

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ**

**UZAKTAN ALGILAMA VERİLERİNDEN SU KALİTESİ  
PARAMETRELERİNİN TESPİT EDİLMESİ**



**DOKTORA TEZİ**

**Ersan BATUR**

**İletişim Sistemleri Anabilim Dalı**

**Uydu Haberleşmesi ve Uzaktan Algılama Programı**

**ŞUBAT 2019**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ**

**UZAKTAN ALGILAMA VERİLERİNDEN SU KALİTESİ  
PARAMETRELERİNİN TESPİT EDİLMESİ**

**DOKTORA TEZİ**

**Ersan BATUR  
(705122006)**

**İletişim Sistemleri Anabilim Dalı**

**Uydu Haberleşmesi ve Uzaktan Algılama Programı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Derya MAKTAV**

**ŞUBAT 2019**



İTÜ, Bilişim Enstitüsü'nün 705122006 numaralı Doktora Öğrencisi Ersan BATUR, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “UZAKTAN ALGILAMA VERİLERİNDEN SU KALİTESİ PARAMETRELERİNİN TESPİT EDİLMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :** **Prof. Dr. Derya MAKTAV** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :** **Prof.Dr. Filiz SUNAR** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Prof. Dr. Bülent BAYRAM** .....  
Yıldız Teknik Üniversitesi

**Doç. Dr. Çiğdem GÖKSEL** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Doç. Dr. Füsun BALIK ŞANLI** .....  
Yıldız Teknik Üniversitesi

**Teslim Tarihi** : 18 Aralık 2018  
**Savunma Tarihi** : 08 Şubat 2019





*Sevgili eşime ve çocuklarıma,*





## ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında, su kalitesi parametrelerinin belirlenmesi için Landsat 8 OLI, Sentinel 2A ve Göktürk-2 uydu algılayıcıları yardımı ile Çoklu Doğrusal Regresyon (MLR), Polinom Regresyonu (PR), Yanıt Yüzey Regresyonu (RSR), Destek Vektör Makineleri (SVM) ve Yapay Sinir Ağı (YSA) gibi veri madenciliği yöntemleri kullanılarak Türkiye'nin otuzaltıncı Ulusal Parkı niteliğindeki Gala Gölü su kalitesi parametrelerinin tespiti yapılmıştır.

Öncelikle akademik hayatım ve tez çalışmam boyunca bilgi, deneyim ve değerli zamanını esirgmeden bana yardımcı olarak rehberlik eden saygı değer danışman hocam Prof. Dr. Derya MAKTAV'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın oluşmasında yönlendirmeleri ile önemli katkıları olan, bilgi ve birikimlerini paylaşan tez izleme komisyonumdaki değerli hocalarım Sayın Prof. Dr. Filiz SUNAR ve Prof. Dr. Bülent BAYRAM'a teşekkürü bir borç bilirim.

Zorlu arazi ölçümleri sürecinde benden desteğini bir an için bile esirgemeyen değerli kardeşim Ertan BATUR'a, benim için her şeye katlanan her zaman yanımda olan değer biçilemeyen anne ve babama sonsuz teşekkürlerimi sunarım

Bu çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak bana destek olan aile dostlarıma ve çalışma arkadaşlarıma, Göktürk-2 görüntülerinin planlama, çekim ve işlenmesi sürecinde emeği geçen Keşif Uydu Tabur Komutanlığı personeline şükranlarımı sunarım.

Beni hayata bağlayan sevgili kızım ve oğlumun beraber geçiremediğimiz zamanları gelecekte anlayış ile karşılayacağını temenni ederek, en içten teşekkürlerimi ve sevgilerimi sunarım.

Son olarak doktora çalışmam boyunca büyük özverilerde bulunarak hayatımın her aşamasında yanımda olan, benden maddi ve manevi desteğini esirgemeyen, aile olmanın, duygusal birlikteliğin güzelliğini ve önemini görmemi sağlayan dünyanın en temiz kalpli insanına sevgili eşim İnci BATUR'a sabrından dolayı sonsuz minnetlerimi sunar, teşekkür ederim.

Hazırlamış olduğum doktora tezi İTÜ Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Birimi tarafından desteklenmiştir. Bu çalışma, bilimsel araştırma verilerine dayalı olarak gerçekleştirilmiş olup, Türk Silahlı Kuvvetleri'nin görüşlerini yansıtmamaktadır.

Şubat 2019

Ersan BATUR  
(Yüksek Mühendis)



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER .....	ix
KISALTMALAR .....	xi
SEMBOLLER .....	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY .....	xxi
<b>1. GİRİŞ VE ÇALIŞMANIN AMACI.....</b>	<b>1</b>
1.1 Çalışmanın Amacı .....	2
1.2 Dünyadaki Su Potansiyeli ve Göller .....	3
<b>2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....</b>	<b>5</b>
<b>3. UZAKTAN ALGILAMA VE KESTİRİM MODELLERİ .....</b>	<b>9</b>
3.1 Uzaktan Algılama ve Su Kalitesi .....	9
3.2 Uzaktan Algılamanın Su Kalitesi Çalışmalarındaki Faydaları .....	10
3.3 Su Kalitesi Parametreleri.....	12
3.3.1 Klorofil-a.....	12
3.3.2 Askıda katı madde.....	13
3.3.3 Çözünmüş oksijen .....	14
3.3.4 Secchi disk derinliği.....	15
3.3.5 Toplam çözünmüş madde .....	16
3.3.6 Hidrojen iyonu .....	16
3.4 Kestirim Modelleri .....	17
3.4.1 Çoklu doğrusal regresyon .....	17
3.4.2 Polinom regresyonu .....	18
3.4.3 Yanıt yüzey regresyonu .....	18
3.4.4 Destek vektör makineleri .....	18
3.4.5 Yapay sinir ağları .....	21
<b>4. MATERYAL VE YÖNTEMLER.....</b>	<b>25</b>
4.1 Çalışma Alanı .....	25
4.2 Uydu Görüntüleri .....	30
4.3 Kullanılan Donanım ve Yazılımlar .....	34
4.4 Yöntemin Akış Diyagramı .....	35
4.5 Arazi Ölçümleri.....	37
4.6 Atmosferik Düzeltme .....	45
4.7 Yüzey Sularının Tespiti ve Değişimi .....	53
<b>5. KESTİRİM MODELLERİ VE DOĞRULUK ANALİZİ .....</b>	<b>59</b>
5.1 Klorofil-a Kestirim Modelleri .....	61
5.1.1 Çoklu regresyon modeli .....	61
5.1.2 Polinom regresyon modeli .....	63

5.1.3 Yanıt yüzey regresyon modeli.....	65
5.1.4 DVM modeli .....	67
5.1.5 Yapay sinir ağları modeli .....	69
5.2 Askıda Katı Madde Kestirim Modelleri .....	71
5.2.1 Çoklu regresyon modeli .....	71
5.2.2 Polinom regresyon modeli .....	74
5.2.3 Yanıt yüzey regresyon modeli.....	76
5.2.4 DVM modeli .....	78
5.2.5 Yapay sinir ağları modeli .....	80
5.3 Çözünmüş Oksijen Kestirim Modelleri.....	82
5.3.1 Çoklu regresyon modeli .....	82
5.3.2 Polinom regresyon modeli .....	85
5.3.3 Yanıt yüzey regresyon modeli.....	87
5.3.4 DVM modeli .....	89
5.3.5 Yapay sinir ağları modeli .....	91
5.4 Secchi Disk Derinliği Kestirim Modelleri.....	93
5.4.1 Çoklu regresyon modeli .....	93
5.4.2 Polinom regresyon modeli .....	96
5.4.3 Yanıt yüzey regresyon modeli.....	98
5.4.4 DVM modeli .....	100
5.4.5 Yapay sinir ağları modeli .....	102
5.5 Toplam Çözünmüş Madde Kestirim Modelleri.....	104
5.5.1 Çoklu regresyon modeli .....	104
5.5.2 Polinom regresyon modeli .....	107
5.5.3 Yanıt yüzey regresyon modeli.....	109
5.5.4 DVM modeli .....	111
5.5.5 Yapay sinir ağları modeli .....	113
5.6 pH Kestirim Modelleri .....	115
5.6.1 Çoklu regresyon modeli .....	115
5.6.2 Polinom regresyon modeli .....	118
5.6.3 Yanıt yüzey regresyon modeli.....	120
5.6.4 DVM modeli .....	122
5.6.5 Yapay sinir ağları modeli .....	124
5.7 Doğruluk Analizi .....	126
5.8 Su Kalitesi Kestirim Haritaları .....	128
<b>6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>133</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>137</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>147</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>161</b>

## KISALTMALAR

<b>AKM</b>	: Askıda Katı Madde
<b>CHL-A</b>	: Klorofil-a
<b>ÇO</b>	: Çözünmüş Oksijen
<b>COST</b>	: Cosine of Solar Zenith Angle (Güneş Zenit Açısı Kosinüsü Düzeltme Modeli)
<b>CDOM</b>	: Colored Dissolved Organic Matter (Çözünmüş Renkli Organik Madde)
<b>DN</b>	: Digital Number (Dijital Numara)
<b>DOS</b>	: Dark Object Subtraction (Koyu Nesne Çıkartma Yöntemi)
<b>DVM</b>	: Destek Vektör Makinesi
<b>EROS</b>	: Earth Resource Observation Satellites (Dünya Kaynaklarını Görüntüleme Bilim Merkezi)
<b>ESA</b>	: European Space Agency (Avrupa Uzay Ajansı)
<b>GK2</b>	: Göktürk-2
<b>LIDAR</b>	: Light Detection And Ranging
<b>LTAN</b>	: Local Time of the Ascending Node (Çıkış Düğümü Yerel Zamanı)
<b>L8 OLI</b>	: Landsat 8 OLI
<b>MAPE</b>	: Mean Absolute Percentage Error (Ortalama Mutlak Yüzde Hata)
<b>MAE</b>	: Mean Absolute Error (Ortalama Mutlak Hata)
<b>MLR</b>	: Multiple Linear Regression (Çoklu Doğrusal Regresyon)
<b>MS</b>	: Multi Sensor (Çok Bantlı)
<b>NDWI</b>	: Normalized Difference Water Index (Normalize Fark Su İndeksi)
<b>NIR</b>	: Near Infrared (Yakın Kıızılötesi)
<b>SWIR</b>	: Short Wave Infrared (Kısa Dalga Kıızılötesi)
<b>OECD</b>	: Organisation for Economic Co-operation and Development (Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü)
<b>OLI</b>	: Operational Land Imager (Operasyonel Arazi Görüntüleyici)
<b>PAN</b>	: Panchromatic (Siyah Beyaz Uydu Görüntüsü)
<b>PCA</b>	: Principal Component Analysis (Temel Bileşenler Analizi)
<b>PR</b>	: Polynomial Regression (Polinom Regresyonu)
<b>RBF</b>	: Radial Basis Function (Radyal Tabanlı Fonksiyon)

<b>RGB</b>	: Red, Green and Blue (Kırmızı, Yeşil, Mavi)
<b>RMSE</b>	: Root Mean Square Error (Karesel Ortalama Hata)
<b>RSR</b>	: Response Surface Regression (Yanıt Yüzey Regresyonu)
<b>SDD</b>	: Secchi Disk Depth (Secchi Disk Derinliği)
<b>SLC</b>	: Scan Line Corrector (Tarama Satır Düzeltmesi)
<b>SNAP</b>	: Sentinel Application Platform (Sentinel Uygulama Platformu)
<b>SPSS</b>	: Statistical Package for the Social Sciences
<b>S2A</b>	: Sentinel 2A
<b>TÇM</b>	: Toplam Çözünmüş Madde
<b>TIRS</b>	: Thermal Infrared Sensor Termal (Termal Kızılötesi Sensör)
<b>TM</b>	: Thematic Mapper (Tematik Haritalayıcı)
<b>TOA</b>	: Top of Atmosphere (Atmosfer Üstü)
<b>UNEP</b>	: United Nations Environment Programme (Birleşmiş Milletler Çevre Programı)
<b>YSA</b>	: Yapay Sinir Ağları
<b>YSKYY</b>	: Kıtaçi Yüzeysel Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliği
<b>RTF</b>	: Relative Transfer Function (Işınımsal Transfer Denklemi)
<b>USGS</b>	: United States Geological Survey (Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırmalar Merkezi)
<b>VRE</b>	: Vegetation Red Edge (Kırmızı Bitki Sınırı )

## SEMBOLLER

<b>R</b>	: Korelasyon katsayısı
<b>R<sup>2</sup></b>	: Determinasyon katsayısı
<b>Ω</b>	: Direnç
<b>ppt</b>	: Parts per thousand
<b>ppm</b>	: Parts per million
<b>λ</b>	: Dalgaboyu
<b>δ<sub>r</sub></b>	: Yüzey yansıtımı
<b>L<sub>λ</sub></b>	: Algılayıcıdaki spectral radyans [W/m <sup>2</sup> srμm]
<b>L<sub>p</sub></b>	: Yol radyansı
<b>d</b>	: Dünya-Güneş mesafesi [astronomik birim]
<b>ESUN<sub>λ</sub></b>	: Ortalama solar ışınım [W/m <sup>2</sup> μm]
<b>T<sub>v</sub></b>	: Görüntüleme yönündeki atmosferik geçirgenlik
<b>T<sub>z</sub></b>	: Aydınlanma yönündeki atmosferik geçirgenlik
<b>E<sub>down</sub></b>	: Aşağı yönlü ışınım
<b>β</b>	: Regresyon katsayısı
<b>ξ</b>	: Pozitif yapay değişken
<b>α, r, d</b>	: Çekirdek parametresi





## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

Çizelge 4.1 : Göl su yüzeyini belirlemek için kullanılan uydu görüntüleri.....	31
Çizelge 4.2 : Görüntüleme ve arazi çalışması tarihleri.....	31
Çizelge 4.3 : Göktürk-2, Landsat-8 OLI ve Sentinel 2A teknik özellikleri.....	33
Çizelge 4.4 : Birinci arazi çalışması sonucunda elde edilen ölçümler. ....	40
Çizelge 4.5 : İkinci arazi çalışması sonucunda elde edilen ölçümler. ....	41
Çizelge 4.6 : Yüzey suları kalite yönetimi yönetmeliği su kalite sınıfları.....	43
Çizelge 4.7 : Geçmiş dönemlerde yapılan çalışmalar ve su kalite sınıfları. ....	43
Çizelge 4.8 : Göl, gölet ve baraj gölleri ötrofikasyon kriterleri.....	44
Çizelge 4.9 : Göktürk-2 yol radyansı ve spektral bant merkez değerleri. ....	47
Çizelge 4.10 : Göl Alanı (NDWI ve manuel yöntem). ....	55
Çizelge 5.1 : MLR modeli Chl-a sonuçları ve karşılaştırma. ....	61
Çizelge 5.2 : PR modeli Chl-a sonuçları ve karşılaştırma. ....	63
Çizelge 5.3 : RSR modeli Chl-a sonuçları ve karşılaştırma. ....	65
Çizelge 5.4 : DVM modeli Chl-a sonuçları ve karşılaştırma.....	67
Çizelge 5.5 : YSA modeli Chl-a sonuçları ve karşılaştırma.....	69
Çizelge 5.6 : MLR modeli AKM sonuçları ve karşılaştırma.....	72
Çizelge 5.7 : PR modeli AKM sonuçları ve karşılaştırma.....	74
Çizelge 5.8 : RSR modeli AKM sonuçları ve karşılaştırma.....	76
Çizelge 5.9 : DVM modeli AKM sonuçları ve karşılaştırma. ....	78
Çizelge 5.10 : YSA modeli AKM sonuçları ve karşılaştırma. ....	80
Çizelge 5.11 : MLR modeli ÇO sonuçları ve karşılaştırma.....	83
Çizelge 5.12 : PR modeli ÇO sonuçları ve karşılaştırma. ....	85
Çizelge 5.13 : RSR modeli ÇO sonuçları ve karşılaştırma.....	87
Çizelge 5.14 : DVM modeli ÇO sonuçları ve karşılaştırma.....	89
Çizelge 5.15 : YSA modeli ÇO sonuçları ve karşılaştırma. ....	91
Çizelge 5.16 : MLR modeli SDD sonuçları ve karşılaştırma. ....	93
Çizelge 5.17 : PR modeli SDD sonuçları ve karşılaştırma.....	96
Çizelge 5.18 : RSR Modeli SDD sonuçları ve karşılaştırma.....	98
Çizelge 5.19 : DVM modeli SDD sonuçları ve karşılaştırma. ....	100
Çizelge 5.20 : YSA modeli SDD sonuçları ve karşılaştırma.....	102
Çizelge 5.21 : MLR modeli TÇM sonuçları ve karşılaştırma. ....	104
Çizelge 5.22 : PR modeli TÇM sonuçları ve karşılaştırma. ....	107
Çizelge 5.23 : RSR modeli TÇM sonuçları ve karşılaştırma.....	109
Çizelge 5.24 : DVM modeli TÇM sonuçları ve karşılaştırma.....	111
Çizelge 5.25 : YSA modeli TÇM sonuçları ve karşılaştırma. ....	113
Çizelge 5.26 : MLR modeli pH sonuçları ve karşılaştırma. ....	115
Çizelge 5.27 : PR modeli pH sonuçları ve karşılaştırma. ....	118
Çizelge 5.28 : RSR modeli pH sonuçları ve karşılaştırma. ....	120
Çizelge 5.29 : DVM modeli pH sonuçları ve karşılaştırma.....	122

<b>Çizelge 5.30</b> : YSA modeli pH sonuçları ve karşılaştırma. ....	<b>124</b>
<b>Çizelge 5.31</b> : Analiz sonuçları. ....	<b>127</b>
<b>Çizelge A.1</b> : Birinci arazi çalışması Göktürk-2 yüzey yansıtım değerleri. ....	<b>154</b>
<b>Çizelge A.2</b> : İkinci arazi çalışması Göktürk-2 yüzey yansıtım değerleri. ....	<b>155</b>
<b>Çizelge A.3</b> : Birinci arazi çalışması Landsat-8 OLI yüzey yansıtım değerleri. ....	<b>156</b>
<b>Çizelge A.4</b> : İkinci arazi çalışması Landsat-8 OLI yüzey yansıtım değerleri. ....	<b>157</b>
<b>Çizelge A.5</b> : Birinci arazi çalışması Sentinel 2A yüzey yansıtım değerleri. ....	<b>158</b>
<b>Çizelge A.6</b> : İkinci arazi çalışması Sentinel 2A yüzey yansıtım değerleri. ....	<b>159</b>



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 1.1 : Küresel su dağılımı.....	3
Şekil 3.1 : Chl-a, dalga boyu ve yüzey yansıtımı ilişkisi.....	13
Şekil 3.2 : AKM, dalga boyu ve yüzey yansıtımı ilişkisi.....	14
Şekil 3.3 : pH seviyeleri.....	17
Şekil 3.4 : Optimal ayırma hiper düzlemi.....	19
Şekil 3.5 : Yüksek boyutlu özellikler uzayı.....	20
Şekil 3.6 : YSA'nın genel yapısı. ....	21
Şekil 3.7 : Yapay sınır ağının bölümleri. ....	22
Şekil 3.8 : İleri beslemeli YSA bölümleri. ....	22
Şekil 3.9 : Geri beslemeli YSA'nın genel işleyişi. ....	23
Şekil 4.1 : Çalışma alanı. ....	25
Şekil 4.2 : Gala Gölü Milli Parkı ve çevresi. ....	26
Şekil 4.3 : Gala Gölü ve çevresindeki bitki türleri. ....	27
Şekil 4.4 : Cımra pompa istasyonu. ....	28
Şekil 4.5 : Gala Gölü ve çevresi TIN modeli. ....	28
Şekil 4.6 : Gala Gölü ve çevresi toprak tipleri. ....	29
Şekil 4.7 : Gala Gölü ve çevresi toprak tipleri. ....	30
Şekil 4.8 : Kullanılan donanım ve yazılımlar. ....	34
Şekil 4.9 : Yöntemin akış diyagramı. ....	36
Şekil 4.10 : Gölden alınan numuneler ve saklama kapları. ....	38
Şekil 4.11 : Bante 900P multimetre ve Secchi diski.....	38
Şekil 4.12 : Su kalitesi ölçüm verileri dağılım haritası.....	42
Şekil 4.13 : Gala Gölü ortalama derinlik ve Secchi disk derinliği. ....	44
Şekil 4.14 : Yüzey yansıtım değerlerinin hesaplanmasında izlenen adımlar. ....	45
Şekil 4.15 : Yüzey yansıtım modeli.....	48
Şekil 4.16 : Göktürk-2 bant ve yol radyansı ( $L_p$ ) değerleri. ....	49
Şekil 4.17 : Ortalama yansıtım değerleri. ....	49
Şekil 4.18 : Birinci çalışma alanı Göktürk-2 dalga boyu-yüzey yansıtımı ilişkisi. ...	50
Şekil 4.19 : İkinci çalışma alanı Göktürk-2 dalga boyu-yüzey yansıtımı ilişkisi.....	50
Şekil 4.20 : Birinci çalışma alanı Landsat 8 dalga boyu-yüzey yansıtımı ilişkisi. ....	51
Şekil 4.21 : İkinci çalışma alanı Landsat 8 dalga boyu-yüzey yansıtımı ilişkisi.....	52
Şekil 4.22 : Birinci çalışma alanı Sentinel 2A dalga boyu-yüzey yansıtımı ilişkisi...52	
Şekil 4.23 : İkinci çalışma alanı Sentinel 2A dalga boyu yüzey yansıtımı ilişkisi. ...	53
Şekil 4.24 : NDWI ile su verisinin tespit edilmesi. ....	54
Şekil 4.25 : Gala Gölü Milli Parkı Sentinel-2A görüntüsü ve göl alanı. ....	54
Şekil 4.26 : Göl alanı manuel dijitalleştirme. ....	55
Şekil 4.27 : Gala Gölü değişim analizi. ....	56
Şekil 5.1 : Kestirim modeli ve doğruluk analizinde işlenen yöntem. ....	59
Şekil 5.2 : MLR modeli Chl-a ölçülen ve kestirilen konsantrasyon dağılımı. ....	62
Şekil 5.3 : PR modeli Chl-a ölçülen ve kestirilen konsantrasyon dağılımı. ....	64

