, varyansı bir olan standart normal dağılım göstermektedir.

$$Z = \begin{cases} \dfrac{S-1}{\sqrt{Var\ (S)}} & ; \quad S > 0 \\ 0 \quad ; & S = 0 \\ \dfrac{S+1}{\sqrt{Var\ (S)}} & ; \quad S < 0 \end{cases} \qquad \textbf{(4.7)}$$

Sıfır hipotezi Mann-Kendall test istatistiği $-Z_{tablo,\ 1-\alpha/2} \leq Z \leq Z_{tablo,\ 1-\alpha/2}$ ise kabul edilmektedir. Artı *Z* değeri akımlarda artışı gösterirken, eksi Z değeri azalışa işaret etmektedir (Bayazıt ve Önöz, 2008).

4.3.2 Çoklu regresyon analizi

Regresyon analizi, sistemde incelenen değişkenler arasında anlamlı bir ilişki olup olmadığını belirlemek varsa bu ilişkinin regresyon denklemini elde etmek ve bu denklemi kullanarak tahmin yapmak ve bu tahminlerin güven aralığını hesaplamaktır. Sistemdeki iki değişken arasında anlamlı bir ilişkinin olup olmadığı korelasyon katsayısına bakılarak karar verilir. Korelasyon katsayısının mutlak değeri 1'e yaklaştıkça iki değişken arasında kuvvetli ilişki olduğu sonucuna varılır. Sistemde Y bağımlı değişkeni $x_1, x_2, x_3 \ldots . x_m$ bağımsız değişkenlerinden etkilenir. Bu etkilenmeyi doğrusal bir denklemle tanımlanırsa doğrusal regresyon denklemi şu şekilde belirlenir;

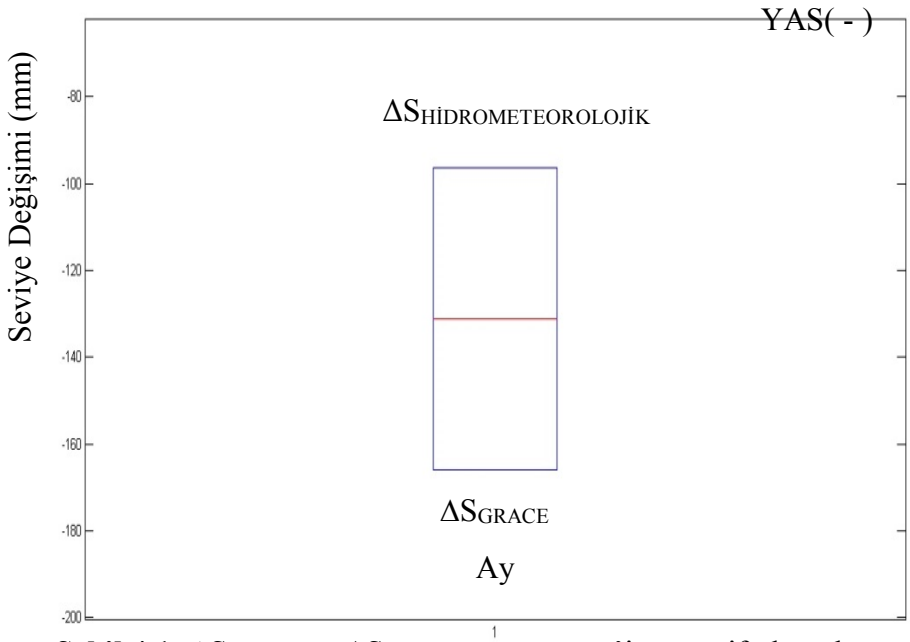
$$y = a + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \ \ldots\ldots\ldots + b_m x_m \qquad \textbf{(4.8)}$$

4.9 denkleminde a, b_1, b_2, …. b_m regresyon katsayılarıdır. Gözlem noktalarının regresyon denkleminin gösterdiği düzlemden olan e_{yi} uzaklıklarının karelerinin toplamı ise;

$$\sum_{i=1}^{N} e_{yi}^2 = \sum_{i=1}^{N} (y_i - a - b_1 x_{1i} - b_2 x_{2i} - \ \ldots . - b_m x_{mi})^2 \qquad \textbf{(4.9)}$$

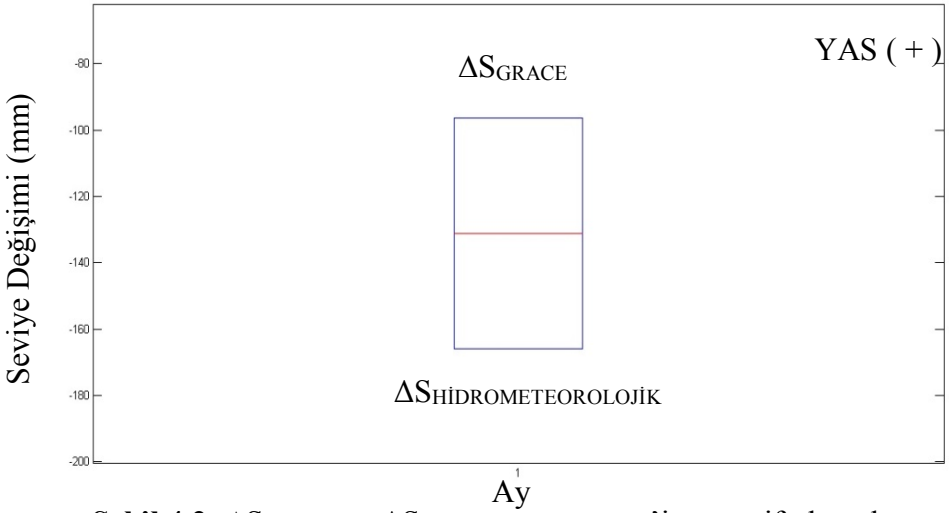
4.4 GRACE seviye değişim (ΔS_{GRACE}) ve $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ grafiği

GRACE uydusu Bölüm 3'te belirtildiği gibi su miktarlarının düşey doğrultudaki toplam degişiklikleri, yani yeraltı suları, toprak nemi, yüzey suyu, kar ve buzullardaki değişimlerin toplamını algılamaktadır. $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ = Aylık toplam yağış – Aylık toplam buharlaşma + Aylık toplam kar su eşdeğeri + Aylık ortalama yüzeysel akış işlemi yapılarak hesaplanmıştır. Hidrometeorolojik veriler ile elde edilen ΔS değişkeni ise yeraltı suyu (YAS) verileri olmadan elde edilmiş bir veridir. Dolayısıyla GRACE uydusundan elde edilen seviye değişimler (ΔS_{GRACE}) ile $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ arasındaki fark seçilen bölgelerde yeraltı suyu kullanımı hakkında önemli bilgi sağlayacaktır.



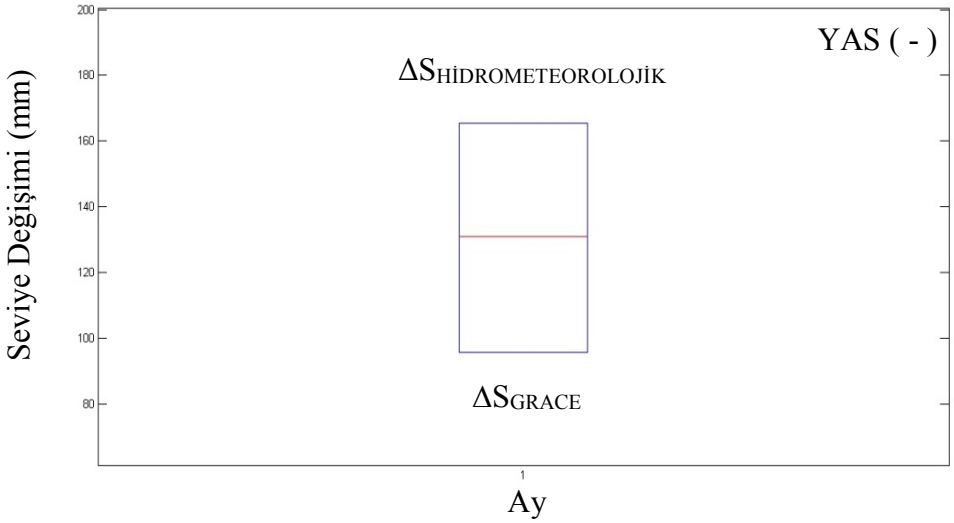
Şekil 4.1: ΔS_{GRACE} ve $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$'in negatif olma durumu ($\Delta S_{GRACE} < \Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$)

Şekil 4.1' deki gibi iki değerin de negatif ancak GRACE uydusu ölçümlerinin (ΔS_{GRACE}) kütlenin korunumu ilkesinden yararlanarak hesaplanan $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$'ten küçük olması durumunda bölgede ciddi bir yer altı suyu kullanımı olduğu sonucuna varılır. ΔS hesaplanırken elimizde yer altı suyuna ilişkin bir veri olmadığından ötürü sonucun uydu ölçüm sonucundan küçük çıkması doğal bir sonuçtur. Ancak grafikte açıklığın artması bölgedeki yer altı suyu kullanımının ciddi boyutlara geldiğini gösterir.



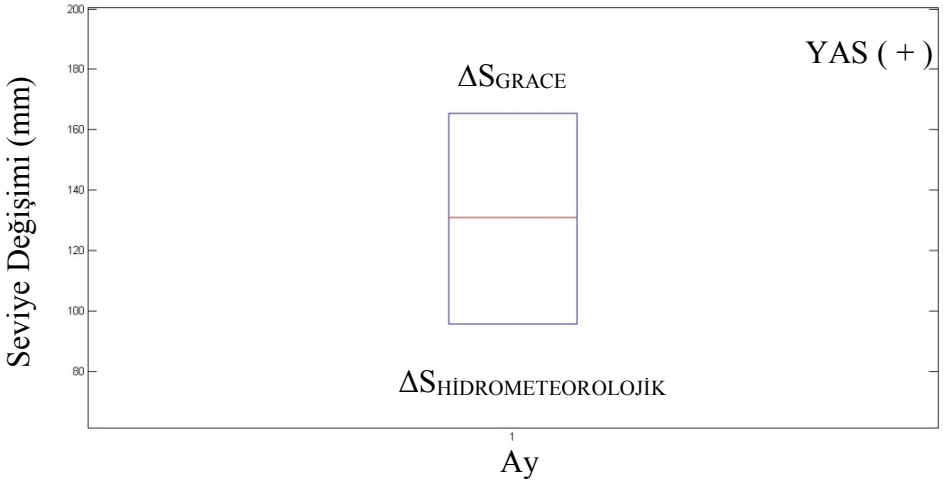
Şekil 4.2: ΔS_{GRACE} ve $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$'in negatif olma durumu ($\Delta S_{GRACE} > \Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$)

Şekil 4.2'deki gibi iki değerin de negatif ve GRACE uydusu ölçümlerinin (ΔS_{GRACE}) kütlenin korunumu ilkesinden yararlanarak hesapladığımız $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$'ten büyük olması durumunda bölgede yer altı suyu artışı olduğu sonucuna varılmaktadır.



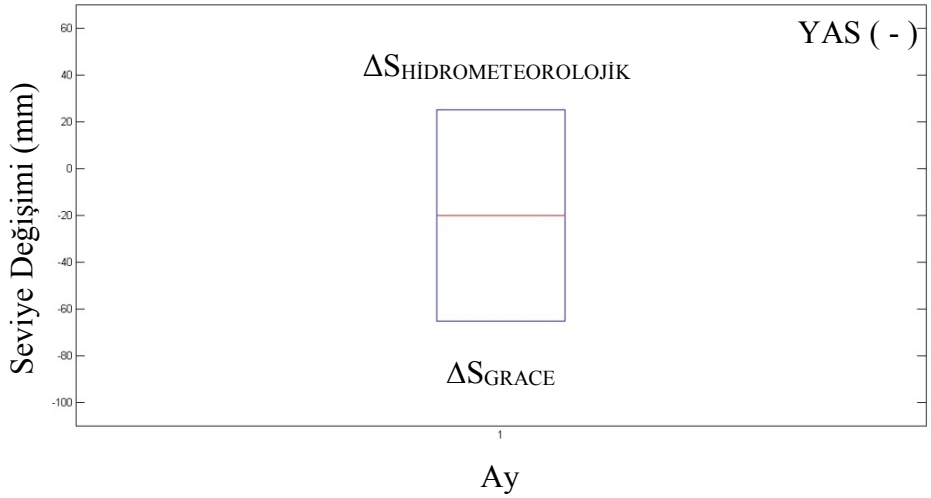
Şekil 4.3: ΔS_{GRACE} ve $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$'in pozitif olma durumu ($\Delta S_{GRACE} < \Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$)

Şekil 4.3'te olduğu gibi iki değerin de pozitif ancak GRACE ölçümünün (ΔS_{GRACE}) $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$'ten küçük olması durumunda bölgede bir su kütlesi artışının olduğu ancak fazla yer altı suyu kullanımını olduğu sonucuna varılır.



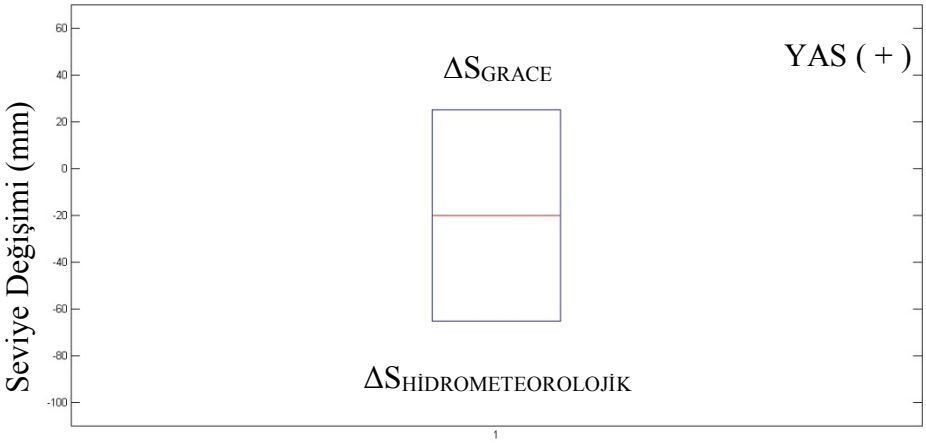
Şekil 4.4: ΔS_{GRACE} ve $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$'in pozitif olma durumu ($\Delta S_{GRACE} > \Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$)

Şekil 4.4'te gösterildiği gibi her iki ölçüm değerinin de pozitif ancak uydu ölçümlerinin $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$'ten büyük olması durumunda çalışılan bölgede o ayda yer altı suyu kazanımı olduğu sonucuna varılır.



Şekil 4.5: ΔS_{GRACE}'in negatif $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$'in pozitif olma durumu

Şekil 4.5'de görüldüğü gibi uydu ölçümlerinin (ΔS_{GRACE}) negatif hesaplanan $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$'in pozitif olması halinde yer altı suyu eksikliğinden dolayı bu durumu meydana geldiği sonucuna varılmaktadır. Her hangi bir ayda böyle bir grafik oluştuğunda o bölgede yer altı suyu kullanımının çok yüksek miktarlarda olduğu sonucuna varılır.



Şekil 4.6: $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$'in negatif ΔS_{GRACE}'in pozitif olma durumu

Şekil 4.6'daki gibi GRACE ölçümlerinin (ΔS_{GRACE}) pozitif hidrometeorolojik veriler kullanılarak hesaplanan değerin negatif olması durumunda yüksek buharlaşma değerlerine rağmen bölgede yer altı suyu kazanımı olduğu sonucuna varılır.

5. UYGULAMA

Bu bölüm; çalışma alanının tanıtılmasını, meteorolojik verilerin, akım verilerinin ve seviye değişimlerinin trend ve regresyon analizlerini içerir.

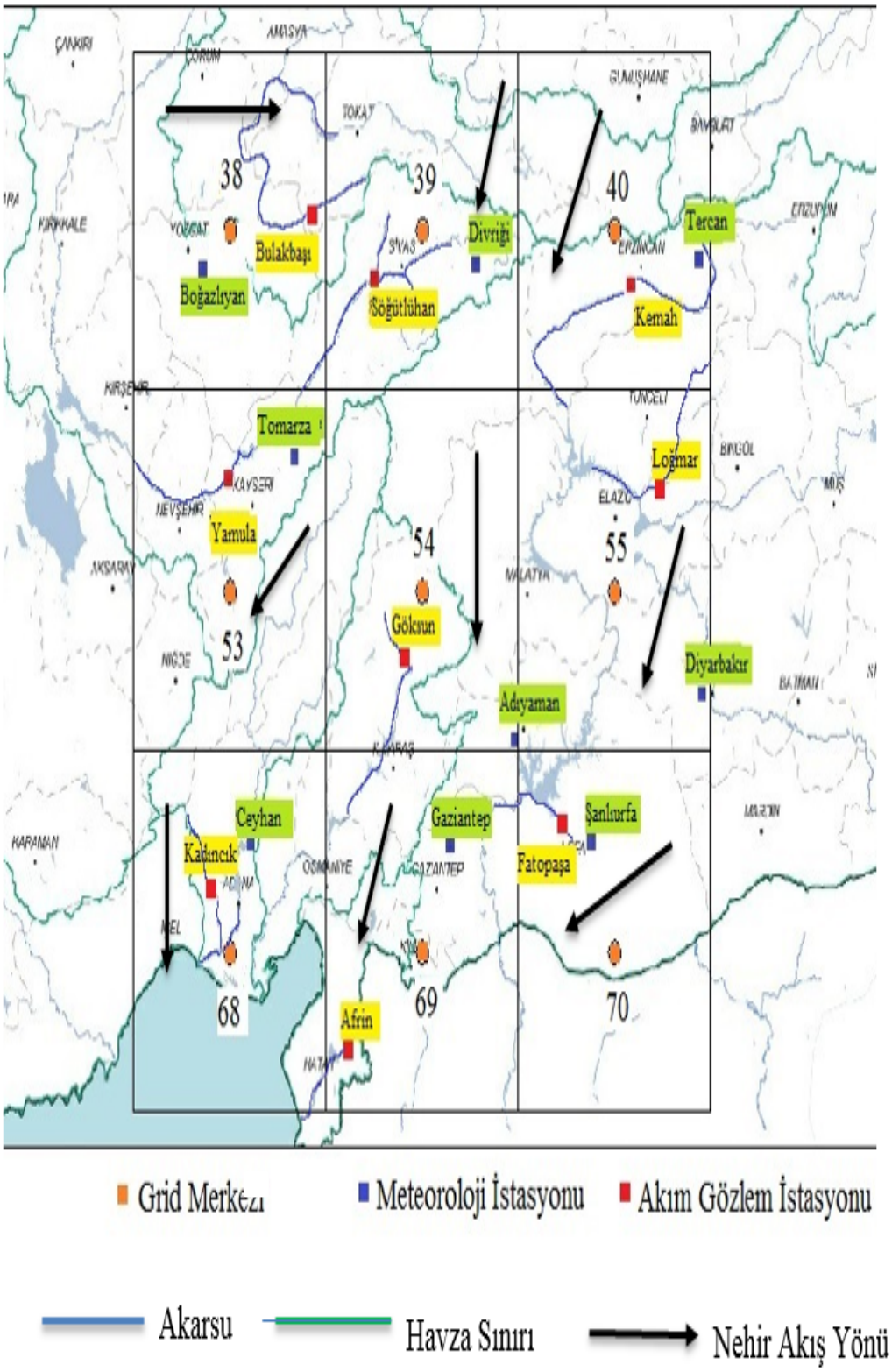
5.1 Çalışma Alanı

Türkiye 36º - 42º kuzey enlemleri ile 26º - 45º doğu boylamları arasında yer alır. Ülkemiz Asya ile Avrupa arasında yer almaktadır. Komşularımız ile 2753 km kara sınırımız 11086 km deniz sınırımız bulunmaktadır. Bu kara sınırlarından en uzunları Suriye (877 km), İran (454 km) ve Irak (331 km) iledir (Özey, 2013). Bu sınırlar Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde bulunmakta ve bu bölgede sınır aşan sularımız bulunmaktadır. Bu nedenle çalışma sahası olarak bu bölge seçilmiş ve GRACE uydusu ile seviye değişimleri belirlenmiş olan 9 adet grid ile çalışılmıştır. Bu gridlerin içerisinde kalan çeşitli meteoroloji ve akım gözlem istasyonlarından veriler temin edilmiştir. Çalışma sahası ve üzerinde bulunan meteoroloji ve akım gözlem istasyonları Şekil 5.1'de gösterilmiştir.

Seçilen grid merkezlerinin enlem ve boylamları Çizelge 5.1'deki gibidir.

Çizelge 5.1: Grid merkezi koordinatları

Nokta No	Enlem	Boylam
38	35.75	39,75
39	37.25	39,75
40	38,75	39,75
53	35.75	38,25
54	37.25	38,25
55	40,25	38,25
68	35.75	36,75
69	37.25	36,75
70	38,75	36,75



Şekil 5.1: Uygulamanın çalışma sahası

5.2 Verilerin Değerlendirilmesi

Bu bölümde meteorolojik verilerin ve akım verilerinin gidişleri incelenmiştir. Aylık bazdaki verilerin grafikleri oluşturulmuş ve trend (eğilim) çizgileri çizilmiştir.

5.2.1 Meteorolojik veriler

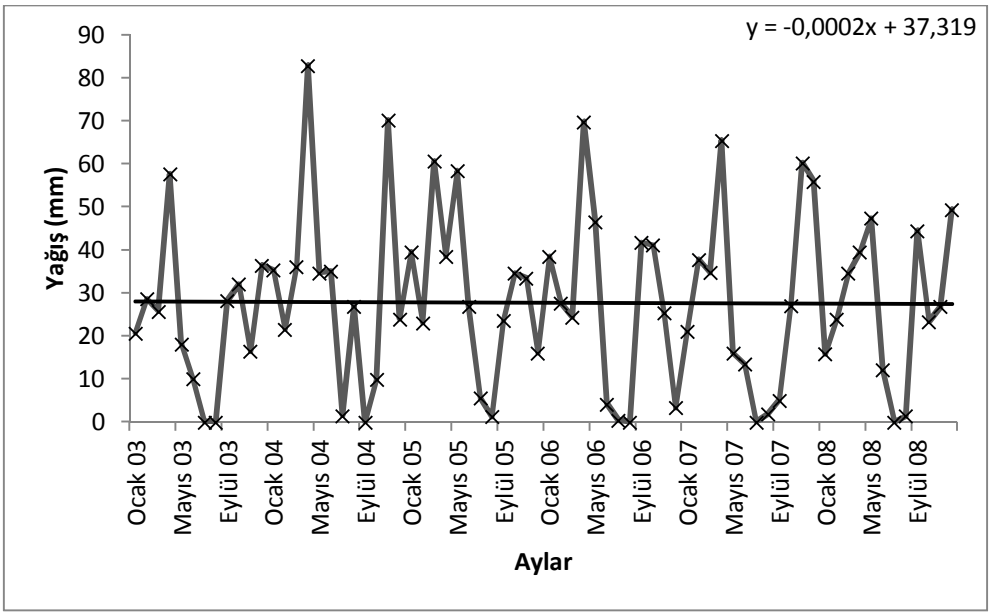
Orman ve Su İşleri Bakanlığı 'na bağlı Meteoroloji Genel Müdürlüğü 'nden belirlenen istasyonlara ait aylık toplam yağış, aylık toplam açık yüzey buharlaşması, günlük kar su eşdeğeri verileri temin edilmiştir. Genellikle bölgede kurulan meteoroloji istasyonları 90'lı yılların sonlarından itibaren kayıt almaktadır. Seçilen 9 meteoroloji istasyonu ve temsil ettikleri gridler Çizelge 5.2'deki gibidir.

Çizelge 5.2: Meteoroloji istasyonları ve temsil ettiği gridler

İstasyon Adı	Temsil ettiği grid
Boğazlıyan	38
Divriği	39
Tercan	40
Tomarza	53
Adıyaman	54
Diyarbakır	55
Ceyhan	68
Gaziantep	69
Şanlıurfa	70

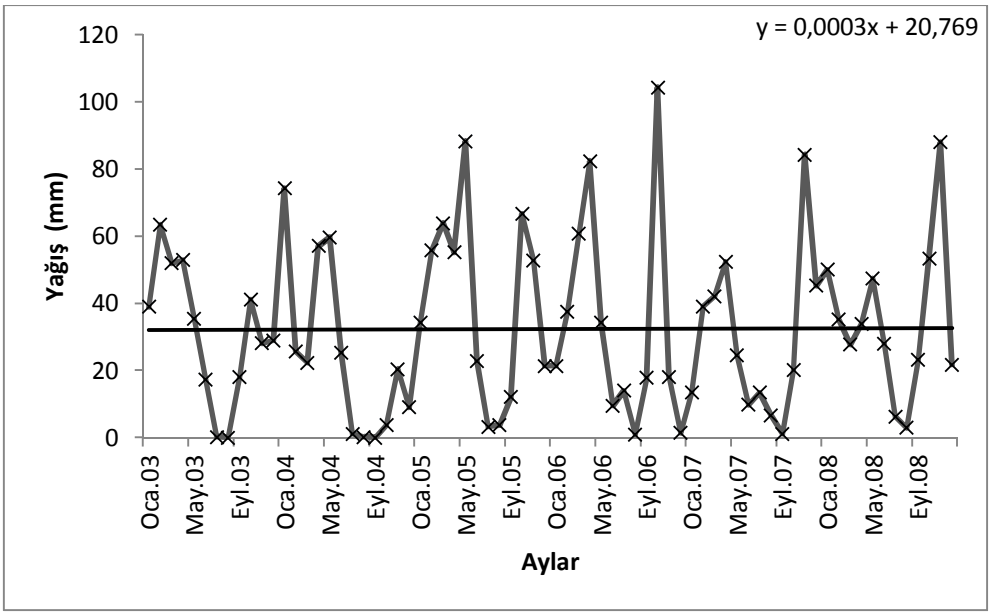
5.2.1.1 Yağış

Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilen Boğazlıyan, Divriği, Tercan, Tomarza, Adıyaman, Diyarbakır, Ceyhan, Gaziantep ve Şanlıurfa istasyonlarına ait aylık toplam yağış verilerinin grafikleri Şekil 5.2 – 5.10'da verilmiştir. Grafiklere eğilim çizgileri ve eğilim çizgisi denklemi eklenmiştir. $y = a + bx$ şeklindeki denklemde a doğru eğimini vermektedir. Veri Ocak 2003 – Aralık 2008 arası 72 aylık veriyi içermektedir.



Şekil 5.2: Boğazlıyan meteoroloji istasyonu yağış grafiği

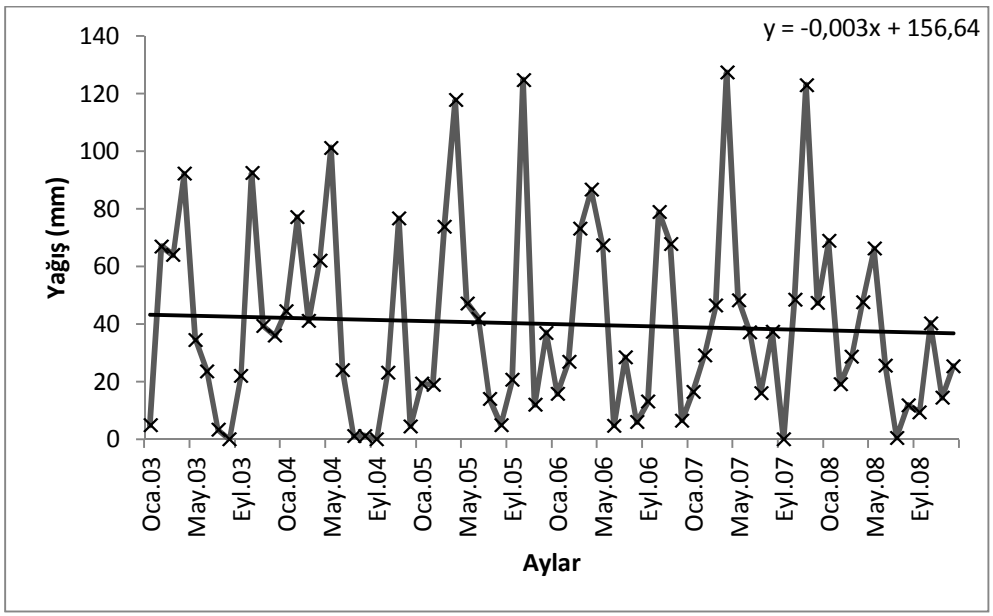
Şekil 5.2'de Ocak 2003 – Aralık 2008 tarihleri arasında istasyonun kaydettiği 72 aylık toplam yağış değerleri incelendiğinde en yüksek değerin Nisan 2004'te 82.9 mm olarak, en düşük değerin ise Temmuz 2003, Ağustos 2003, Eylül 2004, Ekim 2004, Temmuz 2007 ve Temmuz 2008 aylarında ''0'' olarak ölçüldüğü görülmüştür. Yağış değerlerinde genel bir değişim olmadığı görülmüştür.