Şekil 5.4 : RSR modeli Chl-a ölçülen ve kestirilen konsantrasyon dağılımı.....	66
Şekil 5.5 : DVM modeli Chl-a ölçülen ve kestirilen konsantrasyon dağılımı.....	68
Şekil 5.6 : YSA modeli Chl-a ölçülen ve kestirilen konsantrasyon dağılımı.....	70
Şekil 5.7 : Chl-a kestirim haritası.....	71
Şekil 5.8 : MLR modeli AKM ölçülen ve kestirilen konsantrasyon dağılımı.....	73
Şekil 5.9 : PR modeli AKM ölçülen ve kestirilen konsantrasyon dağılımı.....	75
Şekil 5.10 : RSR modeli AKM ölçülen ve kestirilen konsantrasyon dağılımı.....	77
Şekil 5.11 : DVM modeli AKM ölçülen ve kestirilen konsantrasyon dağılımı.....	79
Şekil 5.12 : YSA modeli AKM ölçülen ve kestirilen konsantrasyon dağılımı.....	81
Şekil 5.13 : AKM kestirim haritası.....	82
Şekil 5.14 : MLR modeli ÇO ölçülen ve kestirilen konsantrasyon dağılımı.....	84
Şekil 5.15 : PR modeli ÇO ölçülen ve kestirilen konsantrasyon dağılımı.....	86
Şekil 5.16 : RSR modeli ÇO ölçülen ve kestirilen konsantrasyon dağılımı.....	88
Şekil 5.17 : DVM modeli ÇO ölçülen ve kestirilen konsantrasyon dağılımı.....	90
Şekil 5.18 : YSA modeli ÇO ölçülen ve kestirilen konsantrasyon dağılımı.....	92
Şekil 5.19 : ÇO kestirim haritası.....	93
Şekil 5.20 : MLR modeli SDD ölçülen ve kestirilen konsantrasyon dağılımı.....	95
Şekil 5.21 : PR modeli SDD ölçülen ve kestirilen konsantrasyon dağılımı.....	97
Şekil 5.22 : RSR modeli SDD ölçülen ve kestirilen konsantrasyon dağılımı.....	99
Şekil 5.23 : DVM modeli SDD ölçülen ve kestirilen konsantrasyon dağılımı.....	101
Şekil 5.24 : YSA modeli SDD ölçülen ve kestirilen konsantrasyon dağılımı.....	103
Şekil 5.25 : SDD kestirim haritası.....	104
Şekil 5.26 : MLR modeli TÇM ölçülen ve kestirilen konsantrasyon dağılımı.....	106
Şekil 5.27 : PR modeli TÇM ölçülen ve kestirilen konsantrasyon dağılımı.....	108
Şekil 5.28 : RSR modeli TÇM ölçülen ve kestirilen konsantrasyon dağılımı.....	110
Şekil 5.29 : DVM modeli TÇM ölçülen ve kestirilen konsantrasyon dağılımı.....	112
Şekil 5.30 : YSA modeli TÇM ölçülen ve kestirilen konsantrasyon dağılımı.....	114
Şekil 5.31 : TÇM kestirim haritası.....	115
Şekil 5.32 : MLR modeli pH ölçülen ve kestirilen konsantrasyon dağılımı.....	117
Şekil 5.33 : PR modeli pH ölçülen ve kestirilen konsantrasyon dağılımı.....	119
Şekil 5.34 : RSR modeli pH ölçülen ve kestirilen konsantrasyon dağılımı.....	121
Şekil 5.35 : DVM modeli pH ölçülen ve kestirilen konsantrasyon dağılımı.....	123
Şekil 5.36 : YSA modeli pH ölçülen ve kestirilen konsantrasyon dağılımı.....	125
Şekil 5.37 : pH kestirim haritası.....	126
Şekil 5.38 : Su kalitesi kestirim haritası.....	129
Şekil 5.39 : Su kalitesi kestirim haritaları ve arazi ölçümlerinin karşılaştırması.....	131
Şekil A.1 : Göktürk-2 görüntüleri.....	147
Şekil A.2 : Landsat 8 OLI görüntüleri.....	148
Şekil A.3 : Sentinel 2A görüntüleri.....	148
Şekil A.4 : Göktürk-2 görüntüleme modları.....	149
Şekil A.5 : BANTE 900P multiparametre özellikleri.....	149
Şekil A.6 : Birinci arazi ölçümleri ve Gala Gölü çevresi.....	150
Şekil A.7 : İkinci arazi ölçümleri ve Gala Gölü çevresi.....	151
Şekil A.8 : Arazi çalışması izin belgesi.....	152
Şekil A.9 : Tarayıcı analizi (facal analysis) ile SLC hata gidermesi.....	153

## UZAKTAN ALGILAMA VERİLERİNDEN SU KALİTESİ PARAMETRELERİNİN TESPİT EDİLMESİ

### ÖZET

Nüfus, sanayileşme ve tarımın her geçen gün artmasıyla birlikte yüzey sularında kirlilik sorunu gittikçe daha ciddi bir hal almaya başlamıştır. Farklı zamanlarda yüzey suyu kalitesindeki değişikliklerin değerlendirilmesi, doğal veya doğal olmayan kirlleticilerin belirlenmesi ve kirliliğin zamansal değişiminin tespit edilmesi büyük bir öneme sahiptir.

Geniş alanları kapsayan yüzey sularında, klasik yöntemlerle tüm bölgeyi kapsayan ölçüm ve değerlendirmeler yapmak önemli maliyet ve zaman problemlerini de doğurmaktadır. Bu nedenle, klasik su kalitesi ölçüm yöntemleri kullanışlı ve güvenilir bir seçenek değildir. Bunun gibi problemlerin üstesinden gelebilmenin etkili çözümü, günümüzde geniş uygulama alanlarına sahip uzaktan algılama teknolojilerinin kullanılmasıdır. Uydu teknolojilerindeki gelişmeler ile uzaktan algılama, su kalite parametrelerinin belirlenmesinde yaygın ve gelecek vadeden bir teknik haline gelmiştir.

Geniş alan kapsamı ve çok spektrumlu yapısı ile uzaktan algılanan veriler, su kalitesi parametrelerinin uygun maliyetli olarak belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Uzaktan algılama, geniş ölçeklerde geleneksel su kalitesi ölçüm yöntemleri ile yürütülen su kalitesi ölçüm çalışmalarında karşılaşılan sınırlamaların üstesinden gelmek için yararlı bir araç haline gelmiştir. Yüzey sularında yapılan kalite ölçüm çalışmalarında uzaktan algılama tek başına yeterli olmayıp klasik örnekleme yöntemleri ve arazi çalışmaları ile entegre bir şekilde kullanılması daha yüksek doğruluğa sahip sonuçlar vermektedir.

Uzaktan algılama verileri yardımı ile yapılan su kalitesi kestirim çalışmalarında en önemli zorluk, su kalite parametreleri ve uzaktan algılama verileri arasındaki ilişkinin tespit edilmesi ve en uygun kestirim yönteminin seçilmesidir. Bu çalışmada, Landsat 8 Operasyonel Arazi Görüntüleyici (OLI) ve Termal Kızılötesi Sensör (TIRS), Sentinel 2A ve Göktürk-2 uydu algılayıcıları yardımı ile Çoklu Doğrusal Regresyon (MLR), Polinom Regresyonu (PR), Yanıt Yüzey Regresyonu (RSR), Destek Vektör Makineleri (SVM) ve Yapay Sinir Ağı (YSA) gibi veri madenciliği yöntemleri kullanılarak Türkiye'nin otuzaltıncı Ulusal Parkı niteliğindeki Gala Gölü su kalitesi parametrelerinin tespiti yapılmıştır.

Gala Gölü Milli Parkı biyoçeşitlilik ve kuş varlığı yönünden sadece ülkemizin değil dünyanın en önemli tatlı su ekosistemlerinden birisidir. Göl, yerleşim bölgelerine ve endüstriyel alanlara uzak olduğundan evsel ve endüstriyel kirleticilere maruz kalma oranı yok denecek kadar azdır. Ancak çevresinde yürütülen yoğun tarımsal faaliyetler, kullanılan gübreler ve kimyasal bileşikler (pestisitler) nedeniyle bazı dönemlerde kirlenmelere maruz kalabilmektedir. Tarımsal amaçlı kullanılan gübre ve pestisitlerden kaynaklı bu kirlilik göldeki su kalitesinin bozulmasına, göl dibinde

taban çayırlarının oluşmasına ve gölün giderek ötrofik turba alanına dönüşmesine neden olmaktadır.

Yüzey sularının kalitesi, fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özelliklerine bakılarak belirlenmektedir. Bu çalışmada yüzey suları kalite kestirimi için biyolojik parametrelerden Klorofil-a (Chl-a), fiziksel parametrelerden Askıda Katı Madde (AKM) ve Secchi Disk Derinliği (SDD) kimyasal parametrelerden ise Çözünmüş Oksijen (ÇO), Toplam Çözünmüş Madde (TÇM) ve Hidrojen İyonu (pH) seçilmiştir.

Çalışma alanına ait uydu görüntülerinin çekimi ve arazi ölçümleri iki farklı dönemde eş zamanlı olarak yapılmıştır. Çalışma tarihleri seçiminde meteorolojik değişim şartlarının en düşük seviyede olduğu ve algılayıcıların bölgeden aynı zamanlarda geçmesi gibi kriterler göz önünde bulundurulmuştur. Bu doğrultuda birinci arazi çalışması 21 Ağustos 2016, ikinci çalışma ise 24 Ağustos 2017 tarihinde gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında Türkiye'nin ilk yüksek çözünürlüklü yer gözlem uydusu Göktürk-2, Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Merkezi (USGS)'nin Landsat 8 OLI ve Avrupa Uzay Ajansı'nın Sentinel-2A uydu görüntüleri birlikte kullanılmıştır.

Arazi çalışması sırasında ölçüm noktaları, homojen bir dağılım oluşturacak şekilde seçilmiştir. Birinci ve ikinci arazi çalışmasında toplamda 60 farklı noktadan örnek alınmıştır. Alınan su örneklerinin muhafazası ve taşınması, ISO 5667-4 2016 Su Kalitesi Numune Alma Standardına göre yapılmıştır.

Su kalitesi kestirimi yapılırken uydu görüntülerindeki bant değerleri girdi (bağımsız değişken) olarak, arazide ölçümü yapılan su kalite parametreleri ise bağımlı değişken olarak kullanılmıştır. Ölçüm verilerinin %70'i modeli oluşturmak, %30'u ise modeli doğrulamak için kullanılmıştır. Gala Gölü'ndeki su kalitesi parametrelerinin tespitinde kullanılan yöntemlerin performansı Karesel Ortalama Hata (RMSE), Ortalama Mutlak Yüzde Hata (MAPE), Ortalama Mutlak Hata (MAE) ve Determinasyon Katsayısı ( $R^2$ ) istatistiksel indeksleri kullanılarak ölçülmüştür.

Bu çalışmada, Türkiye-Yunanistan sınırında yer alan Gala Gölü'ndeki su kalitesini izlemek için Göktürk-2, Landsat-8 OLI ve Sentinel-2A görüntüleri kullanılarak farklı kestirim yaklaşımları sunulmuştur. İncelenen su kalitesi değişkenlerinin her biri için deneysel ilişkiler elde edilmiş ve girdi olarak Göktürk-2, Landsat-8 OLI ve Sentinel-2A uyduları spektral bantlarının yansıtım değerleri kullanılarak test edilmiştir. Su kirliliği kontrolünü ve iyileştirici önlemleri bütünsel bir şekilde ele almak için, su kalitesi parametrelerinin bölgesel dağılımını kapsamlı bir şekilde gösteren mekansal dağılım haritaları oluşturulmuştur.

Çalışma sonunda, YSA yöntemi ile hesaplanan su kalitesi parametreleri haritalanarak görsel hale getirilmiş ve diğer yöntemler (MLR, PR, RSR ve SVM) ile yapılan kestirimler analiz edilmiştir. Sonuçların analizinde, su kalitesi parametrelerinin kestirilmesi ve mekansal dağılımını gösteren tematik haritaların hazırlanmasında YSA yönteminin MLR, PR, RSR ve SVM gibi veri madenciliği modellerinden daha üstün olduğu ortaya konulmuştur. Ayrıca uzaktan algılamanın mekansal veriler ile birlikte kullanılmasının geniş coğrafi bölgeleri kapsayan göllerde kirliliğin rutin olarak izlenmesi, faydalı çevresel verilerin elde edilmesi ile doğal yaşam alanlarının sürdürülebilir yönetiminin sağlanmasında hızlı ve ucuz bir yöntem olduğu gösterilmiştir.

## **DETECTION OF WATER QUALITY PARAMETERS FROM REMOTE SENSING DATA**

### **SUMMARY**

With the increasing population, industrialization, and agriculture the problem of pollution in surface waters has become increasingly serious. Evaluation of changes of surface water quality at different times, the temporal change of pollution, determination of natural or unnatural pollutants is of great importance.

Performing measurements and evaluations with conventional methods in all areas of surface water that span large areas give rise to significant cost and time problems. For this reason, conventional water quality measurement methods are not a useful and reliable option. The most effective solution to overcome such problems is the use of remote sensing technologies which have a wide range of applications. The developments in satellite technologies and remote sensing have become a common and promising technique for determining water quality parameters.

The wide area coverage and the multispectral nature of the remote sensing data play a significant role in the cost-effective determination of surface water quality parameters. Remote sensing has become a useful tool for overcoming the limitations encountered in water quality measurement studies carried out by conventional water quality measurement methods on large scales. In the quality measurement studies conducted in surface waters, remote sensing alone is not enough, but its use with conventional sampling methods and field studies has been found to be more accurate.

In order to produce quantitative results from the remote sensing data, converting the digital values in the images to the surface reflectance gives more accurate results. It is not appropriate to use satellite imagery directly in water quality estimation studies. Therefore, satellite images need to be converted to surface reflectance. In this study, the Cosine of Solar Zenith Angle (COST) method, which is one of the dark object extraction methods, was used to obtain information about the atmospheric situation by extracting some information from the image itself without making atmospheric measurements.

The most important challenge in water quality estimation studies with the help of remote sensing data is to determine the relationship between water quality parameters and remote sensing data and to select the most appropriate estimation method. In this study, with the help of Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS), Sentinel 2A and Gokturk-2 satellite sensors Gala Lake (Turkey's 36th National Park) water quality parameters were determined by using data mining methods such as Multi Linear Regression (MLR), Polynomial Regression (PR), Response Surface Regression (RSR), Support Vector Machines (SVM) and Artificial Neural Network (ANN).

Gala Lake National Park is one of the most important freshwater ecosystems not only in our country but also in the world in terms of biodiversity and bird presence. Since

the lake is far from residential areas and industrial areas, its exposure to domestic and industrial pollutants is almost non-existent. However, intensive agricultural activities in the vicinity may be subject to contamination in some periods due to the fertilizers and chemical compounds (pesticides) used. This pollution caused by fertilizers and pesticides used for agricultural purposes leads to deterioration of water quality in the lake, formation of grassy meadows on the bottom of the lake and gradually transforming the lake into an eutrophic peat area.

In this study, the surface water quality is determined by its physical, chemical and microbiological properties. For surface water quality estimation, Chlorophyll-a (Chl-a) from biologic parameters, Suspended Solids (TSS) and Secchi Disc Depth (SDD) from physical parameters, Dissolved Oxygen (DO), Total Dissolved Substance (TDS) and pH from chemical parameters were selected.

The satellite images of the study area and field measurements were performed simultaneously in two different periods. In selecting the working dates, criteria such as the conditions of meteorological change are at the lowest level and the sensors passing through the region at the same time are taken into consideration. In this direction, the first field study was carried out on 21 August 2016 and the second one on 24 August 2017. In the study, Turkey's first high-definition earth observation satellite Gokturk-2, United States Geological Survey Center's (USGS) Landsat 8 OLI and the European Space Agency's Sentinel-2A satellite images were used together.

During field work, the measurement points were chosen to create a homogeneous distribution. In the first and second field studies, samples were taken from 60 different points. The preservation and transportation of the water samples were done according to ISO 5667-4 2016 Water Quality Sampling Standard. As a result of field measurements made in Gala Lake, according to Turkey Regulation on Surface Water Quality Management-2016 and Organisation for Economic Co-operation and Development-1982 surface waters quality criteria, it is determined that it is subject to a hypertrophic lake class which is dangerous for aquatic life.

Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM, Landsat 8 OLI and Gokturk-2 images were analyzed from 1984 to 2017 in order to determine the surface area change of Lake Gala. According to the analysis, the lake surface area increased from 3.8 km<sup>2</sup> to 5.4 km<sup>2</sup>. This situation was evaluated as a result of the lake being declared as National Nature Conservation Area and National Park in 2005.

While the water quality was estimated, the band values in the satellite images were used as input (independent variable) and the water quality parameters measured in the field were used as dependent variables. 70% of the measurement data was used to construct the model and 30% was used to validate the model. The performance of the methods used in the determination of the water quality values in the Lake of Gala was measured using the statistical indices; such as Root Mean Square Error (RMSE), Mean Absolute Percentage Error (MAPE), Mean Absolute Error (MAE) and Coefficient of Determination (R<sup>2</sup>).

In this study, to monitor the water quality of the Turkey-Greece border at Lake Gala, different prediction approaches are presented by using Gokturk-2, Landsat-8 OLI and Sentinel-2A images. For each of the water quality variables examined, experimental relations were obtained and tested by using the reflection values of the Gokturk-2, Landsat-8 OLI and Sentinel-2A satellites spectral bands as input. Spatial distribution



maps have been developed to provide a comprehensive overview of the measured and estimated water quality parameters.

At the end of the study, water quality parameters calculated by ANN method were visualized by mapping and estimations made with other methods (MLR, PR, RSR and SVM) were analyzed. In the analysis of the results obtained in the study, it was revealed that the ANN method was superior to the data mining models such as MLR, PR, RSR and SVM in estimating surface water quality parameters and preparing thematic maps showing spatial distribution. In addition, the use of remote sensing with spatial data has been shown to be a rapid and inexpensive method for continuous pollution monitoring in lakes that cover wide geographical regions, and for obtaining sustainable environmental data and for ensuring sustainable management of natural habitats.





## 1. GİRİŞ VE ÇALIŞMANIN AMACI

Hızlı nüfus artışı, sanayileşme, tarımsal amaçlı gübreler ve tarım ilaçlarının kullanılması göllerdeki yüzey su kalitesini olumsuz etkilemekte ve doğal yaşam dengesini değiştirmektedir (Wang ve diğ., 2011; Tokatlı ve diğ., 2014; Dona ve diğ., 2014). Bu nedenle, yüzey su kalitesi parametrelerinin belirlenmesi sosyo-ekonomik bir öneme sahiptir (Li ve diğ., 2016). Klasik su kalitesi ölçüm yöntemleri maliyetli ve uzun zaman alan bir süreçtir. Uydu teknolojilerindeki ilerlemeler ve uzaktan algılama, yüzey sularındaki kalite parametrelerinin belirlenmesinde önemli bir araç haline gelmiştir (Wang ve diğ., 2017; Brando ve diğ., 2015; Gholizadeh ve diğ., 2016; Xu, 2007).