Şekil 5.3: Divriği meteoroloji istasyonu yağış grafiği

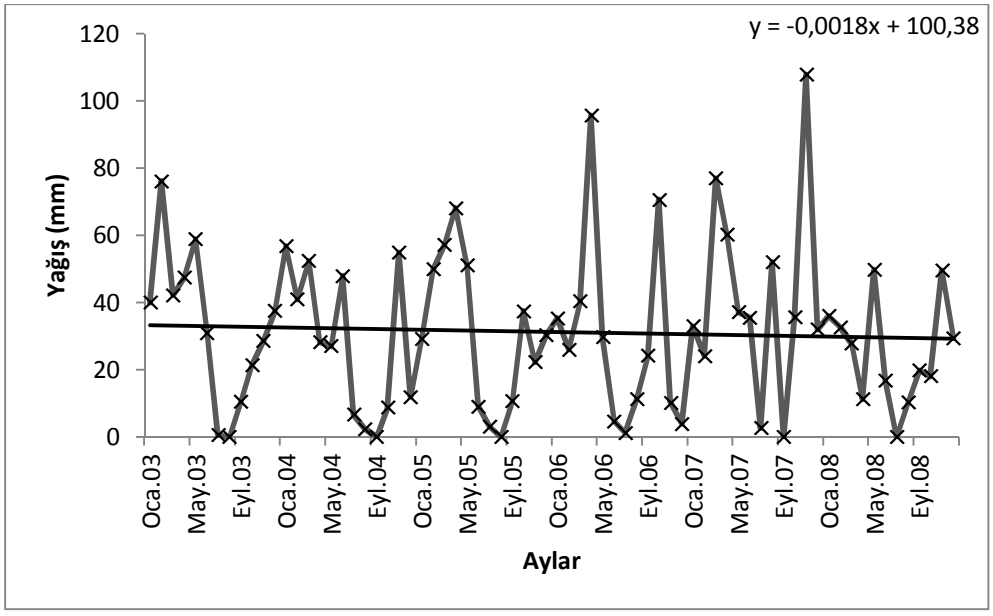
Şekil 5.3' te Ocak 2003 – Aralık 2008 tarihleri arasında istasyonun kaydettiği 72 aylık toplam yağış değerleri incelendiğinde en yüksek değerin 104.3 mm olarak Kasım 2006'da ölçüldüğü; en düşük değerin ise Ağustos 2003 ve Eylül 2004 aylarında 0

olarak ölçüldüğü gözlemlenmiştir. Yağış değerlerinde genel bir değişim olmadığı görülmüştür.



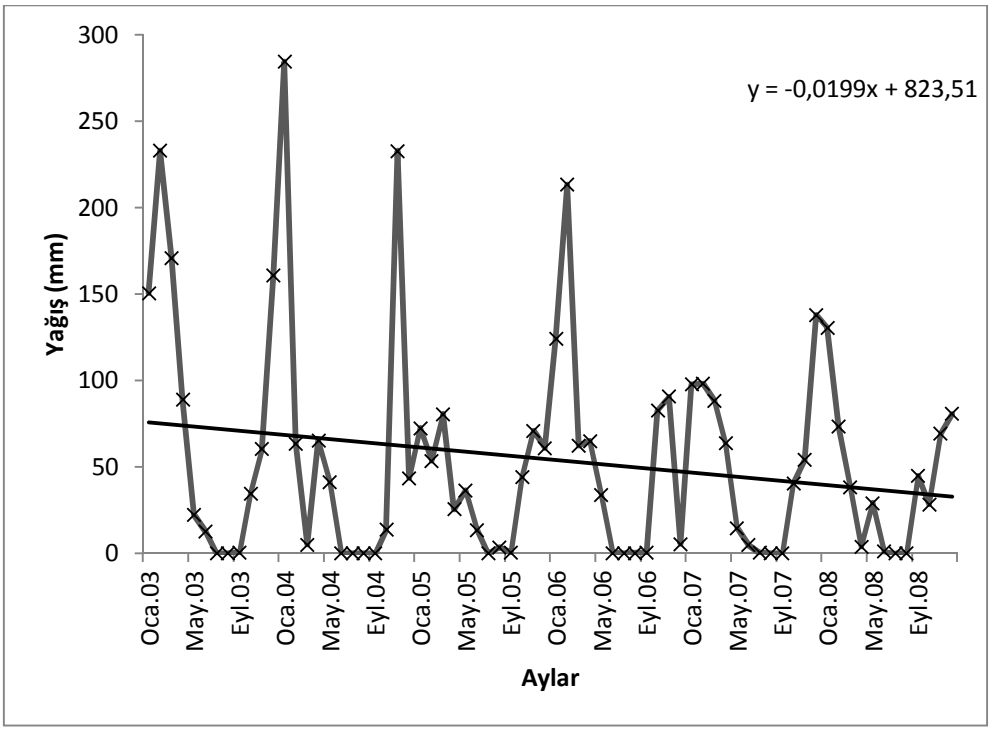
Şekil 5.4: Tercan meteoroloji istasyonu yağış grafiği

Şekil 5.4'te Ocak 2003 – Aralık 2008 tarihleri arasında istasyonun kaydettiği 72 aylık toplam yağış değerleri incelendiğinde en yüksek değerin 127.4 mm olarak Nisan 2007'de en düşük değerin ise Ağustos 2003, Eylül 2004 ve Eylül 2007 aylarında 0 olarak ölçüldüğü görülmüştür. Grafikte genel bir değişim görülmemektedir.



Şekil 5.5: Tomarza meteoroloji istasyonu yağış grafiği

Şekil 5.5'te Ocak 2003 – Aralık 2008 tarihleri arasında istasyonun kaydettiği 72 aylık toplam yağış değerleri incelendiğinde en yüksek değerin 107.9 mm olarak Kasım 2007'de ölçüldüğü; en küçük değerin ise Ağustos 2003, Eylül 2004, Ağustos 2005, Eylül 2007 ve Temmuz 2008 aylarında 0 olarak ölçüldüğü görülmüştür. Grafikte genel bir değişim olmadığı görülmüştür.

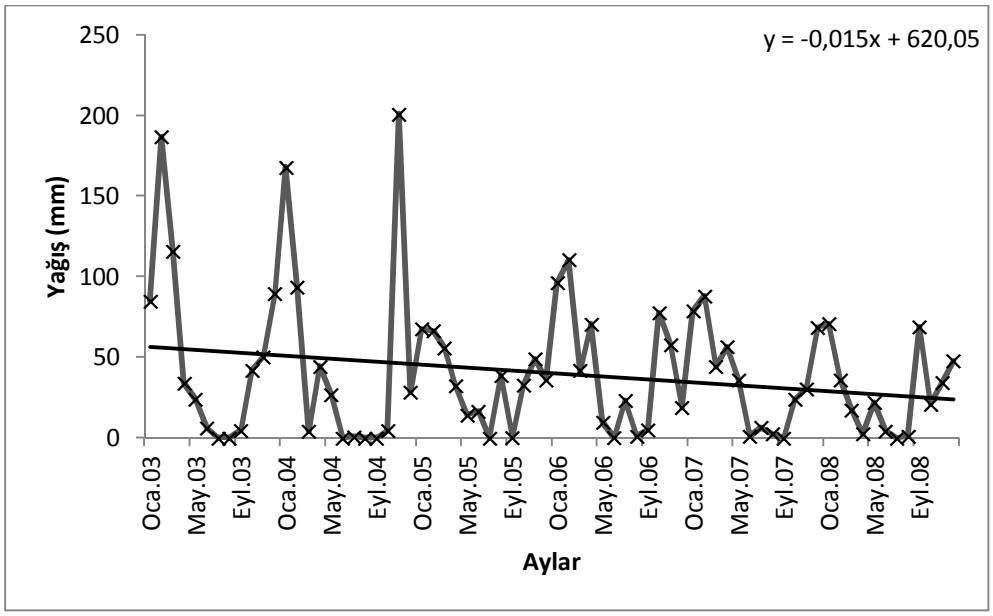


Şekil 5.6: Adıyaman meteoroloji istasyonu yağış grafiği

Şekil 5.6'da Ocak 2003 – Aralık 2008 tarihleri arasında istasyonun kaydettiği 72 aylık toplam yağış değerleri incelendiğinde en yüksek değerin 284.4 mm olarak Ocak 2004 tarihinde; en düşük değerin ise 2003 yılı Temmuz ve Ağustos, 2004 yılı Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül, 2005 ve 2006 yılları Temmuz, 2007 yılı Ağustos ve Eylül, 2008 yılı Temmuz ve Ağustos aylarında 0 olarak ölçüldüğü gözlemlenmiştir.

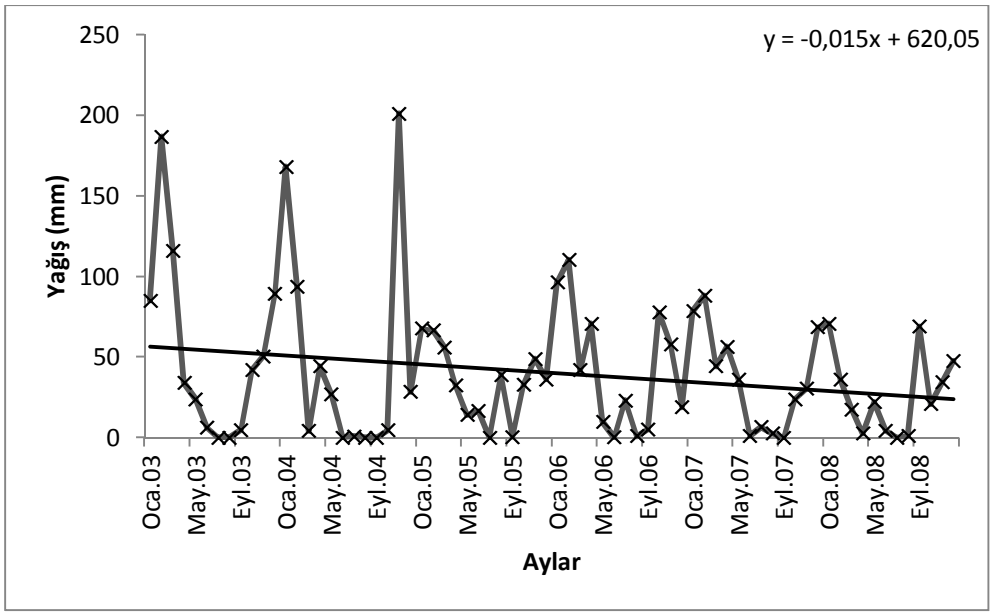
Bölgede yağışlarda bir azalma olduğu görülmüştür. Bu azalma kuzey gridlerde değişme görülmemesinden sonra güneye inildikçe azalmanın başladığını göstermektedir. 72 aylık toplam yağış verisi incelendiğinde eğilim çizgisi eğiminin negatif olduğu ve bu değerin kuzey gridlerdeki eğilim çizgisi eğimlerine göre daha büyük olduğu gözlemlenmiştir.

Şekil 5.7 – 5.10 arasında seçilen bölgenin güneyinde bulunan gridler incelenmiştir.



Şekil 5.7: Diyarbakır meteoroloji istasyonu yağış grafiği

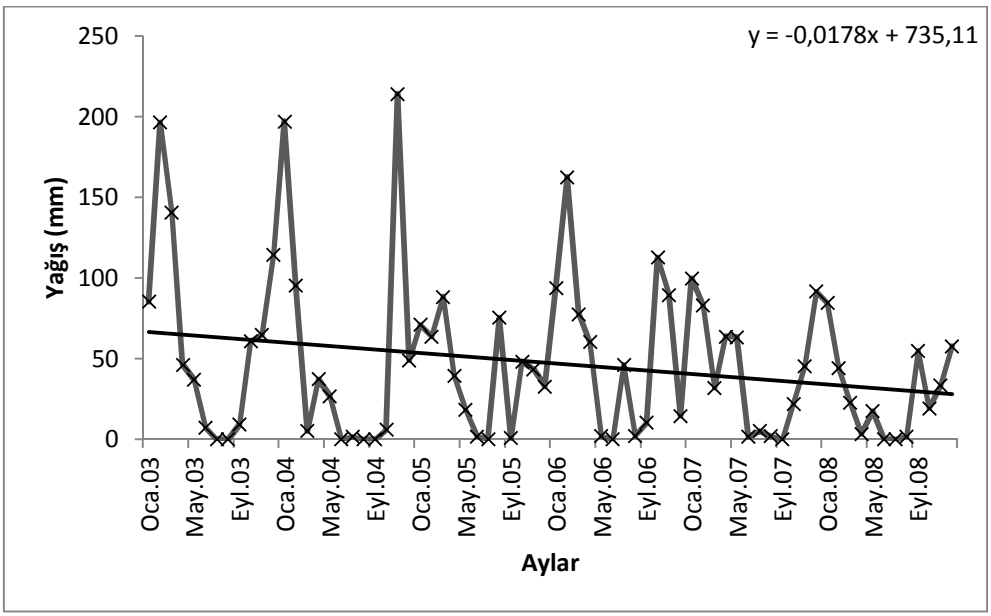
Şekil 5.7'de Ocak 2003 – Aralık 2008 tarihleri arasında istasyonun kaydettiği 72 aylık toplam yağış değerleri incelendiğinde en yüksek değerin 151,8 mm olarak Şubat 2003 tarihinde; en düşük değerin ise 2003 yılı Temmuz, 2004 yılı Temmuz, Ağustos, Eylül, 2005 yılı Temmuz ve Ağustos, 2006 yılı Haziran ve Temmuz, 2007 yılı Temmuz ve Eylül ve 2008 yılı Temmuz ayında 0 mm olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.8: Ceyhan meteoroloji istasyonu yağış grafiği

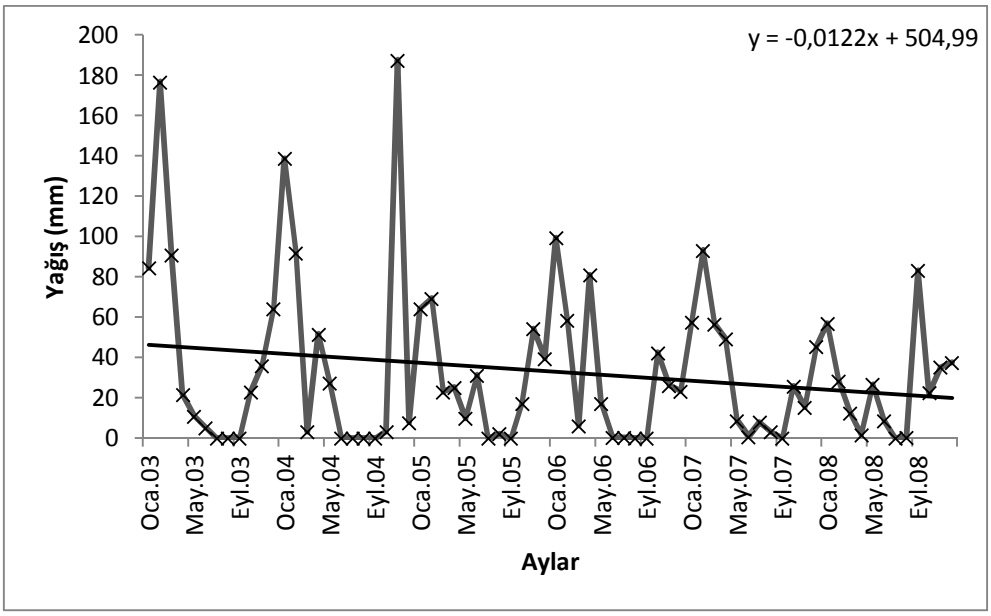
Şekil 5.8'de Ocak 2003 – Aralık 2008 tarihleri arasında istasyonun kaydettiği 72 aylık toplam yağış değerleri incelendiğinde en yüksek değerin 201 mm olarak Kasım 2004 tarihinde ölçüldüğü; en düşük değerin ise 2003 yılı Temmuz ve Ağustos, 2004 yılı

Haziran, Ağustos ve Eylül, 2005 ve 2008 yılları Temmuz ve 2007 yılı Eylül ayında 0 mm olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.9: Gaziantep meteoroloji istasyonu yağış grafiği

Şekil 5.9'da Ocak 2003 – Aralık 2008 tarihleri arasında istasyonun kaydettiği 72 aylık toplam yağış değerleri incelendiğinde en yüksek değerin 214,3 mm olarak Kasım 2004 tarihinde; en düşük değerin ise 2003 yılı Temmuz ve Ağustos, 2004 yılı Haziran, Ağustos ve Eylül, 2005 yılı Temmuz, 2006 yılı Haziran, 2007 yılı Eylül ve 2008 yılı Haziran ve Temmuz aylarında 0 mm olarak ölçülmüştür.



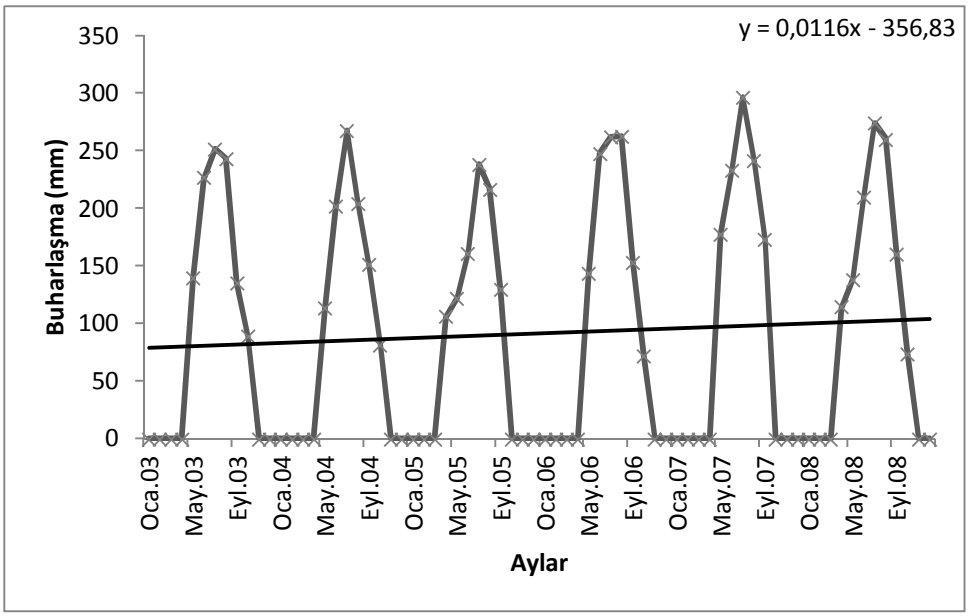
Şekil 5.10: Şanlıurfa meteoroloji istasyonu yağış grafiği

Şekil 5.10'da Ocak 2003 – Aralık 2008 tarihleri arasında istasyonun kaydettiği 72 aylık toplam yağış değerleri incelendiğinde en yüksek değerin 187.7 mm olarak Kasım 2004 tarihinde; en düşük değerin ise, 2003 yılı Temmuz ve Ağustos, 2004 yılı Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül, 2005 yılı Temmuz ve Eylül, 2006 yılı Ağustos ve Eylül, 2007 yılı Eylül, 2008 yılı Temmuz aylarında 0 mm olarak ölçülmüştür.

Yağış verileri genel olarak değerlendirildiğinde belirlenen bölgede ülkemizin kuzeyinden güneyine gidildikçe yağışlarda bir azalmaya rastlanmaktadır. Kuzeyde bulunan gridlerde yağışta genel bir değişiklik olamadığı görülürken, orta bölgede ve güney bölgede azalma görülmüştür. En ciddi azalma güney bölgelerindeki gridlerde görülmüştür.

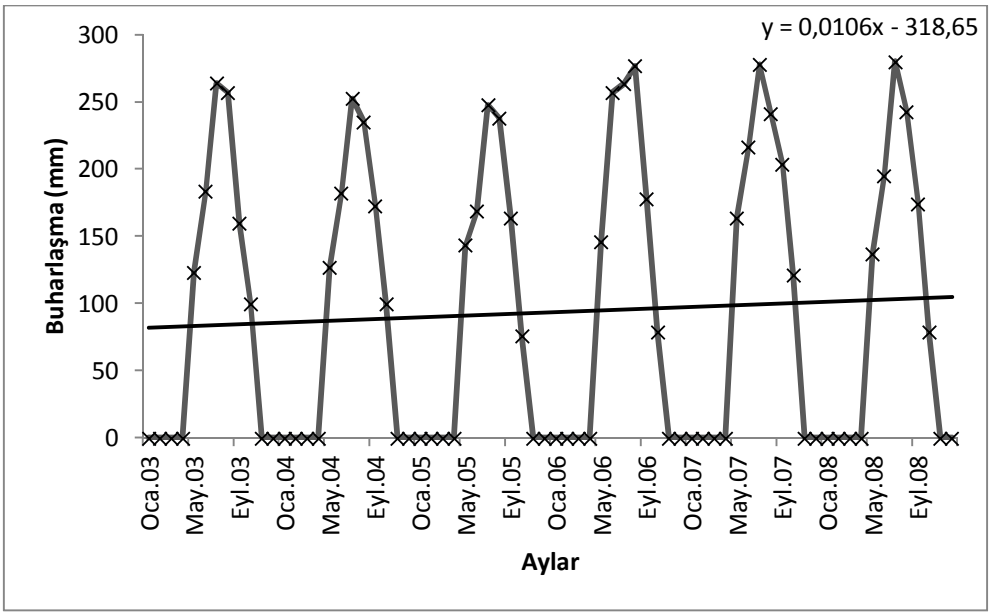
5.2.1.2 Buharlaşma

Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilen Boğazlıyan, Divriği, Tercan, Tomarza, Adıyaman, Diyarbakır, Ceyhan, Gaziantep ve Şanlıurfa istasyonlarına ait aylık toplam buharlaşma verilerinin grafikleri Şekil 5.11 – 5.19'da verilmiştir.



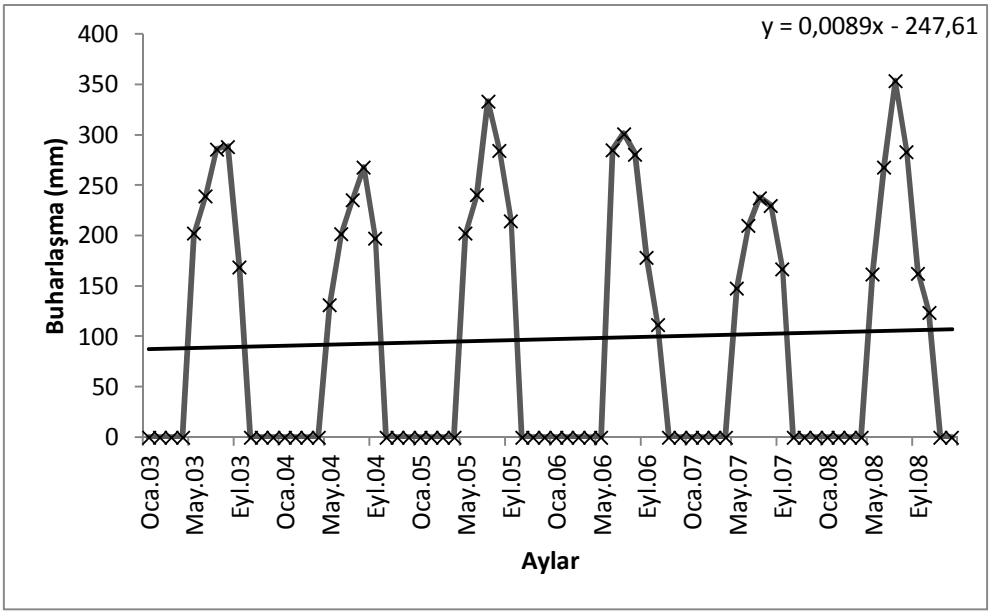
Şekil 5.11: Boğazlıyan meteoroloji istasyonu buharlaşma grafiği

Şekil 5.11'de elde edilen 72 aylık toplam buharlaşma ölçümleri incelendiğinde en yüksek buharlaşma değerinin 296.5 mm olarak Temmuz 2007 tarinden ölçüldüğü görülmüştür.



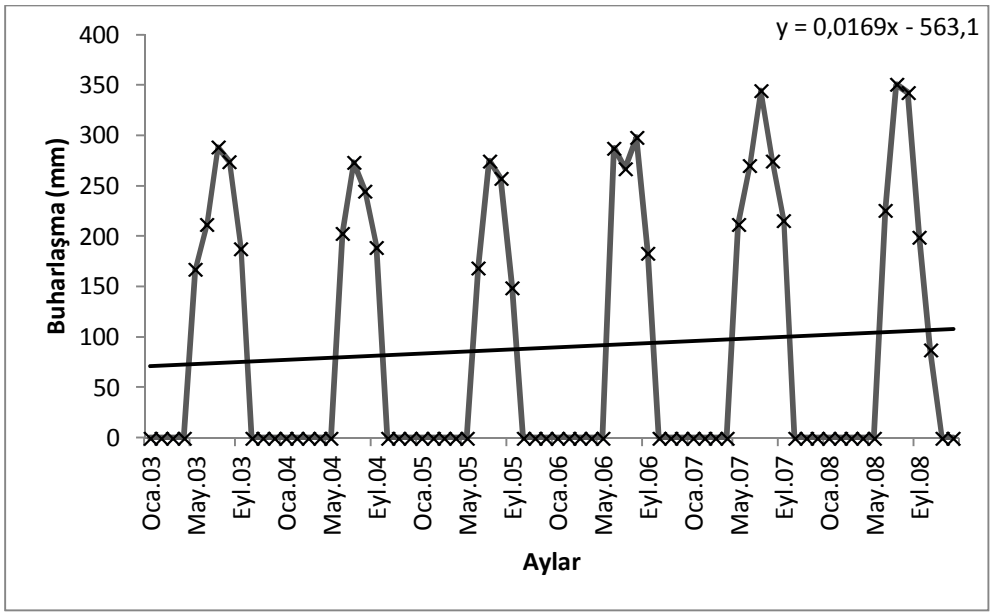
Şekil 5.12: Divriği meteoroloji istasyonu buharlaşma grafiği

Şekil 5.12'de elde edilen 72 aylık toplam buharlaşma ölçümleri incelendiğinde en yüksek buharlaşma değerinin 280.2 mm olarak Temmuz 2008 tarihinde ölçüldüğü görülmüştür.



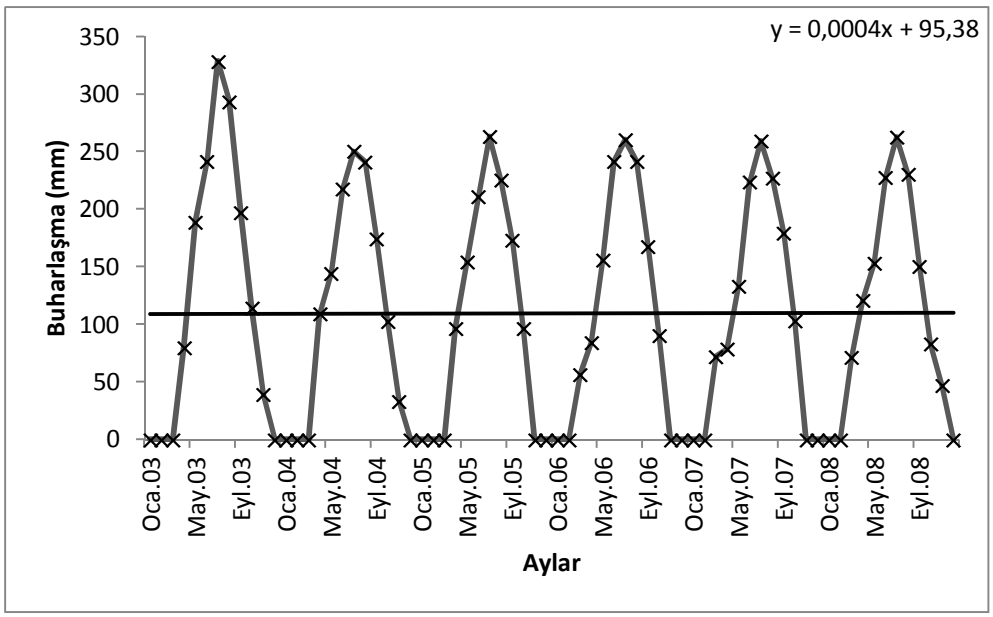
Şekil 5.13: Tercan meteoroloji istasyonu buharlaşma grafiği

Şekil 5.13'te elde edilen 72 aylık toplam buharlaşma ölçümleri incelendiğinde en yüksek buharlaşma değerinin 353.9 mm olarak Temmuz 2008 tarihinde ölçüldüğü görülmüştür.



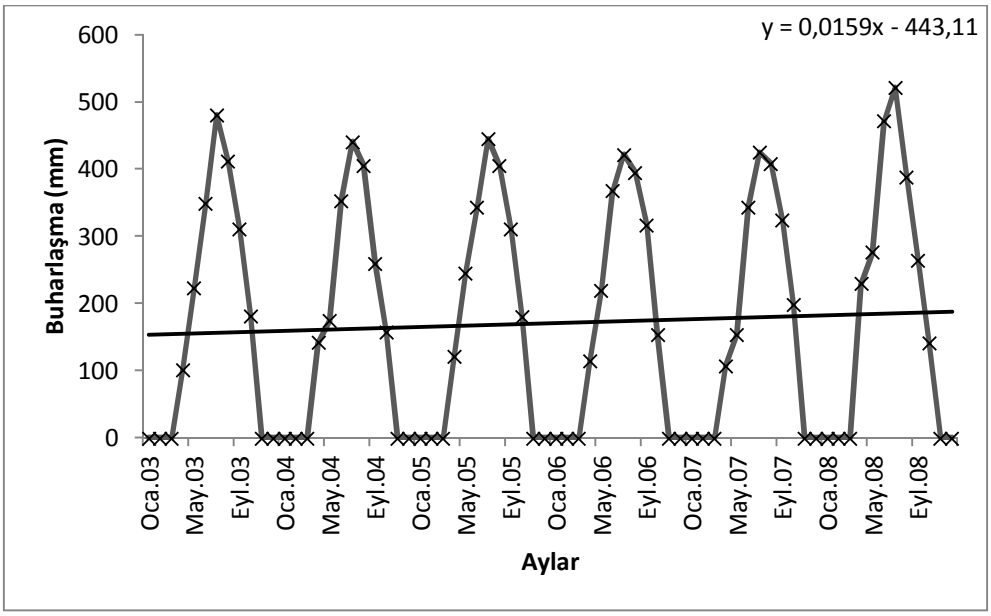
Şekil 5.14: Tomarza meteoroloji istasyonu buharlaşma grafiği

Şekil 5.14'te elde edilen 72 aylık toplam buharlaşma ölçümleri incelendiğinde en yüksek buharlaşma değerinin Temmuz 2008 tarihinde 350.9 mm olarak ölçüldüğü görülmüştür.