Yüzey sularındaki kalite parametrelerini, farklı yansıtım değerleri kullanarak tespit etmek mümkündür (Chang ve Vannah, 2013a). Her nesnenin yansıtım özelliği fiziksel özelliklerine bağlı olarak farklı değerlere sahip olabilir (Mujumdar ve diğ., 2012; Chang ve Vannah, 2013b; Slonecker ve diğ., 2016). Yansıtım değerleri Klorofil-a (Chl-a), Çözünmüş Oksijen (ÇO), Toplam Askıda Katı Madde (AKM), Secchi Disk Derinliği (SDD), Toplam Çözünmüş Madde (TÇM) ve pH gibi farklı su kalitesi parametrelerini tespit etmek için kullanılabilir (Gholizadeh ve diğ., 2016).

Uzaktan algılama verileri, 1980'lerin başından itibaren su kalitesi parametrelerinin orta ve yüksek doğrulukta kestirilmesinde kullanılmıştır (Lathrop ve Lillesand, 1986; Schneider ve Mauser, 1996). Çalışmanın amacına göre uygun olan algılayıcının seçilebilmesi için kullanılacak olan uydu algılayıcılarının özelliklerini bilmek gerekir. Bu nedenle, su kalitesi çalışmalarında algılayıcı seçiminde mekansal, spektral ve zamansal çözünürlük bilgisi kullanılabilir (Gholizadeh ve diğ., 2016). Göllerin dinamik koşulları, yüksek mekansal ve spektral çözünürlüklere sahip algılayıcıların ilave veri ve algılayıcılar ile desteklenmesini gerektirir. Bu nedenle, tek bir uydu algılayıcısı bu gereksinimi karşılayamaz (Pan ve diğ., 2018). Bu çalışmada, su kalitesi parametrelerini kestirmek için Göktürk-2, Landsat 8 OLI ve Sentinel 2A uydu sistemleri başarılı bir şekilde kullanılmıştır.

Bu çalışma, su kalitesi parametrelerinin belirlenmesi için Çoklu Doğrusal Regresyon (MLR), Polinom Regresyonu (PR), Yüzey Regresyonu (RSR), Destek Vektör Makinesi (DVM) ve Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemlerinin yüksek mekansal çözünürlüklü Göktürk-2 ve yüksek spektral çözünürlüklü Landsat 8 OLI ve Sentinel 2A görüntülerinin gerçek zamanlı arazi ölçümleri ile birlikte kullanılması bakımından ilk olma özelliğini taşıyacaktır. Ayrıca, Göktürk-2 görüntülerinin, su kalite parametrelerinin hesaplanmasında fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özelliklerine göre bölgenin su kalitesinin incelenmesi ve göl suyu kalitesinin uygun kestirim yöntemleri ile tespit edilmesinde ilk uygulama örneği olacaktır.

Uydu verileri ile gerçek zamanlı arazi ölçümlerinin birlikte kullanılması, su kalitesi parametrelerinin çok kısa bir zamanda kestirilmesinde oldukça kıymetli bilgiler sunmaktadır. Bu çalışmada, Chl-a, ÇO, AKM, SDD, TÇM ve pH gibi su kalitesini belirleyen parametreler uydu görüntüleri yansıtım değerleri kullanılarak tespit edilmiştir.

Ulusal ve uluslararası su kalitesi mevzuatlarına göre birinci sınıf olarak değerlendirilen Gala Gölü, Meriç Delta'sında yer almakta olup biyolojik çeşitlilik açısından ülkemizin en önemli doğal alanlarından birisidir. Birçok kuş türüne ev sahipliği yapmasının yanında göçmen kuşların da önemli durak noktalarından birisidir. Gala Gölü, 1991 yılında Tabiatı Koruma Alanı ve 2005 yılında Milli Park olarak ilan edilmiştir (Tokatlı ve diğ., 2014). Gala Gölü, yerleşim bölgelerine ve endüstriyel alanlara uzak olduğundan evsel ve endüstriyel kirleticilere maruz kalma oranı yok denecek kadar azdır. Gala Gölü, çevresinde yürütülen yoğun tarımsal faaliyetler, kullanılan gübreler ve kimyasal bileşikler (pestisitler) nedeniyle bazı dönemlerde kirlenmektedir. Bu çalışmanın, Gala Gölü ve çevresinde tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan kirliliğin değerlendirilmesi ve doğal yaşam alanlarının sürdürülebilirliğine önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

## **1.1 Çalışmanın Amacı**

Bu çalışmanın temel amacı, uzaktan algılama verileri ve arazi ölçümleri birlikte kullanılarak Milli Park niteliği taşıyan Gala Gölü su kalitesi parametrelerinin beş farklı kestirim yöntemi ile hesaplanması, kestirilen su kalitesi parametrelerinin mekansal değişimlerinin değerlendirilmesi ve söz konusu parametrelerin mekansal dağılımını gösteren tematik haritaların oluşturulmasıdır.

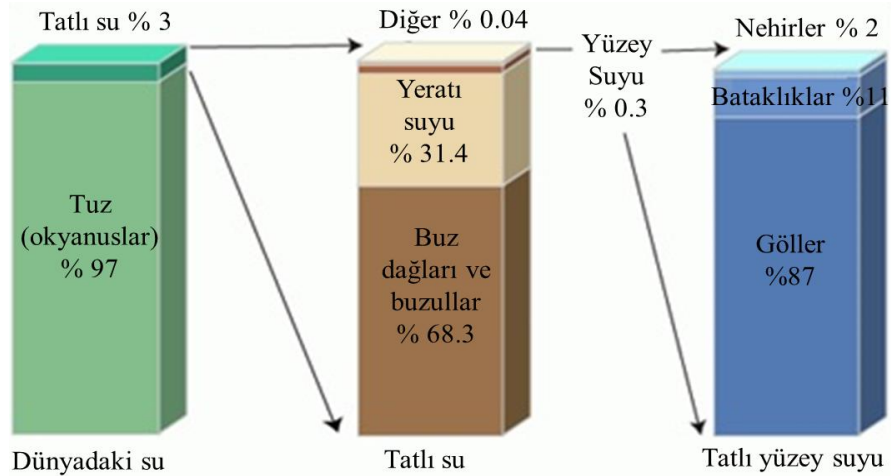
Elde edilecek su kalitesi kestirim haritaları ile, geniş coğrafi bölgeleri kapsayan göllerde kirliliğin rutin olarak izlenmesi, faydalı çevresel verilerin elde edilmesi ve doğal yaşam alanlarının sürdürülebilir yönetiminin sağlanmasında kullanılabilirliğinin gösterilmesi de bir diğer amaçtır.

Bunun yanında, uydu görüntülerinden hesaplanan ve arazi çalışmaları sonucunda elde edilen verilerin analiz edilerek modelleme sonucunda kalite parametrelerini verecek en uygun veri kombinasyonunun belirlenmesi, doğruluk değerlendirmesi sonucuna göre su kalitesi parametrelerinin dağılım haritalarının çizilerek, mevcut su kalitesi durumunun ortaya konulması hedeflenmiştir.

Bu çalışmada, su kalitesi ile ilişkili fiziksel, kimyasal ve biyolojik su kalitesi parametreleri atmosferik olarak düzeltilmiş uzaktan algılama verilerine dayanılarak araştırılmıştır. Türkiye'nin ilk yüksek çözünürlüklü yer gözlem uydusu Göktürk-2'nin su kalitesi tespit çalışmalarında kullanılabilirliği bu çalışma ile ilk defa test edilmiştir.

## 1.2 Dünyadaki Su Potansiyeli ve Göller

Su, yaşamın en temel öğelerinden birisi ve canlılar için bir yaşam ortamıdır. Dünyadaki toplam su miktarı 1,4 milyar km<sup>3</sup>'tür (Şekil 1.1). Bu suların % 97'si okyanus ve denizlerde, % 3'ü ise buzullar, nehir ve göllerde bulunmaktadır (Url-1, 2017). Tatlı su kaynaklarının az olması ve % 90'ının kutuplarda bulunması kullanılabilir tatlı su kaynaklarının ne kadar az olduğunun bir göstergesidir. (Url-2, 2017).



Şekil 1.1 : Küresel su dağılımı (Url-1).

Birleşmiş Milletler çevre programı (UNEP)'ın hazırlamış olduğu su tüketim trendine göre günlük, tarımsal ve endüstriyel kullanımlar her geçen gün artış göstermektedir (Url-3, 2017). Bu durum, tatlı su kaynaklarının çok iyi korunması ve mantıklı çözümler üretilerek israfın önlenmesi gerektiğini göstermektedir. Bu tez çalışmasında, tarımsal amaçlar için kullanılmakta olan Gala Gölü su kalitesi parametreleri incelenmiştir.

Göller, doğal estetiği ve tatlı su temini gibi işlevlerinin yanında eğlence ve sosyal faaliyetlerimize ev sahipliği yapan en kıymetli doğal kaynaklarımızdandır. Göller, su canlıları ve yaban hayatı için önemli bir yaşam alanı ve besin kaynağıdır. Göl ekosistemlerinin oldukça hasas bir özelliğe sahip olması nedeniyle görüntüsü ve yapısında ani çevresel değişiklikler yaşanabilmektedir (Url-4, 2018).

Göllerdeki su kalitesi parametreleri atmosfer, toplama havzası veya yeraltı sularının etkisinde kalabilmektedir. Bunun yanında, insan faaliyetleri de göllerdeki su kalitesi parametrelerinin değişim oranlarını hızlandırabilmektedir. Bu anlamda değişim nedenlerinin belirlenmesi; gerekli müdahalelerin (göl-yönetim uygulamaları) yapılmasını, olumsuz etkilerin kontrol altına alınmasını ve önlenmesini mümkün kılmaktadır. Bu nedenle, su kalitesinin sürekli olarak izlenmesi ve analiz edilmesi gerekmektedir. Son dönemlerde uydu teknolojilerinde yaşanan gelişmeler su kalitesinin izlenmesinde önemli faydalar sağlamıştır. Uydu sistemlerinin geniş alanları kapsayabilme, aynı bölgeyi günler ve hatta saatler mertebesinde görüntüleyebilme kabiliyeti sayesinde çok daha hızlı ve doğru sonuçlar alınabilmektedir (Url-4, 2018).

Türkiye sınırları içerisinde, doğal göl sayısı 120'den fazla olup başlıca dört bölgede taplanmaktadır. Bunlar; Göller Yöresi, Güney Marmara, Van Gölü ve çevresi, Tuz Gölü ve çevresi şeklinde sıralanabilir. Bu çalışmanın yapılacağı Gala Gölü, Marmara Bölgesi'nde, Meriç-Ergene Havzası'ndaki Meriç Deltası'nda yer almaktadır.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Çalışmanın metodolojisini ve analitik çerçevesini anlamak için, su kalitesi parametrelerinin uzaktan algılama verileri yardımıyla tespitine yönelik ayrıntılı literatür taraması yapılmıştır. Geçmişten günümüze kadar geçen süreçte uzaktan algılama verileri ile su kalitesinin belirlenmesine yönelik aşağıda verilen çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Üstün ve diğ. (2007), İstanbul Boğazı, Karadeniz ve Marmara Denizi'ndeki su kalitesini uydu görüntülerinden ve yersel verilerden elde etmeye çalışmıştır. Landsat-7 ETM+ yansıtım verilerinden çoklu regresyon ve bulanık mantık yöntemleri ile oluşturulan model ile AKM ve Chl-a konsantrasyonu tespit edilmiştir. Sonuç olarak uzaktan algılama verileri kullanılarak oluşturulan bulanık mantık yönteminin daha doğru değerler verdiği gösterilmiştir.

Liew ve diğ. (2009), yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri kullanarak, iç ve kıyı sularının bulanıklık ve AKM konsantrasyonunun belirlenmesine yönelik bir çalışma yapmıştır. Yakın-kızılötesi geri yansıtım bant değerleri, atmosferik düzeltme işlemi uygulandıktan sonra, yarı-analitik algoritma kullanılarak bulanıklık ve AKM konsantrasyonları uydu görüntülerinden elde edilmiştir. Yüzey yansıtım değerlerini bulanıklık ve AKM değerlerine dönüştürmek için, laboratuvar deneylerinden elde edilen ölçüm sonuçları ile bir ilişki kurularak bulanıklık ve AKM haritaları oluşturulmuştur. Çalışmada Landsat, Spot ve Ikonos uydu görüntüleri kullanılmıştır.

Nas ve diğ. (2010), Beyşehir Gölü su kalitesi parametrelerinin tespitine yönelik yapmış oldukları çalışmada, Beyşehir Gölü su kalitesindeki mekansal değişimleri Landsat-5 TM verileri ile tespit etmişlerdir. Çalışmada, 40 farklı noktadan alınmış örnekler laboratuvar ortamında analiz edilmiştir. Landsat verisi ve laboratuvar ölçümleri sonucunda elde edilen AKM, bulanıklık ve Chl-a parametreleri spektral yansıtım değerlerinden, bant oranlarından ve kombinasyonlarından elde edilmeye çalışılmıştır. Chl-a ve SDD parametrelerine göre Beyşehir Gölü'nün mesotrophic veya eutrophic göl sınıfına girdiği tespit edilmiştir.

Hu (2011), göllerdeki su kalitesinin uzaktan algılama ve arazi ölçümü verilerinin birlikte kullanılarak hesaplanabileceğini göstermiştir. Uzaktan algılamanın, büyük su kütlelerinin hızlı bir şekilde izlenmesinde, su kalitesi analiz ve değerlendirmesinde kullanılabileceği belirtilmiştir. Çalışmada, Landsat-5 TM verilerinden farklı bant kombinasyonu ve temel bileşenler analizi yöntemi ile ÇO, AKM ve SDD gibi parametreler başarılı bir şekilde kestirilmiştir.

Yüzügüllü (2011), Eymir Gölü'nde yapmış olduğu çalışmada doğrusal ve doğrusal olmayan modellere ek olarak YSA modelini de kullanmıştır. Bu çalışmada, su kalitesi parametrelerinden Chl-a konsantrasyonu belirlenmiştir. Uzaktan Algılama verileri olarak Quickbird ve Worldview 2 uydularının görüntüleri kullanılmıştır. Eymir Gölü'ndeki Chl-a konsantrasyonu regresyon ve YSA yöntemleri ile modellenmiştir. Çalışma sonucunda, YSA modelinin regresyon modellerine oranla daha iyi bir kestirim kapasitesine sahip olduğu, hibrid modellerin yüzey yansıtım modellerinden daha üstün olduğu gösterilmiştir.

Huang ve diğ. (2011), Landsat-5 TM görüntülerini kullanarak DVM yönteminin su kalitesi parametrelerini elde etmedeki performansını analiz etmiştir. Modelin oluşturulmasında Radial Basic Function (RBF) pencereleme fonksiyonu olarak seçilmiştir. Çalışmanın sonucunda, AKM miktarı tespitinde kullanılan modelin iyi bir performansa ve yüksek hıza sahip olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca AKM miktarını gösteren tematik haritalar oluşturulmuştur. Haritalar ile AKM'nin mekansal dağılımı detaylı bir şekilde gösterilmiştir.

Kallio (2012), optik veriler yardımıyla su kalitesinin tespitine yönelik modeller geliştirmiştir. Bu çalışmada, Landsat 5 TM ve MERIS verileri kullanılmış olup konvansiyonel yöntemlerin yanında uzaktan algılama verilerinin kullanımı kıyaslanmıştır. Göl üzerinde yapılan analizde, yersel ölçüm verileri ve rutin ölçüm verilerinin olduğu ulusal veri bankası ölçümlerinden yararlanılmıştır. Oluşturulan modellerde CDOM, Chl-a ve bulanıklık verileri tespit edilmiştir.

Olmanson (2012), Minnesota'da ki göl ve nehir sularının kalite parametrelerini incelemiştir. Üç farklı döneme ait Landsat, MODIS ve hiperspektral uydu verileri kullanılarak regresyon analizi yardımıyla kalite parametreleri tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda, doğal kaynakların korunması ve sürdürülebilirliğinin sağlanabilmesi için uzaktan algılama verilerinin kullanılabileceği belirtilmiştir.



Chang ve Vannah (2013), Kuzey Amerika’da yer alan Erie gölünde yaptıkları çalışmada uydu sensörlerini kullanarak su kütleinin yüzey yansıtımı verileri yardımıyla veri çakıştırma ve makine öğrenme tekniklerini kullanarak su kalitesi erken uyarı sistemi geliştirmiştir. Orta seviye çözünürlüğe sahip Landsat 5 ve Landsat 7 görüntüleri ile yüksek zamansal çözünürlüğe sahip MODIS görüntüleri kullanılarak sentetik görüntüler oluşturulmuştur. Yapılan analiz sonucunda su kalitesi 0,56 gibi bir determinasyon katsayısı ile tespit edilmiştir.

Dona ve diğ. (2014), İspanya Madrit güneyinde yer alan Albufera göller bölgesinde yaptıkları çalışmada Chl-a, AKM ve bulanıklık parametrelerini Landsat 5 görüntülerini kullanarak tespit etmişlerdir. Su kalitesi parametreleri Landsat 5 görüntüsü bant 2 ve bant 4 yansıtımları kullanılarak hesaplanmıştır. Oluşturulan modeller Deimos 1 görüntüleri ve bölgeden alınan örnekler kullanılarak doğrulanmıştır. Çalışma sonucunda su kalitesi parametreleri 0,92 gibi yüksek bir determinasyon katsayısı ile tespit edilmiş ve Deimos-1 görüntülerinin su kalitesi kestirim çalışmalarında kullanılabileceği gösterilmiştir.

Teologue ve diğ. (2015), Yunanistan’da bulunan Karla Gölü’nde yüksek çözünürlüklü ve çok zamanlı uydu görüntülerini kullanarak sığ sularda su kalitesi parametrelerini tespit etmişlerdir. Çalışmada, Landsat-7 ETM+ ve Landsat 8 OLI uydularına ait çok zamanlı görüntüler ve arazi ölçümleri ile elde edilen parametreler kullanılmıştır. Uydu verileri ayrıca spektro radyometre ölçümleri ile desteklenmiştir. Çalışma sonucunda, doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon yöntemleri kullanılarak Chl-a % 89.8, ÇO % 88.53, iletkenlik % 88,18, amonyum % 87.2, pH % 86,35, toplam fosfor % 70.55 ve nitrat % 55.5 gibi korelasyon değerlerinde tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre Chl-a konsantrasyonunun; kırmızı ve NIR, toplam fosforun; yeşil, pH’ın; kısa dalga kızılötesi, mavi, yeşil ve kırmızı, amonyumun; kısa dalga kızılötesi, nitratın ise yeşil ve mavi bantlar ile yüksek korelasyona sahip olduğu tespit edilmiştir.

Yunus ve diğ. (2015), Japonya’da ekonomik ve sosyal gelişimde büyük rol oynayan Tokyo Körfezi’nde ki Chl-a konsantrasyonunu tespit etmek için Landsat 8 OLI algılayıcı verilerini kullanmışlardır. Oluşturulan modele 38 ayrı noktadan elde edilen ölçümler entegre edilmiştir. Chl-a konsantrasyonu mavi/yeşil bant oranı kullanılarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak % 63’lük bir korelasyon değeri ile Chl-a konsantrasyonu tespit edilebilmiştir.

Abdelmalik (2016), Mısır'ın batısında yer alan Qaroun Gölü'nde yapmış olduğu çalışmada ASTER verilerinden sıcaklık, bulanıklık, pH, tuzluluk, TÇM, elektriksel iletkenlik ve toplam organik karbon gibi su kalitesi parametrelerinin tespit edilebileceğini göstermiştir. Araştırmada, 18 adet su örneği verisi kullanılmıştır. Matematiksel modelin oluşturulması için 15 örnek, elde edilen modeli test etmek için ise üç adet örnek veri kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, uzaktan algılanan verilerden elde edilen sonuçlar ile ölçüm değerleri arasında  $R^2 > 0.94$  gibi anlamlı bir korelasyon olduğu gösterilmiştir.

Pan ve diğ. (2018), Çin Yangtze'de yapılan çalışmada GOCI ve Landsat 8 OLI görüntüleri bazı modeller yardımıyla karşılaştırılmış ve AKM kestirimi yapılmıştır. Çalışma sonucunda, AKM miktarının görüntü karşılaştırma yöntemi ile kestirilebileceği gösterilmiştir. Yüzey yansıtımı hesabında atmosferik düzeltmenin büyük bir öneme sahip olduğu gösterilmiştir.

Silva ve diğ. (2018), İngiltere Anglesey'de bulunan Cefni Reservuarı'nda YSA ve uzaktan algılama teknikleri ile Chl-a, bulanıklık ve AKM gibi su kalitesi parametrelerinin kestirimini yapmıştır. Chl-a ve AKM, Landsat 8 OLI bant-2 ve bant-4 yansıtım değerleri kullanılarak kestirim yapılmıştır. YSA kullanılarak elde edilen sonuçların, ölçüm değerleri ile yüksek seviyelerde uyum sağladığı tespit edilmiştir. Söz konusu çalışmada, su kalitesi parametrelerinin izlenmesi ve çevre yönetimindeki karar verme süreçlerine katkıda bulunacağı değerlendirilmiştir.

### 3. UZAKTAN ALGILAMA VE KESTİRİM MODELLERİ

#### 3.1 Uzaktan Algılama ve Su Kalitesi

Su kalitesinin klasik yöntemlerle tespit edilmesi, zaman kayıplarına neden olmasının yanında pahalı arazi ölçümlerinin ve laboratuvar analizlerinin yapılmasını gerektirmektedir (Wang 2004). Bu zorluklar, su kalitesinin kestirilmesi ve izlenmesine engel oluşturmaktadır (Senay ve diğ. 2001). Bu nedenle, klasik su kalitesi izleme yöntemleri uygulanabilir ve güvenilir bir seçenek değildir (Olet 2010). Uzaktan algılama teknikleri, zamansal ve mekansal ölçeklerde su kalitesi parametrelerinin tespitinde ve izlenmesinde alternatif bir yol sunarak klasik yöntemlerdeki sınırlamaların üstesinden gelme potansiyeline sahiptir. Algılayıcı sistemlerindeki gelişmeler, uzaktan algılamanın su kalitesi izleme programlarında giderek daha popüler ve gelecek vadeden bir teknik haline geldiğini ortaya koymaktadır (Hakvoort ve diğ., 2002). Uzaktan algılama sistemlerinin kullanıldığı bazı çalışmalar, geniş ölçeklerde yürütülen su kalitesi tespitinin hızlı ve düşük maliyetlerde karşılanabilmesinin yanında güvenilir kestirimlerin de yapılabileceğini ortaya koymuştur (Senay ve diğ. 2001; Gholizadeh ve diğ., 2016).

Su kalite parametrelerinin değerlendirilmesi için üç yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemler; yerinde numune alma (in situ) yoluyla su kalitesi izleme, matematiksel modelleme ve uzaktan algılama şeklinde sıralanabilir. Bu yöntemlerin her biriyle elde edilen bilgiler farklı özelliklere sahiptir. Uzaktan algılama yöntemi sınırlı sayıdaki parametrelerin mekansal özellikleri hakkında detaylı bilgi vermektedir. Yerinde numune alma yönteminde ise tek bir noktadan birçok parametre hakkında bilgiler elde edilmektedir. Uzaktan algılama ve yerinde numune alma yöntemleri birlikte kullanıldığında gerçek zamanlı ve daha kapsamlı bilgiler elde edilmektedir. Matematiksel su kalitesi modelleri ise model türüne bağlı olarak su kalitesi verilerinin simülasyonunu yapmakla kalmaz, aynı zamanda geleceğe yönelik su kalitesi parametre kestirimlerinin yapılmasını da sağlamaktadır (Dekker ve diğ, 1996).

Klasik ölçüm yöntemleri ile yapılan çalışmaların ilişkilendirilebileceği en önemli sınırlamalar (Gholizadeh ve diğ., 2016);

–Yerinde numune alma yöntemiyle su kalitesi parametrelerinin ölçümlerinin, yoğun emek, zaman ve maliyet gerektiren bir sürecinin olması,

–Geniş bölgelerde su kalitesi trendlerinin, mekansal ve zamansal değişimlerin tek seferde araştırılmasının neredeyse imkansız olması,

–Bölgenin topoğrafik yapısı nedeniyle tüm su kütlelerinin izlenmesinin, kestirilmesinin ve yönetilmesinin mümkün olmaması,

–Arazi çalışmasında toplanan verilerin yerinde ölçümü ve laboratuvar analizleri esnasında meydana gelebilecek hatalar nedeniyle doğru ve kesin sonuçların elde edilememesi şeklinde sıralanabilir.

### **3.2 Uzaktan Algılamanın Su Kalitesi Çalışmalarındaki Faydaları**

Uzaktan algılama, geleneksel su kalitesi değerlendirmelerinde karşılaşılan sınırlamaların üstesinden gelmek için yararlı bir araç haline gelmiştir. Birçok araştırmacı, suyun yansıtım değeri ile fiziksel ve biyokimyasal bileşenleri arasında güçlü bir korelasyon elde etmek için görünür ve yakın kızılötesi (çoğunlukla mavi ve yakın kızıl ötesi arasında kalan) bantları kullanmıştır (Gholizadeh ve diğ., 2016; Giardino 2014; El-Din ve diğ., 2013; Ritchie ve diğ., 2003 ). Su kalitesi tespit çalışmalarında uzaktan algılamanın faydaları inkar edilemez olsada, tek başına yeterli olmayıp klasik örnekleme yöntemleri ve arazi çalışmaları ile birlikte kullanılması daha etkili sonuçlar vermektedir. Başka bir ifade ile oluşturulacak olan su kalitesi modellemesinde uzaktan algılama ve arazi ölçümlerinin entegre bir şekilde kullanımı su kalitesi hakkında daha fazla bilgi sahibi olmamızı sağlayacaktır. Bu çalışmada, su kalitesi parametrelerinin tespiti için uzaktan algılama ve yerinde numune alma yöntemleri birlikte kullanılmıştır.

Uzaktan algılamanın su kalitesi parametrelerinin kestirilmesinde sağlamış olduğu faydalar aşağıdaki gibi sıralanabilir (Kallio, 2000):

– Mekansal ve zamansal değişimlerin daha etkin bir şekilde izlenebilmesi için su kütlelerinin tamamını kapsayan (sinoptik) bir görünüm sağlar.

– Geniş bir bölge üzerinde birden fazla gölün su kalitesini eşzamanlı olarak elde etmemize imkan sunar.

– Belirlenmiş bir bölge için su kalitesinin kapsamlı tarihsel kaydının tutulmasına ve zaman içindeki eğilimlerin gösterilmesine imkan verir.

– Örnekleme istasyonlarının optimal konumunun belirlenmesi ve planlanmasına olanak sunar.

Uzaktan algılama verileri yardımı ile su kalitesinin izlemesinde en önemli zorluk, su kalite parametreleri ve uzaktan algılama verileri arasında güçlü ilişkiler bulmak için uygun bir yöntemin seçilmesidir. Bu yöntemler deneysel, analitik ve yarı analitik şeklinde sıralanabilir (Chang ve diğ., 2015).

Deneysel yöntemler, ölçülen su kalitesi parametreleri ile spektral değerler (yüzey yansıtımı) arasındaki istatistiksel ilişkileri (tek bant veya çoklu bant oranını) belirlemektedir (Yu, 2005; Zang ve diğ., 2016; Miller ve McKee, 2004). Deneysel yöntemlerin en belirgin özelliği, doğrusal veya doğrusal olmayan regresyon yardımıyla su kalitesi parametreleri ile spektral değerler (bireysel bant, bant kombinasyonları veya bant oranları) arasındaki ilişkilerin bulunmasıdır. Doğrusal regresyon yöntemlerinde ölçümü yapılan su kalitesi parametreleri bağımlı değişken olarak kabul edilirken, bantlardan elde edilen spektral değerler ise bağımsız değişken olarak kabul edilmektedir (Chang ve diğ., 2015).

Uzaktan algılama görüntü verileri ile su kalitesi parametreleri arasında doğrusal olmayan bir ilişki söz konusu olduğundan doğrusal regresyon yöntemi hatalı sonuçlar verebilmektedir. Bu nedenle, su kalitesi parametrelerinin daha doğru şekilde hesaplanabilmesi için doğrusal olmayan YSA, DVM ve genetik algoritma gibi yöntemler kullanılmaktadır (Wang ve diğ., 2010).

Analitik yöntem, ışınımsal transfer denklemi (RTF) ile ilişkili optik özelliklere dayalı geliştirilmiş bir transfer yöntemidir (Chang ve diğ., 2015; Ma ve diğ., 2006). Bu yöntem, RTF modellerini kullanılarak doğal optik özellikleri ortaya çıkarmakta ve bir dizi analiz yöntemi ile uzaktan algılanan yüzey yansıtım sinyalinden su bileşenlerini yüksek doğrulukta hesaplayabilmektedir (Yu, 2005).

Yarı analitik yöntemde, hesaplanmak istenen parametrelerin spektral özellikleri bilinmektedir. Bu yöntemde, istatistiksel analizler ile uygun bant veya bant kombinasyonları ile kalite parametreleri arasındaki korelasyona bakılmaktadır. Başka bir ifadeyle, yarı analitik yöntem, doğal optik özelliklerle ilgili görünür optik özellikleri toplam geri yansıtım ve yutulmanın bir fonksiyonu olarak entegre eden bio-optik modeldir (Ma ve diğ., 2006; Yu, 2005 ).

Bu çalışmada, deneysel yöntemlerden MLR, PR, RSR, DVM ve YSA yöntemleri kullanılmış ve karşılaştırma yapılarak en doğru sonucu veren yöntem belirlenmiştir.

### **3.3 Su Kalitesi Parametreleri**

Bir suyun kalitesi, fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri ile belirlenir. Dünyada farklı amaçlarla kullanılan doğal su kaynaklarının kalitesi, suyun kullanımını etkileyen bazı kalite parametrelerince belirlenmektedir. Sıcaklık, AKM, bulanıklık, koku, ve tat fiziksel parametreler arasında sayılabilir. ÇO, pH, TÇM, iletkenlik, nitratlar, fosfatlar, ağır metaller, pestisitler ve herbisitler kimyasal parametreler olarak sıralanabilir. Koliform bakteri göstergesi olan Chl-a ise biyolojik parametreler arasındadır (Davis ve diğ., 2005; Şiltu, 2015).

Bu çalışmada, biyolojik parametrelerden; Chl-a, fiziksel parametrelerden; AKM ve SDD, kimyasal parametrelerden; ÇO, TÇM ve pH uzaktan algılama spektral verileri kullanılarak tespit edilmiştir.

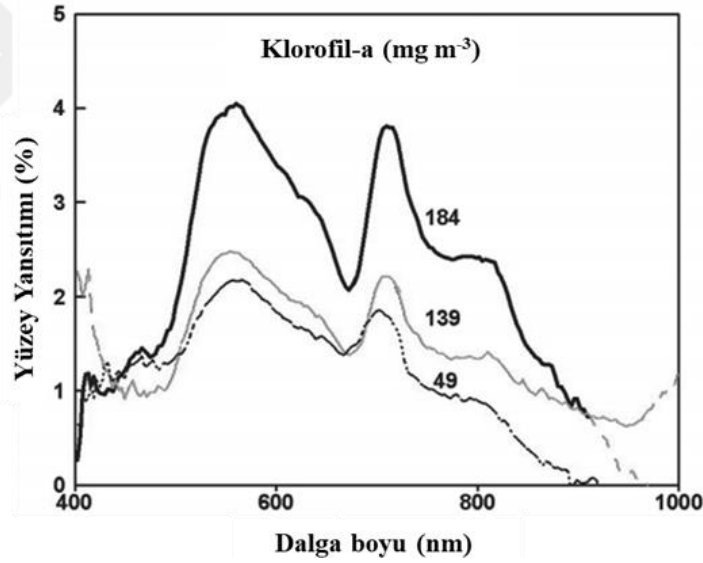
#### **3.3.1 Klorofil-a**

Göller ve diğer su kütlelerinin biyolojik aktivitelerini sürdürebilmeleri, havzalarındaki besin maddelerine ve diğer maddelere bağlıdır. Bu besin maddeleri, sağlıklı bir göl ortamı için gerekli olmakla beraber fazla olması bitkilerin aşırı bir şekilde büyümesine yol açan ötrofikasyona neden olmaktadır. Bir su kütlelerinin ötrofikasyonu, alg/fitoplankton hücrelerinde bulunan Chl-a seviyesine veya konsantrasyonuna bağlıdır (Boyer, 2009). Göllerdeki ötrofikasyon yönetiminde en önemli unsur, Chl-a trofik seviyesinin veya konsantrasyonunun izlenmesidir. Alg konsantrasyonunun fazlalığı fotometrik tekniklerin yanında uzaktan algılama yöntemleriyle de izlenebilmektedir. Suda ki Chl-a miktarının tespiti için yapılan uzaktan algılama çalışmaları genellikle yüzey yansıtım değerleri (bant oranları) ile Chl-a miktarı arasındaki deneysel ilişkilere dayanmaktadır. Bu nedenle, istatistiksel

ilişkilerin kalibrasyonu veya geliştirilen modellerin doğrulanması için arazi ölçümlerinin yapılması gerekmektedir (Azab, 2012).

Farklı Chl-a miktarları ile dalgaboyu ve yüzey yansıtımı arasındaki ilişki Şekil 3.1’de verilmiştir. Buna göre, genel anlamda artan Chl-a miktarı ile yüzey yansıtımı arasında doğru orantılı bir ilişki bulunmaktadır. Mavi ve yeşil dalga boyları arasında kalan bölgede (400-600 nm) ise yüzey yansıtımının artan Chl-a miktarı ile doğru orantılı olduğu ancak yeşil dalga boyu ile kırmızı dalgaboyu (675-685 nm) arasında kalan bölgede yansıtımın Chl-a miktarı ile doğru orantılı düştüğü (yutulma) görülmektedir. Yakın kızılötesi (NIR) dalgaboyunda ise yüzey yansıtımı artan Chl-a miktarı ile orantılı bir şekilde artış göstermektedir (Ritchie, 2003).

Uzaktan algılama verileri, Chl-a miktarının tespit edilmesine imkan vermektedir. Ancak AKM miktarının çok yüksek olması Chl-a’nın uzaktan algılama verileri ile ayırt edilmesinde bazen zorluklar yaşanmasına neden olabilmektedir (Ritchie, 2003).



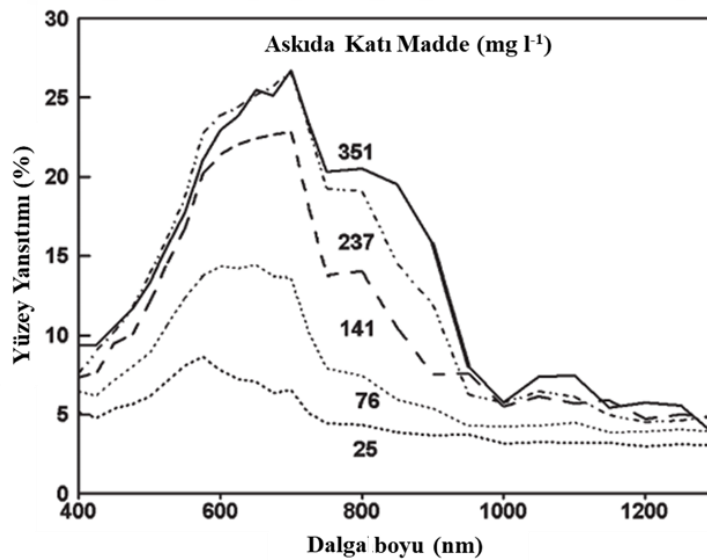
Şekil 3.1 : Chl-a, dalga boyu ve yüzey yansıtımı ilişkisi (Ritchie, 1976).

### 3.3.2 Askıda katı madde

AKM’lerin fazlalığı nedeniyle suyun rengi tamamen değişebilmektedir. Alg ve askıdaki maddeler, çoğu doğal su kaynağının farklı renklere bürünmesinin sebeplerindedir. Düşük miktarda çözünmüş materyal içeren sular maviye yakın bir renge sahip olurken, kanalizasyon suları veya çürümüş bitki artıklarının karışmış olduğu sular sarımsı veya kahverengi tonlarındadır. Fitoplankton veya alg yönünden zengin olan su kütlelerinde ise yeşil tonlar hakimdir (Url-4, 2018).

AKM, yüzey suları ve tatlı sularda yaygın kirleticiler arasında yer almaktadır. AKM, elektromanyetik spektrumun görünür ve yakın kızılötesi bandında yüzey sularından yansıyan enerjiyi artırmaktadır (Ritchie ve Schiebe 2000). Yapılan birçok çalışma AKM miktarının fazla olduğu durumlarda (0-200+ mg/l) yüzey yansıtımı değeri ile AKM arasında lineer bir ilişki olduğunu göstermiştir. Artan AKM miktarı ile birlikte yüzey yansıtımı değeri doyuma ulaşabilmektedir. Doyum oranı, dalga boyuna bağlı olarak değişmektedir. Dalga boyu küçüldükçe doyum daha düşük seviyelerde gerçekleşmektedir (Curranand Novo, 1976; Ritchie ve Schiebe, 1990; Mabasheri, 2008).

Yapılan çalışmalarda, kırmızı ve yakın kızılötesi (700 ile 800 nm) arasındaki dalga boylarının AKM miktarını tespit etmek için en ideal bölge olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3.2). Sediment tipi ve değişen aydınlanma koşulları, geri yansıtım değerini, dolayısıyla AKM miktarının doğru olarak tespit edilmesini etkilemektedir. AKM yönünden zengin olan sular, temiz suya göre daha yüksek yansıtım değerine sahiptir. Yüksek dalga boylarının suya penetrasyonu düşük dalga boylarına nazaran daha azdır. Bu nedenle, yüksek dalga boylarında su tabanının etkileri yok denecek kadar azdır (Mabasheri, 2008).



Şekil 3.2 : AKM, dalga boyu ve yüzey yansıtımı ilişkisi (Ritchie, 1976).

### 3.3.3 Çözünmüş oksijen

ÇO, oksijene ihtiyaç duyan sucul organizmaların yaşam koşullarını etkileyen önemli bir su kalite parametresidir. ÇO miktarının normal seviyelerin altına düşmeye başlaması ile birlikte sudaki canlıların hayatı olumsuz etkilenmeye başlar. Bazı



durumlarda, ötrofikasyon süreci olarak isimlendirilen ve suyla birlikte tüm canlı hayatının yok olduğu durumlarla da karşılaşmaktadır. Balıklar ve zooplanktonların nefes alması için su içerisindeki ÇO miktarının belirli seviyede olması gerekmektedir. Durgun sulardaki ÇO miktarı, akarsulara kıyasla daha düşük seviyelerdedir. Göllerdeki bakterilerin miktarı sudaki ÇO seviyesini düşürebilir. Dolayısıyla göller ve nehirlerde organik madde miktarının artışı ötrofik şartların oluşmasına neden olabilir. Özellikle yaz dönemlerinde sıcaklıkla ÇO arasında ters bir ilişki söz konusudur. Sıcaklık arttıkça (yaz dönemlerinde) suda çözülen oksijen miktarı azalmaktadır. Dolayısıyla düşük su sıcaklıklarında (kış dönemlerinde) ÇO miktarının yüksek olması beklenmektedir. Bu durumun bir sonucu olarak, yaz döneminde su yüzeyindeki sıcaklığın fazla olması ve tabandaki ÇO miktarının düşük olması nedeniyle zaman zaman balık ölümleri gerçekleşebilmektedir.

Geçmişte yapılmış olan çalışmalarda, ölçülen ÇO değerleri ile uzaktan algılama yansıtım değerleri arasındaki ilişkiyi araştırmak için doğrusal, üstel ve logaritmik regresyonla çeşitli su kalitesi modelleri geliştirilmiştir. Su kalitesi parametrelerinin mekansal ve zamansal değişimlerini analiz etmek için ÇO miktarı dağıtım haritalarının elde edilmesi amacıyla çeşitli bant oranları da çalışılmıştır. Bununla birlikte, uydu görüntüleri spektral karakteristikleri ile su ekosistemlerindeki ÇO miktarı ölçümleri arasındaki ilişkiler hala daha tam olarak anlaşılammıştır. Uzaktan algılama verilerinden elde edilen yüzey yansıtım değerlerinin atmosferik düzeltme işleminden sonra kullanılması, doğruluğun artırılmasında büyük bir öneme sahiptir (Hajigholizadeh, 2016).