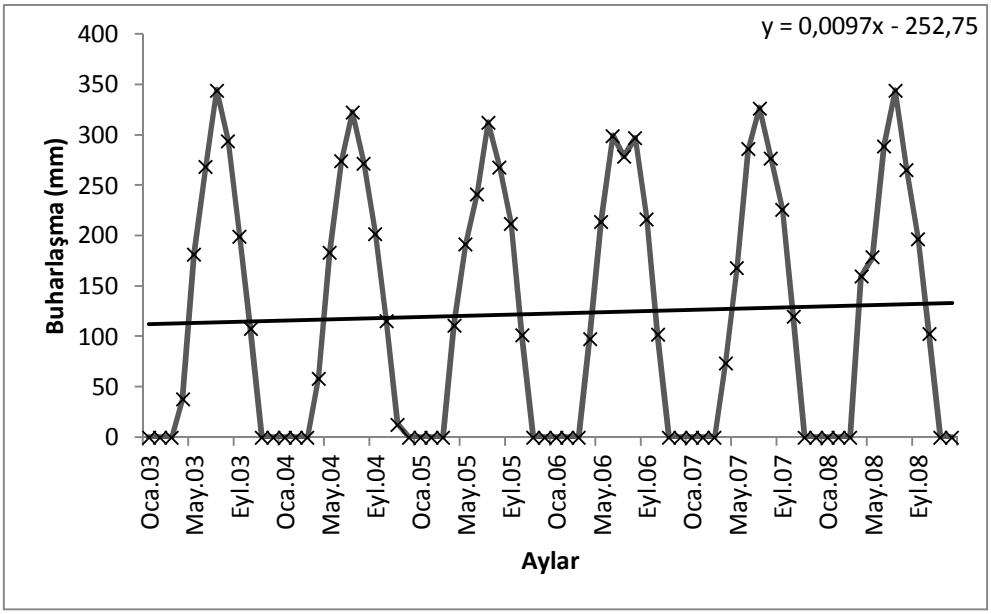
Şekil 5.15: Adıyaman meteoroloji istasyonu buharlaşma grafiği

Şekil 5.15'te elde edilen 72 aylık toplam buharlaşma ölçümleri incelendiğinde en yüksek buharlaşma değerinin 2003 yılı Temmuz ayında 328.9 mm olarak ölçüldüğü görülmüştür.



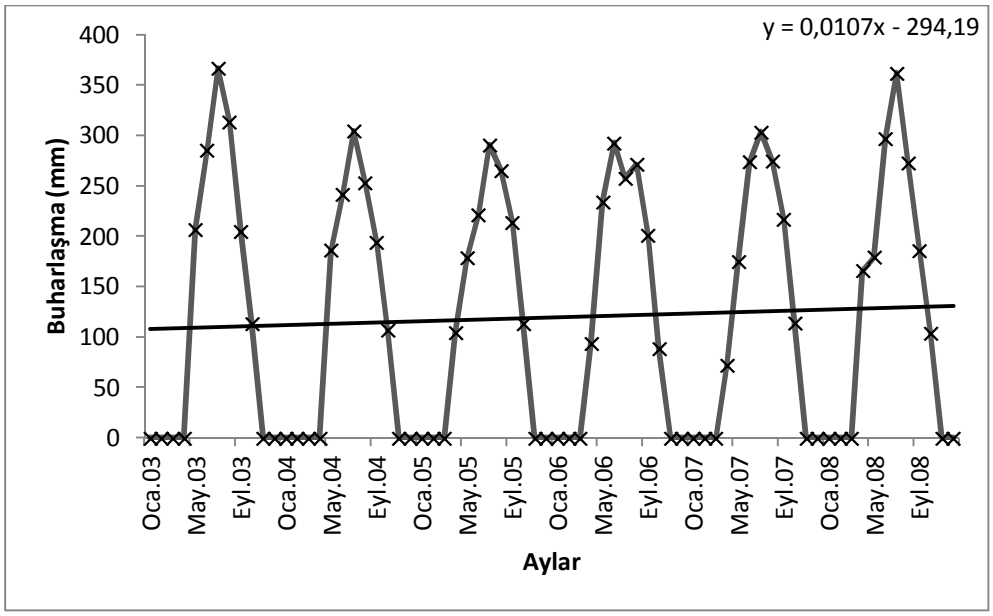
Şekil 5.16: Diyarbakır meteoroloji istasyonu buharlaşma grafiği

Şekil 5.16'da elde edilen 72 aylık toplam buharlaşma ölçümleri incelendiğinde en yüksek buharlaşma değerinin 521.8 mm olarak 2008 yılı Temmuz ayında ölçüldüğü görülmüştür.



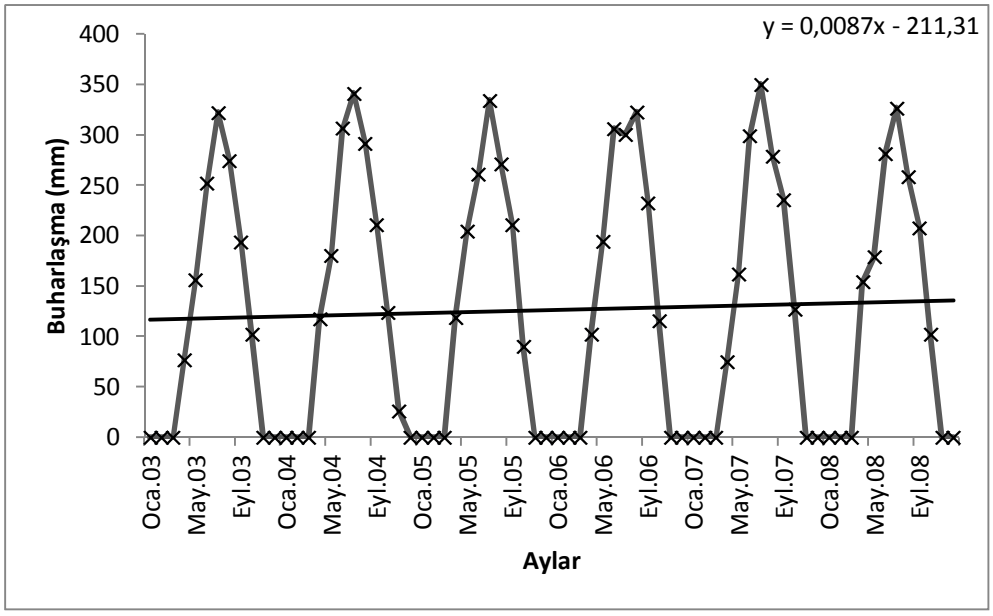
Şekil 5.17: Ceyhan meteoroloji istasyonu buharlaşma grafiği

Şekil 5.17'de elde edilen 72 aylık toplam buharlaşma ölçümleri incelendiğinde en yüksek buharlaşma değerinin 344.7 mm olarak 2003 yılı Temmuz ayında ölçüldüğü görülmüştür.



Şekil 5.18: Gaziantep meteoroloji istasyonu buharlaşma grafiği

Şekil 5.18'de elde edilen 72 aylık toplam buharlaşma ölçümleri incelendiğinde en yüksek buharlaşma değerinin 366.9 mm olarak 2003 yılı Temmuz ayında ölçüldüğü görülmüştür.



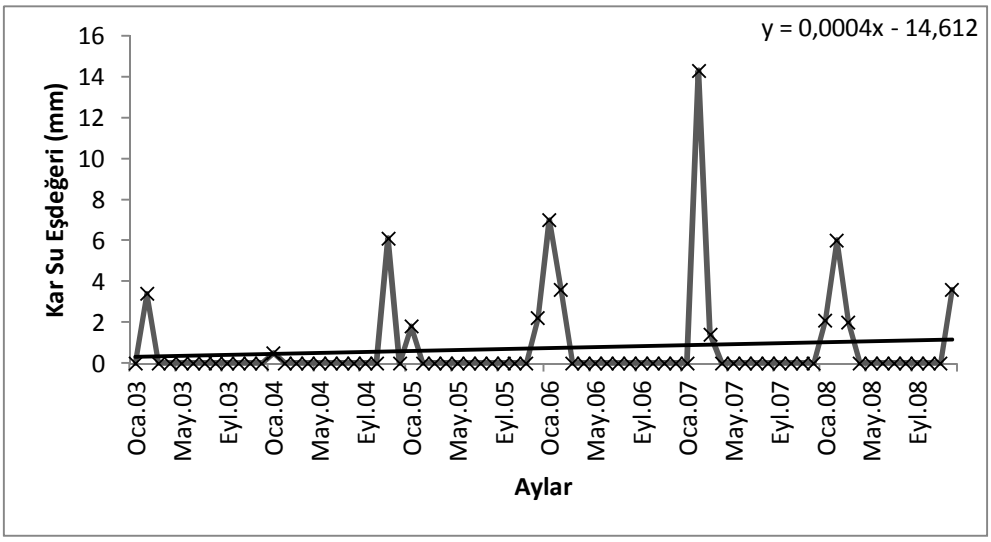
Şekil 5.19: Şanlıurfa meteoroloji istasyonu buharlaşma grafiği

Şekil 5.19'da elde edilen 72 aylık toplam buharlaşma ölçümleri incelendiğinde en yüksek buharlaşma değerinin 350.5 mm olarak 2007 yılı Temmuz ayında ölçüldüğü görülmüştür.

Buharlaşma verleri genel olarak değerlendirildiğinde, tüm gridlerde buharlaşmada net bir artış gözlenmemiştir.

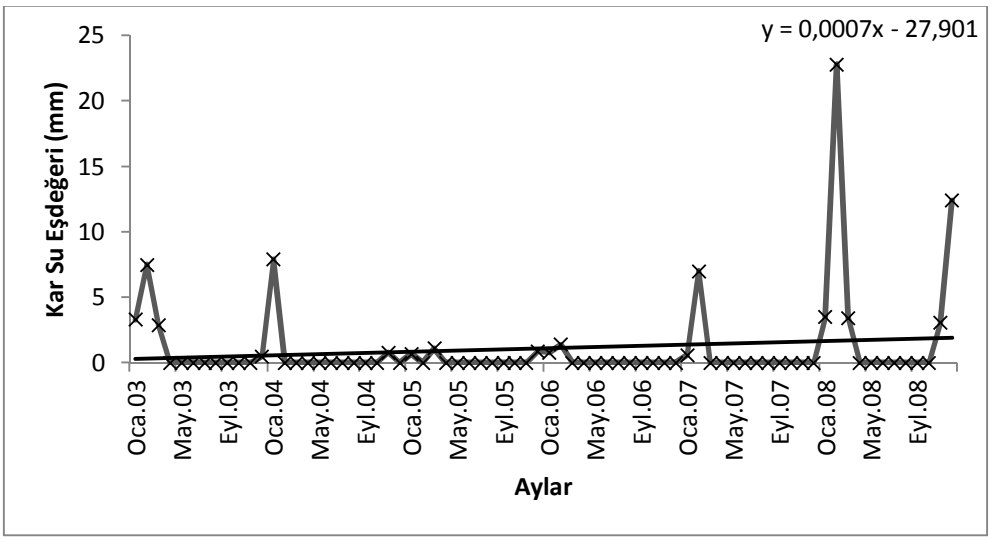
5.2.1.3 Kar su eşdeğeri

Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilen kar su eşdeğeri verilerinin grafikleri Şekil 5.20 – 5.26'da verilmiştir.



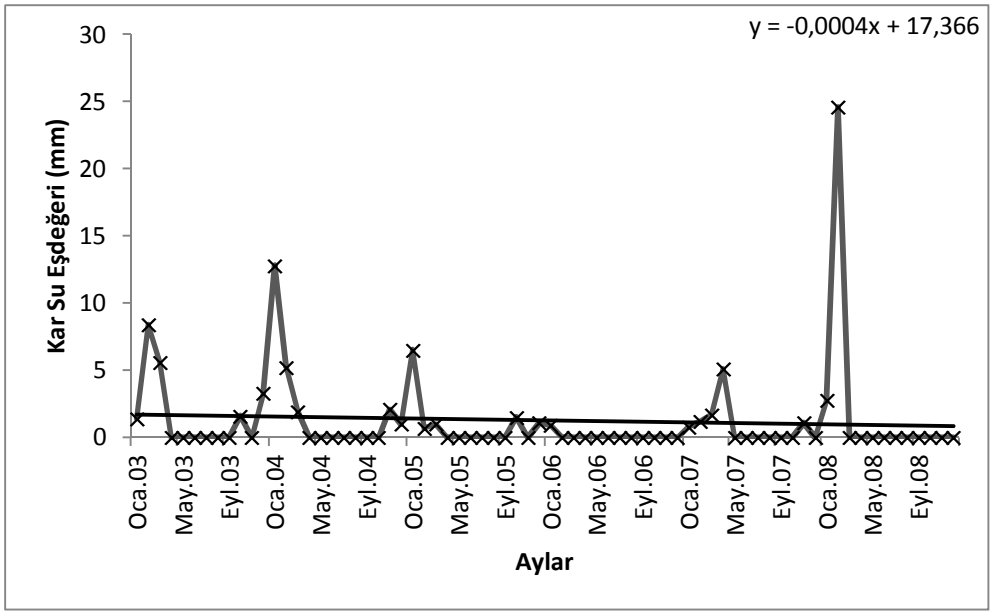
Şekil 5.20: Boğazlıyan meteoroloji istasyonu kar su eşdeğeri grafiği

Şekil 5.20'de istasyondan elde edilen 2003 yılı Ocak ayı ile 2008 yılı Aralık ayı arasındaki 72 aylık ölçüm sonucunda en büyük kar su eşdeğeri değeri 14.3 mm olarak 2007 yılı Şubat ayında ölçülmüştür



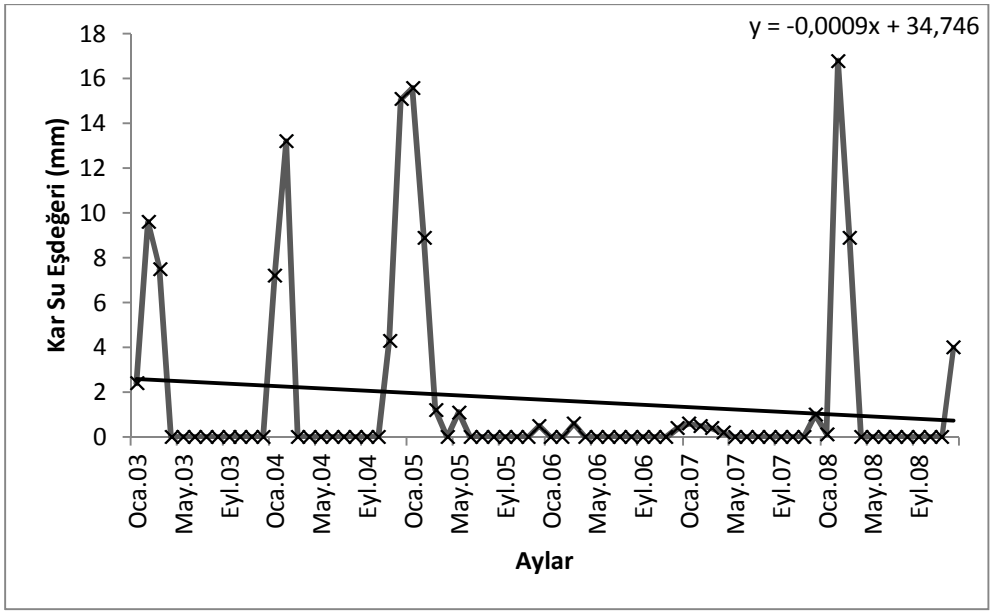
Şekil 5.21: Divriği meteoroloji istasyonu kar su eşdeğeri grafiği

Şekil 5.21'de istasyondan elde edilen 2003 yılı Ocak ayı ile 2008 yılı Aralık ayı arasındaki 72 aylık ölçüm sonucunda en büyük kar su eşdeğeri değeri 22.8 mm olarak Şubat 2008'de ölçülmüştür.



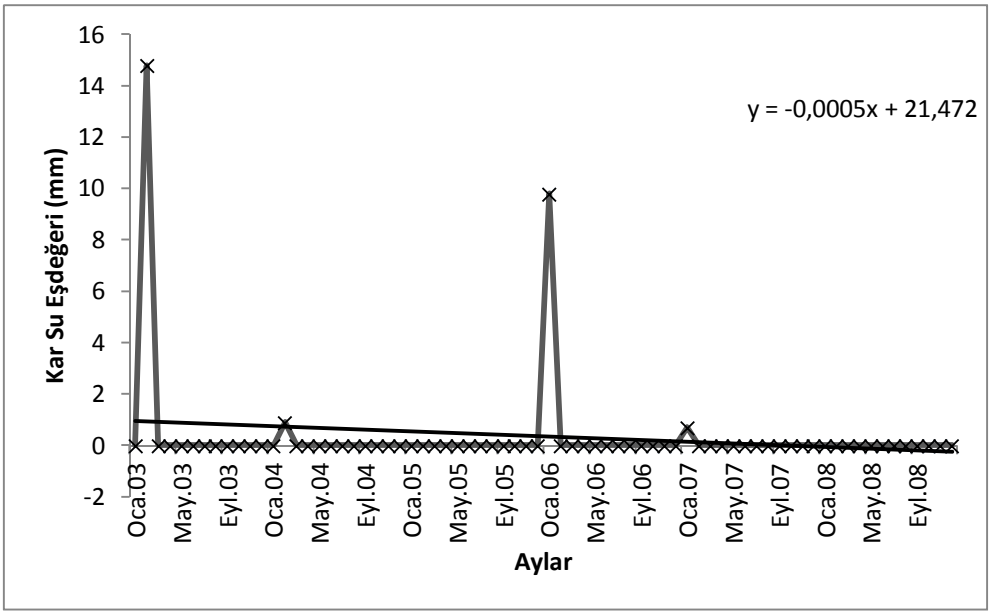
Şekil 5.22: Tercan meteoroloji istasyonu kar su eşdeğeri grafiği

Şekil 5.22'de istasyondan elde edilen 2003 yılı Ocak ayı ile 2008 yılı Aralık ayı arasındaki 72 aylık ölçüm sonucunda en büyük kar su eşdeğeri değeri 24.6 mm olarak 2008 yılı Şubat ayında ölçülmüştür.



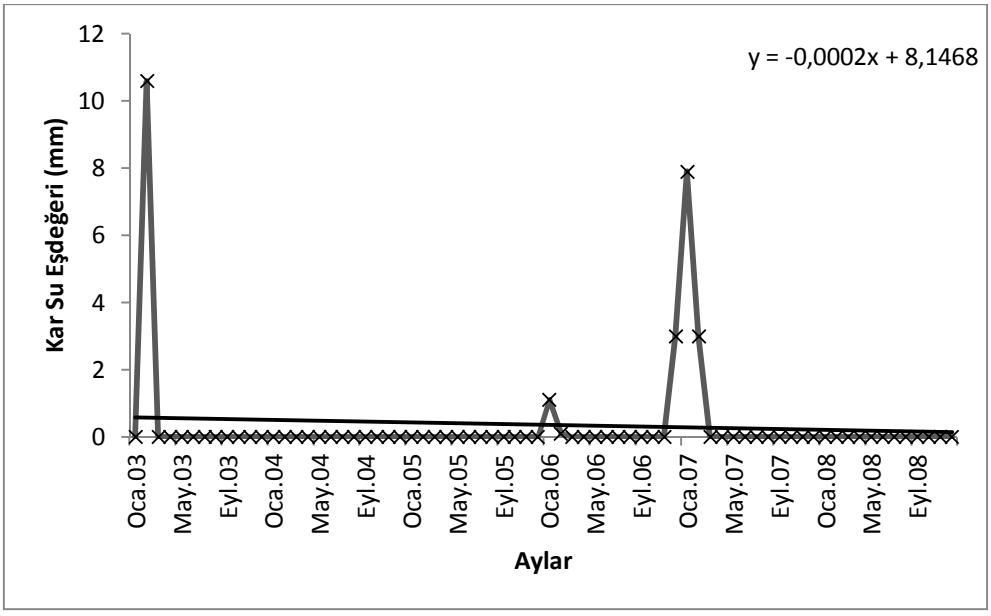
Şekil 5.23: Tomarza meteoroloji istasyonu kar su eşdeğeri grafiği

Şekil 5.23'te istasyondan elde edilen 2003 yılı Ocak ayı ile 2008 yılı Aralık ayı arasındaki 72 aylık ölçüm sonucunda en büyük kar su eşdeğeri değeri 16.8 mm olarak 2008 yılı Şubat ayında ölçülmüştür.



Şekil 5.24: Adıyaman meteoroloji istasyonu kar su eşdeğeri grafiği

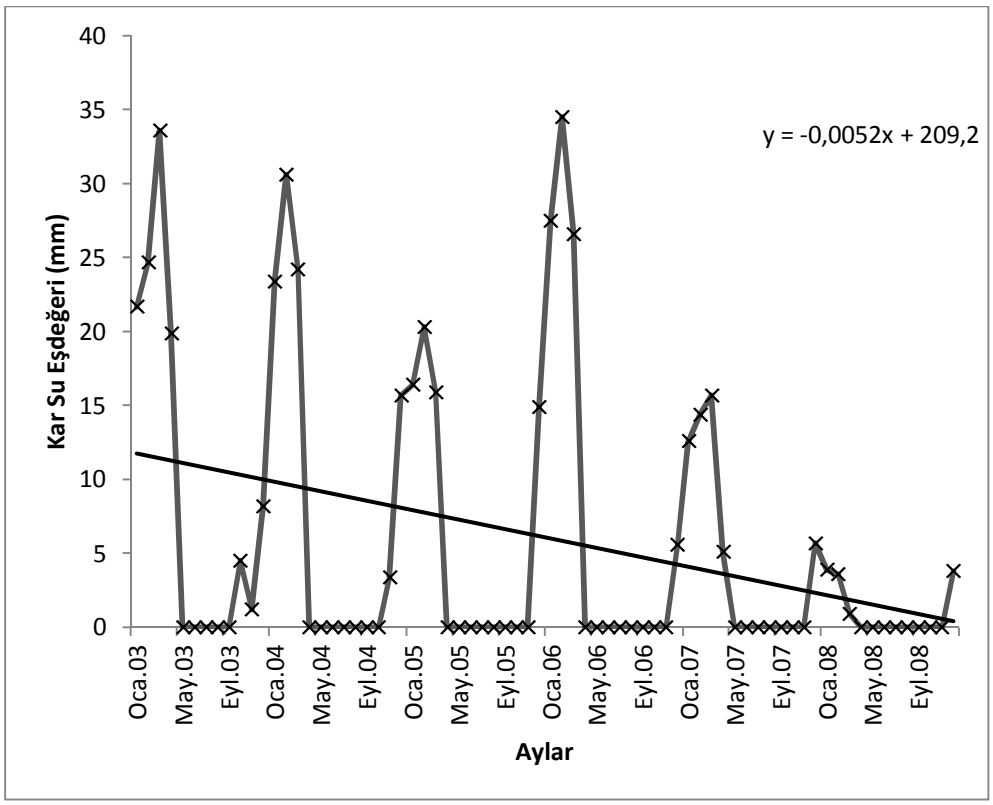
Şekil 5.24'te istasyondan elde edilen 2003 yılı Ocak ayı ile 2008 yılı Aralık ayı arasındaki 72 aylık ölçüm sonucunda en büyük kar su eşdeğeri değeri 14.8 mm olarak 2003 yılı Şubat ayında ölçülmüştür.



Şekil 5.25: Diyarbakır meteoroloji istasyonu kar su eşdeğeri grafiği

Şekil 5.25'te istasyondan elde edilen 2003 yılı Ocak ayı ile 2008 yılı Aralık ayı arasındaki 72 aylık ölçüm sonucunda en büyük kar su eşdeğeri değeri 10.6 mm olarak 2003 yılı Şubat ayında ölçülmüştür.

69 numaralı gridi temsilen Gaziantep meteoroloji istasyonundan alınan kar su eşdeğeri verilerinin tümü 0 mm olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.26: Şanlıurfa meteoroloji istasyonu kar su eşdeğeri grafiği

Şekil 5.26'da istasyondan elde edilen 2003 yılı Ocak ayı ile 2008 yılı Aralık ayı arasındaki 72 aylık ölçüm sonucunda en büyük kar su eşdeğeri değeri 33.6 mm olarak 2003 yılı Mart ayında ölçülmüştür.

Kar su eşdeğeri verileri değerlendirildiğinde; seçilen bölgede kuzeyden güneye gidildikçe kar su eş değerlerinde bir azalma gözlenmiştir.

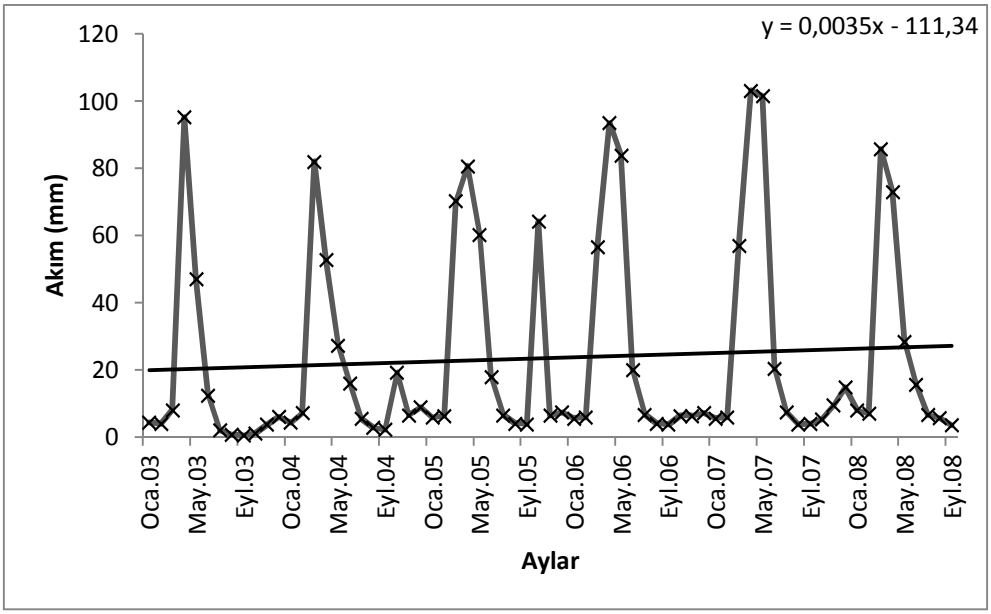
5.2.2 Akım Verileri

Üzerinde çalışılan 9 adet gridi temsilen seçilen akım gözlem istasyonları ve bu istasyonların yağış alanları, milimetreye çevrilmiş haldeki ortalama, standart sapma, maksimum ve minimum değerleri Çizelge 5.3'te verilmiştir.

Çizelge 5.3 Akım gözlem istasyonları ve temsil ettikleri gridler

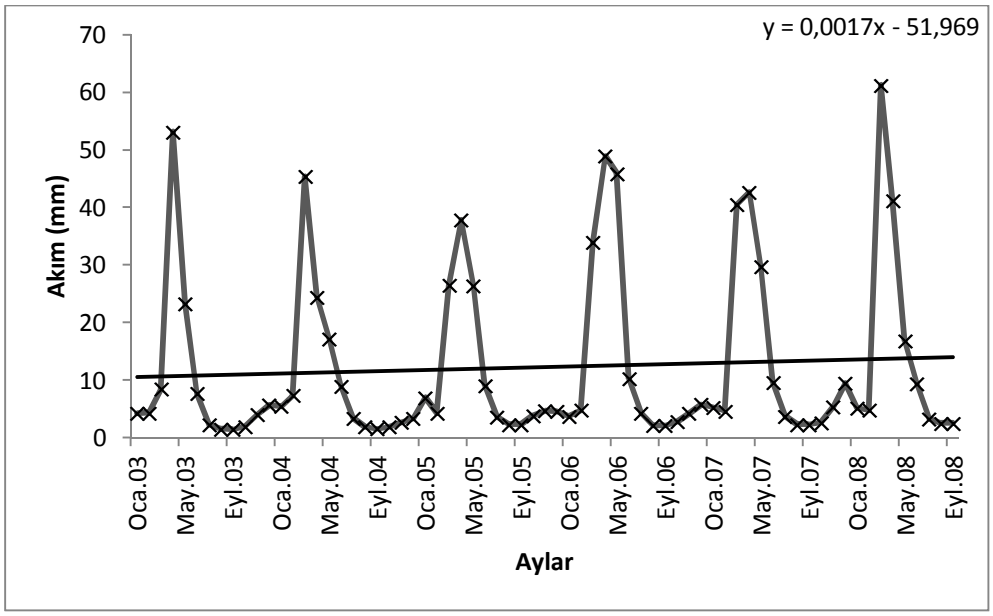
İstasyon Adı	Yağış Alanı (km^2)	Maksimum (mm)	Minimum (mm)	Ortalama	Standart Sapma	Temsil Ettiği Grid
Bulakbaşı	1642	103,24	0,57	23,61	30,24	38
Söğütlühan	6607,5	61,24	1,27	12,31	15,24	39
Kemah	10358	88,69	6,46	23,52	21,14	40
Yamula	15581,6	30,61	0,4	4,44	5,76	53
Göksun	1387,2	93,61	0,15	18,48	18,44	54
Loğmar	5385,8	124,82	4,76	37,79	28	55
Kadıncık	301	40,04	4,98	14,22	9,22	68
Afrin	2764,4	38,37	0,00	3,06	6,4	69
Fatopaşa	154,8	163,92	21,2	56	30,36	70

Şekil 5.27'de Bulakbaşı akım gözlem istasyonundan 2003 yılı Ocak ayıl ile 2008 yılı Eylül ayı arasında 69 aylık ortalama akım verisi mm'ye çevrilmiş ve değişimleri Şekil 5.27'de verilmiştir.