### **3.3.4 Secchi disk derinliği**

SDD, bazı bileşenler ile güçlü bir ilişkisi olan suyun önemli optik özelliklerinden birisi olarak kabul edilmektedir (Bahatti ve diğ., 2008; Hajigholizadeh, 2016). SDD, su kütlelerinde bulunan AKM miktarı ile ters bir korelasyon sergiler. Suyun bulanıklığının ölçülmesinde en iyi bilinen kestirim yöntemi, 1865 yılında Pietro Angelo Secchi SJ tarafından geliştirilmiş olan SDD yöntemidir. SDD, okyanuslarda ve göllerde bulanıklık ölçümleri için kullanılan dairesel bir diskdir. SDD ölçümü, Secchi diskin bir ip yardımı ile görünmeyene kadar yavaşça suya indirilmesi suretiyle gerçekleştirilmektedir. Bu şekilde ölçülen derinlik, SDD olarak bilinmekte

ve su kalitesi çalışmalarında da suyun bulanıklığının bir ölçüsü olarak kabul edilmektedir (Hajigholizadeh, 2016).

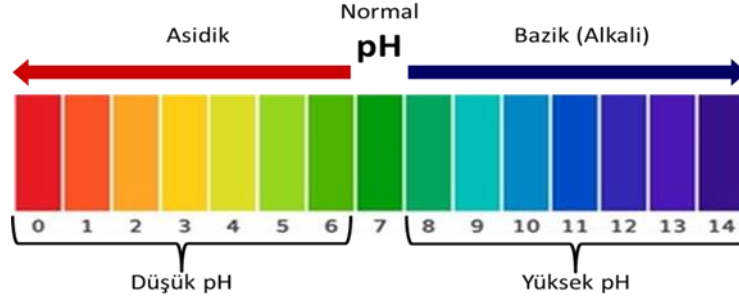
SDD, AKM miktarı ile ters orantılıdır (Bahatti ve diğ., 2008). Bu nedenle, uzaktan algılama SDD'yi kestirmek ve bulanıklığı izlemek için ideal bir araç olarak kullanılmaktadır (Hajigholizadeh, 2016). Bu konuda yapılan araştırmalarda, uzaktan algılama verilerinin SDD değerleri ile yüksek bir korelasyona ve doğruluğa sahip olduğu görülmüştür. Aynı zamanda, SDD'nin atmosferik etkilerden arındırılmış uzaktan algılama verileri, spektral band değerleri ve/veya oranları kullanılarak hesaplanabileceği de gösterilmiştir (Xie ve diğ., 2006; Zolfaghari ve Duguay, 2014; Hajigholizadeh, 2016).

### **3.3.5 Toplam çözünmüş madde**

TÇM, AKM'lerin çıkarılmasından sonra numunede kalan çözünmüş tuzun bir ölçüsüdür. TÇM tuzları, organik maddeleri, besin maddeleri ve toksik materyaller gibi çok çeşitli maddeleri içerir. TÇM konsantrasyonu, sucul yaşama zarar verebilecek oksijen gerektiren atıklardan ve hastalığa neden olan maddelerden oluşabilen ve suyun iletkenlik miktarı ile doğru orantılı bir parametredir. Yüksek dozlara maruz kalmak, baş dönmesine, merkezi sinir sistemini etkileyerek felce, dilin, dudakların ve yüzün uyuşmasına neden olabilmektedir. Sentetik organik kimyasalların (yakıtlar, deterjanlar, boyalar, çözücüler, vb.) varlığı, balık ve su bitkilerinin yaşamını olumsuz etkilemektedir (Thilagavathi ve Subramani, 2012).

### **3.3.6 Hidrojen iyonu**

pH ölçümü, bir çözeltinin asidik veya bazik olup olmadığını belirlemek için kullanılır. pH seviyesi 0 ile 14 arasında değerler almaktadır (Şekil 3.3). 0 ile 6.9 arasındaki pH değerine sahip sular asidik, 7 pH seviyesi normal (nötr) ve 7.1 ile 14 pH değerleri ise bazik sular şeklinde sınıflandırılmaktadır. pH seviyesi, sudaki kimyasal kirlenmelerin en önemli göstergelerindendir. pH sudaki çözünübilirlik, biyolojik yaşam ve kimyasallar hakkında önemli bilgiler verir. Kirlilik, sudaki pH seviyesini değiştirerek sudaki bitki ve canlıların olumsuz etkilere maruz kalmasına sebep olabilmektedir (Stevenson ve diğ., 2015; Url-4, 2018).



**Şekil 3.3 :** pH seviyeleri.

### 3.4 Kestirim Modelleri

Çalışma alanı, üç adet algılayıcı ile iki farklı dönemde görüntülenmiş ve alınan görüntüler yüzey yansıtım değerine dönüştürülmüştür. Yüzey yansıtım verileri, su kalite parametrelerini kestirmek için MLR, PR, RSR, SVM ve YSA kestirim yöntemlerinde sistem girdisi olarak kullanılmıştır. Söz konusu kestirim yöntemleri ile elde edilen sonuçlar analiz edilmiş ve elde edilen sonuçlar tematik haritaya dönüştürülerek su kalitesinin uzaktan algılama verileri ile tespit edilmesi için en uygun (en yüksek doğruluğa sahip) olan yöntem önerilmiştir. Bu bölümde, çalışmada kullanılan MLR, PR, RSR, SVM ve YSA kestirim yöntemleri detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

#### 3.4.1 Çoklu doğrusal regresyon

MLR'ın genel amacı, bağımsız değişken ile bağımlı değişken arasındaki ilişki hakkında daha fazla bilgi edinmektir. Doğa bilimlerinde ve sosyal bilimlerde MLR prosedürleri çok yaygın olarak kullanılmaktadır. MLR basit doğrusal regresyonun bir uzantısıdır. Bir değişkeni iki veya daha fazla değişken değerine dayanarak kestirim yapmak istediğimizde kullanılır. Kestirmek istediğimiz değişken bağımlı değişken olarak isimlendirilmektedir. Bağımlı değişkenin değerini kestirmek için kullandığımız değişkenler ise bağımsız değişkenler veya kestirimci şeklinde isimlendirilmektedir. MLR ayrıca modelin genel uyumunun ve her bir belirleyicinin göreceli katkısının belirlenmesini sağlamaktadır. MLR analizinde çözülmesi gereken genel hesaplama problemi, noktaları düz bir çizgi üzerinde toplamaktır. MLR yönteminde aşağıdaki gibi lineer bir denklem (3.1) ortaya çıkmaktadır.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n \quad (3.1)$$

Bu denklemde, Y bağımlı değişkeni, X bağımsız değişkeni, regresyon katsayıları ( $\beta$ ) ise bağımlı değişkenin kestirimi için bağımsız değişkenlerin bağımsız katkılarını gösterir.

### 3.4.2 Polinom regresyonu

PR tasarımları, bağımsız değişkenler için ana etkileri ve daha yüksek mertebeden etkileri içeren, ancak bağımsız değişkenler arasındaki etkileşimi içermeyen tasarımlardır. Polinom regresyon yönteminde aşağıdaki gibi bir denklem (3.2) ortaya çıkmaktadır. Y polinom modelinin beklenen sonuç değerini,  $\beta$  regresyon katsayılarını ve n ise polinomun derecesini ifade etmektedir.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2^2 + \dots + \beta_n X_n^n \quad (3.2)$$

İkinci dereceden ( $n= 2$ ) bir polinom, kuadratik bir ifade (parabolik eğri), üçüncü dereceden ( $n = 3$ ) bir polinom kübik ve dördüncü dereceden ( $n = 4$ ) bir polinom ise quartic bir ifade oluşturmaktadır.

### 3.4.3 Yanıt yüzey regresyonu

RSR yöntemi, hem polinom regresyon tasarımlarının hem de kısmi regresyon tasarımlarının özelliklerine sahip hibrit bir tasarım türüdür. Kuadratik RSR bir yüzeyin en küçük değeri ile en büyük değerini hesaplamaktadır. RSR'nın temel amaçlarından birisi, Taylor serisi açılımına benzer olarak, doğrusal olmayan modelin polinom yaklaşımını bulmaktır. Kuadratik RSR tasarımı için regresyon denklemi (3.3) aşağıdaki gibidir. Burada X, Y ve Z, bağımsız değişkenleri ifade etmektedir.

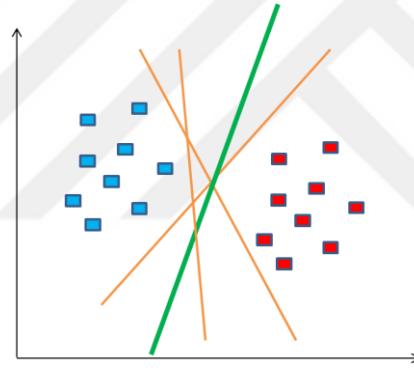
$$\psi = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_1^2 + \beta_3 Y_1 + \beta_4 Y_1^2 + \beta_5 Z_1 + \beta_6 Z_1^2 + \beta_7 X_1 Y_1 + \beta_8 X_1 Z_1 + \beta_9 Y_1 Z_1 \quad (3.3)$$

### 3.4.4 Destek vektör makineleri

DVM; istatistiksel öğrenme teorisinden geliştirilmiş olan yeni bir öğrenme yöntemidir. Özellikle sınırlı sayıda örneğin olduğu çalışmalarda iyi bir genelleme yeteneğine sahiptir. Hem teorik analiz, hem de pratik çalışmalar DVM yönteminin sadece basit bir yapıya sahip olmadığını, aynı zamanda iyi bir genelleme kabiliyetine sahip olduğunu göstermektedir. Özellikle sınırlı miktarda örnek söz konusu olduğunda, aşırı öğrenme durumuna girme ve yerel minimuma düşme gibi problemlerin üstesinden başarılı bir şekilde gelebilmektedir (Xu, 2007).

DVM test verilerini kullanarak oluşturulan modelin kestirim doğruluğunu artıran etkili sınıflandırma ve regresyon tekniklerinden birisidir. DVM günümüzde görüntü ve yüz tanıma, bioinformasyon, veri madenciliği, regresyon analizi, desen tanıma, ses analizi ve tıp gibi bir çok alanda etkin bir şekilde kullanılmaktadır (Xu, 2007; Guodong Guo ve S. Z. Li, 2003; Url-5, 2018). Uzaktan algılanan görüntü yansıtım değerleri su kalitesi parametreleri ile eşleştirilerek bir tür doğrusal olmayan model oluşturulmaktadır. Elde edilen bu modelin eğitilmesi ve doğrulanması için gerçek ölçüm verileri kullanılmaktadır (Xu, 2007).

DVM’de amaç, iki sınıfı bir fonksiyon yardımıyla ayırmaktır. Burada, verileri ayırabilen birçok olası doğrusal sınıflandırıcılar vardır, ancak her bir sınıfın en yakın veri noktası ile arasındaki mesafeyi en üst düzeye çıkaran sadece bir tane sınıflandırıcı bulunmaktadır (Şekil 3.4). Bu doğrusal sınıflandırıcı, optimal ayırıcı hiper düzlem olarak adlandırılmaktadır (Gunn, 1998).



Şekil 3.4 : Optimal ayırma hiper düzlemi (Gunn, 1998).

Belli bir sayıdaki eğitim verisi (örnek) kullanılarak oluşturulan bir fonksiyona SVM aşağıdaki denklemi (3.4) kullanarak yaklaşmaktadır. Burada  $x_i$  girdi olarak kullanılan örnek noktalarını ifade etmektedir (Xu, 2007);

$$w \cdot x_i + b \geq +1 \text{ her } y = +1 \text{ ve } w \cdot x_i + b \leq -1 \text{ her } y = -1 \quad (3.4)$$

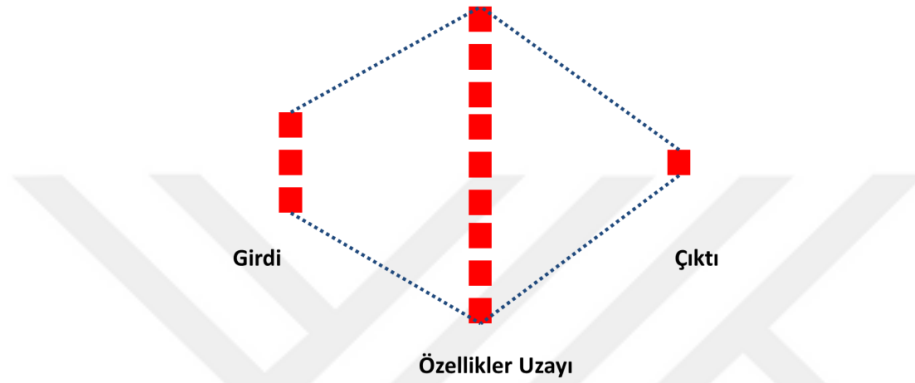
Ağırlık vektörü ( $w$ ) ve eğim ( $b$ ) değerleri aşağıda verilen fonksiyonun minimizasyonu ile hesaplanmaktadır (3.5). Burada optimal ayırma hiper düzlem sınırının en yüksek düzeye çıkarılabilmesi için ağırlık vektörünün en düşük seviyeye indirgenmesi gerekmektedir (Xu, 2007).

$$\min \left[ \frac{1}{2} \|w\|^2 \right] \quad (3.5)$$

Yukarıdaki denkleme bağlı kısıtlamalar ise aşağıdaki (3.6) gibi ifade edilebilir.

$$y_i(w \cdot x_i + b) - 1 \geq 0 \text{ ve } y_i \in \{1, -1\} \quad (3.6)$$

Lineer bir sınırın uygun olmadığı durumlarda SVM, giriş vektörünü yüksek boyutlu bir özellik uzayına dönüştürebilir. Doğrusal olmayan çok boyutlu bir veri seçildiğinde, SVM bu yüksek boyutlu veri için optimal bir ayırıcı hiper düzlem oluşturur (Şekil 3.5).



**Şekil 3.5 :** Yüksek boyutlu özellikler uzayı (Gunn, 1998).

Lineer olmayan verilerin doğrusal olarak ayrılabilmesi için bazı kısıtlamalar bulunmakta olup bu kısıtlamalar bir takım fonksiyonların (çekirdek fonksiyonları) kullanılması ile ortadan kalkmaktadır. Bu fonksiyonlar; Polinom Çekirdek Fonksiyonu, Sigmoid Çekirdek Fonksiyonu ve Radyal Tabanlı (RBF) Çekirdek Fonksiyonu şeklinde sıralanabilir (Xu, 2007).

Optimal ayırıcı hiper düzlem ağırlık vektörüne bağlı olup aşağıdaki fonksiyonun minimizasyonu ile hesaplanır (3.7). Burada ( $\xi$ ) yanlış sınıflandırma hatalarının bir ölçüsü,  $C$  ise denklem kısıtlamalarına bağlı olarak verilen bir değerdir (Xu, 2007).

$$\min \left[ \frac{\|w\|^2}{2} + C \cdot \sum_{i=1}^r \xi_i \right] \quad (3.7)$$

Bu çalışmada, su kalitesi parametrelerinin hesaplamasında kullanılan DVM yönteminde RBF çekirdek fonksiyonu kullanılmıştır.

### 3.4.5 Yapay sinir ağıları

YSA, beynin nörolojik işlem kabiliyetini matematiksel modelleme ile simüle etmek için kullanılan makine tabanlı hesaplama tekniğidir. YSA belirli bir veri kümesindeki kuralların, örüntülerin ve ilişkilerin keşfedilmesi için uygulanan yöntemlerden birisidir (M. Huiqun ve diğ., 2008). YSA beyin, süreç bilgisi gibi biyolojik sinir sistemlerinden ilham alan bir bilgi işleme tekniğidir (H.Gomez 2005) ve karmaşık yapıya sahip olan çevresel süreçleri modellemek için yaygın olarak kullanılmaktadır. YSA modelleri, anlaşılması zor süreçlerin doğrusal olmayan davranışlarını doğru bir şekilde temsil etme yeteneği sayesinde geniş bir kullanım ağına sahiptir (Huiqun ve Ling, 2008).

YSA, klasik yöntemlerden farklı olarak değişkenler arasında anlaşılması zor ve bilinmeyen ilişkileri yakalayabilmektedir. Bu yöntem, elde edilen veri örneklerini kullanarak problemi tanımlar ve matematiksel model oluşturarak istenen verileri kestirebilir (Hue ve diğ., 2002; Huiqun ve Ling, 2008; Karahan, 2011).

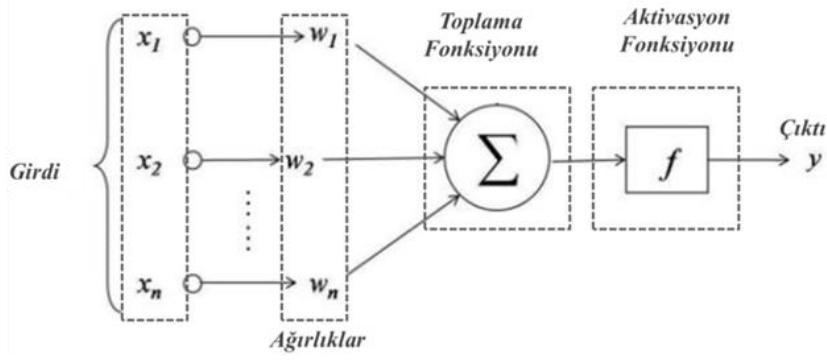
YSA, diğer sistemlerle karşılaştırıldığında bazı özellikleri öne çıkmaktadır. Bunlar; doğrusal olmama, örneklerden öğrenebilme, genelleme kabiliyeti, uyarlanabilme, paralel işlem, hata ayırma, yüksek hesaplama hızı, çözümleme ve modellemede sunulan kolaylıklar şeklinde sıralanabilir (Ermiş, 2005; Karahan, 2011).

Tipik bir YSA mimarisi (Şekil 3.6) birbirine bağlı üç katmandan oluşur. Bunlar; verilerin nöral ağına sunulduğu bir girdi katmanı, ağına giriş tepkisini tutan bir çıktı katmanı ve karmaşık ilişkileri temsil ederek hesaplamasını sağlayan gizli katmanlardır (Hsu ve diğ., 2009).



Şekil 3.6 : YSA'nın genel yapısı (Karahan, 2011).

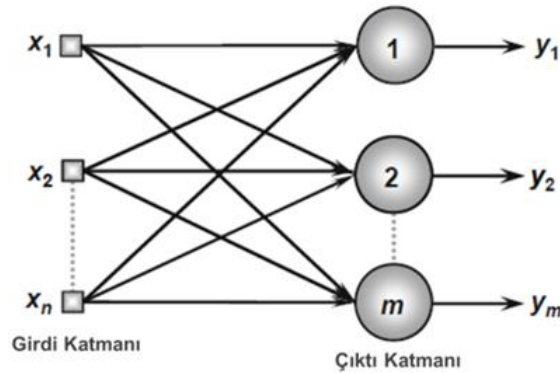
YSA, nöron olarak adlandırılan birbirine bağlı bir dizi işlem biriminden oluşmaktadır (Hsu ve diğ., 2009). Yapay bir nöron beş ana bölümden oluşur (Şekil 3.7) bunlar girdi, ağırlık, toplam fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıktıdır (Huiqun ve diğ., 2008; Topçu ve diğ., 2008; Karahan, 2011).



**Şekil 3.7 :** Yapay sinir ağının bölümleri.

Girdiler, nöronlara başka nöronlardan veya dış dünyadan giren bilgilerdir. Ağırlıklar, bir giriş setinin veya başka bir işlemci elemanın önceki katmandaki etkisini bu işlemci elemanında ifade eden değerlerdir. Toplam fonksiyonu ise girdilerin ve ağırlıkların etkisini hesaplayan bir işlemdir. Toplama işlevi, bir hücreye gelen net girişi hesaplamaktadır. Aktivasyon fonksiyonu, toplam fonksiyondan elde edilen değere işlem yapan ve hücre çıkışını belirleyen bir fonksiyondur. En çok kullanılanlar doğrusal, sigmoid ve tanjant fonksiyonlarıdır (Da Silva ve diğ., 2017; M. Huiqun ve diğ., 2008; İ.,B. Topçu ve diğ., 2008). Çıktı ise ara katmanlarda işlem gördükten sonra dış dünyaya gönderilen sonuçlardır (Karahan, 2011).