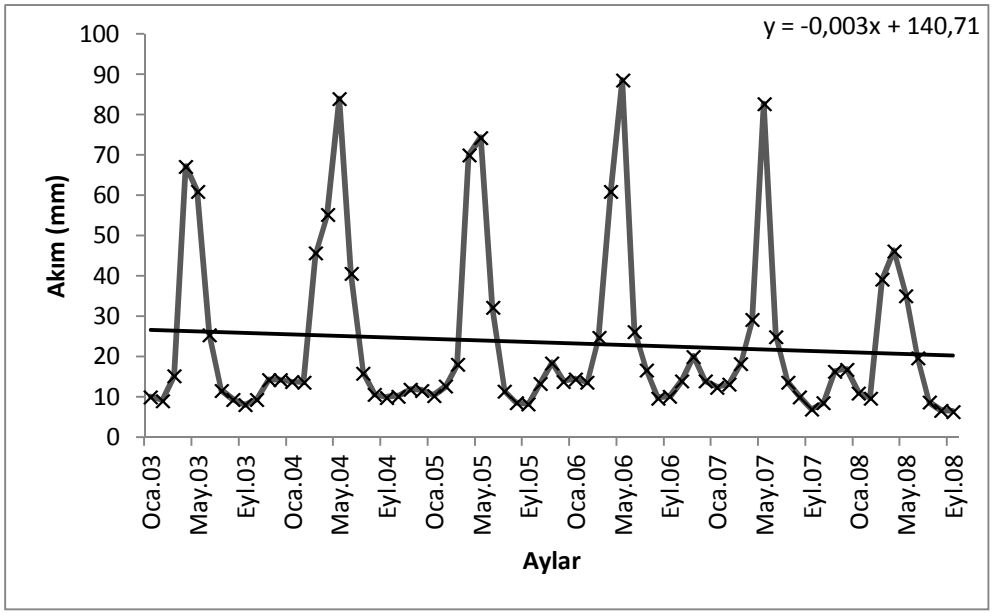
Şekil 5.27 Bulakbaşı akım gözlem istasyonu aylık ortalama akım grafiği

Şekil 5.28'de Söğütlühan akım gözlem istasyonundan elde edilen 2003 yılı Ocak ayı ile 2008 yılı Eylül ayı arasındaki 69 aylık ortalama akım verisi mm'ye çevrilmiş ve değişimleri Şekil 5.28'de verilmiştir.



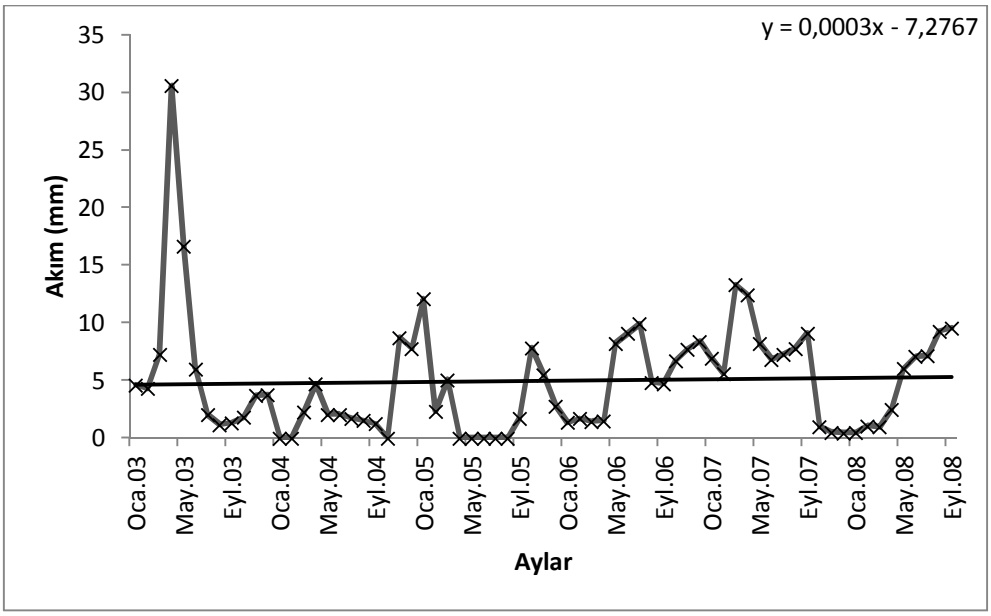
Şekil 5.28: Söğütlühan akım gözlem istasyonu aylık ortalama akım grafiği

Şekil 5.29'da Kemah akım gözlem istasyonundan elde edilen 2003 yılı Ocak ayı ile 2008 yılı Eylül ayı arasındaki 69 aylık ortalama akım verisi mm'ye çevrilmiş ve değişimleri Şekil 5.29'da verilmiştir.



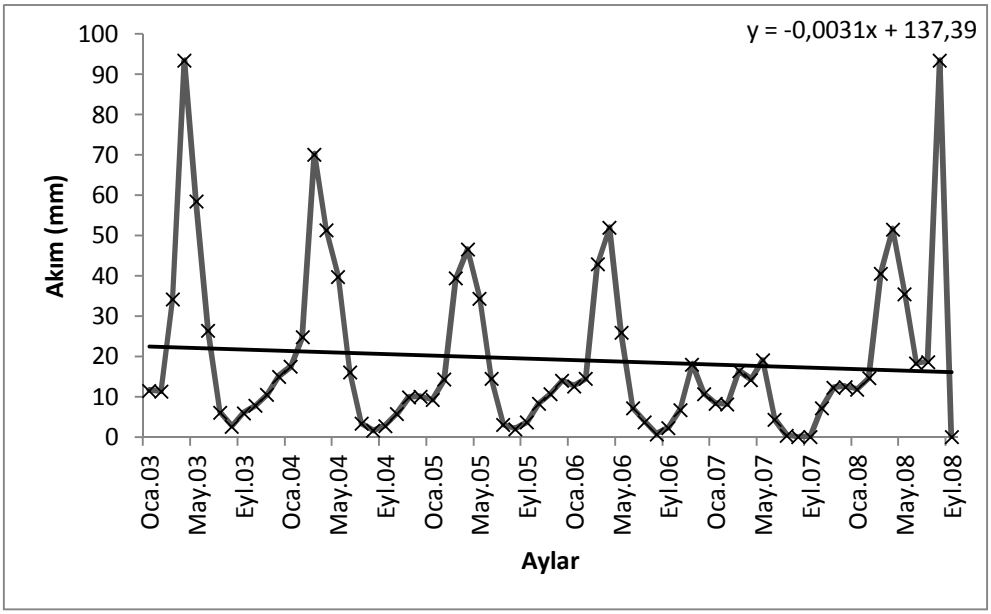
Şekil 5.29: Kemah akım gözlem istasyonu aylık ortalama akım grafiği

Şekil 5.30'da Yamula akım gözlem istasyonundan elde edilen 2003 yılı Ocak ayı ile 2008 yılı Eylül ayı arasındaki 69 aylık ortalama akım verisi mm'ye çevrilmiş ve değişimleri Şekil 5.30'da verilmiştir.



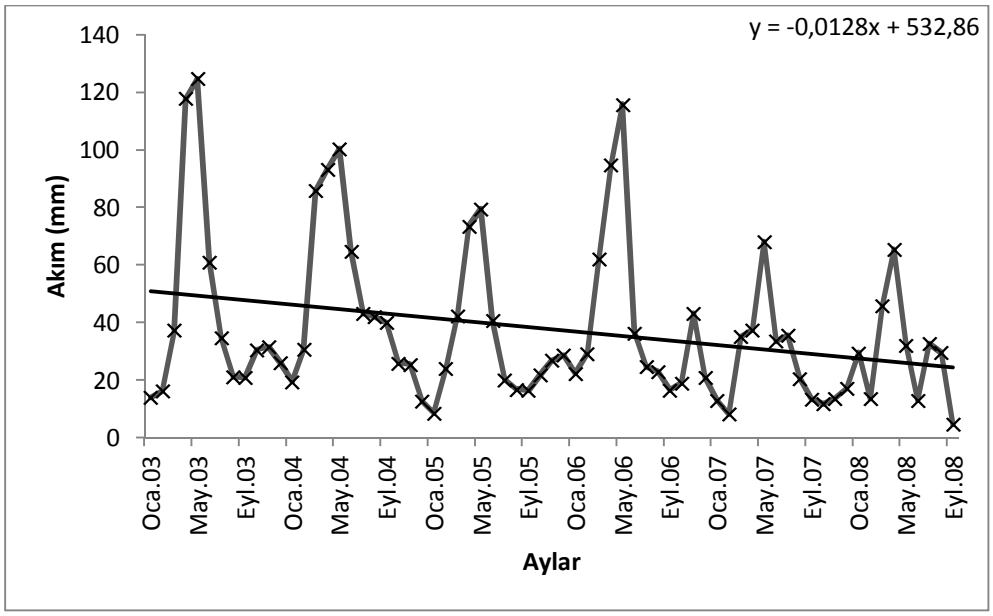
Şekil 5.30: Yamula akım gözlem istasyonu aylık ortalama akım grafiği

Şekil 5.31'de Göksun akım gözlem istasyonundan elde edilen 2003 yılı Ocak ayı ile 2008 yılı Eylül ayı arasındaki 69 aylık ortalama akım verisi mm'ye çevrilmiş ve değişimleri Şekil 5.31'de verilmiştir.



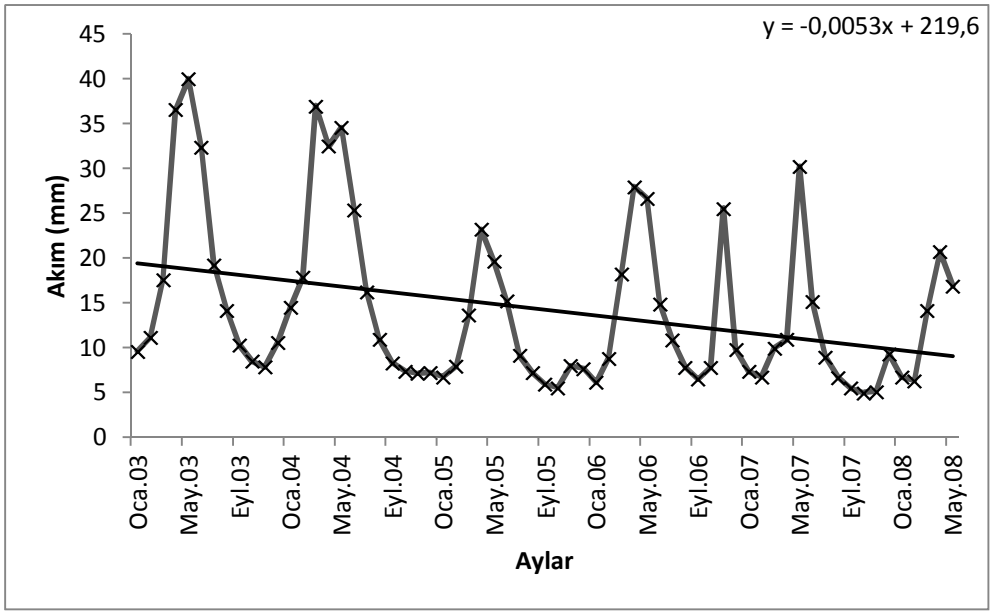
Şekil 5.31: Göksun akım gözlem istasyonu aylık ortalama akım grafiği

Şekil 5.32'de Loğmar akım gözlem istasyonundan elde edilen 2003 yılı Ocak ayı ile 2008 yılı Eylül ayı arasındaki 69 aylık ortalama akım verisi mm'ye çevrilmiş ve değişimleri Şekil 5.32'de verilmiştir.



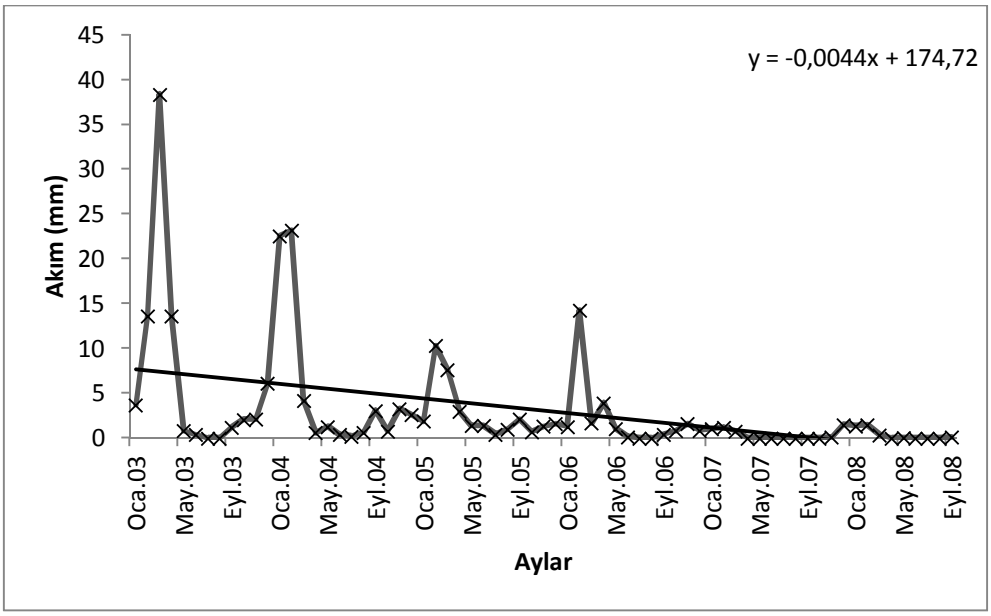
Şekil 5.32: Loğmar akım gözlem istasyonu aylık ortalama akım grafiği

Şekil 5.33'de Kadıncık akım gözlem istasyonundan elde edilen 2003 yılı Ocak ayı ile 2008 yılı Mayıs ayı arasındaki 64 aylık ortalama akım verisi mm'ye çevrilmiş ve değişimleri Şekil 5.33'de verilmiştir.



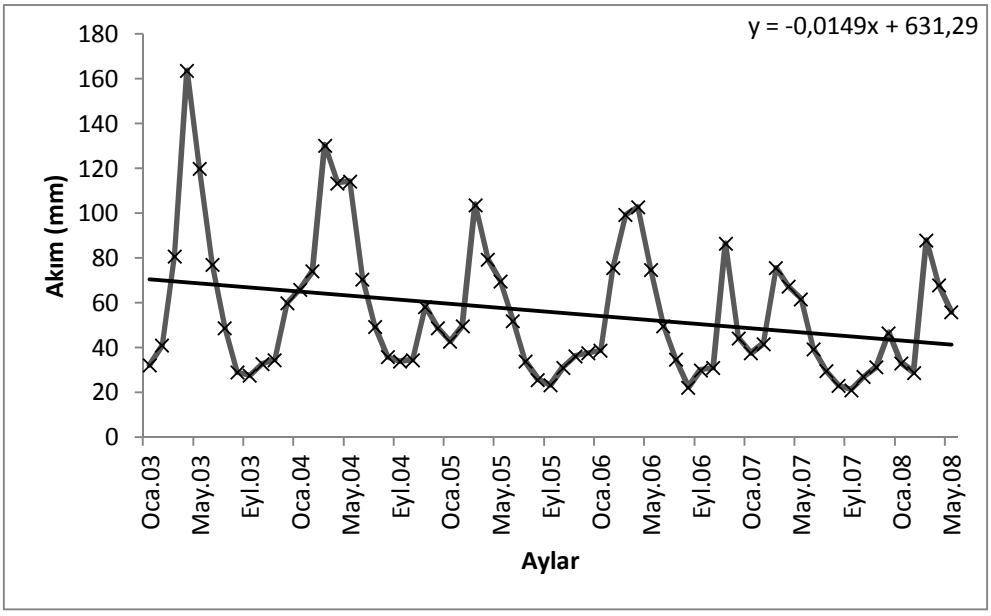
Şekil 5.33: Kadıncık akım gözlem istasyonu aylık ortalama akım grafiği

Şekil 5.34'te Afrin akım gözlem istasyonundan elde edilen 2003 yılı Ocak ayı ile 2008 yılı Eylül ayı arasındaki 69 aylık ortalama akım verisi mm'ye çevrilmiş ve değişimleri Şekil 5.34'te verilmiştir.



Şekil 5.34: Afrin akım gözlem istasyonu aylık ortalama akım grafiği

Şekil 5.35'te Fatopaşa akım gözlem istasyonundan elde edilen 2003 yılı Ocak ayı ile 2008 yılı Eylül ayı arasındaki 69 aylık ortalama akım verisi mm'ye çevrilmiş ve değişimleri Şekil 5.35'te verilmiştir.



Şekil 5.35: Fatopaşa akım gözlem istasyonu aylık ortalama akım grafiği

Akım verileri incelendiğinde Bulakbaşı, Söğütlühan ve Yamula istasyonlarında artış olmakla birlikte bu artışa oranla diğer istasyonlarda büyük azalmalar görülmektedir. Bu istasyonların özellikle güney gridlerde olduğu görülmüştür.

5.3 Verilerin Değerlendirilmesi

Bu bölümde meteorolojik, akım ve GRACE seviye değişim verilerine (ΔS_{GRACE}) Mann Kendall trend testi ve regresyon analizi yapılmıştır.

5.3.1 Meteorolojik verilerin trend Mann-Kendall analizi

Çalışmanın uygulama sahası içerisinde kalan bölgede seçilen 9 meteorolojik istasyonun değerlendirilmesi Mann – Kendall sıra korelasyon testi ile yapılmıştır. Test sonuçları çizelge 5.4'te verilmiştir.

Çizelge 5.4: Meteoroloji istasyonları trend testi sonuçları

İstasyon Adı	$Z_{Yağış}$ ($Z \geq 1,96$)	Trend Durumu	$Z_{Buharlaşma}$ ($Z \geq 1,96$)	Trend Durumu	$Z_{Kar\ Su\ Eşdeğeri}$ ($Z \geq 1,96$)	Trend Durumu
Boğazlıyan	0.0778	YOK	0.5882	YOK	0.5979	YOK
Divriği	-0.0486	YOK	0.5007	YOK	0.0243	YOK
Tercan	-0.2431	YOK	0.3257	YOK	-1.6674	YOK
Tomarza	-0.6611	YOK	0.632	YOK	-0.491	YOK
Adıyaman	-0.6028	YOK	0.1264	YOK	-0.4424	YOK
Diyarbakır	-0.8847	YOK	0.4132	YOK	0.04338	YOK
Ceyhan	-0.8021	YOK	0.316	YOK	0	YOK
Gaziantep	-1.1424	YOK	0.4521	YOK	0	YOK
Şanlıurfa	-0.3597	YOK	0.316	YOK	-1.9494	VAR

Test sonucunda 9 istasyonun verilerinden Şanlıurfa istasyonu buharlaşma verileri hariç diğer parametrelerde Z'nin mutlak değeri 0.05 anlamlılık düzeyine karşılık gelen $Z_{\alpha/2} = 1.96$ değerinden küçük olduğu için 'H_0 = trend yok' hipotezi kabul edilmektedir. Genel bir değerlendirme yapıldığında seçilen istasyonlarda yağışlarda bir azalma buharlaşmada ise genel bir artış gözlemlenmiştir. Bölüm 5.2.1 de belirtildiği gibi yağışlar kuzeyden güneye gittikçe azalmaktadır. Çizelge 5.3'te de destekler biçimde sonuçlar görülmüştür. Aynı şekilde Bölüm 5.2.2'de belirtildiği gibi buharlaşma verilerinde anlamlı bir artış görülmemiştir. Çizelge 5.5'te görülen buharlaşma sonuçları bunu destekler niteliktedir.

5.3.2 Meteorolojik verilerin regresyon analizi

Çalışmanın uygulama sahası içerisinde kalan bölgede seçilen 9 meteorolojik istasyonun değerlendirilmesi regresyon analizi ile yapılmıştır. Test sonuçları çizelge 5.5'te verilmiştir.

Çizelge 5.5: Meteoroloji istasyonları regresyon analizi sonuçları

İstasyon Adı	$t_{Yağış}$ ($t \geq 2,353$)	Trend Durumu	$t_{Buharlaşma}$ ($t \geq 2,353$)	Trend Durumu	$t_{Kar\ Su\ Eşdeğeri}$ ($t \geq 2,353$)	Trend Durumu
Boğazlıyan	0.163	YOK	1.88	YOK	0.63	YOK
Divriği	-0.37	YOK	1.08	YOK	-0.073	YOK
Tercan	-0.44	YOK	1.26	YOK	-1.73	YOK
Tomarza	-0.23	YOK	0.69	YOK	-1,094	YOK
Adıyaman	-1.19	YOK	1.45	YOK	-0,88	YOK
Diyarbakır	-0.2	YOK	1.49	YOK	0,078	YOK
Ceyhan	-0.54	YOK	2.5	VAR	0	YOK
Gaziantep	-0.29	YOK	2.03	VAR	0	YOK
Şanlıurfa	-0.77	YOK	2.68	VAR	-1,62	YOK

Test sonucunda α=0.05 anlamlılık düzeyinde t değerinin mutlak değerinin 2,353'ü aştığı 'H_0 = trend yok' hipotezi reddedilmiştir.

5.3.3 Akım verilerinin trend Mann-Kendall analizi

Akım gözlem istasyonlarından elde edilen Mann Kendall sıra korelasyon testi sonuçları çizelge 5.6'daki gibidir.

Çizelge 5.6: Akım gözlem istasyonları trend analizi sonuçları

İstasyon Adı	$Z_{Akım}$ ($Z \geq 1,96$)	Trend Durumu
Bulakbaşı	1.5	YOK
Söğütlühan	0.78	YOK
Kemah	-0.19	YOK
Yamula	1.43	YOK
Göksun	-0.87	YOK
Loğmar	-2.07	VAR
Kadıncık	-2.92	VAR
Afrin	-4.62	VAR
Fatopaşa	-1.91	YOK

Z'nin mutlak değeri 0.05 anlamlılık düzeyine karşılık gelen $Z_{\alpha/2}$ = 1.96 değerinden küçük olduğu istasyonlarda 'H_0 = trend yok' hipotezi kabul edilmektedir. Özellikle Loğmar, Kadıncık ve Afrin istasyonlarında büyük azalmalar gözlemlenmiştir.

5.3.4 Akım verilerinin regresyon analizi

Akım gözlem istasyonlarından elde edilen regresyon testi sonuçları çizelge 5.7'deki gibidir.

Çizelge 5.7: Akım gözlem istasyonları regresyon analizi sonuçları

İstasyon Adı	$t_{Akım}$ ($t \geq 2,353$)	Trend Durumu
Bulakbaşı	0.2	YOK
Söğütlühan	0.29	YOK
Kemah	-0.77	YOK
Yamula	0.61	YOK
Göksun	-0.38	YOK
Loğmar	-1.73	YOK
Kadıncık	-1.96	VAR
Afrin	-3.47	VAR
Fatopaşa	-1.92	YOK

Test sonucunda α=0.05 anlamlılık düzeyinde t değerinin mutlak değerinin 2,353'ü aştığı 'H_0 = trend yok' hipotezi reddedilmiştir.

5.3.5 GRACE seviye değişimlerinin analizi

Seçilmiş olan 9 adet gridin 64 aylık L1B ve L2 çözünürlüğünde seviye değişim verilerine Mann – Kendall sıra korelasyon testi uygulanmıştır. Uygulama sonucunda elde edilen sonuçlar çizelge 5.8'deki gibidir.

Çizelge 5.8: Seviye değişimi Mann – Kendall Z değerleri

Nokta No	Z (L1B) ($Z \geq 1,96$)	Trend Durumu	Z (L2) ($Z \geq 1,96$)	Trend Durumu
38	1.1	YOK	1.12	YOK
39	1.48	YOK	1.36	YOK
40	1.77	YOK	1.43	YOK
53	0.3015	YOK	0.13	YOK
54	0.4602	YOK	0.13	YOK
55	0.3264	YOK	0.31	YOK
68	-2.17	VAR	-2,28	VAR
69	-1.97	VAR	-1,34	YOK
70	-1.7	YOK	-1,05	YOK

Sonuçlar incelendiğinde 68 ve 69 numaralı gridlerde ise anlamlı bir azalma olduğu görülmüştür.

Aynı gridlere bu kez 62 aylık L2 çözünürlüğünde seviye değişim verilerine regresyon analizi yapılmıştır. Regresyon denklemi;

$$y = a + b.t + c.sin(2\pi t) + d.cos(2\pi t) \quad \textbf{(5.1)}$$

şeklindedir. Denklemde a sabit bir sayıyı, b doğru denklemi eğimini, c aylık olarak uydu sinyalinin sinüs genliğini, d ise aylık olarak uydu sinyalinin cosinüs genliğini, t zamanı vermektedir.

Regresyon denklemi katsayıları ve t regresyon değerleri Çizelge 5.9'daki gibidir.

Çizelge 5.9: Seviye değişimi regresyon sonuçları

Nokta No	a	b	c	d	t
38	12.72	2.4	6	9,68	1,64
39	2.76	-7	39.49	18.62	1,67
40	-3.41	5.49	37.07	22.57	1,42
53	13.24	2.5	6.24	10.08	0,65
54	7.26	-16.16	37.24	14.7	0,68
55	1.07	-3.59	35.21	18.72	0,45
68	6.54	1.36	3.08	4.97	-2,72
69	14.55	-31	31.24	7.01	-1,27
70	8.69	-19.02	30.04	10.96	-0,82

5.4 Su Bütçesi

Su bütçesi, belirli bir periyot boyunca su kaynaklarının takip edilmesidir. Seçtiğimiz bölge için Bölüm 5.4'te su bütçesi çalışması yapılmıştır. Öncelikle hidrometeorolojik değerlendirme yapılarak $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ hesaplanmış ve ΔS_{GRACE} seviye değişimleri ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmanın yorumlanabilmesi için aylık olarak kutu grafikleri oluşturulmuştur. Kutu grafiklerinde üst sınır ve alt sınır ΔS_{GRACE} ile $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$'i temsil etmektedir. Kütlenin korunumu ilkesinden yararlanarak 5.2 denklemi oluşturulmuştur.

$$\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK} = Yağış - Buharlaşma + Kar\ Su\ Eşdeğeri - Yüzeysel\ Akış \quad \textbf{(5.2)}$$

$\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ denkleminde yalnızca yeraltı suyu verisi eksik olduğundan kutu grafikleri yardımıyla yeraltı suyu değişimi yorumlaması yapılmıştır. Burada yeraltı suyu; yerin altına geçen toplam su miktarıdır. Denklemde yüzeysel akış verisi m^3/s değerinden mm'ye çevrilmiştir. Bu çevrimde alan olarak akış alanı kullanılmıştır.

5.4.1 GRACE seviye değişimleri ile ΔS grafiklerinin oluşturulması

Şekil 5.36(a) – 44(a) GRACE uydusu tarafından belirlenen ΔS_{GRACE} ile hesaplanan $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ değişimlerini gösterir. Aylık bazda GRACE uydusundan belirlenen ΔS_{GRACE} ile $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ arasında genel bir uyum olduğu söylenebilir. Incelenen bölgenin genel iklim karakteristiğine uygun olarak yaz aylarında seviyelerde azalma, ilkbahar aylarında bir artma gözlemlenmiştir. Grafiklerde Seviye değişim GRACE uydusundan elde edilen ΔS_{GRACE} değişimlerini $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ ise meteorolojik verilerle hesaplanan ΔS'i temsil etmektedir.

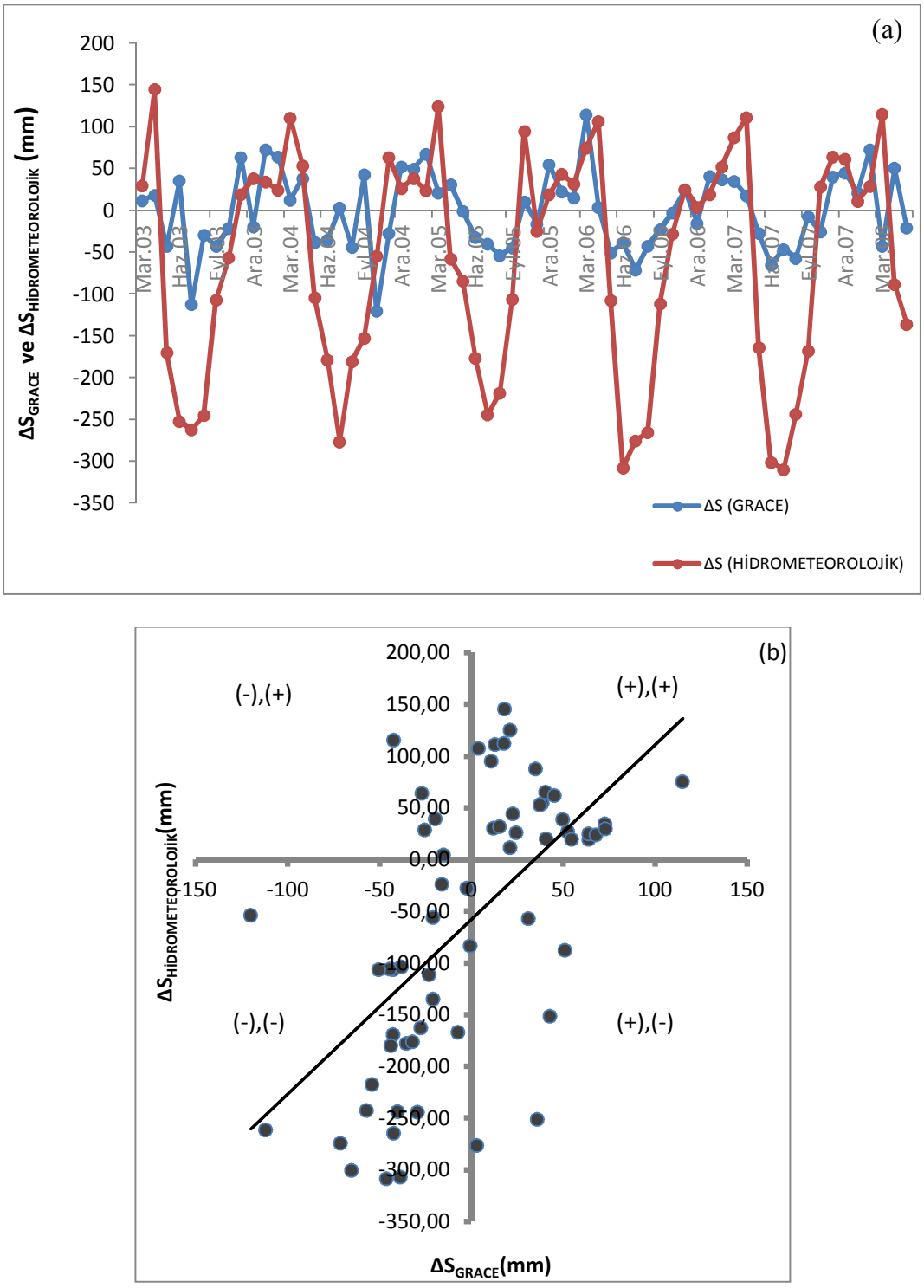
Şekil 5.36(b) – 44(b) ΔS_{GRACE} ile $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ arasındaki değişimin noktasal olarak dağılımını göstermektedir. Bu dağılım işaret grafiği şeklinde yapılmıştır. Grafik dört bölgeden oluşmaktadır. 1. Bölge ΔS_{GRACE} ile $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$'in pozitif olduğu durumu, 2. Bölge ΔS_{GRACE}'in pozitif $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$'in negatif olduğu durumu, 3. Bölge ΔS_{GRACE} ile $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$'in negatif durumu, 4. Bölge ΔS_{GRACE}'in negatif $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$'in pozitif olduğu durumu göstermektedir.