YSA, ileri beslemeli ve geri beslemeli olmak üzere iki bölüme ayrılmaktadır (Karahan, 2011; İ.,B. Topçu ve diğ., 2008). Bu çalışmada ileri beslemeli YSA kullanılmıştır. İleri beslemeli ağlarda, bilgi her zaman giriş katmanından çıkış katmanına doğru olacak şekilde tek yönlü olarak iletilmektedir (Şekil 3.8). Bu mimaride, ağ çıkışlarının sayısı çıktı katmanındaki nöronların miktarı ile aynıdır (Da Silva ve diğ., 2017; Saygılı, 2008).



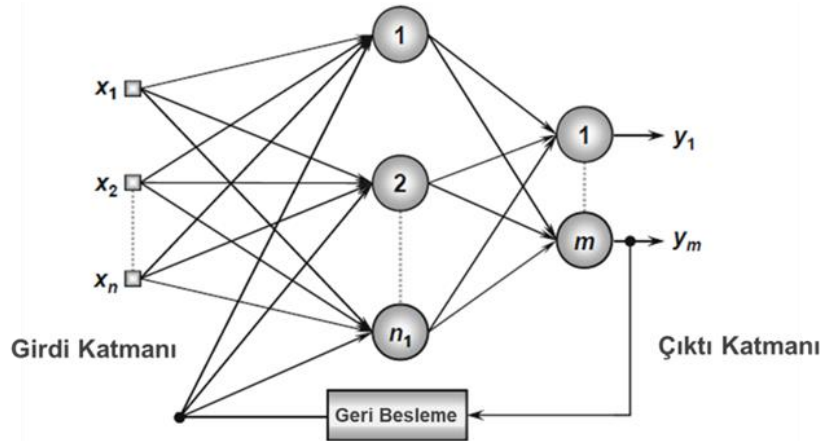
**Şekil 3.8 :** İleri beslemeli YSA bölümleri (Da Silva ve diğ., 2017).



Gizli katmandaki işlemci elemanı sayısı ve bunların ilgili nöron miktarı, ağ tarafından ortaya konulan sorunun niteliğine ve karmaşıklığına, ayrıca problemle ilgili mevcut verilerin miktarına ve kalitesine bağlıdır. Bu sayılar, problemin niteliğine göre kullanıcı veya system tarafından belirlenebilmektedir (Da Silva ve diğ., 2017; Karahan, 2011). Çıkış katmanında elde edilecek sonuç aşağıdaki gibi formüle edilmiştir (3.15):

$$y_m = f\left(\sum_n w_{mn}x_n\right) \quad (3.8)$$

Nöron çıktılarının girişlerine bağlanması ve bir geciktirme elemanı ile Şekil 3.9'da gösterilen ileri besleme şebekesinden, bir geri besleme YSA elde edilmektedir. Geri beslemeli YSA, dinamik sistemler olarak düşünülmekte olup geri beslemenin tamamlanması için belirli bir zaman aralığına ihtiyaç duyulur. Bu sayede, geri beslemeli YSA ayrık veya sürekli-zamanlı moda çalışabilir. Bu ağ yapısında, system çıktıları girdiler ile sürekli bir etkileşim içerisinde (Zurada, 1992; Karahan, 2011). Bu ağlar, karmaşık bir çalışma yapısına sahip olmasına karşın dinamik bir sistem olması nedeniyle bir çok kestirim çalışmasında önemli bir yöntem olarak kullanılmaktadır (Karahan, 2011). Bu çalışmada sigmoid gizli nöronları olan Levenberg-Marquardt geri yayılım algoritmasına sahip çok katmanlı ileri beslemeli bir YSA kullanılmıştır.



Şekil 3.9 : Geri beslemeli YSA'nın genel işleyişi (Da Silva ve diğ., 2017).

Geri beslemeli YSA'da nöronların çıktıları diğer nöronlar için geri besleme girdileri olarak kullanılır. Bu mimariye sahip ağlar, önceki çıkış değerlerini de dikkate alarak sistem çıktılarını üretir. Geri bildirim özelliği sayesinde dinamik bilgi işlem uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu durum zaman dizisi kestirimi, süreç kontrolü, sistem tanımlama ve optimizasyonu gibi zamana bağlı sistemlerde kullanılabileceği anlamına gelmektedir (Da Silva ve diğ., 2017).

YSA'nın en önemli özelliği, sistem davranışını ifade eden örneklerden öğrenebilme yeteneğidir. YSA'daki öğrenme süreci, istenen çıktılar elde etmek için gizli katman ile çıktı arasındaki bağlantı ağırlıklarını belirlemektir. Bu ağırlık değerleri, veriyi işlemek için gerekli olan bilgilerdir. Girdi ve çıktılar arasındaki ilişki öğrenildikten sonra çözümler genelleştirilebilir ve herhangi bir girdi değerinin beklenen (veya istenen) çıktısına yakın bir çıktı üretebilir. Genel olarak bir sinir ağının eğitim süreci, üretilen çözümlerin genelleştirilmesi için nöronlarının sinoptik ağırlıklarının ve eşiklerinin ayarlanmasında gerekli adımların uygulanmasını içermektedir (Da Silva ve diğ., 2017; Rao ve Srinivas, 2003; Karahan, 2011).

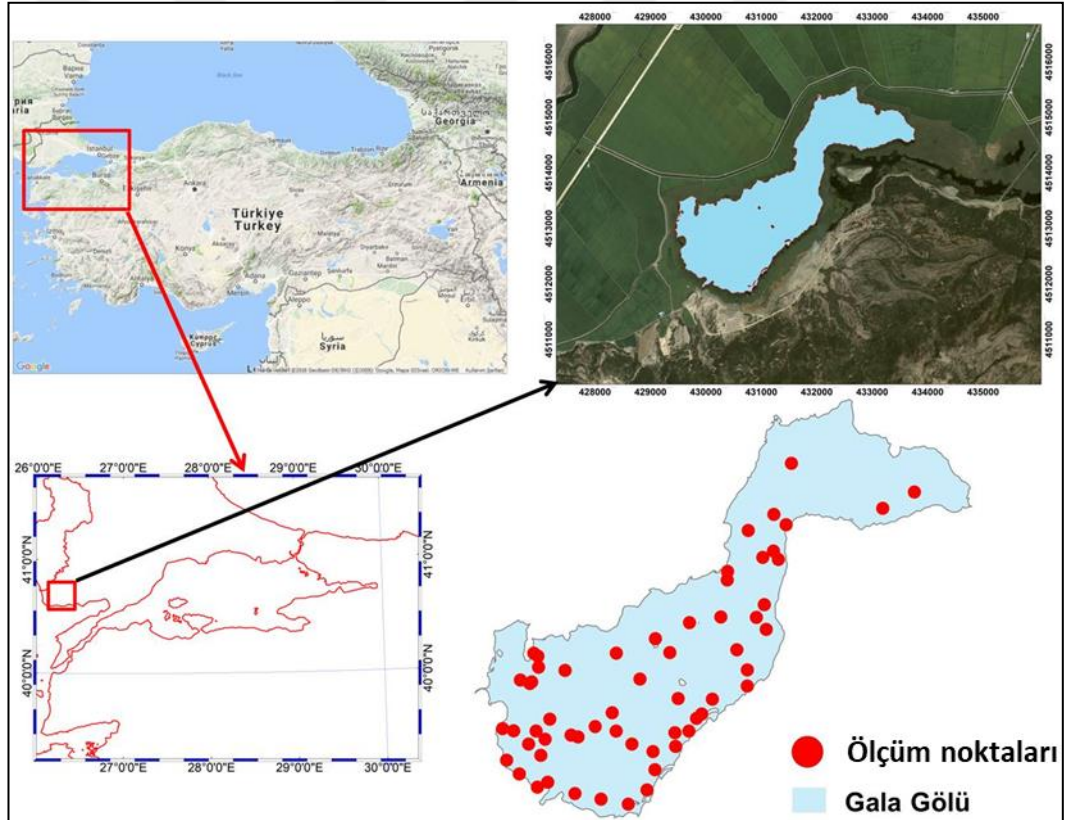
YSA eğitimi, ağ girişleri ve hedefleri üzerindeki belirli ön işleme aşamalarını gerçekleştirerek daha hızlı yapılabilir. Girdi olarak kullanılan verilerin normalize edilmesi verinin eğitime uygun hale getirilmesinde büyük bir etkiye sahiptir. Normalizasyon işlemi olmadan sinir ağlarının eğitilmesi çok fazla zaman olmaktadır. Normalizasyon, girdi olarak kullanılan verilerin aynı değerler aralığında ölçeklenmesi için kullanılmaktadır. Girdilerin genellikle farklı ölçeklerde olduğu modelleme uygulamalarında kullanılması işlem kolaylığı açısından önemli faydalar sağlamaktadır. Min-Maks, Sigmoid, Medyan ve Z-Skor en sık kullanılan normalizasyon yöntemlerindedir (Jayalakshmi ve Santhakumaran, 2011). Bu çalışmada, Min-Maks normalizasyonu kullanılmıştır (3.16). Bu normalizasyon yönteminde veri 0-1 aralığına indirgenmektedir.

$$x' = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (3.9)$$

## 4. MATERYAL VE YÖNTEMLER

### 4.1 Çalışma Alanı

Bu çalışma, Türkiye kuzeybatısında ( $40^{\circ}46'11''N$ ,  $26^{\circ}11'14''E$ ) Meriç Nehri deltasında yer alan, milli park niteliği taşıyan Gala Gölü ve çevresini kapsayan alanda gerçekleştirilmiştir. Gala Gölü, Meriç Nehri ve Ege Denizi ile bağlantılı alüvyal set gölüdür.  $5,6 \text{ km}^2$ 'lik bir alana sahip olup en derin noktası 2 m'dir (Şekil 4.1).

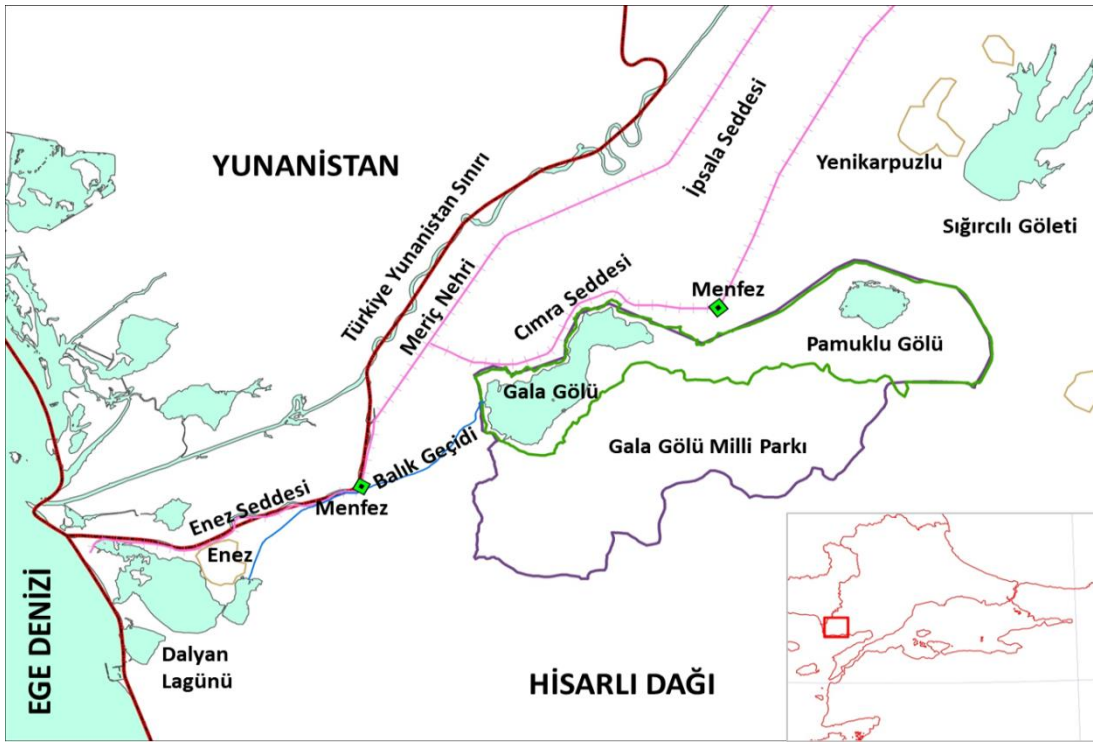


Şekil 4.1 : Çalışma alanı.

Gala Gölü, Meriç Nehri deltasında yer almakta olup Enez ilçesinin 10 km kuzeydoğusunda, Dalyan Gölü kuzeyinde, Sığırcı ve Pamuklu Gölleri'nin ise güneybatısında bulunmaktadır (Şekil 4.2).

Gölün hemen güneyini ise kıyıya paralel uzanan, çam ve bodur ağaçların kapladığı Hisarlı Dağı oluşturmaktadır. Gala Gölü, Meriç Nehri ve Ege Denizi ile bağlantısı olan Edirne ili İpsala-Enez ilçeleri arasında yer almaktadır. Deniz seviyesinden yüksekliği 2 m dir (Balcan, 2009; Özkoç, 2011).

Meriç Nehri taşkınlarına karşı koruma sağlamak için gölün kuzeyinde İpsala ve Cımra seddeleri mevcuttur. Meriç Nehri ile olan bağlantı 4 km uzunluğundaki balık geçidi ile sağlanmaktadır. Gala Gölü, balık geçidi sonunda bulunan menfezler sayesinde Meriç Nehri taşkınlarına karşı korunabilmektedir. Göl suları, Gala ayağı ile Dalyan lagününe ve oradan Ege Denizi'ne ulaşmaktadır (Dökmeci, 2005).



Şekil 4.2 : Gala Gölü Milli Parkı ve çevresi.

Gala gölü, Küçük ve Büyük Gala (Çeltik) olmak üzere birbirine bağlı iki bölümden oluşmaktadır. Her iki gölün toplam alanı 1.700 ha'dır. Gala Gölü ve çevresinde 30'dan fazla bitki türü bulunmaktadır. Büyük Gala Gölü'nde bitkiler genelde kıyı kesimini çevrelemektedir. Küçük Gala'da ise daha çok sazlıklar olmak üzere su üstü bitkileri yaygın ve çok sıktır (Şekil 4.3). Büyük Gala'da göl tabanının neredeyse tamamı su altı bitkileri ile kaplıdır. Gala Gölü ve çevresi, su kuşları için kış dönemini geçirdikleri ve kuluçkalama sahası olarak büyük önem taşımaktadır. Kış dönemlerinde göl ve çevresinde 100.000'e yakın kuş türü konaklamaktadır (Kıraç, 1993).



**Şekil 4.3 :** Gala Gölü ve çevresindeki bitki türleri (24 Ağustos 2017).

Gala Gölü, 1991 yılında alınan karar doğrultusunda Tabiatı Koruma Alanı kapsamına alınmıştır. Tabiatı Koruma Alanı; “bilim ve eğitim bakımından önem taşıyan nadir, tehlikeye maruz veya kaybolmaya yüz tutmuş ekosistemler, türler ve doğal olayların meydana getirdiği seçkin örnekleri ihtiva eden ve mutlak korunması gerekli olup sadece bilim ve eğitim amaçlarıyla kullanılmak üzere ayrılmış tabiat parçalarıdır” (Milli Parklar Kanunu, 1983). Gala Gölü, Tabiatı Koruma Alanı olarak ilan edilmesinden 14 yıl sonra, 2005/8547 sayılı Bakanlar Kurulu kararı ile resmi olarak Türkiye'nin 36. Milli Parkı kapsamına alınmıştır. Milli Park; “bilimsel ve estetik bakımından, milli ve milletlerarası ender bulunan tabii ve kültürel kaynak değerleri ile koruma, dinlenme ve turizm alanlarına sahip tabiat parçaları” şeklinde tanımlanmıştır (Url-6).

Gala Gölü Milli Parkı biyoçeşitlilik ve kuş varlığı yönünden sadece ülkemizin değil dünyanın en önemli tatlı su ekosistemlerinden birisidir. Gala Gölü, yerleşim bölgelerine ve endüstriyel alanlara uzak olduğundan evsel ve endüstriyel kirleticilere maruz kalma oranı yok denecek kadar azdır. Gala Gölü çevresinde yürütülen yoğun tarımsal faaliyetler, kullanılan gübreler ve kimyasal bileşikler (pestisitler) nedeniyle bazı dönemlerde kirlenmektedir (Özkoç, 2011; Takatlı ve diğ., 2014).

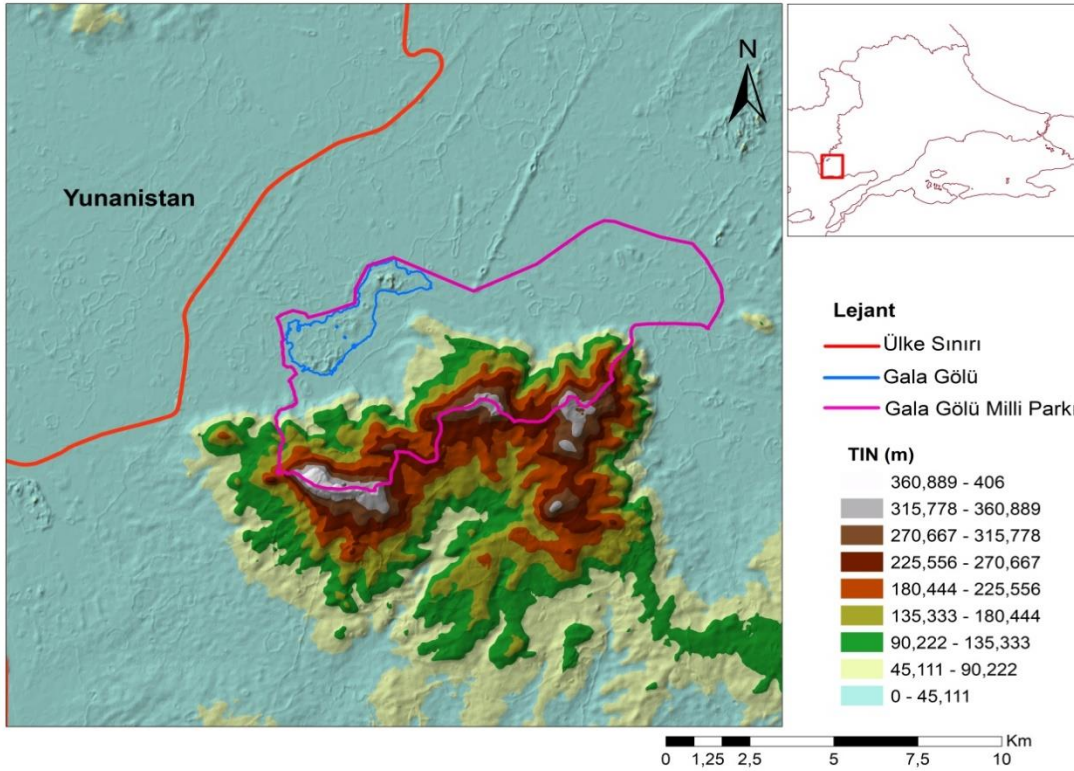
Tarımsal amaçlı kullanılan gübre ve pestisitler, göldeki su kalitesinin bozulmasına, göl dibinde taban çayrılarının oluşmasına ve gölün giderek ötrofik turba alanına dönüşmesine neden olmuştur (Kıraç, 1993). Su kirliliği alanın ekolojik yapısını bozmakta ve tuzluluğun artmasına neden olmaktadır.

Kış döneminde göl suyunun tuzluluk miktarı azalırken yaz dönemlerinde özellikle Telmata ve Cımra (Şekil 4.4) pompa istasyonlarından verilen drenaj suları ile tuzluluk ciddi oranda artmaktadır (Dökmeci, 2005).



Şekil 4.4 : Cımra pompa istasyonu (24 Ağustos 2017).