Şekil 5.36(b) – 44(b)'de eğilim çizgileri ve y = x doğruları verilmiştir. Eğilim çizgisinin y = x doğrusundan uzaklaşması, ΔS_{GRACE} ile $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ arasında uyumun azaldığını göstermektedir. Tüm işaret grafiklerinde eğilim çizgisi y = x doğrusuna yakın olmakla birlikte; iki doğru çakışmamaktadır.

Genel olarak tüm gridlerde uyumsuz ayları oldukça az olduğu görülmüştür. Noktalar yoğun olarak 1. Bölge (ΔS_{GRACE} ile $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$'in pozitif olduğu durum) ve 3. Bölgede (ΔS_{GRACE} ile $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$'in negatif durum) toplanmıştır.

2. Bölge (ΔS_{GRACE}'in pozitif $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$'in negatif olduğu durum) ve 4. Bölge (ΔS_{GRACE}'in negatif $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$'in pozitif olduğu durum) toplanan noktalar ise en yoğun olarak 68 numaralı gridde toplanmıştır.

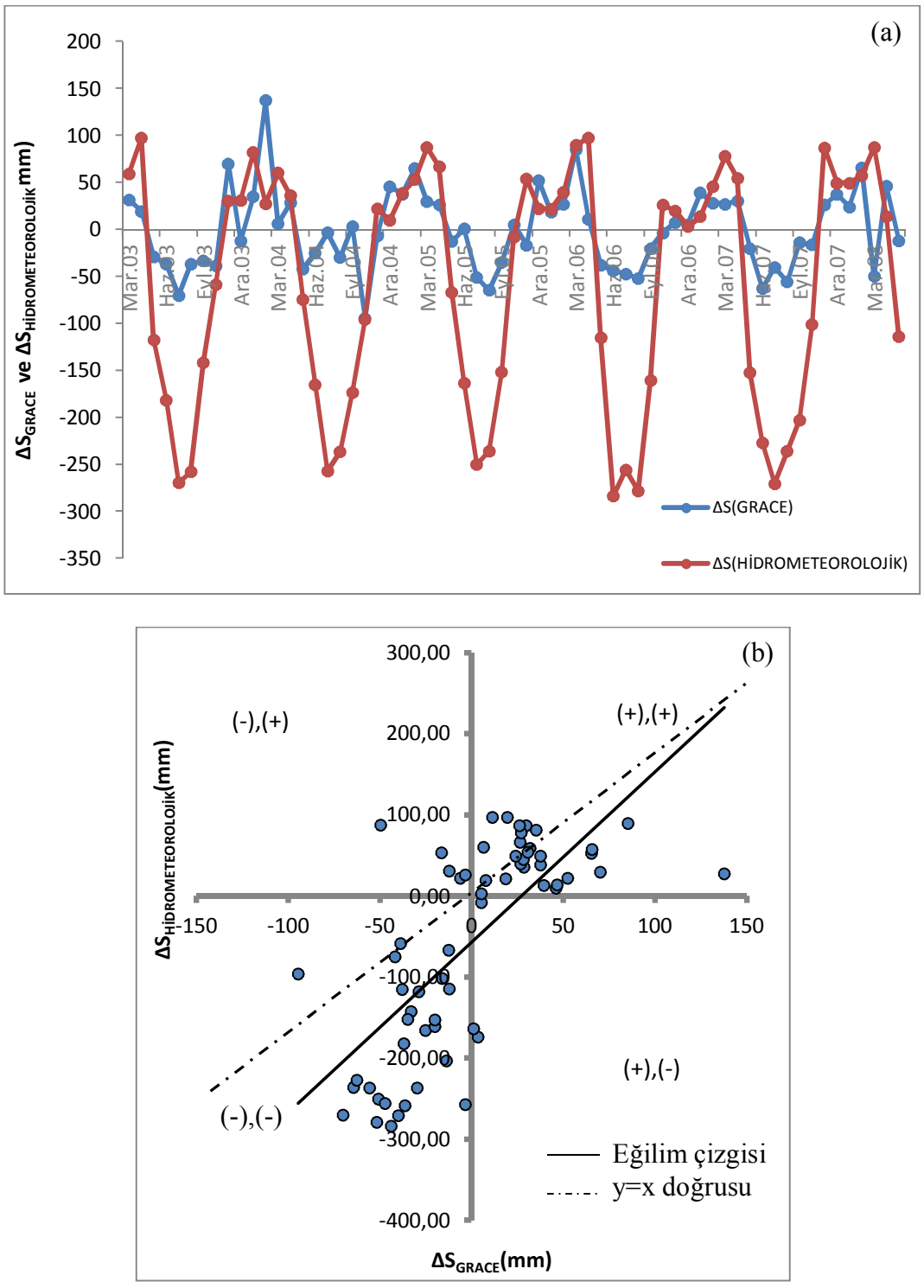
Şekil 5.36(a)'da seçilen bölgenin kuzeyinde bulunan 38 numaralı grid için GRACE seviye değişimleri (ΔS_{GRACE}) ile hidrometeorolojik veriler ile hesaplanan $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ arasındaki ilişkinin görülebilmesi adına grafik çizilmiştir. Genel olarak bir uyum olduğu görülmüştür. Şekil 5.36(b)'de işaret grafiği çizilmiştir. ΔS_{GRACE} artarken ya da azalırken $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ 'in artıp artmadığı noktalar ile belirtilmiştir. Uyumsuz ayların daha iyi anlaşılabilmesi ve yorumlanması için kutu grafikleri oluşturulmuştur. Kutu grafikleri Bölüm 5.4.2'de verilmiştir.



Şekil 5.36: 38 numaralı grid ΔS_{GRACE} ile $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ grafiği

Şekil 5.37(a)'da GRACE seviye değişimleri (ΔS_{GRACE}) ile $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ arasındaki değişim, 39 numaralı grid için çizilen grafikle belirlenmiştir. Şekil 5.37(b)'de işaret grafiği çizilmiştir. ΔS_{GRACE} artarken ya da azalırken $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ 'in artıp artmadığı noktalar ile belirtilmiştir. Veriler arasında

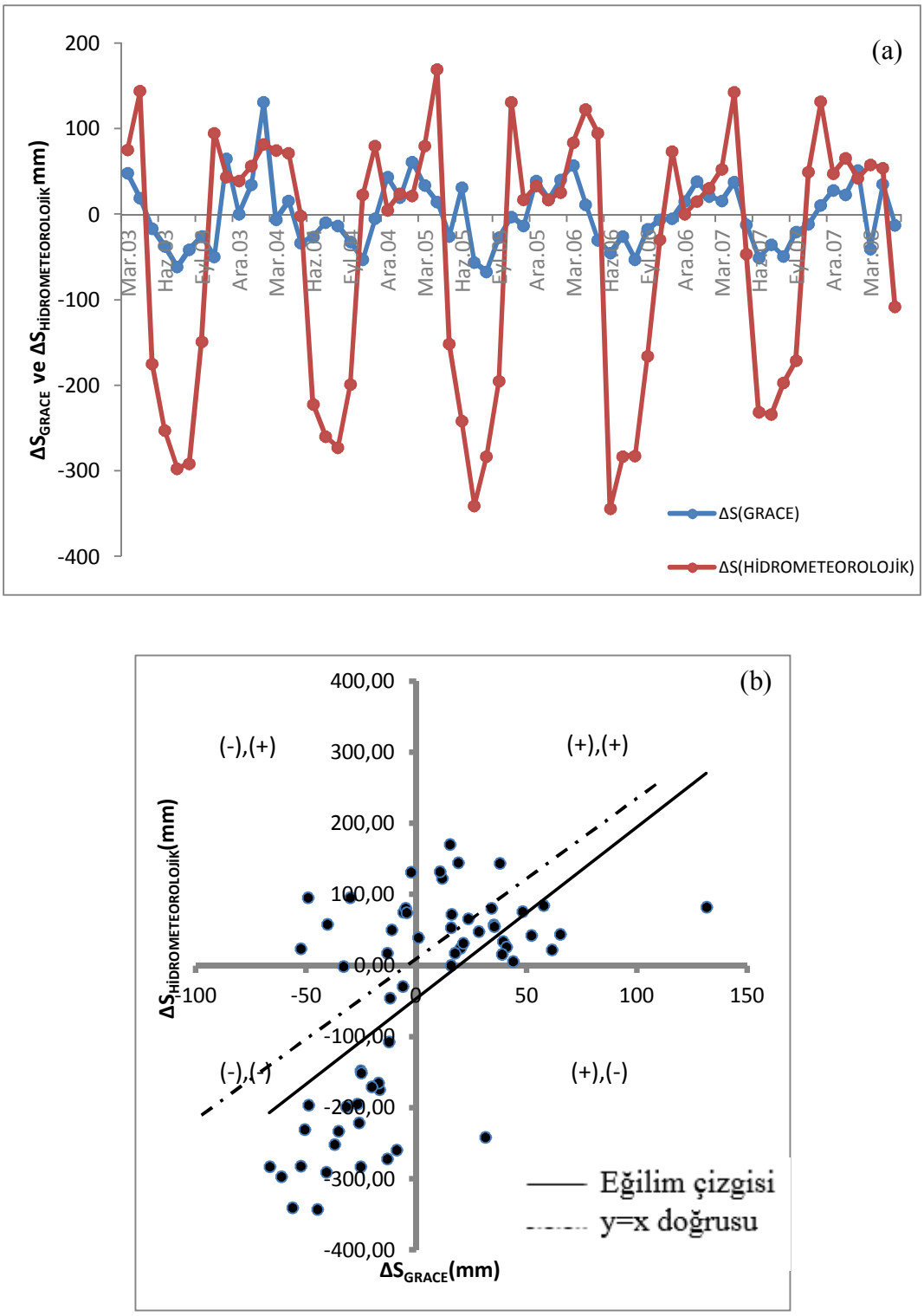
genel bir uyum görülmekle birlikte tüm ayların daha iyi yorumlanabilmesi için kutu grafikleri oluşturulmuştur.



Şekil 5.37: 39 numaralı grid ΔS_{GRACE} ile $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ grafiği

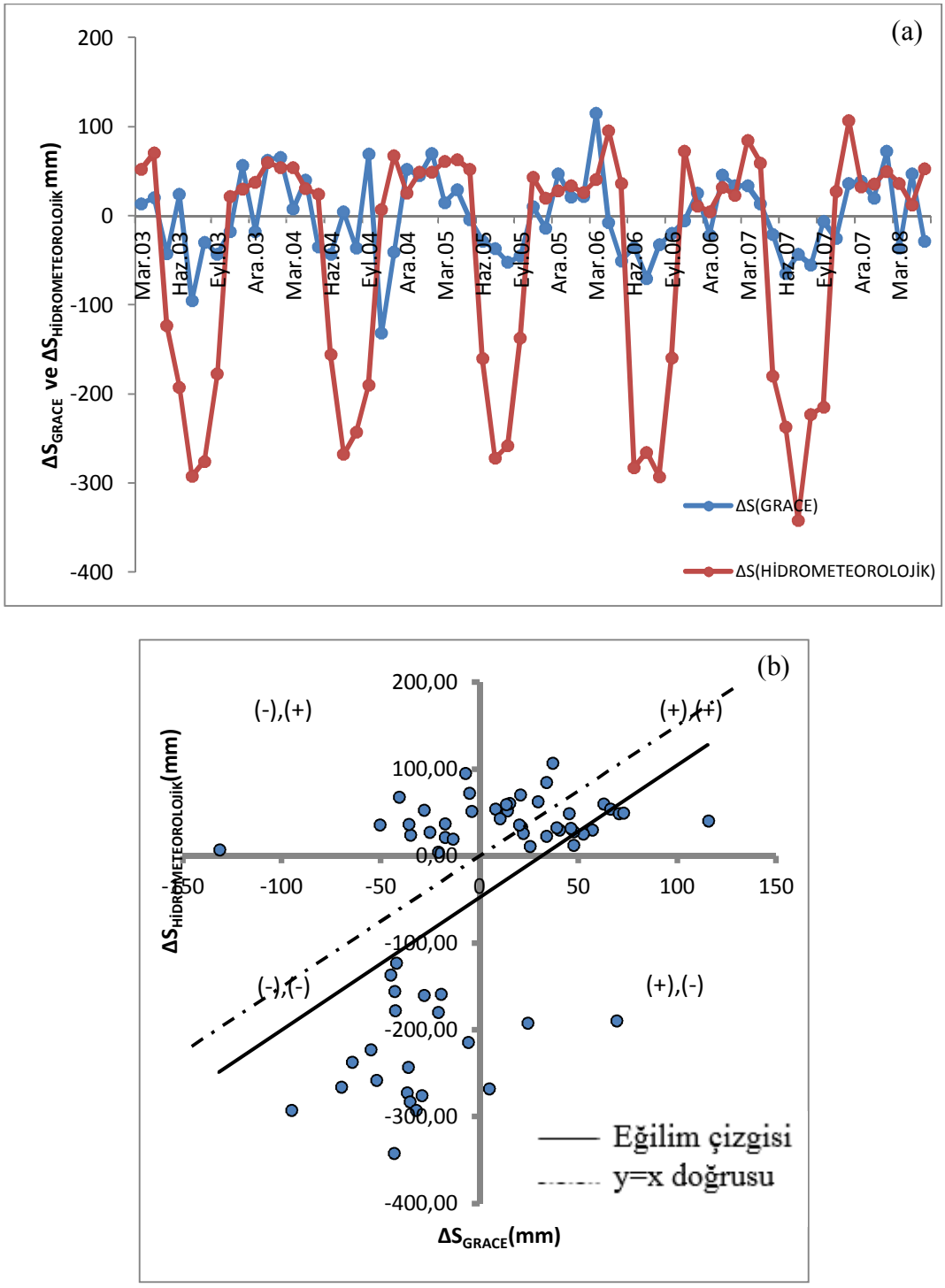
Şekil 5.38(a)'da GRACE seviye değişimleri (ΔS_{GRACE}) ile $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ arasındaki değişim, seçilen bölgenin kuzeyinde bulunan 40 numaralı grid için çizilen grafikle belirlenmiştir. Şekil 5.38(b)'de işaret grafiği çizilmiştir. ΔS_{GRACE} artarken ya

da azalırken $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ 'in artıp artmadığı noktalar ile belirtilmiştir. Grafik veriler arasında bir uyum olduğunu göstermektedir ancak daha iyi yorumlama yapılabilmesi için kutu grafikleri oluşturulmuştur.



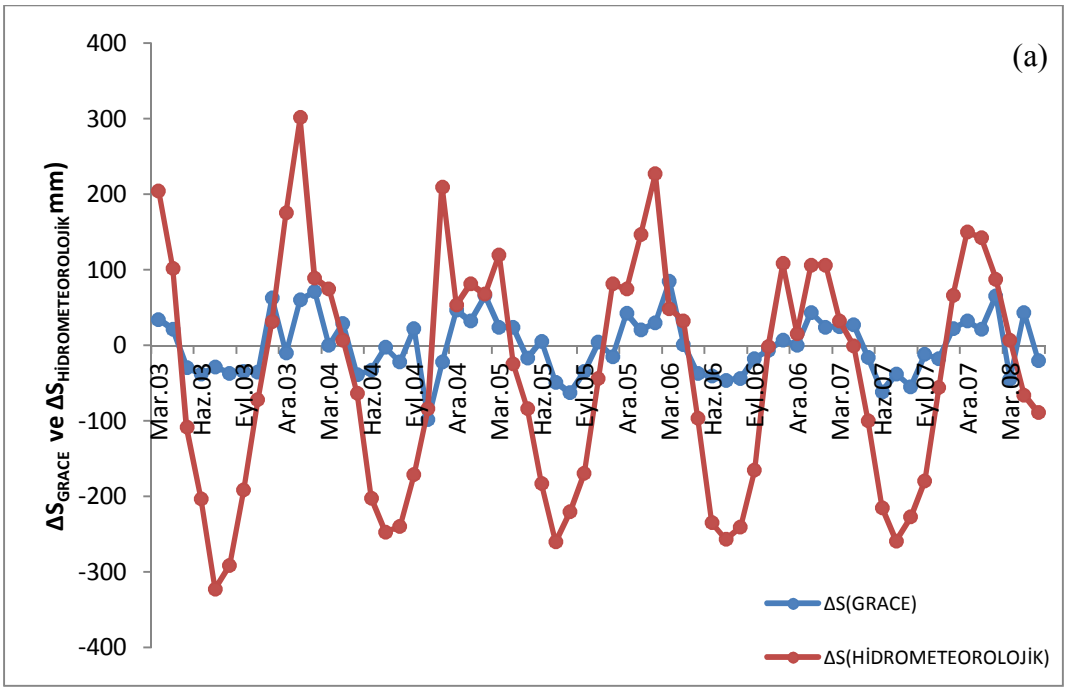
Şekil 5.38: 40 numaralı grid ΔS_{GRACE} ile $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ grafiği

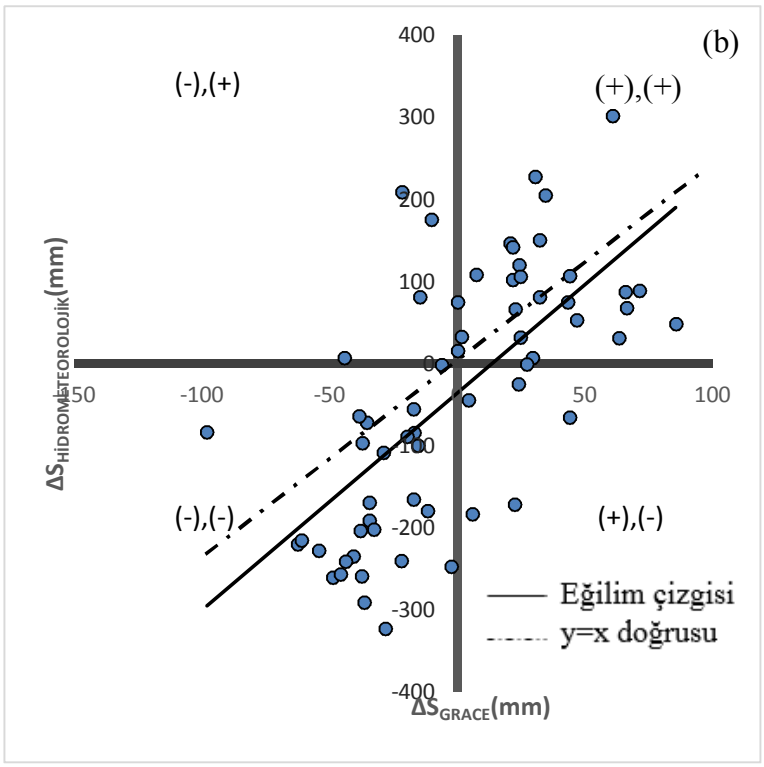
Şekil 5.39(a)'da GRACE seviye değişimleri (ΔS_{GRACE}) ile $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ arasındaki değişim, seçilen bölgenin ortasında bulunan 53 numaralı grid için çizilen grafikle belirlenmiştir. Şekil 5.39(b)'de işaret grafiği çizilmiştir. ΔS_{GRACE} artarken ya da azalırken $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ 'in artıp artmadığı noktalar ile belirtilmiştir. Artış ve azalışlarda genel bir uyum görülmekle birlikte tüm ayların daha iyi yorumlanabilmesi için kutu grafikleri oluşturulmuştur.



Şekil 5.39: 53 numaralı grid ΔS_{GRACE} ile $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ grafiği

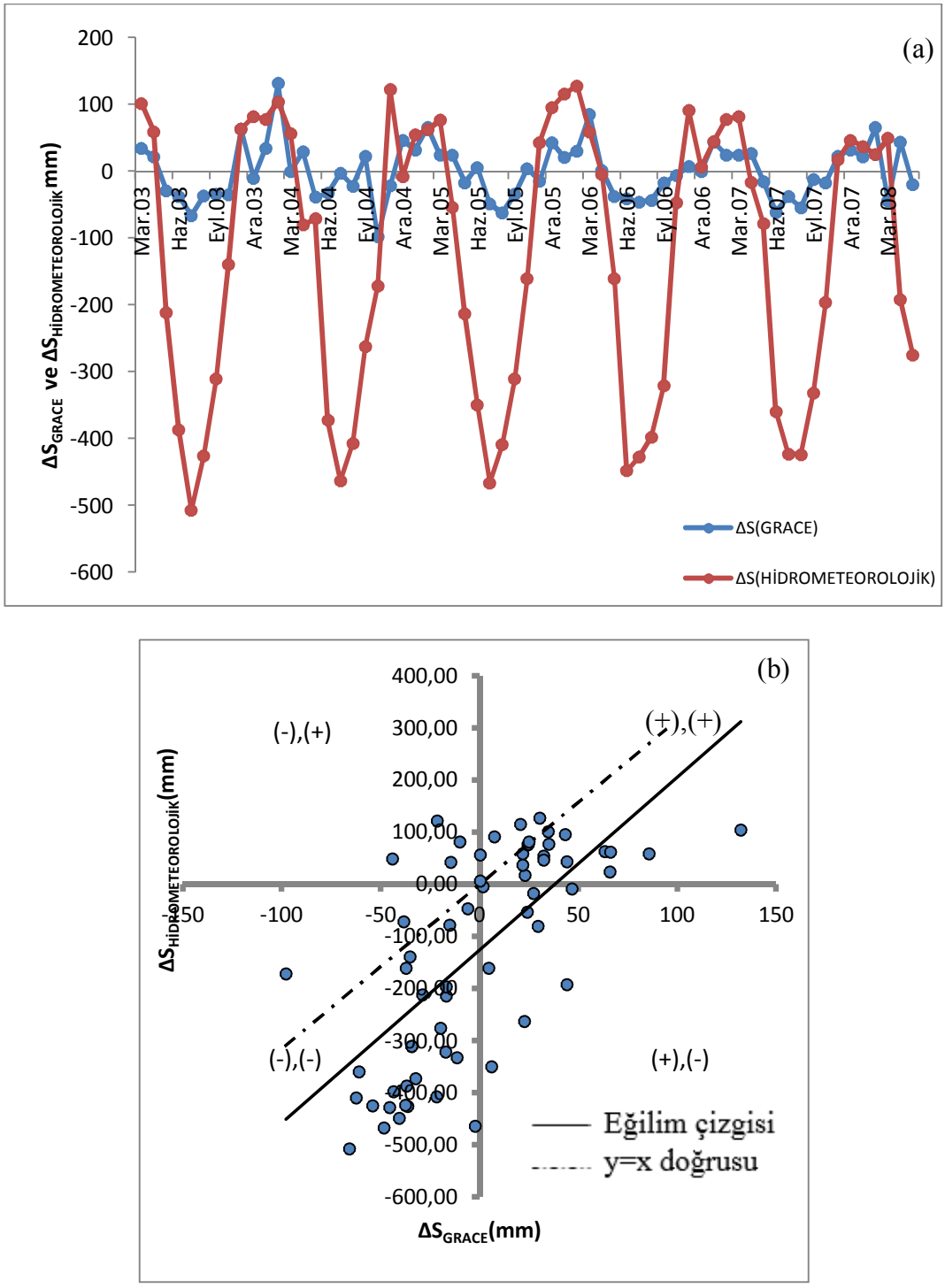
Şekil 5.40(a)'da GRACE seviye değişimleri (ΔS_{GRACE}) ile $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ arasındaki değişim, 54 numaralı grid için çizilen grafikle belirlenmiştir. Şekil 5.40(b)'de işaret grafiği çizilmiştir. ΔS_{GRACE} artarken ya da azalırken $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ 'in artıp artmadığı noktalar ile belirtilmiştir. Veriler arasında genel bir uyum olduğu söylenebilir ancak yorumlama için kutu grafikleri çizilmiştir.





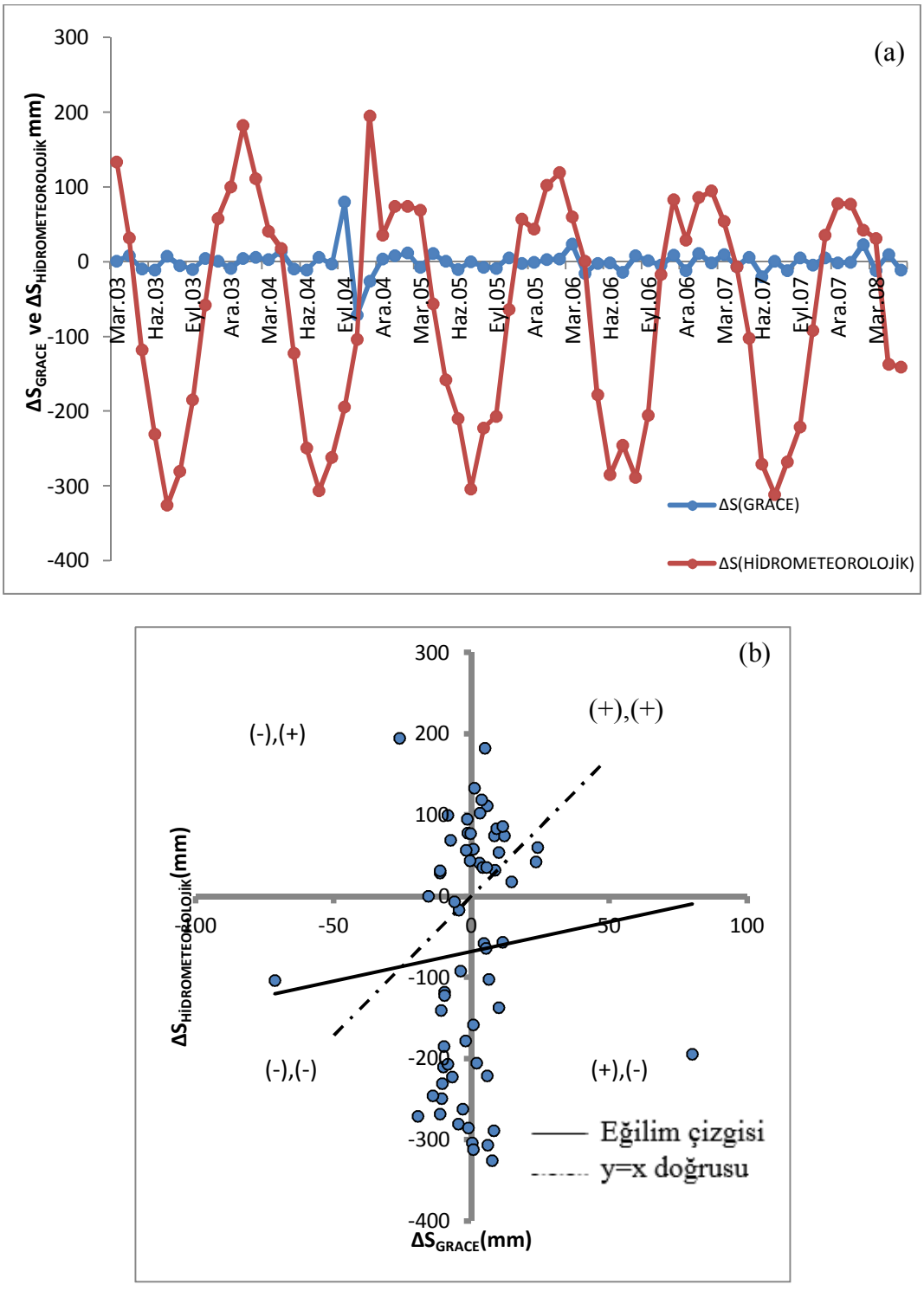
Şekil 5.40: 54 numaralı grid ΔS_{GRACE} ile $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ grafiği

Şekil 5.41(a)'da GRACE seviye değişimleri (ΔS_{GRACE}) ile $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ arasındaki değişim, seçilen bölgenin ortasında bulunan 55 numaralı grid için çizilen grafikle belirlenmiştir. Şekil 5.41(b)'de işaret grafiği çizilmiştir. ΔS_{GRACE} artarken ya da azalırken $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ 'in artıp artmadığı noktalar ile belirtilmiştir. Artış ve azalışlarda genel bir uyum görülmekle birlikte tüm ayların daha iyi yorumlanabilmesi için kutu grafikleri oluşturulmuştur.