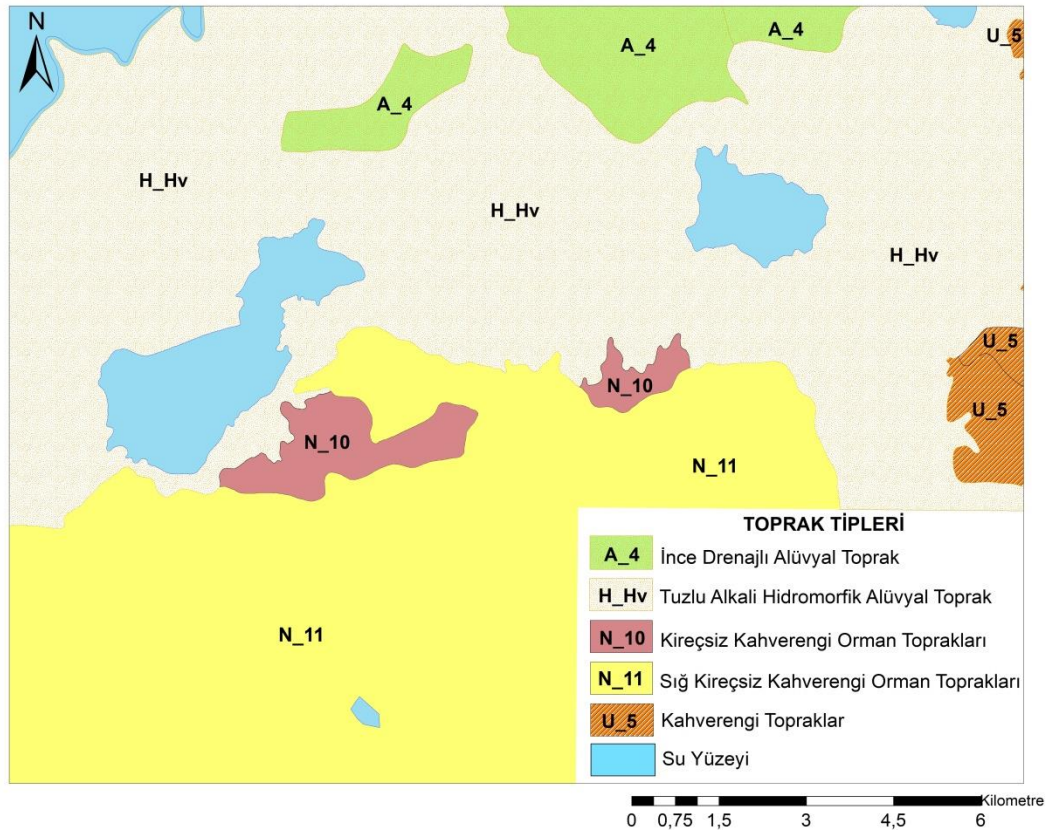
Gala Gölü ve yakın çevresinde yer alan tarım alanlarında, yükselti 0-45 m arasında değişmektedir. Gala gölü milli parkı sınırları içerisinde yer alan en yüksek bölge gölün hemen güneyinde bulunan Hisarlı Dağıdır (0-406 m). Genel anlamda Hisarlı Dağı haricinde kalan bölgenin tamamı düzlük bir alandan oluşmaktadır (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 : Gala Gölü ve çevresi TIN modeli.

Gala Gölü ve çevresi karasal iklimin hakim olduğu bir bölgedir. Yaz mevsimleri sıcak ve kurak, kışlar ise soğuk ve yağışlı geçmektedir. Gölün güneyinde yer alan Hisarlı Dağı haricinde bölge tamamen açıkta kaldığından kuzeyden ve batıdan esen rüzgarların hakimiyeti söz konusudur (Dökmeci, 2005). Meteoroloji Genel Müdürlüğü İpsala ölçüm istasyonu verilerine göre yıllık ortalama sıcaklık 14,1°C, en sıcak ay ortalaması 23,8 °C (Temmuz), en soğuk ay ortalaması 4,1 °C (Ocak) ve yıllık yağış ortalaması 612 mm olarak ölçülmüştür.

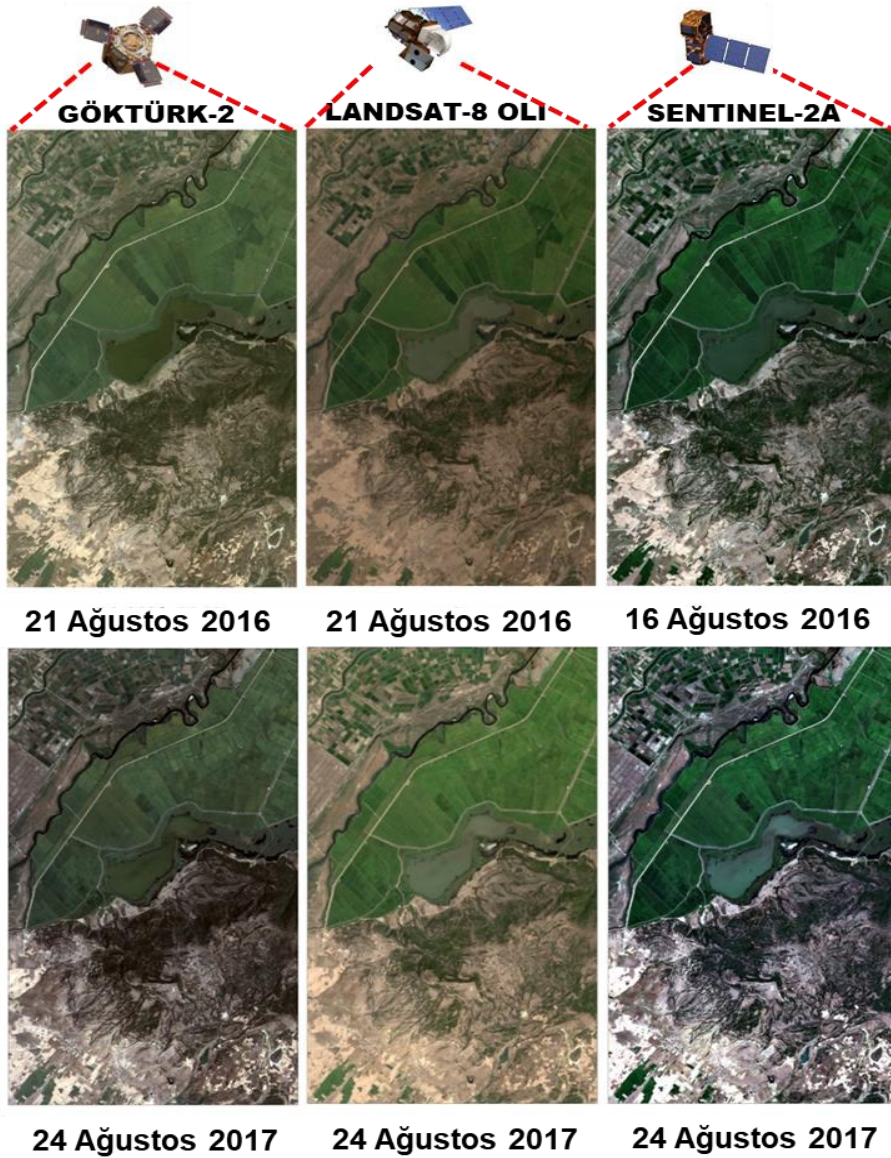
Gala Gölü kuzeyinde tarıma elverişli olmayan yetersiz ve drenajlı alüvyal topraklar ile tuzlu/alkali/hidroforfik alüvyal topraklar bulunmaktadır. Alüvyal topraklar nedeniyle göl çevresinin büyük bölümünü bataklık ve pirinç üretimi için kullanılan çeltik tarlalarından oluşmaktadır. Yağışlı dönemlerde hisarlı dağından gelen kahverengi orman toprakları göldeki AKM miktarını artırmakta ve SDD değerini azaltmaktadır. Doğusunda ise yer yer sığ ve derin kahverengi topraklar bulunmaktadır (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 : Gala Gölü ve çevresi toprak tipleri.

## 4.2 Uydu Görüntüleri

Çalışma alanının görüntüleri Göktürk-2, Landsat-8 OLI ve Sentinel 2A uyduları ile çekilmiştir (Şekil 4.7). Birinci arazi çalışması 21 Ağustos 2016, ikinci çalışma ise 24 Ağustos 2017 tarihinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmaların yapılacağı tarihler seçilirken mevsimsel değişimlerin en düşük seviyede olduğu ve algılayıcıların aynı anda bölgeden geçiş zamanları göz önünde bulundurulmuştur.



Şekil 4.7 : Gala Gölü ve çevresi toprak tipleri.

Ayrıca göl su yüzeyi değişimini tespit etmek için Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+, Landsat 8 OLI ve Göktürk-2'den oluşan toplam 9 adet görüntü kullanılmıştır (Çizelge 4.1 ).



**Çizelge 4.1 : Göl su yüzeyini belirlemek için kullanılan uydu görüntüleri.**

S/N	Uydu	Görüntüleme Tarihi	Göl Alanı (km <sup>2</sup> )
1	Landsat 5 TM	26.06.1984	3.815
2	Landsat 5 TM	14.08.1990	4.932
3	Landsat 5 TM	27.07.2001	4.775
4	Landsat 5 TM	22.09.2010	5.238
5	Landsat 7 ETM+	02.08.2012	5.466
6	Landsat 8 OLI	13.08.2013	5.336
7	Landsat 8 OLI	17.08.2014	5.260
8	Landsat 8 OLI	04.09.2015	5.363
9	Göktürk-2	24.08.2017	5.241

Arazi çalışmaları görüntü çekimleri ile aynı tarih ve zamanda yapılmıştır (Çizelge 4.2). Birinci arazi çalışmasında meteorolojik koşulların en uygun olduğu 16 Ağustos 2016 tarihli Sentinel 2A görüntüsü kullanılmıştır. Ölçüm noktaları, homojen bir dağılım oluşturacak şekilde seçilmiştir. Bu kapsamda birinci ve ikinci arazi çalışması için 30'ar örnek olmak üzere toplamda 60 farklı noktadan örnek alınmıştır. Çalışmada kullanılan görüntüler RGB bant kombinasyonunda eklerde sunulmuştur. Göktürk-2 görüntüleri Şekil A.1'de, Landsat 8 OLI görüntüleri Şekil A.2'de ve Sentinel 2A görüntüleri de Şekil A.3'te verilmiştir.

**Çizelge 4.2 : Görüntüleme ve arazi çalışması tarihleri.**

S/N	Algılayıcı	Görüntüleme Zamanı (UTC)	Arazi Çalışması (UTC)
1	Göktürk-2	08:05:09	21.08.2016 07:00-11:00
	Landsat-8 OLI	08:58:16	
	Sentinel-2A	09:00:22	
2	Göktürk-2	08:17:43	24.08.2017 06:00-10:00
	Landsat-8 OLI	08:58:14	
	Sentinel-2A	09:10:21	




Türkiye'nin ilk yüksek çözünürlüklü yer gözlem uydusu Göktürk-2, 18 Aralık 2012 tarihinde Çin'deki Jiuquan Fırlatma Üssü'nden yeryüzünden 686 km yükseklikteki yörüngesine başarılı bir şekilde yerleştirilmiştir. Göktürk-2 çıkış düğümü yerel zamanı (Local Time of Ascending Node-LTAN) 10:30 olan, 98.2° eğime sahip güneş eşzamanlı yer gözlem uydusudur. Güneş eşzamanlı yörünge, geniş küresel kapsama alanı, tutarlı erişim süresi ve nadire yakın açılarda görüntüleme avantajı sağlamaktadır. Göktürk-2 yüksek çevikliği sayesinde nokta, şerit, geniş alan, aynı ve farklı yörüngelerde stereo görüntü alabilme kabiliyetine sahiptir (Şekil A.4).

Göktürk-2 görüntü çerçeve boyutu 20x20 km olup, 2.5m PAN ve 5m MS çözünürlüğe sahiptir (Gürgenburan ve Çınar, 2015). Yörüngede altıncı yılını tamamlayan Göktürk-2 uydusuna ait teknik özellikler Çizelge 4.3'te verilmiştir. Göktürk-2 görüntüleri Hava Kuvvetleri Komutanlığı Uydu Kontrol Merkezi'nden metadata verileri ile birlikte “.tiff” formatta alınmıştır.

Landsat-8 OLI, 11 Şubat 2013 tarihinde ABD Vandenberg Hava Kuvvetleri Üssü'nden yeryüzünden 705 km yükseklikteki yörüngesine başarılı bir şekilde yerleştirilmiştir. Landsat 8 OLI ekvator üzerinden yerel geçiş zamanı 10:00 olan, 98.2° eğime sahip, güneş uyumlu ve yer izinini tekrar eden yer gözlem uydusudur. Uydu üzerinde OLI ve TIRS olarak isimlendirilen iki adet algılayıcı bulunmaktadır. Landsat 8 OLI görüntü çerçeve boyutu 170x185 km olup, 15 m PAN, 30 m MS (RGB, NIR, SWIR) ve 100 m termal bant çözünürlüğe sahiptir. Bu çalışmada kullanılan Landsat 8 OLI görüntüleri Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Merkezi (USGS) web sitesi üzerinden indirilmiştir. Landsat 8 OLI uydu verileri, Alaska'daki Gilmore Creek, Norveç'teki Svalbard ve ABD'deki USGS/EROS'da bulunan yer istasyonuna iletilmektedir (Landsat 8 (L8) Data Users Handbook, 2018). Yörüngede beşinci yılını dolduran Landsat 8 uydusuna ait teknik özellikler Çizelge 4.3'te verilmiştir.

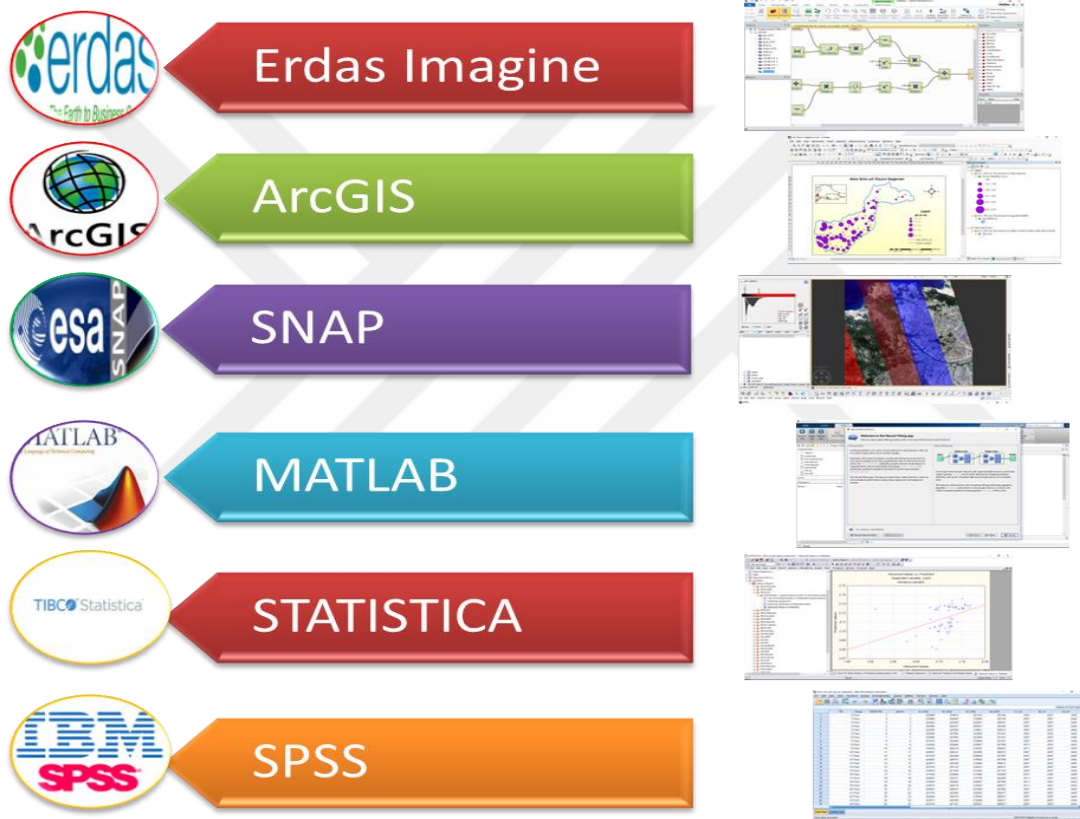
Sentinel-2A, 23 Haziran 2015 tarihinde Avrupa Uzay Ajansı'nın Fransız Guyanası'ndaki Kourou Fırlatma Üssü'nden yeryüzünden 786 km yükseklikteki yörüngesine başarılı bir şekilde yerleştirilmiştir. Sentinel 2A, ekvator üzerinden yerel geçiş zamanı 10:30 olan, 98.62° eğime sahip güneş uyumlu yer gözlem uydusudur. Sentinel-2A görüntü çerçeve boyutu, 290 km olup 10 m (Bant 2, Bant 3, Bant 4, Bant 8), 20 m (Bant 5, Bant 6, Bant 7, Bant 8a, Bant 11, Bant 12) ve 60 m (Bant 1, Bant 9, Bant10) çözünürlüğe sahiptir (Sentinel-2A User Handbook, 2015). Sentinel-2A görüntüleri ESA resmi web sitesinden indirilmiştir. Yörüngede üçüncü yılını dolduran Sentinel-2A uydusuna ait teknik özellikler Çizelge 4.3'te verilmiştir.

**Çizelge 4.3 : Göktürk-2, Landsat-8 OLI ve Sentinel 2A teknik özellikleri.**

Bant	Uydu	Mekansal Çözünürlük (m)	Spektral Çözünürlük (µm)	Radyometrik Çözünürlük (bit)	Zamansal Çözünürlük (gün)
 <b>GÖKTÜRK-2</b>					
0	Pan	2,5	0.420-0.750	11	+/- 5° için 11 gün +/- 30° için 2-3 gün
1	Kırmızı	5	0.596-0.750		
2	Yeşil	5	0.500-0.584		
3	Mavi	5	0.422-0.512		
4	NIR	5	0.762-0.894		
 <b>LANDSAT-8 OLI</b>					
1	Coastal Aerosol	30	0.43-0.45	12	16
2	Blue	30	0.45-0.51		
3	Green	30	0.53-0.59		
4	Red	30	0.64-0.67		
5	NIR	30	0.85-0.88		
6	SWIR 1	30	1.57-1.65		
7	SWIR 2	30	2.11-2.29		
8	Pan	15	0.50-0.68		
9	Cirrus	30	1.36-1.38		
10	Thermal Infrared 1	100*30	10.60-11.19		
11	Thermal Infrared 2	100*30	11.50-12.51		
 <b>SENTINEL 2A</b>					
1	Coastal Aerosol	60	0.42-0.45	12	10
2	Blue	10	0.43-0.53		
3	Green	10	0.53-0.58		
4	Red	10	0.64-0.68		
5	VRE	20	0.69-0.71		
6	VRE	20	0.73-0.74		
7	VRE	20	0.76-0.79		
8	NIR	10	0.76-0.90		
8a	NIR	20	0.84-0.88		
9	WV	60	0.93-0.95		
10	Cirrus	60	1.33-1.41		
11	SWIR	20	1.53-1.68		
12	SWIR	20	2.07-2.31		

### 4.3 Kullanılan Donanım ve Yazılımlar

Bu çalışmada kullanılan donanım ve yazılımlar Şekil 4.8’de özetlenmiştir. Görüntülerin geometrik düzeltme işlemleri, NDWI dönüşümü ve yüzey yansıtım değerlerinin hesaplanmasında Erdas Imagine yazılımı kullanılmıştır. Erdas Imagine, hem coğrafi, hem de vektör verileri işlenebilmesi için geliştirilmiş bir paket görüntü işleme yazılımıdır. Erdas Imagine, çok spektrumlu ve hiperspektral görüntüler ile LIDAR verilerin işlenmesinde etkili çözümler sunan görüntü işleme ve coğrafi bilgi sistemi yazılımıdır.



Şekil 4.8 : Kullanılan donanım ve yazılımlar.

Kestirim modellerinin oluşturulması ve gerekli hesaplamaların yapılması için STATISTICA, SPSS (Statistical Package for Social Sciences) ve MATLAB Yapay Sinir Ağları Arayüzü kullanılmıştır. STATISTICA, StatSoft tarafından geliştirilmiş ileri seviye bir analitik yazılım paketidir. STATISTICA veri analizi, veri yönetimi, istatistik, veri madenciliği, makine öğrenimi, metin analizi ve veri görselleştirme prosedürleri gibi alanlarda kullanılan analitik platformalardan birisidir.

SPSS, piyasa araştırması, anketler ve sosyal bilimler gibi alanlarda verileri analiz etmek için kullanılan kapsamlı bir istatistiksel analiz yazılımıdır. SPSS verileri raporlamak, grafiksel hale dönüştürmek, dağılım ve eğilimlerini belirlemek, istatistiksel analizler oluşturmak için kullanılmaktadır. SPSS hemen hemen her türden dosya formatına uyumludur.