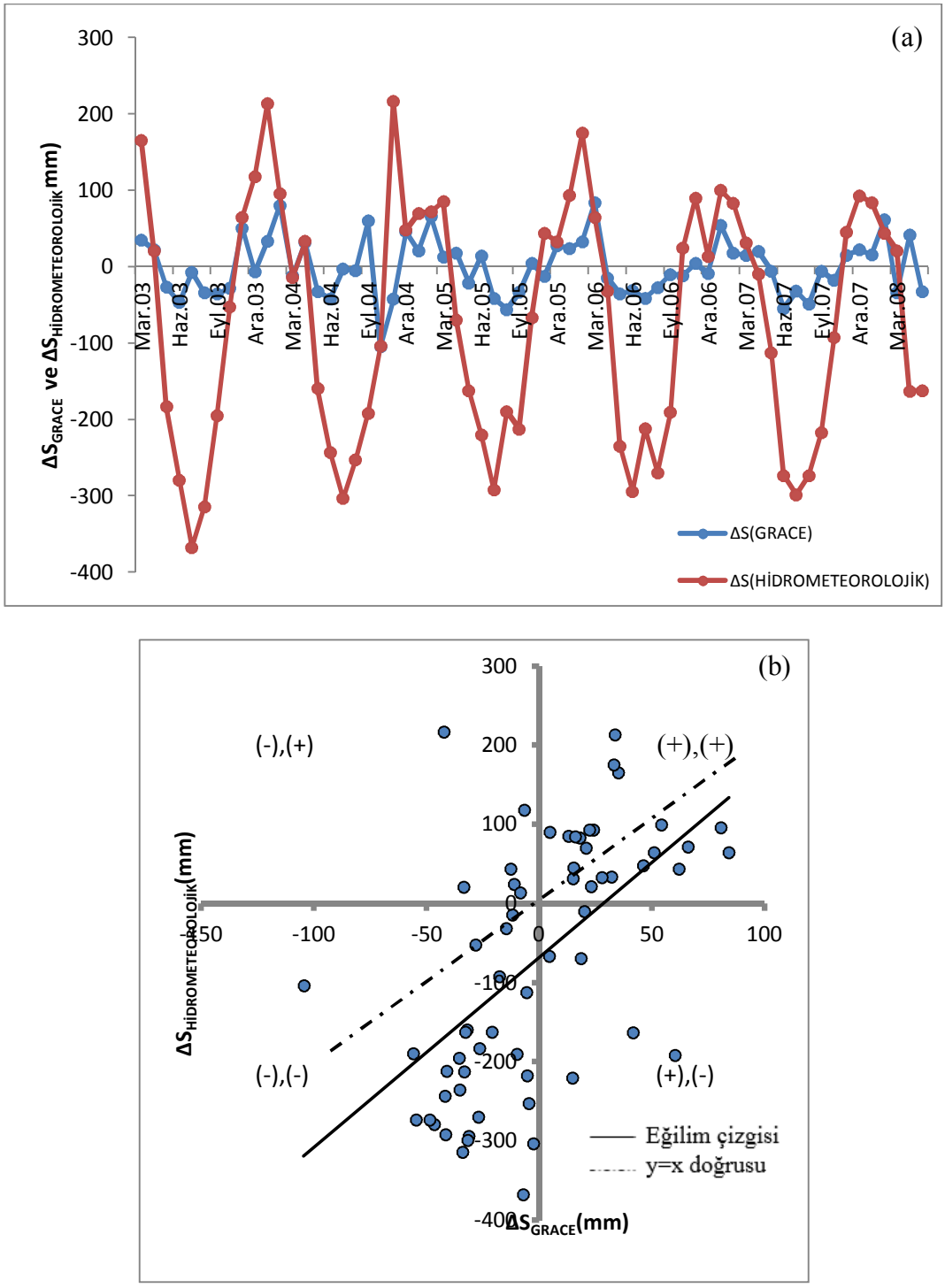
Şekil 5.41: 55 numaralı grid (ΔS_{GRACE}) ile $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ grafiği

Şekil 5.42(a)'da GRACE seviye değişimleri (ΔS_{GRACE}) ile $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ arasındaki değişim, seçilen bölgenin güneyinde bulunana 68 numaralı grid için çizilen grafikle belirlenmiştir. Şekil 5.42(b)'de işaret grafiği çizilmiştir. ΔS_{GRACE} artarken ya da azalırken $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ 'in artıp artmadığı noktalar ile belirtilmiştir. Artış ve azalışların daha iyi yorumlanması için kutu grafikleri çizilmiştir.



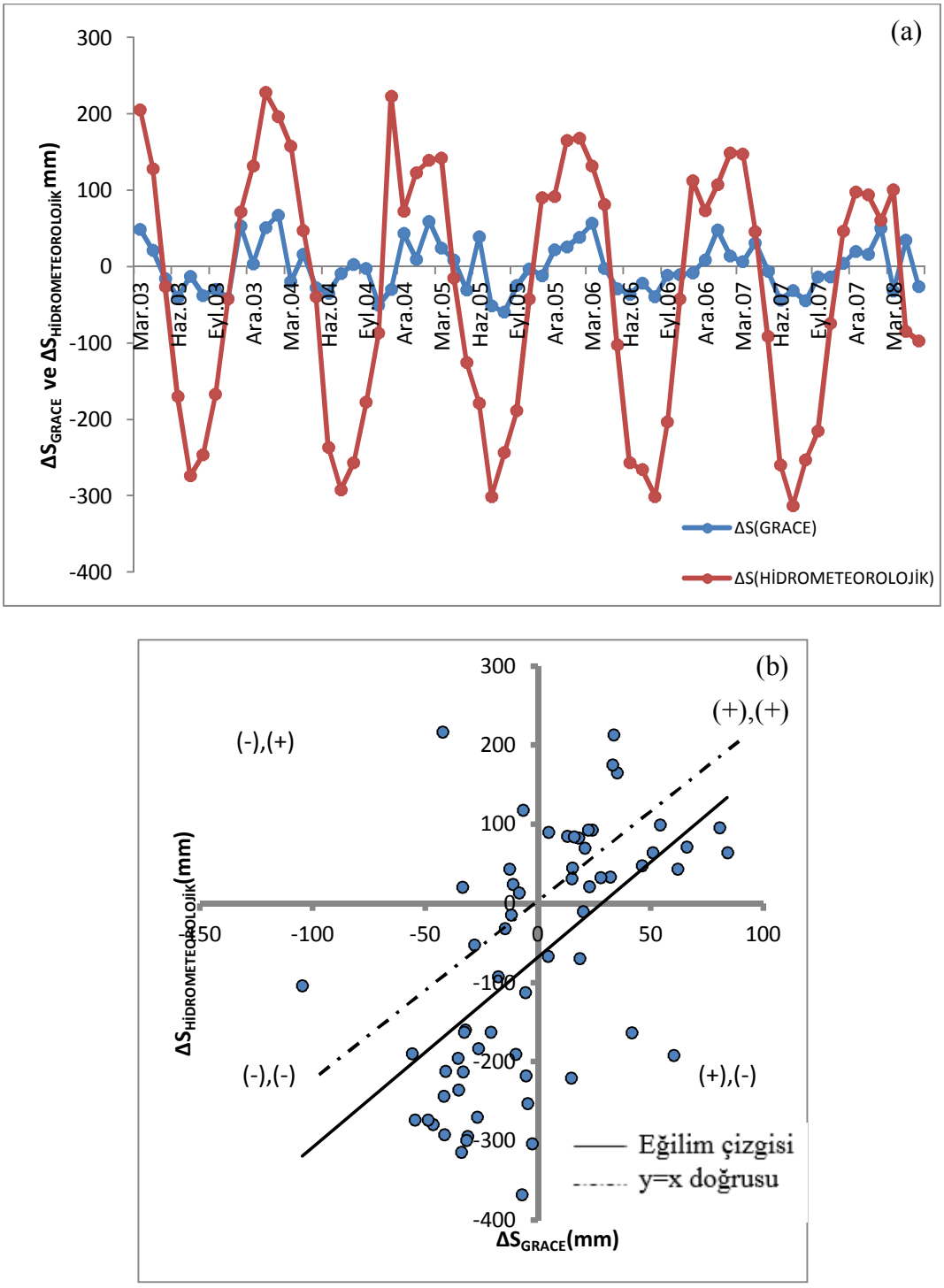
Şekil 5.42: 68 numaralı grid ΔS_{GRACE} ile $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ grafiği

Şekil 5.43(a)'da GRACE seviye değişimleri (ΔS_{GRACE}) ile $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ arasındaki değişim, seçilen bölgenin güneyinde bulunan 69 numaralı grid için çizilen grafikle belirlenmiştir. Şekil 5.43(b)'de işaret grafiği çizilmiştir. ΔS_{GRACE} artarken ya da azalırken $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ 'in artıp artmadığı noktalar ile belirtilmiştir. GRACE seviye değişimleri ile ΔS arasındaki artış azalışların yorumlanması için kutu grafikleri oluşturulmuştur.



Şekil 5.43: 69 numaralı grid ΔS_{GRACE} ile $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ grafiği

Şekil 5.44(a)'da GRACE seviye değişimleri (ΔS_{GRACE}) ile $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ arasındaki değişim, seçilen bölgenin güneyinde bulunana 70 numaralı grid için çizilen grafikle belirlenmiştir. Şekil 5.44(b)'de işaret grafiği çizilmiştir. ΔS_{GRACE} artarken ya da azalırken $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ 'in artıp artmadığı noktalar ile belirtilmiştir. Artış ve azalışların aylık olarak daha iyi yorumlanabilmesi için kutu grafikleri oluşturulmuştur.



Şekil 5.44: 70 numaralı grid ΔS_{GRACE} ile $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ grafiği

5.4.2 Kutu grafiklerinin oluşturulması

GRACE uydu seviye değişimleri (ΔS_{GRACE}) ile $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ arasındaki fark için grafik çizilerek seçilen bölgelerde yeraltı suyu kullanımı incelenmiştir. Bu inceleme GRACE uydusunun toplam su kütlesi değişimini vermesi $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ değerinde ise yalnızca yeraltı suyu verisinin eksik olması sayesinde yapılmıştır. 12 aylık değişimler ve yeraltı suyu kullanımı tahminleri Şekil 5.45 ile 5.50 arasında verilmiştir.

Grafiklerde seviye değişiminin 0 olduğu çizgi belirtilmiştir. Yatay eksen yılları, düşey eksen ise incelenen griddeki ΔS_{GRACE} ve $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ değerlerini göstermektedir.

Grafiklerde ΔS_{GRACE} ve $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ değerlerinin pozitif olduğu durumda ΔS_{GRACE} (+), $\Delta S_{HİDRO}$ (+), ΔS_{GRACE} ve $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ değerlerinin negatif olduğu durumda ΔS_{GRACE} (-), $\Delta S_{HİDRO}$ (-), ΔS_{GRACE}'in negatif ve $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ pozitif olduğu durumda ΔS_{GRACE} (-), $\Delta S_{HİDRO}$ (+) ve ΔS_{GRACE}'in pozitif $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ negatif olduğu durumda ΔS_{GRACE} (+), $\Delta S_{HİDRO}$ (-) olarak gösterilmiştir.

Şekil 5.45'te Ocak aylarında tüm gridlerde hem uydudan elde edilen seviye değişimlerinde (ΔS_{GRACE}) hem de hidrometeorolojik verilerle hesaplanan $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ değerlerinde artış gözlemlenmiştir. GRACE uydu ölçümleri (ΔS_{GRACE}) tüm aylarda $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$'ten daha büyük ölçüm değerleri vermiştir. Bu durum söz konusu gridlerde büyük olasılıkla Ocak aylarında oluşan büyük yağış yüksekliği neticesinde yeraltı suyunda bir artış olduğunu işaret etmektedir.

Kutuların açıklıkları incelendiğinde 38, 39, 40 ve 53 numaralı gridlerde açıklıklıkların oldukça küçük olduğu gözlemlenir. Bu durum 4 gridde yeraltı suyu verileri eksik olduğu halde GRACE uydu ölçümü (ΔS_{GRACE}) ile $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ değeri arasında önemli bir fark olmadığını yani yer altı suyu artışının az olduğunu gösterir.

54, 55, 68, 69 ve 70 numaralı gridlerin Ocak ayları incelendiğinde ise kutu açıklıklarının arttığı gözlemlenir. Bu durum gridlerde yer altı suyunun arttığını gösterir. En yüksek artış 5 gridde de 2004 yılında oluşmuştur. Bölgenin genel iklim özellikleri incelendiğinde kış yağışlarının olduğu bir bölge olmasından artışın olduğu düşünülmektedir.

Şekil 5.46'da Şubat ayları değerlendirildiğinde tüm gridlerde hem uydudan elde edilen seviye değişimlerinde (ΔS_{GRACE}) hem de hidrometeorolojik verilerle hesaplanan $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Grace uydu ölçümleri (ΔS_{GRACE}) tüm aylarda $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$'ten daha büyük ölçüm değerleri vermiştir. Bu durum seçilen gridlerde Şubat aylarında yeraltı suyunda bir artış olduğunu gösterir.

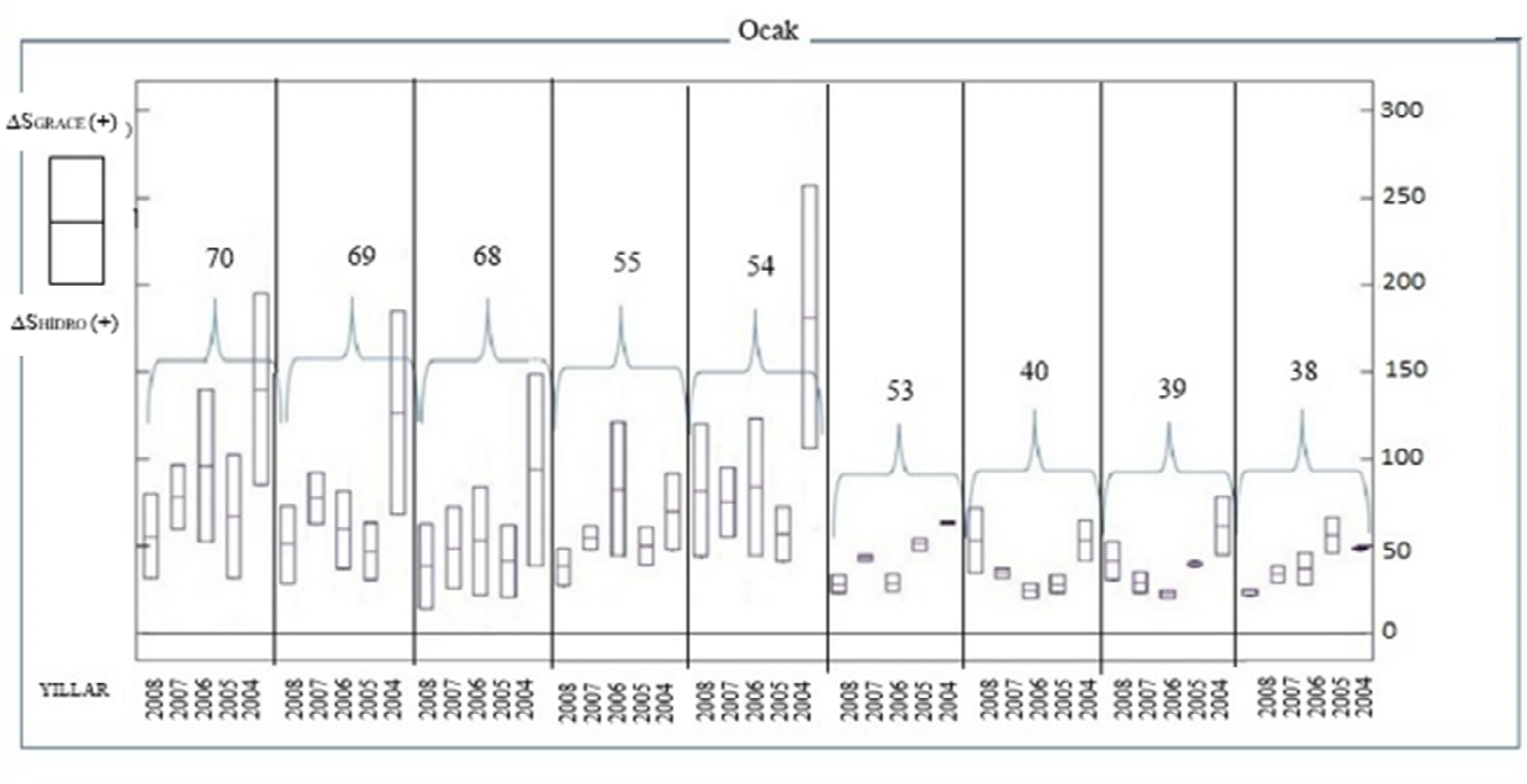
39 numaralı gridin bulunduğu bölgedeki 2004 yılı hariç 38, 39, 30 ve 53 numaralı gridlerde açıklıkların oldukça küçük olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum 4 gridde yeraltı suyu verileri eksik olduğu halde GRACE uydu ölçümü (ΔS_{GRACE}) ile $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ değeri arasında önemli bir fark olmadığını yani yer altı suyu birikiminin az olduğunu gösterir.

54, 55, 68, 69 ve 70 numaralı gridlerin Şubat ayları incelendiğinde ise kutu açıklıklarının arttığı gözlemlenir. Bu durum gridlerde yer altı suyunun arttığını gösterir. En yüksek artış 5 gridde de 2006 yılında oluşmuştur. Bölgede kış yağışları görülmesi dolayısıyla yeraltı suyunda bu artışların görüldüğü düşünülmektedir.

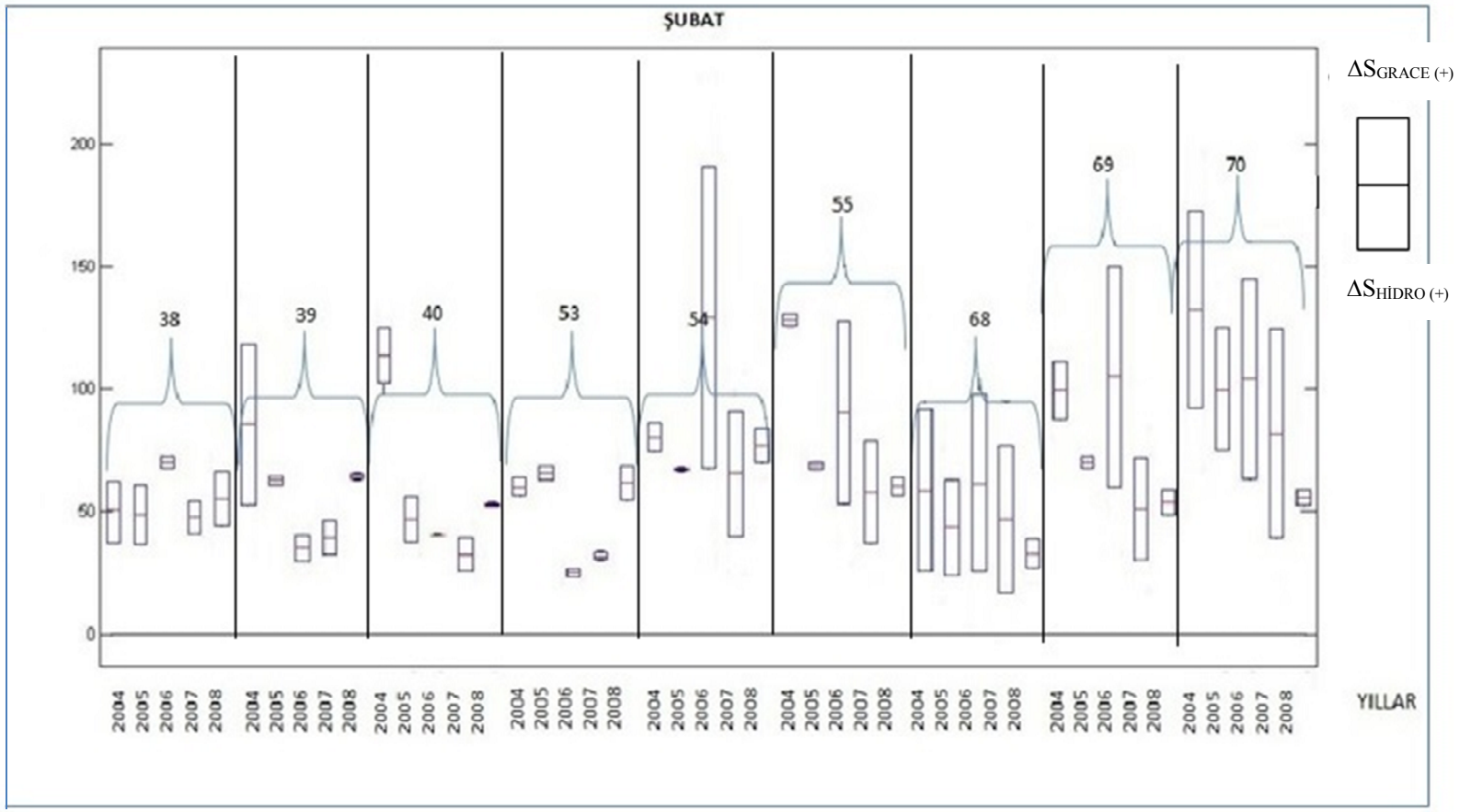
Şekil 5.47'de Mart ayları incelendiğinde; 54 numaralı grid hariç 8 gridde de 2008 yılında GRACE uydu ölçümleri (ΔS_{GRACE}) ile hidrometeorolojik verilerle hesaplanan $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ değerleri arasında bir uyumsuzluk olduğu gözlemlenmiştir.

Uyumsuz yılların tamamında GRACE uydusu artış gösterirken ΔS azalma yönünde bir eğilim göstermiştir. Bu durumda yeraltı suyunda bir azalma olduğu düşünülmektedir. Diğer yıllar incelendiğinde tüm yıllarda bir artış gözlemlendiği; genel olarak ise açıklıkların büyük olduğu görülmüştür. Tüm kutularda GRACE uydu seviye değişimi (ΔS_{GRACE}) $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$'ten büyük değer vermiştir. Bu durumda bölgelerde yeraltı suyu kazanımı olduğu sonucuna varılmıştır. Açıklıkların en büyük olduğu grid ise 70 numaralı griddir.

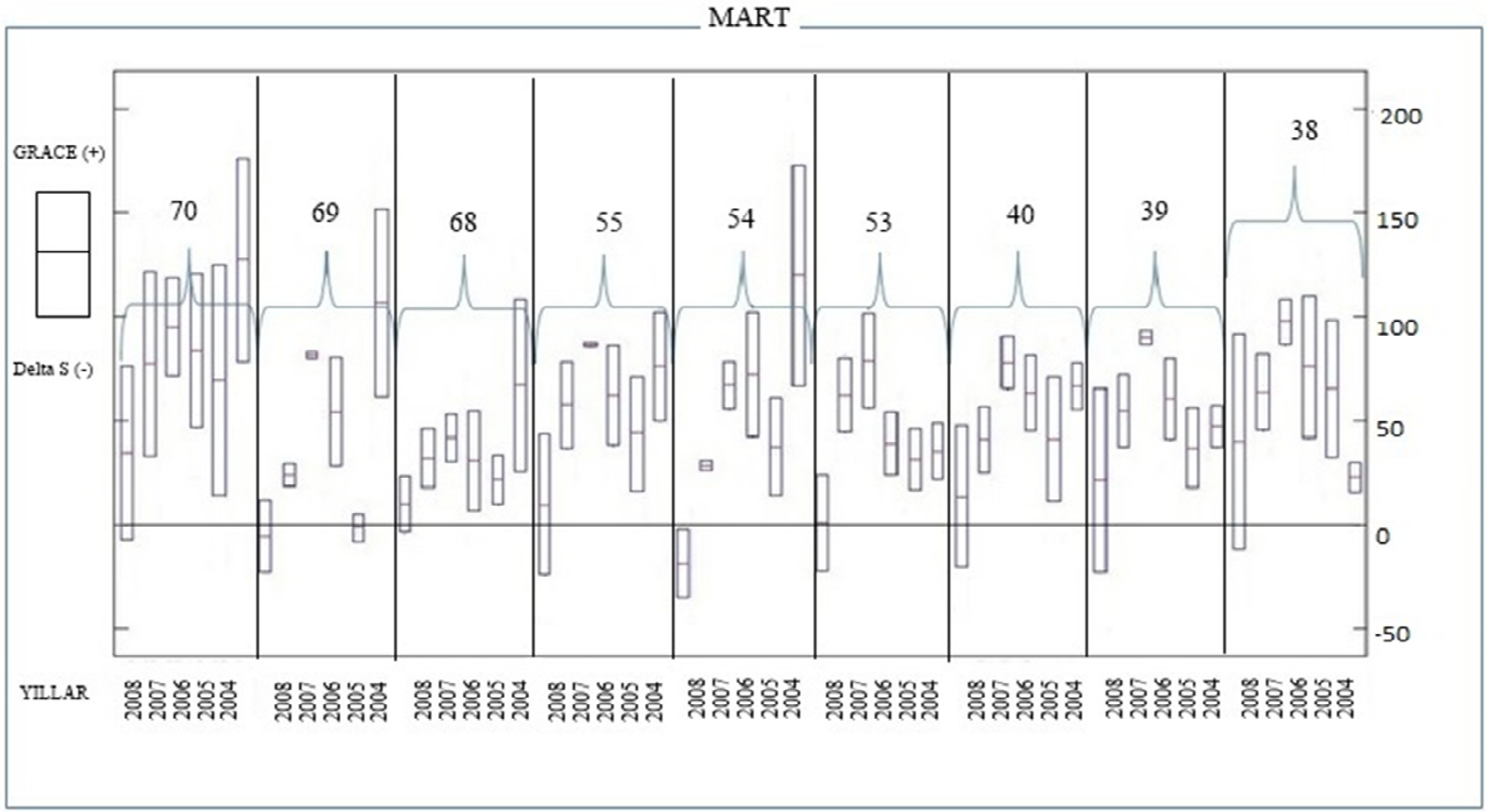
Bölge iklim karakteristiği düşünüldüğünde kış yağışlarından dolayı bölgede bu aylarda yeraltı suyu kazanımı tüm aylarda gözlemlenmiştir. Buharlaşmanın azalması, tarımsal faaliyetlerin incelenen gridler için bu dönemde neredeyse hiç yapılmaması, su ihtiyacının azlığı yeraltı suyundaki bu artışa katkı sağlayan durumlar olarak düşünülmektedir.



Şekil 5.45: Ocak ayı ΔS_{GRACE} ile $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ grafiği



Şekil 5.46: Şubat ayı ΔS_{GRACE} ile $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ grafiği

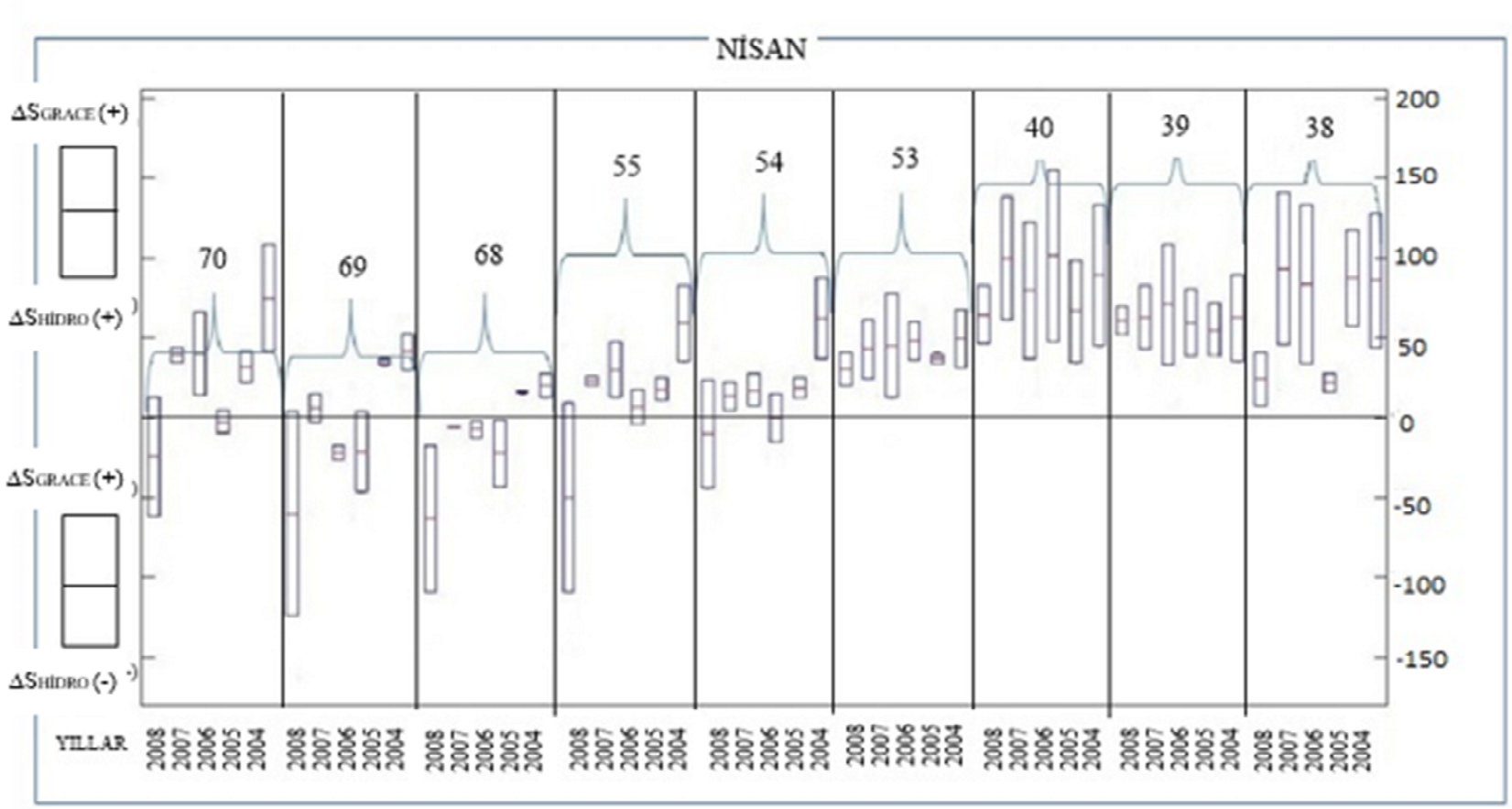


Şekil 5.47: Mart ayı ΔS_{GRACE} ile $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ grafiği

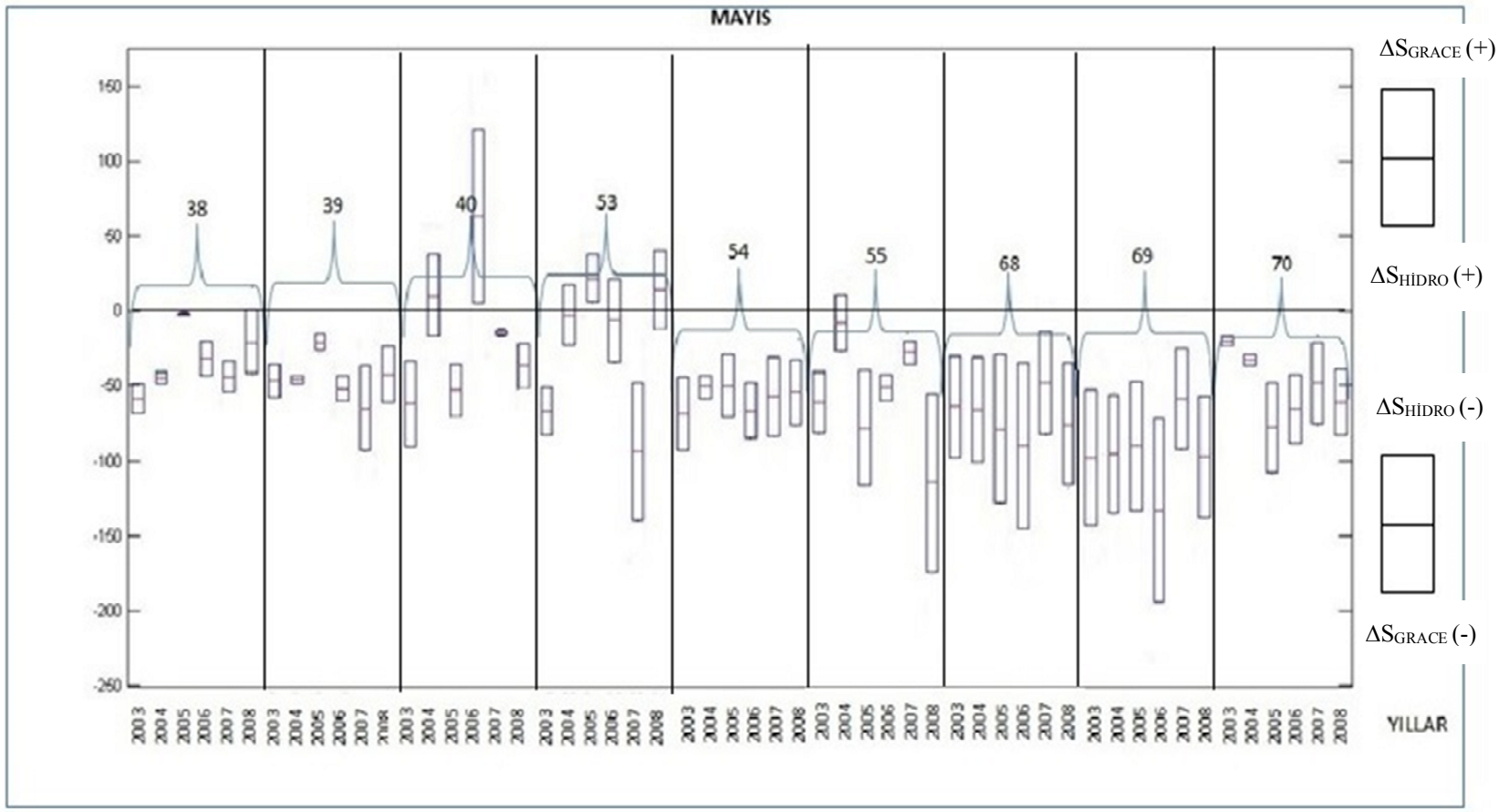
Şekil 5.48'de Nisan ayları incelendiğinde 38, 39, 40 ve 53 numaralı gridlerde GRACE seviye ölçümleri (ΔS_{GRACE}) ile $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ değerlerinin ikisinde de bir artış görülmüştür. 54, 55, 68, 69 ve 70 numaralı gridlerde 2005 ve 2008 yıllarında bir uyumsuzluk görülmektedir. Kuzeyde bulunan gridlerde yeraltı suyu kazanımı olduğu görülmektedir. Güneye doğru inildikçe yeraltı suyu kullanımının arttığı bu nedenle GRACE seviye ölçümlerinin (ΔS_{GRACE}) negatif değerler verdiği gözlemlenmektedir. İklim koşulları incelendiğinde seçilen bölgenin kuzeyinde yağışların güneyine oranla daha fazla olduğu ve bunun sonucu olarak güneyde yeraltı suyu azalmaları olması aynı zamanda bölgenin kış aylarında kuzey gridlere göre daha az kar yağışı aldığı söylenebilir.