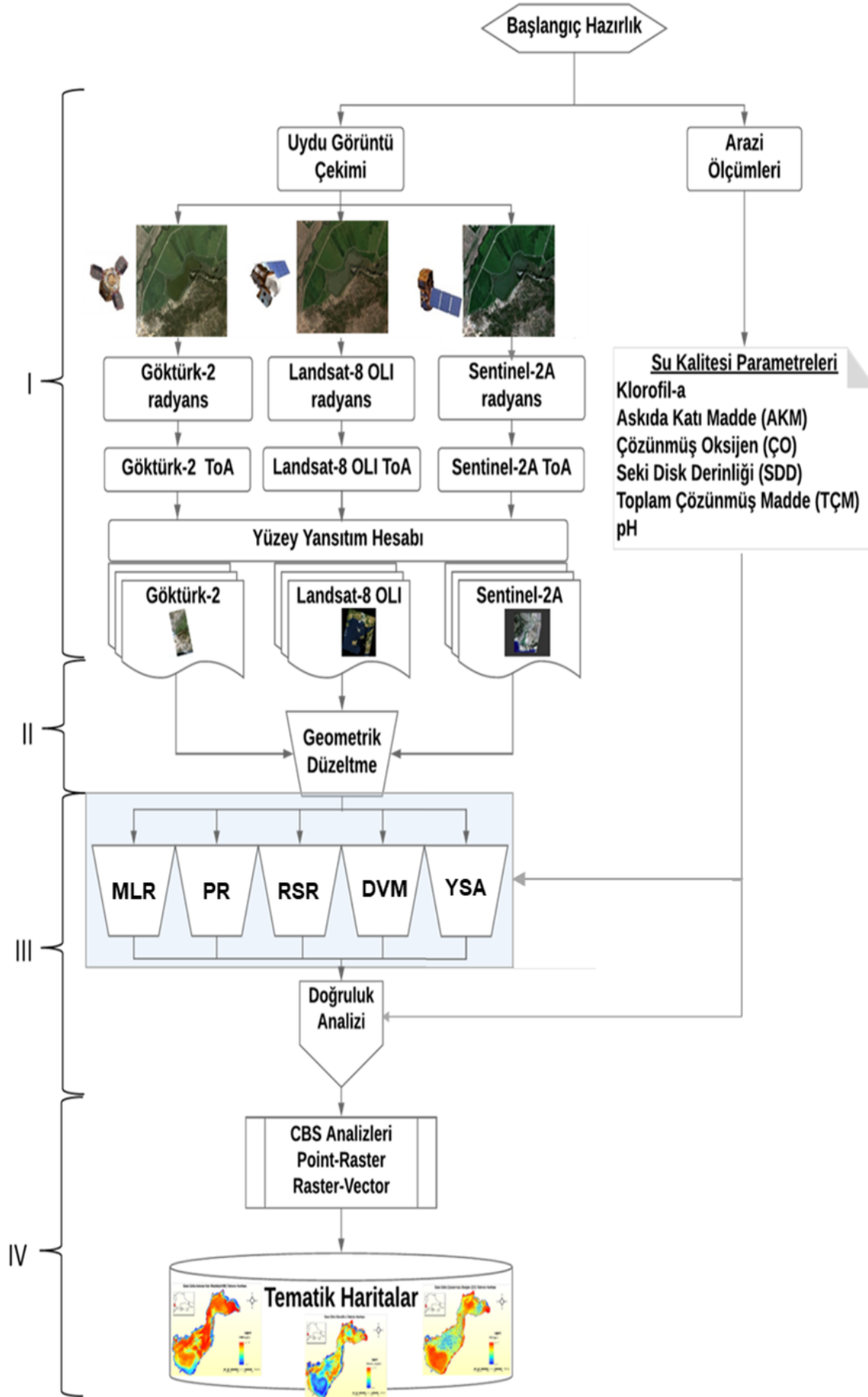
Matris Laboratuvarı anlamına gelen MATLAB, kendi programlama dili, entegre geliştirme ortamı ve kütüphaneleri (araç kutuları) ile kusursuz bir programlama ortamıdır. MATLAB, mühendisler ve bilim insanları tarafından görüntü ve sinyal işleme, iletişim, endüstriyel kontrol sistemleri, akıllı şebeke tasarımı, finansman ve robotik gibi birçok alanda kullanılmaktadır. MATLAB programı, matris hesaplamaları, algoritmaların geliştirilmesi ve çalıştırılması, kullanıcı arayüzleri, veri görselleştirme gibi bir çok kullanım alanını içermektedir.

Sentinel 2A görüntülerinin işlenmesi için ESA tarafından geliştirilmiş olan SNAP (Sentinel Application Platform) yazılımı kullanılmıştır. SNAP ESA tarafından geliştirilen uydu sistemlerine ait görüntülerin işlenmesine yönelik tasarlanmış görüntü işleme programıdır.

#### **4.4 Yöntemin Akış Diyagramı**

Bu çalışmada görüntülerin çekilmesi, arazi ölçümlerinin yapılması, radyans ve yüzey yansıtım değerlerinin elde edilmesi, geometrik düzeltme ve su kalitesi parametrelerinin kestirilmesi ve her bir su kalitesi parametresi için tematik haritanın oluşturulmasına kadar geçen süreç Şekil 4.9'da verilen akış çizelgesinde dört ana başlık (I-II-III-IV) altında özetlenmiştir.

Birinci adım (I) çalışma alanının Göktürk-2, Landsat-8 OLI ve Sentinel-2A uyduları ile görüntülenmesi ve ön işleme aşamalarını kapsamaktadır. Görüntü çekim tarihi belirlenirken, uyduların aynı anda bölge üzerinden geçmesi, meteorolojik koşulların uygun olması ve uydunun özelliğine bağlı olarak uydu kapasite durumu gibi kısıtlar göz önünde bulundurulmuştur. Planlamanın detaylı yapılması arazi ölçümleri için yapılacak gereksiz emek ve harcamanın önlenmesi açısından önemli faydalar sağlamaktadır.



Şekil 4.9 : Yöntemin akış diyagramı.

Birinci çalışmada kullanılan 16.08.2016 tarihli Sentinel 2A görüntüsü haricindeki görüntülerin tamamı arazi çalışmalarının yapıldığı tarihte çekilmiştir. Atmosferik düzeltme işlemi için DOS yönteminin modifiye edilmiş bir hali olan COST yöntemi kullanılmıştır. Atmosferik düzeltmeden sonra tüm görüntüler, bilineer enterpolasyon yöntemi uygulanarak Göktürk-2 görüntüsü RGB piksel boyutuna yeniden örneklenmiştir.

İkinci adımda (II) atmosferik düzeltme ve yeniden örnekleme işlemi sonrasında, tüm görüntüler geometrik olarak düzeltilmiş dolayısıyla örnekleme noktaları doğru bir şekilde konumlandırılmıştır. Tüm görüntüler WGS-84 datumuna ve UTM projeksiyon sistemindeki koordinatlara dönüştürülmüştür. Çalışmada kullanılan görüntülerin tamamı, Harita Genel Komutanlığı ortofotoları yardımıyla Erdas Imagine 2014 programı kullanılarak rektifiye edilmiştir.

Üçüncü aşamada (III) su kalitesi parametreleri, birer veri madenciliği yöntemi olan MLR, RSR, PR, SVM ve YSA yöntemleri kullanılarak modellenmiştir. Bu aşamada kestirim yöntemleri karşılaştırılarak doğruluk analizi yapılmış ve en doğru sonucu veren yöntem belirlenmiştir.

Dördüncü (IV) ve son aşamada ise; en doğru sonucu veren kestirim yöntemi ile Chl-a, ÇO, AKM, SDD, TÇM ve pH parametreleri için tematik haritalar oluşturulmuştur. Haritalar oluşturulurken nokta-raster ve raster-vektör dönüşümü gibi bir takım CBS dönüşüm işlemleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada arazi ölçümlerinin mekansal olarak haritalanması, göldeki yüzey yansıtım değerlerinin noktasal olarak vektör dönüşümün yapılması ve kestirim modellerinden elde edilen sonuçların görselleştirilmesi için ArcGIS yazılımı kullanılmıştır.

#### **4.5 Arazi Ölçümleri**

Arazi çalışması sırasında su örneklerinin muhafazası ve taşınması, ISO 5667-4 2016 Su Kalitesi Numune Alma Standardı Bölüm-4 Doğal Göller ve Barajlardan Numune Alma Klavuzuna göre yapılmıştır. Ölçümler sırasında Gala Gölü ve çevresinde çekilen fotoğraflar Şekil A.6 ve Şekil A.7'de verilmiştir. Çalışma alanının milli park olması nedeniyle Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü'nden gerekli araştırma izni alınmış olup Araştırma İzin Belgesi Şekil A.8'de verilmiştir.

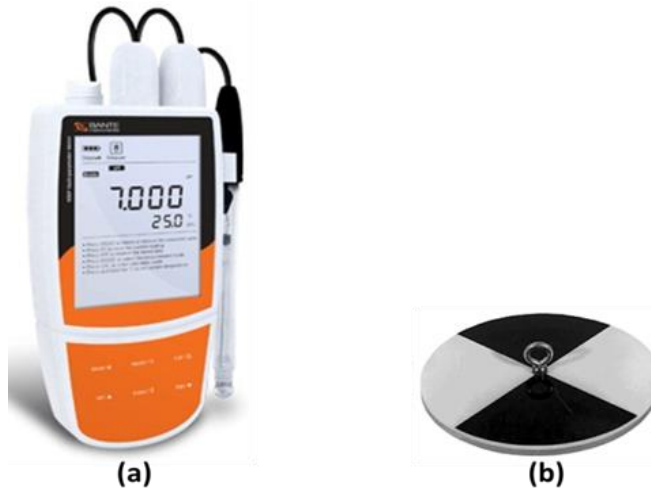
Arazi çalışmasında 60 farklı örnek noktasında yapılan ölçümler ve laboratuvar analizleri CBS ortamına aktarılmıştır. Ölçüm ve analiz sonucunda elde edilen verilerin dağılımını göstermek üzere haritalar çizilmiştir. Gölün kuzeydoğu ucunda balçık miktarının fazla olması teknenin ilerlemesine engel oluşturduğundan bu bölgeden kısıtlı miktarda örnek alınabilmektedir.

Gölden alınan örnekler sterilize şişelere konularak 60 litre kapasiteli iki adet saklama kabında muhafaza edilmiştir (Şekil-4.10). Alınan örnekler, analiz edilmek üzere aynı gün içerisinde laboratuvara teslim edilmiştir.



**Şekil 4.10** : Gölden alınan numuneler ve saklama kapları.

ÇO, pH, iletkenlik, su sıcaklığı, tuzluluk, TÇM ve direnç bilgileri arazide Bante 900P Multimetre cihazı ile (Şekil-4.11.a), SDD ve derinlik ise Secchi diski yardımıyla ölçülmüştür (Şekil-4.11.b). Bante 900P Multimetre cihazının teknik özellikleri eklerde detaylı bir şekilde verilmiştir (Şekil A.5).



**Şekil 4.11** : Bante 900P multimetre (a) ve Secchi diski (b).



Klorofil-a ve AKM ölçümü ise her istasyondan ayrı ayrı (30 adet numune kabı) örnek alınarak laboratuvarda gerçekleştirilmiştir. Alınan örnekler 1 ve 0.5 litrelik şişelere konulmuş ve analiz işlemine tabi tutulmadan önce 1-5 °C de saklama kaplarında tutulmuştur. Örnekler aynı gün içerisinde çevresel koşullardan en az seviyede etkilenecek şekilde transfer edilmiştir. Klorofil-a analizi EPA 446.0 metoduna, AKM analizi ise SM 2540 D gravimetrik metoduna göre akreditasyon sahibi laboratuvarda yapılmıştır. Her iki arazi çalışması sonucunda ölçülen ve analiz edilen parametreler Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Birinci arazi çalışmasına göre ortalama değerler, Chl-a: 69,50 mg/m<sup>3</sup>, AKM: 71,40 mg/L, pH: 8,37 mg/m<sup>3</sup>, ÇO: 11,20 mg/L, iletkenlik: 1713,20 ms/cm, sıcaklık: 24,41 C°, SDD: 28,23 cm, derinlik: 121,97 cm, tuzluluk: 0,83 ppt, TDS:858,30 ppm, direnç: 0,59 kΩ olarak ölçülmüştür (Çizelge 4.4).

İkinci arazi çalışmasında ise ortalama değerler, Chl-a: 49,70 mg/m<sup>3</sup>, AKM: 47,20 mg/L, pH: 8,21 mg/m<sup>3</sup>, ÇO: 11,70 mg/L, iletkenlik: 1796,47 ms/cm, sıcaklık: 23,02 C°, SDD: 48,77 cm, derinlik: 130,17 cm, tuzluluk: 0,97 ppt, TDS: 964,77 ppm, direnç: 0,53 kΩ olarak ölçülmüştür (Çizelge 4.5).

Arazi çalışması sırasında örnek noktalarında yapılan kalite parametresi ölçümleri ve laboratuvar analizi sonucunda elde edilen verilerin dağılımını göstermek üzere ArcGIS yazılımı kullanılarak Şekil 4.12'de sunulan dağılım haritaları hazırlanmıştır. Bu haritalarda Gala Gölü sınırı vektör verisi kullanılarak Chl-a, AKM, pH, ÇO, SDD, TÇM ve pH parametrelerinin dağılımı noktasal olarak gösterilmiştir. Gölün kuzeydoğu ucunda göl tabanındaki balçık miktarının fazla olması teknenin ilerlemesine engel oluşturduğundan bu bölgeden kısıtlı miktarda örnek alınabilmiştir.

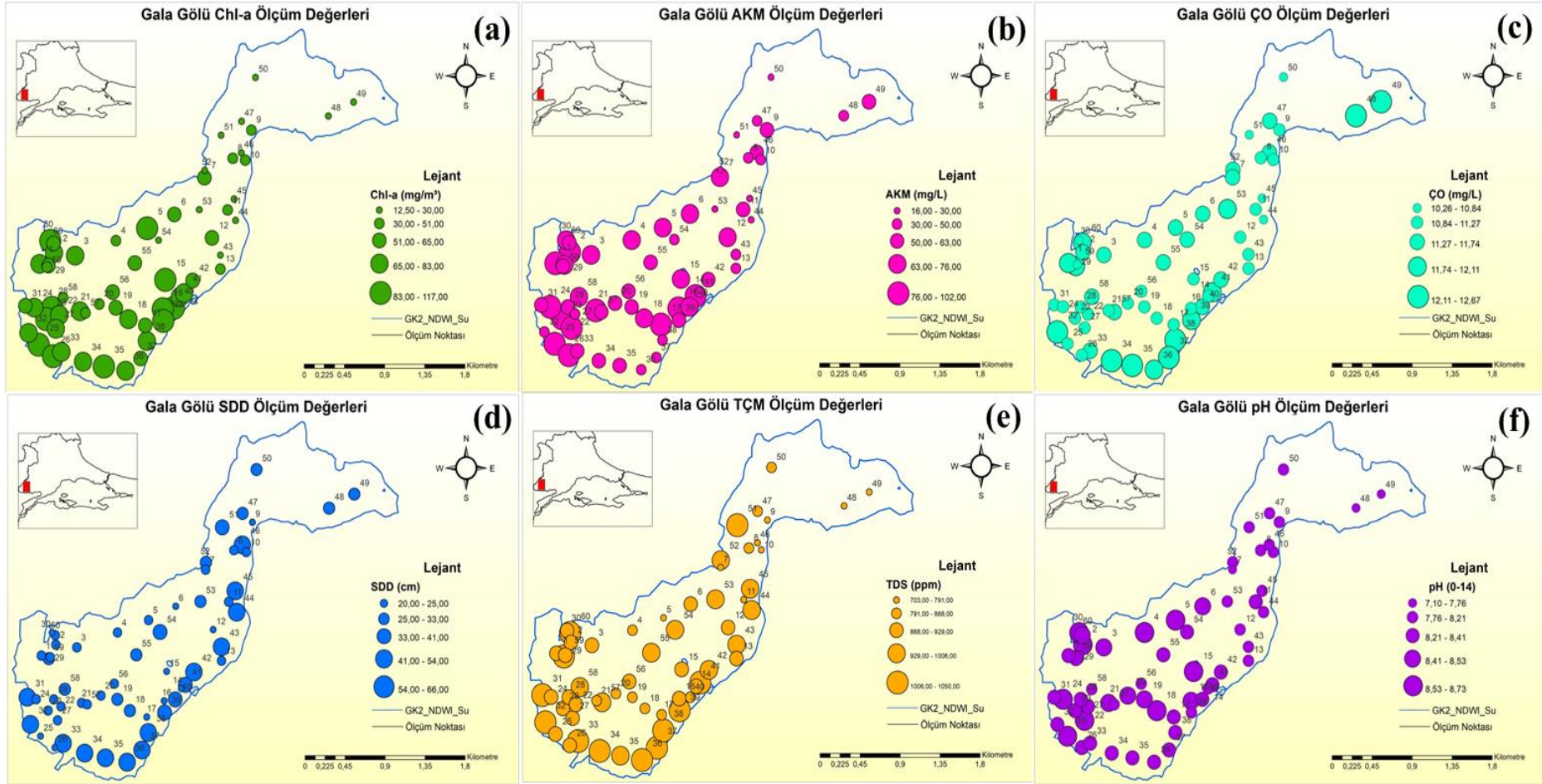
Ölçülen su kalite parametreleri, Türkiye Yüzeysel Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliği Kıtaİçi Yerüstü Su Kaynaklarının Kalite Kriterleri (YSYY, 2016) ve tatlı su balıklarının yaşamını sürdürebilmesi için belirlenmiş olan Avrupa Birliği Su Kalitesi Direktifi (EC Direktifi, 2006) referans alınarak karşılaştırma yapılmıştır (Çizelge 4.6).

**Çizelge 4.4 : Birinci arazi çalışması sonucunda elde edilen ölçümler.**

Nokta	Chl-a (mg/m <sup>3</sup> )	AKM (mg/L)	pH (0-14)	ÇO (mg/L)	İletkenlik (ms/cm)	Sıcaklık (C°)	SDD (cm)	Derinlik (cm)	Tuzluluk (ppt)	TÇM (ppm)	Direnç (k Ω)
1	72	81	8,264	11,81	1792	24,1	30	150	0,87	893	0,55
2	80	86	8,69	11,62	1775	23,4	32	115	0,85	883	0,56
3	75	76	8,43	11,69	1772	23,5	33	122	0,84	877	0,57
4	46	71	8,723	11,49	1650	23,6	27	118	0,79	824	0,6
5	86	73	8,595	11,56	1422	23,8	30	127	0,73	730	0,65
6	65	65	8,533	11,62	1748	23,6	25	122	0,84	874	0,5
7	56	68	7,109	11,56	1570	24,5	28	141	0,75	784	0,64
8	37	50	8,09	11,22	1722	23,7	29	136	0,83	862	0,59
9	38	57	8,138	11,22	1578	23,7	20	140	0,75	789	0,63
10	40	50	8,135	11,06	1381	24,3	33	114	0,69	707	0,69
11	41	52	8,342	11	1323	24,5	30	120	0,67	703	0,71
12	60	66	8,114	11,17	1760	24,1	25	110	0,86	881	0,56
13	51	49	8,003	11,27	1767	25,3	29	98	0,85	883	0,56
14	78	82	8,18	11,27	1844	24,9	23	102	0,9	922	0,54
15	117	72	8,605	11,06	1840	25,4	20	110	0,9	920	0,54
16	90	102	8,454	11,17	1835	24,1	25	115	0,89	915	0,54
17	63	81	8,392	11,11	1693	25,5	24	118	0,82	847	0,6
18	69	76	8,586	11,27	1709	24,2	35	126	0,82	852	0,58
19	58	56	8,517	11,06	1714	25,5	41	122	0,83	857	0,58
20	50	59	8,464	11,06	1678	24,1	29	122	0,81	841	0,59
21	79	80	8,48	11,27	1733	24,2	33	124	0,85	863	0,58
22	73	48	8,348	11,17	1767	24,2	30	121	0,89	882	0,56
23	86	81	8,39	11,17	1778	24,5	33	126	0,86	889	0,56
24	83	80	8,635	10,95	1756	25,7	29	130	0,85	878	0,56
25	92	100	8,587	10,9	1827	24,4	20	118	0,89	913	0,84
26	87	96	8,395	11,1	1859	24,3	25	118	0,91	929	0,53
27	73	79	8,738	10,9	1772	25	28	127	0,86	885	0,56
28	90	63	8,334	10,95	1764	24,6	31	128	0,86	884	0,56
29	65	72	8,33	10,58	1759	24,6	28	127	0,85	880	0,56
30	85	71	8,638	10,84	