Şekil 5.49'da Mayıs ayları incelendiğinde; 40, 53 ve 55 numaralı gridlerde sırası ile 2004; 2004, 2006, 2008 ve 2004 yıllarında GRACE seviye ölçümleri (ΔS_{GRACE}) ile hidrometeorolojik verilerle hesaplanan $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ değerlerinde bir uyumsuzluk görülmektedir. diğer mayıs ayları incelendiğinde hem GRACE seviye ölçümlerinde (ΔS_{GRACE}) hem de ΔS değerlerinde bir azalma olduğu ve uydu ölçümlerinin daha küçük değer vermesinden dolayı bölgelerde yeraltı suyu kullanımının olduğu söylenebilir. Uyumsuz aylarda ise GRACE uydu ölçümleri (ΔS_{GRACE}) negatif $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ ise pozitif sonuçlar vermektedir. Bölgenin iklimsel koşulları göz önüne alındığında bahar yağışlarının azlığı, su tüketiminin bu aylarda artması ve kuyulardan su çekilmesiyle birlikte yeraltı sularındaki bu azalmaya sebep olacağı düşünülmektedir.

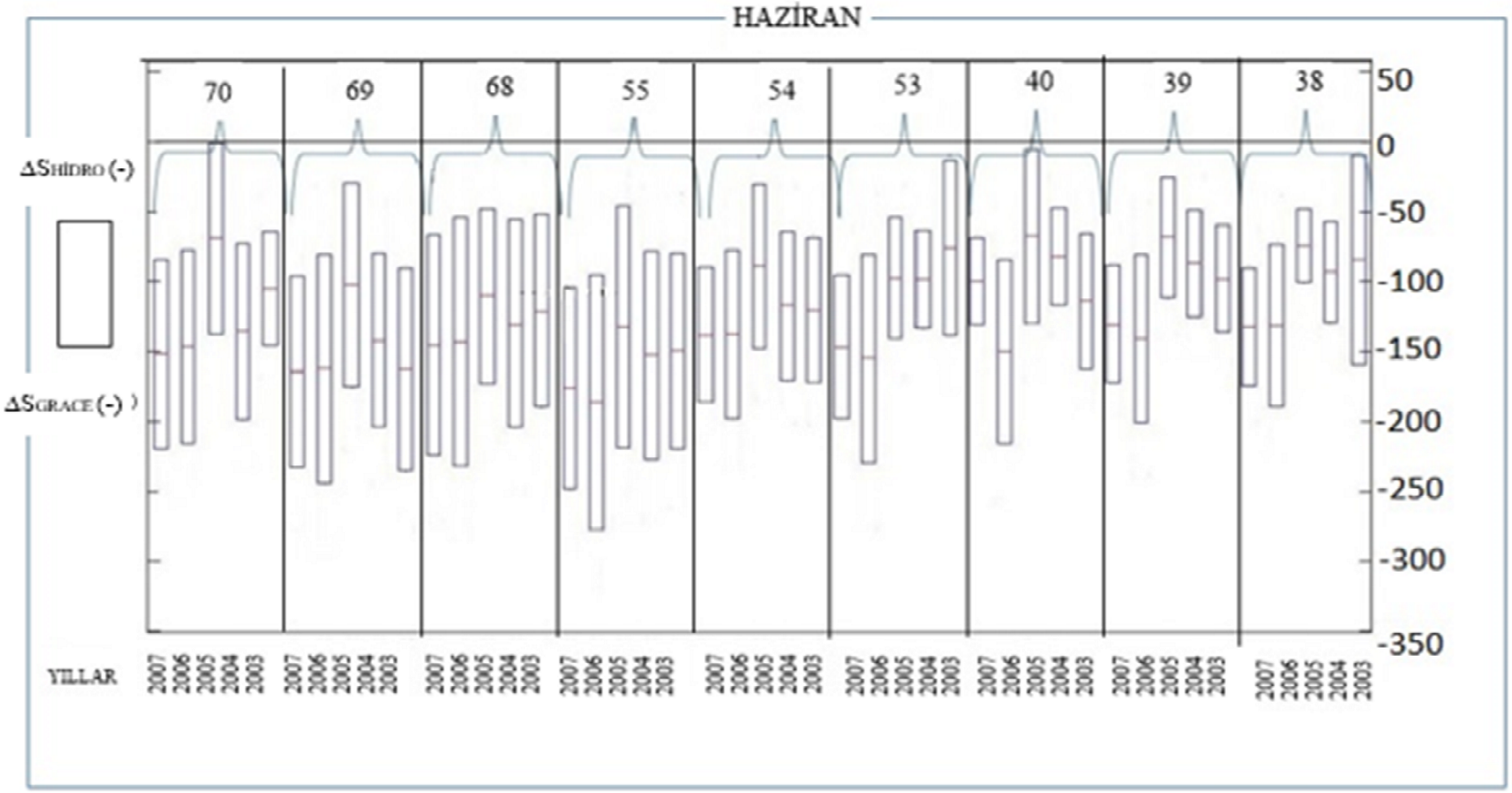
Şekil 5.50'de Haziran ayları incelendiğinde; 45 adet Haziran ayı grafiğinin tümünde hem GRACE seviye ölçümlerinde (ΔS_{GRACE}) hem de hidrometeorolojik verilerle hesaplanan $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ değerlerinin negatif olduğu gözlemlenir. Ancak bu azalma değerlerinde GRACE uydu sonuçları $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$'e göre çok daha küçük değerler vermektedir. Bu durumda seçilen bölgelerde ciddi bir yeraltı suyu kullanımı olduğu sonucuna varılır. Mevsimsel olarak tarım faaliyetlerinin arttığı bu ayda yeraltı suyu kullanımının tarımsal faaliyetlerde kullanılmış olacağı düşünülmektedir. Açıklıklar seçilen bölgelerde kuzeyden güneye inildikçe artmaktadır. Bu durum en fazla yeraltı suyu kullanımının 68, 69 ve 70 numaralı gridlerde olduğu söylenebilir. Yaz aylarının başlaması ile birlikte bölgede hem sulama hem de kullanma suyu ihtiyacının artması sonucunda, kuyulardan su çekilmesi, yağışların azalmasıyla ve bölgede buharlaşmanın artmasıyla birlikte yeraltı sularında azalma görüldüğü düşünülmektedir.



Şekil 5.48: Nisan ayı ΔS_{GRACE} ile $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ grafiği



Şekil 5.49: Mayıs ayı ΔS_{GRACE} ile $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ grafiği

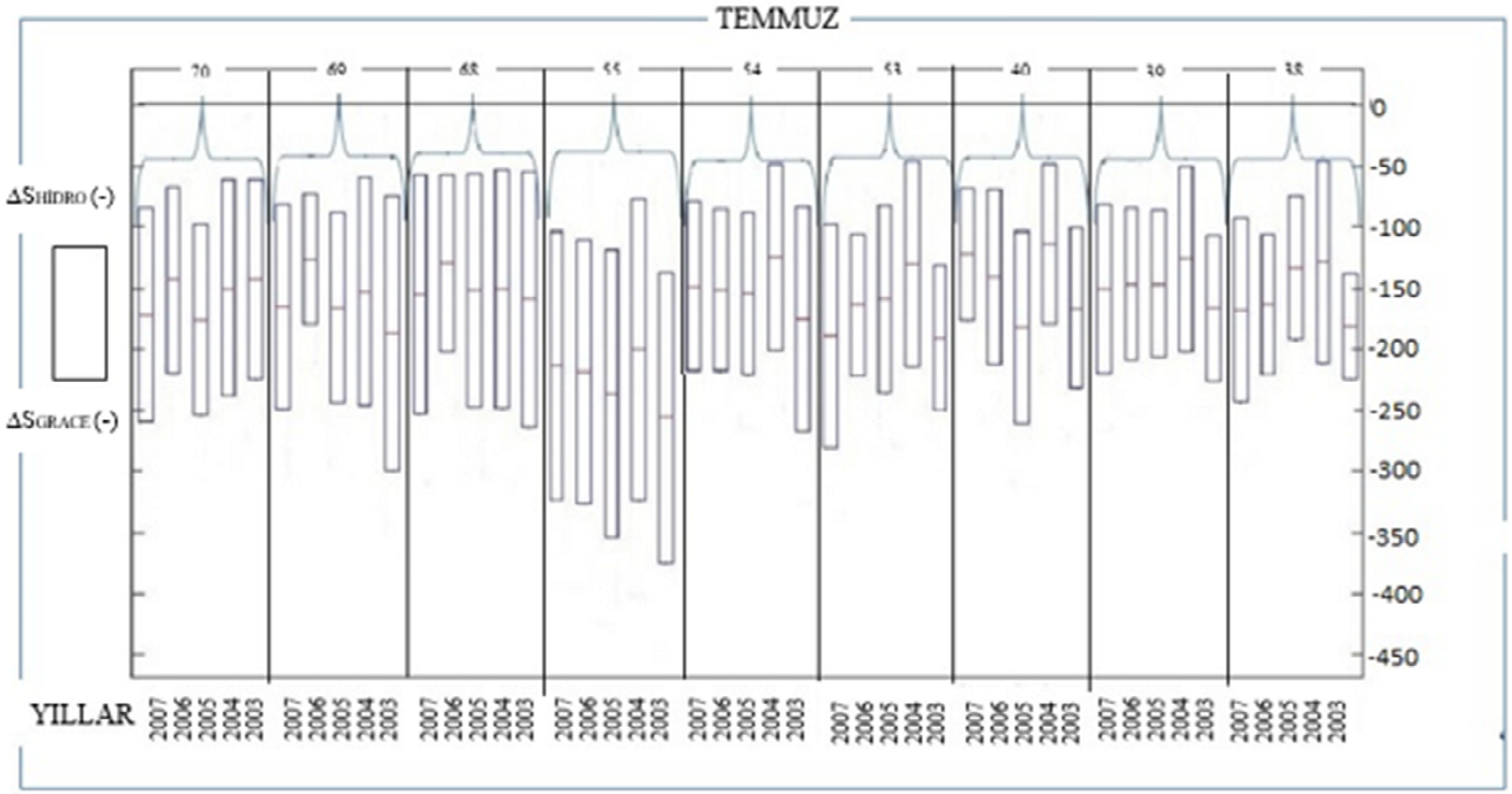


Şekil 5.50: Haziran ayı ΔS_{GRACE} ile $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ grafiği

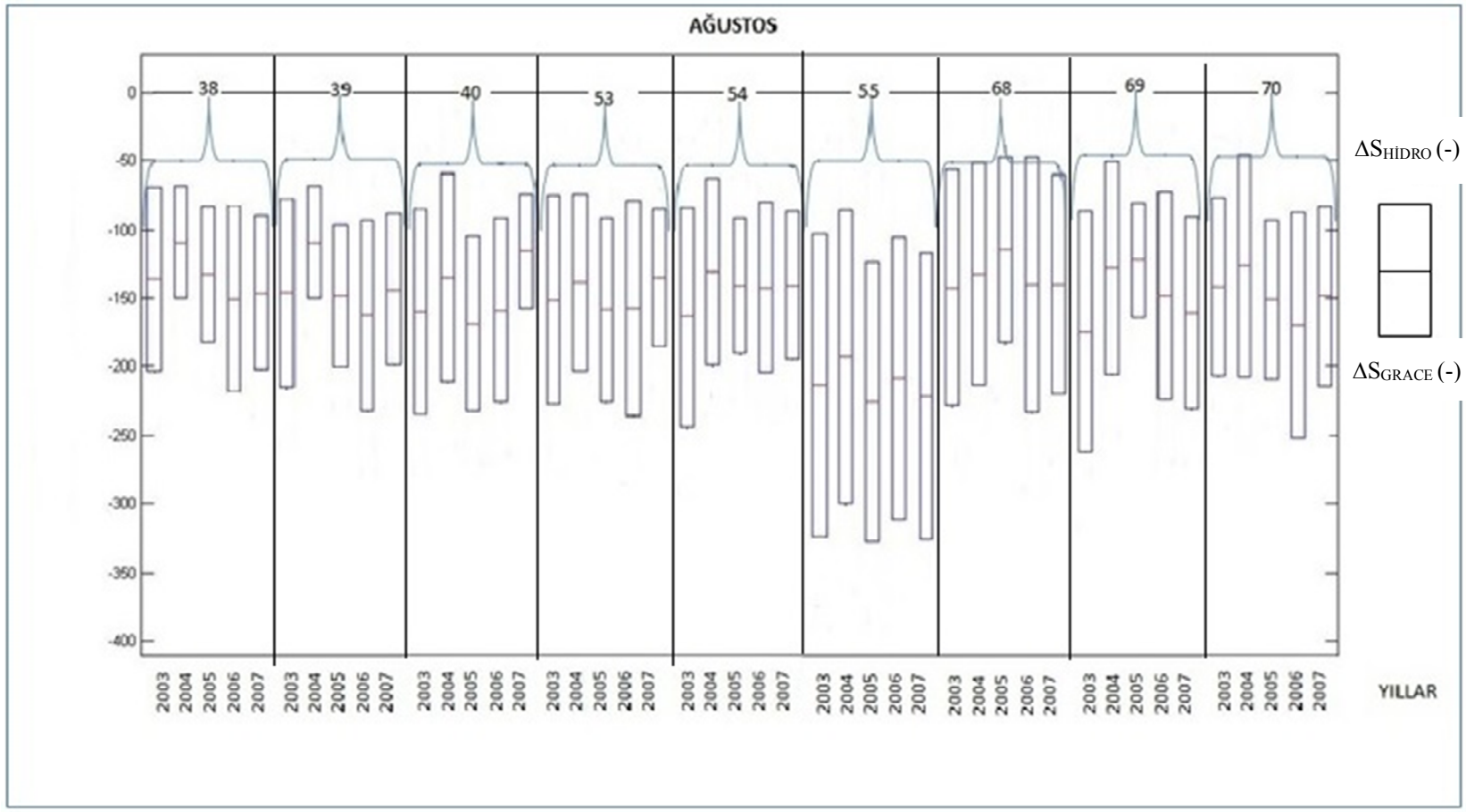
Şekil 5.51'de Temmuz ayları incelendiğinde; 45 adet Temmuz ayı grafiğinin tümünde hem GRACE seviye ölçümlerinde (ΔS_{GRACE}) hem de hidrometeorolojik verilerle hesaplanan $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ değerlerinin negatif olduğu gözlemlenir. Ancak bu azalma değerlerinde GRACE uydu sonuçları $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$'e gore çok daha küçük değerler vermektedir. Bir önceki ayda olduğu gibi Temmuz ayında da yeraltı suyu kullanımı bu açıklıklarının oluşmasına sebep olmaktadır. Haziran ayında olduğu gibi yine tarımsal faaliyetlerin arttığı bu dönemlerde yeraltı suyunun bu faaliyetler için kullanıldığı düşünülmektedir. Yeraltı suyu kullanımının en ciddi olduğu bölgeler 55, 68, 69 ve 70 numaralı gridlerdedir. Bölgede yaz aylarının yaşanması ile birlikte özellikle güney bölgelerde kurulan barajlar, içme, kullanma ve tarımsal su ihtiyacının artması, yağışların azalması ve buharlaşmanın bu aylarda en yüksek seviyelerde olması, kuyulardan su çekiminin artması yeraltı suyundaki bu düşüşe sebep olduğu düşünülmektedir.

Şekil 5.52'de Ağustos ayları incelendiğinde; 45 adet Ağustos ayı grafiğinin tümünde hem GRACE seviye ölçümlerinde (ΔS_{GRACE}) hem de hidrometeorolojik verilerle hesaplanan $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ değerlerinin negative olduğu gözlemlenir. Ancak bu azalma değerlerinde GRACE uydu sonuçları $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$'e gore çok daha küçük değerler vermektedir. Haziran ve temmuz aylarında olduğu gibi ağustos ayında da yeraltı suyu kullanımı seçilen bölgelerde oldukça fazladır. Açıklıkların en büyük olduğu başka bir deyişle yeraltı suyu kullanımının daha fazla olduğu gridler 55, 68, 69 ve 70 numaralı gridlerdir. Haziran ve temmuz aylarında olduğu ağustos ayında da güney bölgelerde kurulan barajlar, içme, kullanma ve tarımsal su ihtiyacının artması ve buharlaşmanın bu aylarda en yüksek seviyelerde olması yağışların azalması yeraltı suyundaki bu düşüşe sebep olduğu düşünülmektedir.

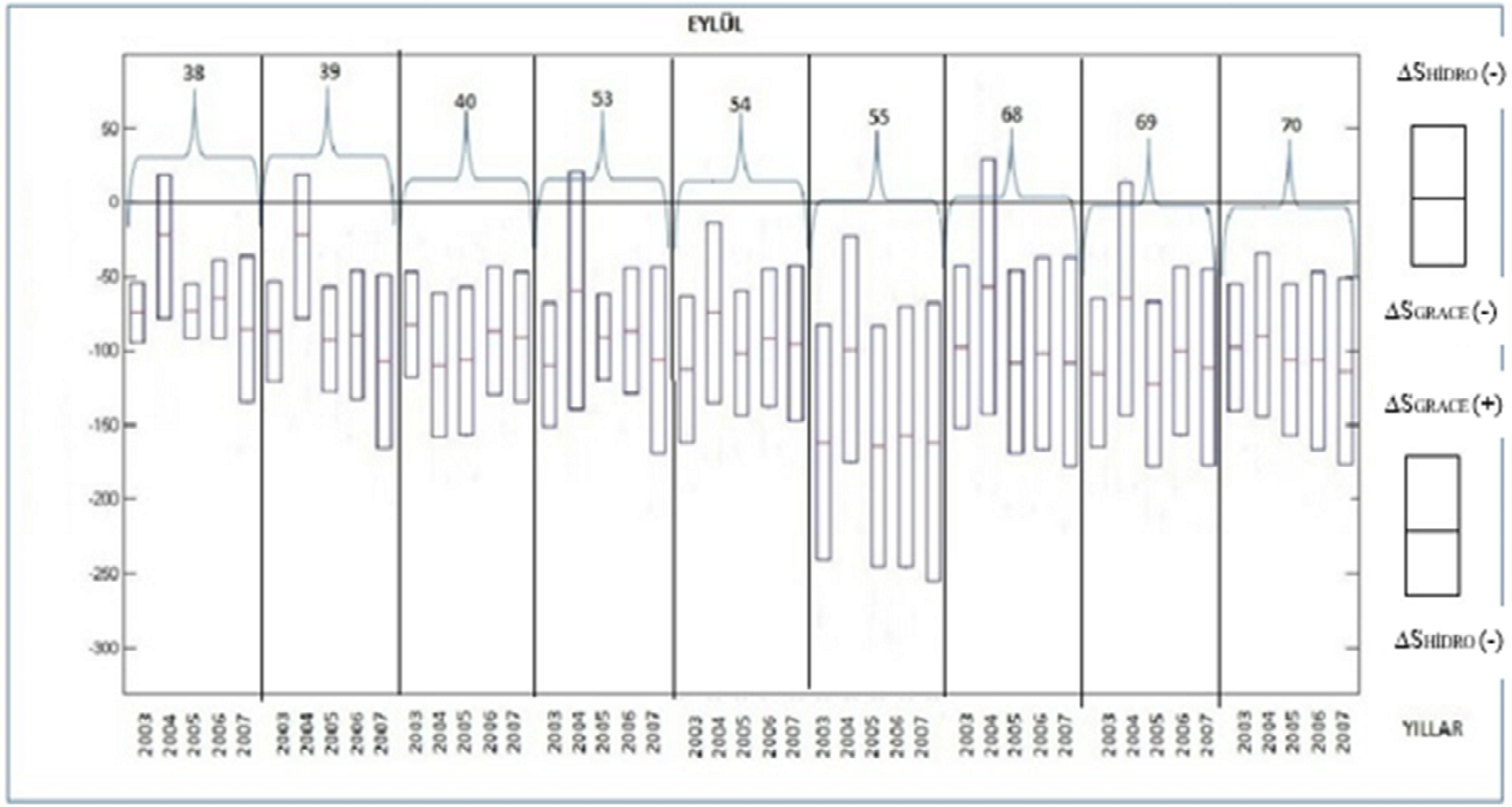
Şekil 5.53'te Eylül ayları incelendiğinde; 38, 39, 53, 68 ve 69 numaralı gridlerin 2004 yılları hariç kalan tüm yılların Eylül aylarında hem GRACE seviye ölçümlerinin (ΔS_{GRACE}) hem de hidrometeorolojik verilerle hesaplanan $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ değerlerinin negatif olduğu gözlemlenir. Her iki değerinde negatif olduğu yıllarda GRACE seviye ölçümleri (ΔS_{GRACE}) haziran, temmuz ve ağustos aylarında olduğu gibi $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$'ten daha küçük değerler vermektedir. Ancak yaz aylarına gore aralıklar daha küçüktür. Bölgede yağışların artması açıklıkların daralmasını sağlamıştır. Ancak yağışların kullanılan suyu karşılamamasından dolayı yeraltı sularında azalmalar olduğu düşünülmektedir.



Şekil 5.51: Temmuz ayı ΔS_{GRACE} ile $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ grafiği



Şekil 5.52: Ağustos ayı ΔS_{GRACE} ile $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ grafiği



Şekil 5.53: Eylül ayı ΔS_{GRACE} ile $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ grafiği

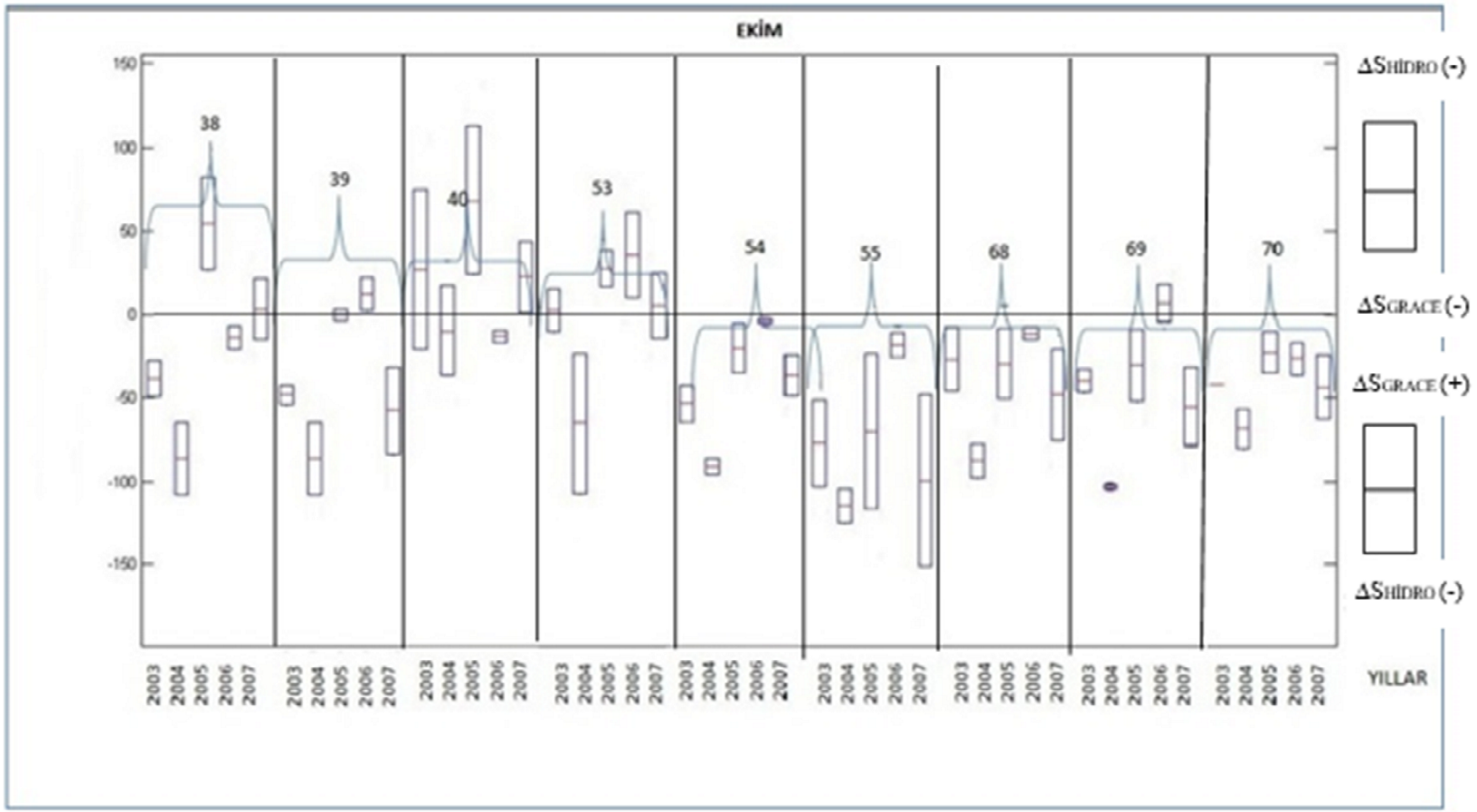
Şekil 5.54'te Ekim ayları incelendiğinde; seçilen bölgenin güneyinde yer alan 54, 55, 68, 69 ve 70 numaralı gridlerde GRACE uydu seviye değişimleri (ΔS_{GRACE}) $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$'e gore daha küçük değerler verdiğinden ötürü yeraltı suyu kullanımı olduğu sonucuna varılmaktadır. 38 ve 39 numaralı gridlerde 2003, 2004 ve 2006; 40 numaralı gridde 2006; 53 numaralı gridde ise 2004 yılında yeraltı suyu kullanımı olduğu görülmektedir. Ancak yine de açıklıklar diğer aylara gore oldukça küçük olduğundan yeraltı suyu kullanımının en az olduğu ay olarak Ekim ayı gösterilebilir. Bunun sebebi ise bölgede sonbahar yağışlarının başlamasıdır.

Şekil 5.55'te Kasım ayları incelendiğinde; 45 adet Kasım ayı arasından 38, 39 ve 53 numaralı gridlerde 2004 ve 2005 yıllarında; 40 ve 69 numaralı gridlerde ise 2005 yılında uyumsuzluk olduğu görülmüştür. Diğer Kasım aylarında ise hem uydudan elde edilen seviye değişimlerinde (ΔS_{GRACE}) hem de hidrometeorolojik verilerle hesaplanan $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ değerleri artış gözlemlenmiştir.

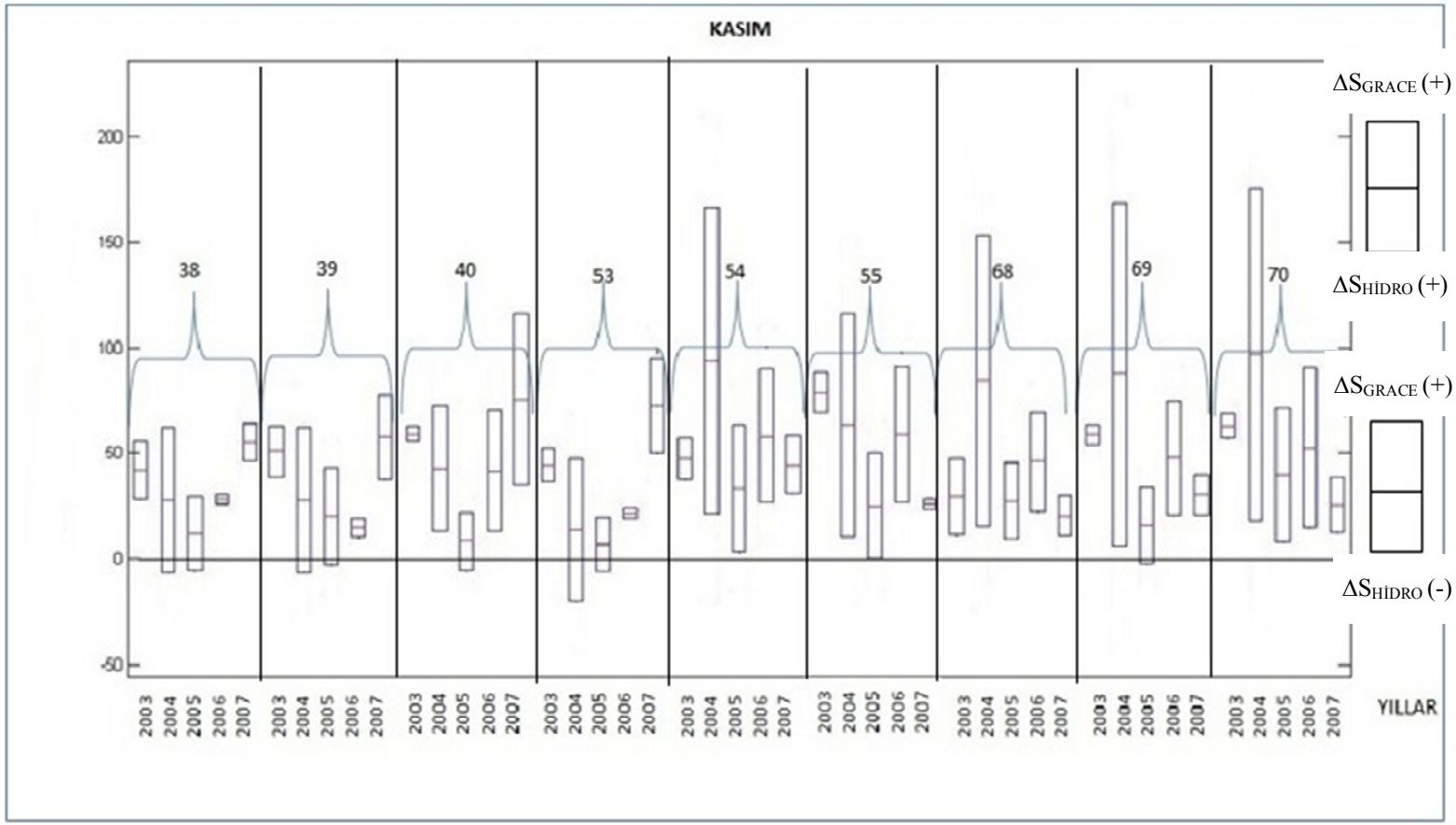
Grace uydu ölçümleri tüm aylarda $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$'ten daha büyük ölçüm değerleri vermiştir. Bu durum seçilen gridlerde Kasım aylarında yeraltı suyunda bir artış olduğunu gösterir. Ancak açıklıklar daha önce de yeraltı suyu kazanımı olan aylara göre daha küçüktür. Bölgede yağışların artması ile bu kazanımın olduğu düşünülmektedir. Kuzey bölgelerde iklimsel olarak yağışın daha fazla olması belirtilen gridlerde daha büyük yeraltı suyu kazanımlarının olduğunu işaret etmektedir.

Şekil 5.56'da Aralık ayları incelendiğinde; 38 ve 53 numaralı gridlerde 2003 ve 2006 yıllarında; 39 numaralı gridde 2003 yılında; 68 ve 69 numaralı gridlerde ise 2006 yılında bir uyumsuzluk; diğer aralık aylarında ise ise hem uydudan elde edilen seviye değişimlerinde (ΔS_{GRACE}) hem de hidrometeorolojik verilerle hesaplanan $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ değerleri arasında bir uyum ve artış gözlemlenmiştir.

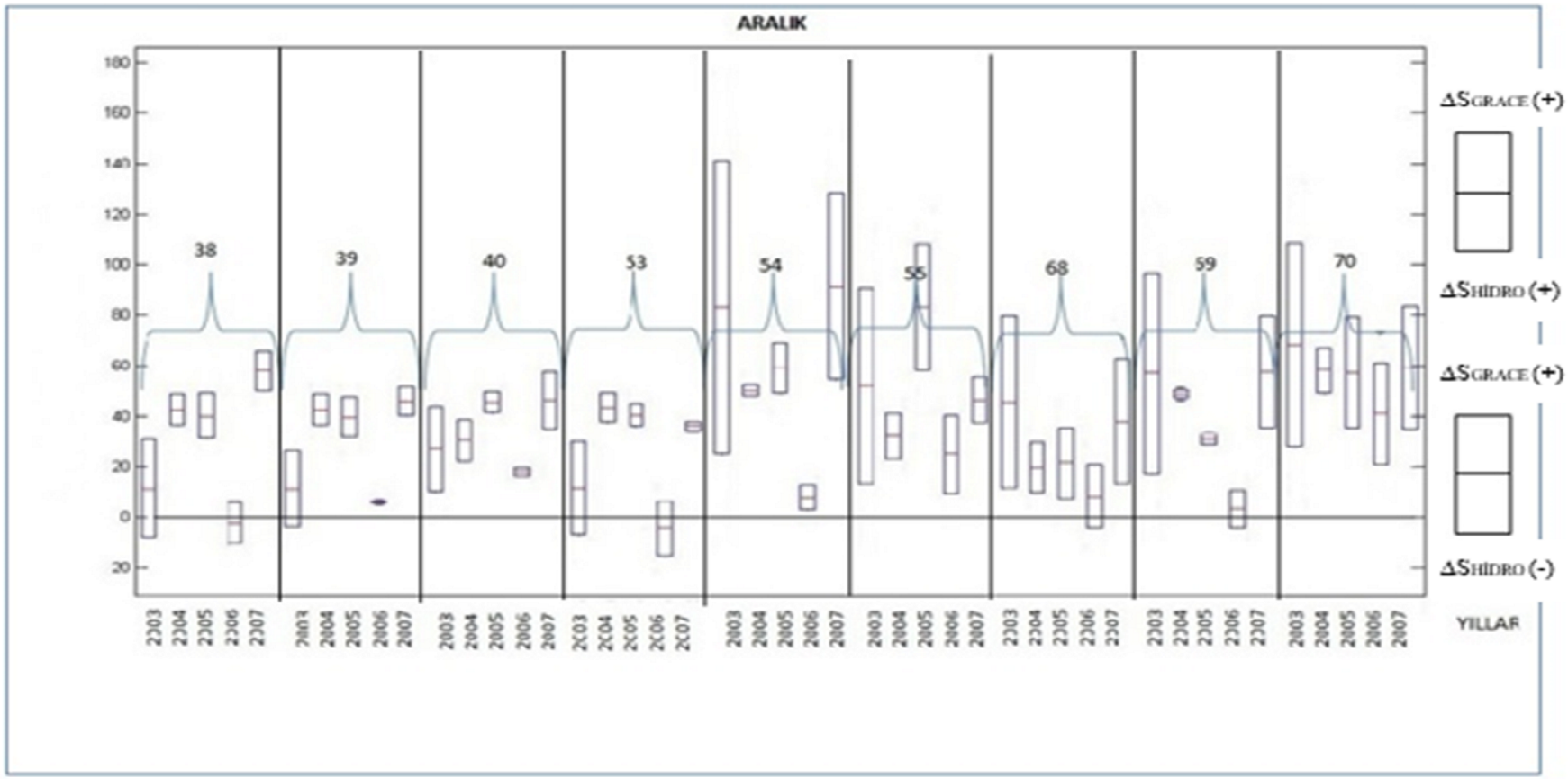
Grace uydu ölçümleri tüm aylarda $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$'ten daha büyük ölçüm değerleri vermiştir. Bu durum seçilen gridlerde Aralık aylarında yeraltı suyunda bir artış olarak yorumlanabilir. Kış yağışlarının başlaması, bölgedeki baraj göllerinde su seviyelerinin artması, kullanma ve sulama suyu ihtiyacının azalmasının bu durumu oluşturduğu düşünülmektedir.



Şekil 5.54: Ekim ayı ΔS_{GRACE} ile $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ grafiği

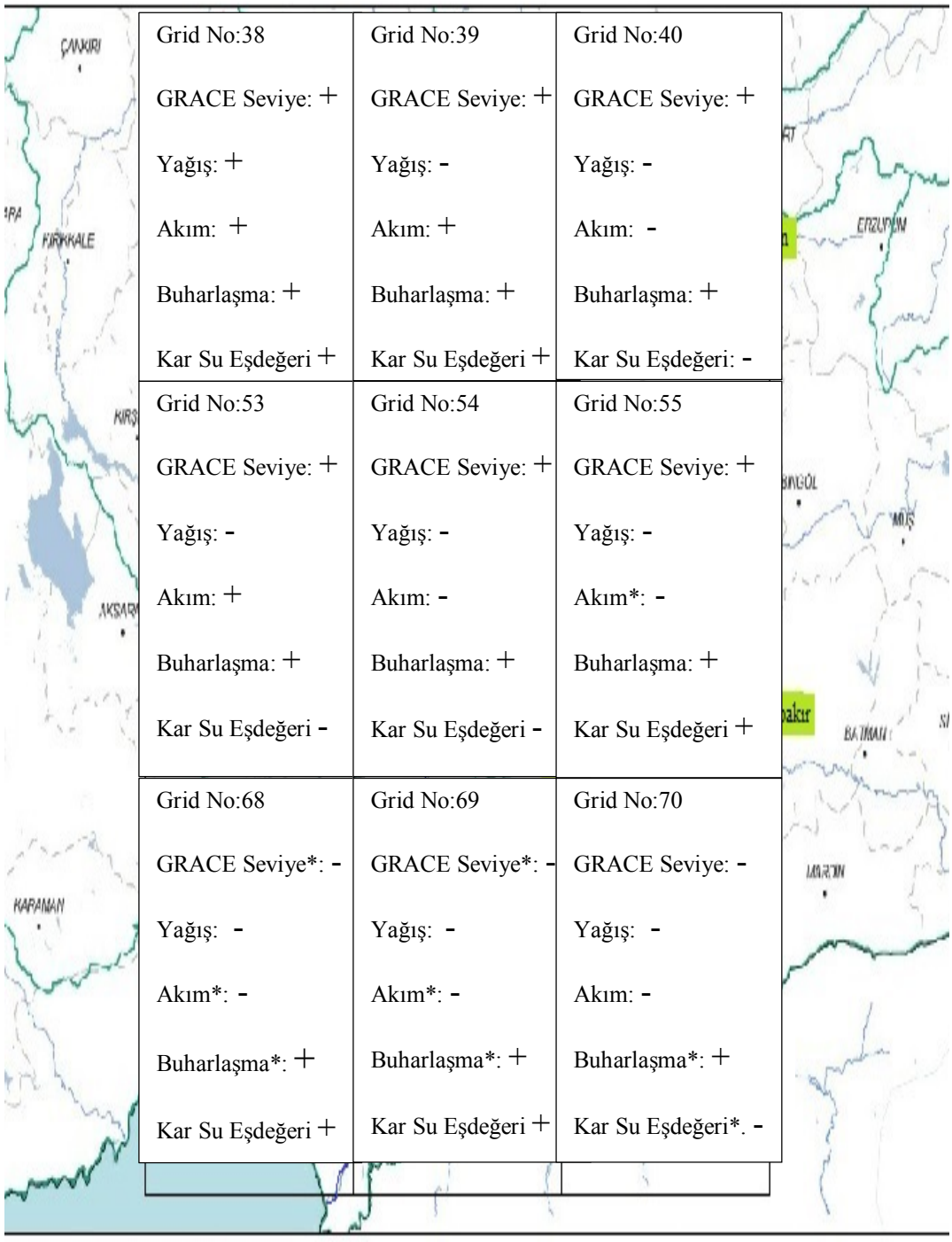


Şekil 5.55: Kasım ayı ΔS_{GRACE} ile $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ grafiği



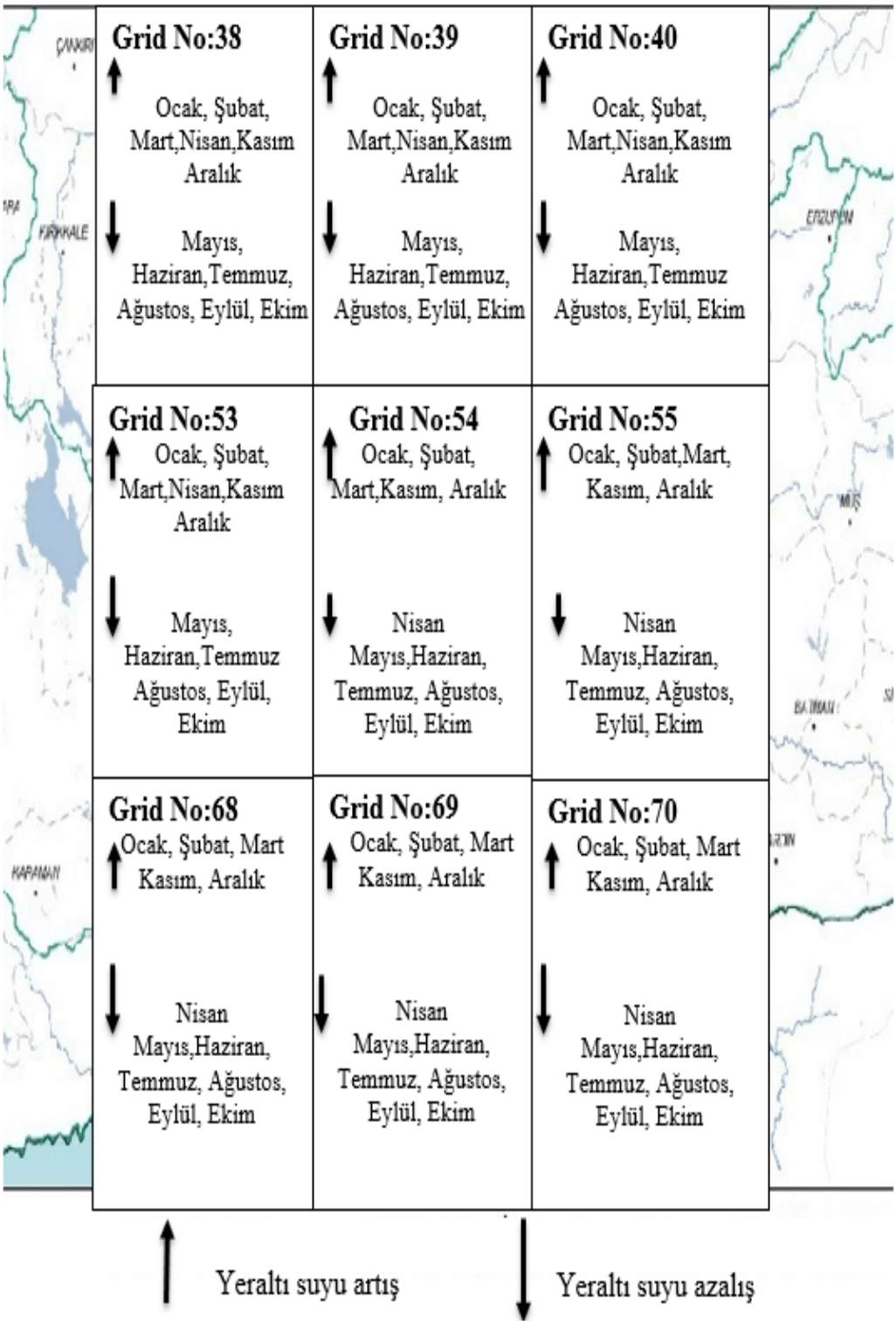
Şekil 5.56: Aralık ayı ΔS_{GRACE} ile $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ grafiği

Şekil 5.57'de gridlerdeki GRACE seviye, yağış, buharlaşma ve kar su eşdeğeri değişimleri verilmiştir. Grafikte; grid içerisinde belirtilen değer 'H_0=Trend Yok' hipotezi Kabul edilse dahi, değerin artış ya da azalış gösterip göstermediğini belli etmektedir. + ile artışlar – ile azalışlar ifade edilmiştir. Bu artış ya da azalışlar yapılan testler sonucunda anlamlı bulunmuş ise * ile işaretlenmiştir.



Şekil 5.57: Gridlerdeki yağış, akım, buharlaşma ve kar su eşdeğeri değişimleri

Şekil 5.58'de aylık bazda yeraltı suyu değişimlerinin gridlerdeki durumu gösterilmiştir.



Şekil 5.58: Gridlerdeki yeraltı suyu değişimleri

5.5 Karşılaştırma

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde; yapılan bu çalışmada elde ettiğimiz sonuçları destekler niteliktedir. Lenk (2012) çalışmasında bu çalışmada olduğu gibi GRACE'den elde edilen verilere yapılan Mann Kendall trend analizi ve regresyon analizinde ülkemizin güney kısımlarında toplam su kütlesi değişimlerinde azalan yönde bir eğilim olduğu ve bu azalmanın kuzeyden güneye gittikçe arttığı gözlemlenmiştir. Yapılan su bütçesi çalışmaları sonucunda Şekil 1.4c'de olduğu bölgede yeraltı sularında azalma yönünde bir eğilim olduğu sonucuna varılmıştır.

Voss ve diğ. (2013) çalışmalarında Dicle – Fırat – Batı İran bölgesindeki tatlı su birikiminin trendini incelemişlerdir. Yeraltı suyu değişimini negatif yönde belirleyen araştırmacılar sebep olarak Türkiye'de yapılan GAP çalışmaları sonucunda bölgedeki su kaynakları üzerine kurulan barajların suyu tutarak, suyun yönetiminin Türkiye'de olmasından dolayı azalma olabileceğini öngörmüşlerdir. Çalışmamız sonucunda yeraltı suyundaki azalmanın bölgede gözlemlenen yüzeysel akış ve yağışlardaki küresel ısınmaya bağlı olan azalmadan olabileceği düşünülmektedir. Bu veriler Meteoroloji Genel Müdürlüğü ve Akım Gözlem İstasyonlarından elde edilen veriler ışığında yorumlanmıştır.

Akyılmaz ve diğ. (2012) çalışmalarında Keban ve Atatürk Barajı havzalarında GRACE uydusundan elde edilen sonuçları değerlendirmişlerdir. Bu değerlendirmeler sonucunda 2003 Ocak - 2008 Mayıs tarihleri arasında aylık değil yıllık bazda ortalama su seviyesi değişimlerini incelemişlerdir ve su potansiyelinde son iki yılda belirgin düşme gözlemlemişlerdir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada GRACE uydusu ile seviye değişimleri belirlenmiş Türkiye için önem arz eden 9 adet grid seçilmiştir. Her bir grid içerisinde kalan bölgede bir adet meteoroloji istasyonu ve bir adet akım gözlem istasyonu belirlenmiştir. İstasyonlardan elde edilen veriler kullanılarak kütlenin korunumu ilkesi ile her grid için $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ hesaplanmıştır. Uydu verileri ile meteorolojik verilere zamana bağlı değişimlerini belirlemek için trend ve regresyon analizleri yapılmıştır. Uydu seviye değişimleri ile $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ arasındaki uyumun anlaşılması adına her bir ay için kutu grafikleri çizilmiştir. Analiz sonuçları aşağıda verilmiştir.

Trend analizinde α= 0.05 anlamlılık düzeyinde meteoroloji istasyonlarından elde edilen yağış ve buharlaşma değerlerinde zaman içerisinde anlamlı bir değişimin olmadığı gözlemlenmiştir. Kar su eşdeğeri değerlerinde ise yalnızca Şanlıurfa metoroloji istasyonunda anlamlı bir azalma gözlenmiştir. Genel olarak yağışlarda bir azalma, buharlaşmada ise bir artma görümektedir. Uydudan elde edilmiş L1B çözünürlüklü seviye değişimlerinde 68, 69 ve 70 numaralı güney gridlerinde; L2 çözünürlüklü seviye değişimlerinde ise 68 numaralı girdde anlamlı bir azalma görülmüştür.

Regresyon anaizinde α= 0.05 anlamlılık düzeyinde t dağılımında faydalanarak yağış verilerinde zamana bağlı anlamı bir değişim gözlenmemiş ve H_0=trend yok hipotezi kabul edilmiştir. Buharlaşma verilerinde ise Ceyhan, Gaziantep ve Şanlıurfa istasyonlarında anlamlı bir azalma olduğu belirlenmiştir. Akım gözlem istasyonlarından elde edilen akım verilerinde ise Kadıncık, Afrin ve Fatopaşa istasyonlarındaki ölçümlerde anlamlı bir azalma olduğu hesaplanmıştır. L2 çözünürlüğünde ölçülen seviye değişimlerinde ise 68,69 ve 70 numaralı gridlerde anlamlı bir azalma olduğu belirlenmiştir.

Her bir grid için çizilen GRACE seviye değişimleri (ΔS_{GRACE}) ve $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ grafiklerinde ise genel olarak tüm gridlerde bir uyum olduğu ancak özellikle bahar ve yaz aylarında bir uyumsuzluk olduğu görülmüştür. Bu uyumsuzluk seçilen bölgede kuzeyden güneye gidildikçe bir atış göstermiştir. Bu durumun daha net incelenebilmesi için kutu grafikleri çizilmiştir.

GRACE seviye değişimleri (ΔS_{GRACE}) ile hidrometeorolojik veriler yardımıyla belirlenen $\Delta S_{HİDROMETEOROLOJİK}$ değerleri için kutu grafikleri oluşturulmuştur. Oluşturulan kutu grafikleri sayesinde yeraltı suyu değişimi ile ilgili yorumlar yapılmıştır. Bölgenin iklim karakteristiği kış aylarında yağış alan bir bölge olduğunu söylemektedir. Aynı zamanda bölgede bu aylarda tarımsal sulamaların azalması, içme ve kullanma suyu ihtiyacının azalması ile birlikte bölgede kış aylarında yeraltı suyu kazanımı olduğu görülmüştür. İlkbahar aylarına gelindiğinde yağışların azalması, tarımsal sulamaların artması, içme ve kullanma suyu ihiyacınan artması ile birlikte yeraltı sularında azalmalar meydana gelmiştir. Ayrıca güney gridlerde kar erimelerinin kuzey gridlere göre daha az olması ile birlikte güney gridlerde yeraltı suyu kullanımı daha yüksektir. Yaz aylarında ise yeraltı suyu azalması en büyük değerlerde olmuştur. Bunun sebebi, bölgede bu aylarda yağışın oldukça azalması, tarımsal sulama suyu ihtiyacının artması, içme ve kullanma suyu ihtiyacının diğer aylara göre daha fazla olması gösterilebilir. Sonbahar aylarında ise yağışların başlaması ile birlikte grafiklerin açıklıkları azalmakta ve özellikle kuzey gridlerde yeraltı suyu kazanımı başlamaktadır.

Ülkemiz üç tarafı denizlerle çevrili olmasına rağmen küresel ısınma, hatalı tarımsal sulama uygulamaları, artan nüfus ile birlikte içme ve kullanma suyundaki artış sonucunda su kıtlığı ile karşı karşıyadır. Yapılan çalışma ile ülkemiz için önem arz eden Güneydoğu Anadolu Bölgesi için su kütlesi değişiminin belirlenmesi adına yapılmıştır. Bölgede yeraltı suyu değişiminin belirlenmesi de önemli bir su kaynağının değişiminin yorumlanmasını sağlamıştır.

KAYNAKLAR

Akyılmaz, O., Ayan, T., Yağcı, O., Güney, C.(2012). Bölgesel yüzey suyu değişimlerinin uydu gravimetric yöntemiyle belirlenmesi, İstanbul

Akyilmaz, O., Han, S. C., Shum, C. K. (2005), Fuzzy modelling of continental water storage changes observed by GRACE

Bahadır, M. (2011), Güneydoğu Anadolu Proje (gap) alanında sıcaklık ve yağışın trend analizi, *Uluslararası Sosyal Araştırmaları Dergisi,* Cilt 4 Sayı 16, Sf. 46 – 59

Bayazıt, M. (1994). Su kaynakları sistemleri, İ.T.Ü İnşaat fakültesi matbaası.

Bayazıt, M. (1996). İnşaat mühendisliğinde olasılık yöntemleri, İ.T.Ü İnşaat fakültesi matbaası.

Bayazıt, M. (2003), Hidroloji, Birsen Yayınevi, İstanbul

Bayazıt, M., Önöz, B. (2008), Taşkın Kuraklık Hidrolojisi, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara

Bulut, H., Yeşilata B., Yeşilnacar, M. İ. (2006), Atatürk Baraj Gölünün Bölge İklimi Üzerine Etkisinin Trend Analizi ile Tespiti, V. GAP Mühendislik Kongresi Bildiriler Kitabı, sf 79 – 86, Şanlıurfa

DPT (Devlet Planlama Müsteşarlığı Teşkilatı) (2000), İklim değişikliği ihtisas komisyon raporu, Ankara

Forootan, E., Rietbroek, R., Kusche J., Sharifi, M. A., Awange J. L., Schmidt, M., Omondi, P., Famiglietti, J. (2014), Separation of large scale water storage patterns over Iran using GRACE, altimetry and hydrological data, *Remote Sensing of Enviroment,* Vol 140, pg 580-595, http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2013.09.025

Frappart, F., Ramillien G., Ronchail J. (2013), Changes in terrestrial water storageversus rainfall and discharges in the Amazon basin, *International Journal of Climatology,* Vol 32, Sf. 3029-3046,) doi: 10.1002/joc.3647

GRACE (2000), GRACE Science Mission Requirement Document, 327-720

Karaman S., Gökalp Z. (2010), Küresel Isınma ve İklim Değişikliğinin Su Kaynakları Üzerine Etkileri, *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi 3 (1),* Sf. 59 – 66

Lenk, O. (2013), Satellite based estimates of terrestrial water storage variations in Turkey, *Journal of Geodynamics,* Vol 67, Sf. 106-110 doi:10.1016/j.jog.2012.04.010

Li, B., Rodell, M., Zaitchik B. F., Reichle, R. H., Koster, R. D., Dam, T. M. (2012). Assimilation of GRACE terrestrial water storage into a land surface model: Evaluation and potential value for drought monitoring in western and central Europe, *Journal of Hydrology,* Vol 446-447, Sf. 103-115 doi:10.16/j.hydrol.2012.04.035

Mays, L. W. (2011). Ground and surface water hydrology, USA

Moivo, J. P., Tao, F., Lu, W. (2013). Analysis of satellite-based and in situ hydro-climatic data depicts water storage depletion in North China region, *Hydrological Process,* Vol 27, Sf. 1011-1020 doi:10.1002/hyp.9276

Ölgen, K. (2010), Türkiye'de Yıllık ve Mevsimsel Yağış Değişkenliğinin Alansal Dağılımı, *Ege Coğrafya Dergisi*

Öztürk, K. (2002), Küresel iklim değişikliği ve Türkiye'ye olası etkileri, *Gazi Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi,* Cilt 22, Sf. 47-65

Pereira, P., Pacino, M. C. (2012), Annual and seasonal water storage changes detected from GRACE data in the La Plata basin, *Physics of the Earth and Planetary Interiors,* Vol 212-213, Sf. 88-99 doi:10.16/j.pepi.2012.09.005

Swenson, S., Wahr, J., Milly, P.C.D. (2003), Estimated accuracies of regional water storage variations inferred from the Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE), *Water Resources Research,* Vol. 38(9), doi:10.1029/2002WR001808

Tapley, B. D., Bettadpur S., Watkins M., Reigber, C. (2004),The gravity recovery and climate experiment: Mission overview and early results, *Geophysical Research Letters,* Vol 31, doi:10.1029/2004GLO19920

Todd, D. K., Mays, L. W. (2005), Groundwater Hydrology, Wiley 3rd Edition

Usul, N. (2008), Mühendislik Hidrolojisi, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık, Ankara

Vey, S., Steffen H., Müller J., Boike J. (2013). Inter-annual water mass variations from GRACE in central Siberia, *J Geod* ,Vol 87, Sf. 287-299 doi:10.1007/s00190-012-0597-9

Voss, K. A., Famiglietti J. S., Lo M., Linage C., Rodell M., Swenson S. C. (2013). Groundwater depletion in the Middle East form GRACE with implications for transboundary water management in the Tigris-Euphrates-Western Iran region, *Water Resources Research,* Vol *49,* Sf. 1-11 doi:10.1002/wrer.20078,2013

Url-1 *http://ga.water.usgs.gov/edu/watercycle.html,* alındığı tarih : 10.10.2013

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Mehmet Anıl Kızılaslan

Doğum Yeri ve Tarihi: İzmir / 28.03.1989

Adres: Bahçelievler Mah. 707. Sok. No:6 K:2 D:4 Serdivan/Sakarya

E-Posta: anilkizilaslan89@gmail.com

Lisans: Pamukkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü

Mesleki Deneyim ve Ödüller: Sakarya Üniversitesi Araştırma Görevlisi

(Ekim 2012 – Halen)

Yayın ve Patent Listesi:

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR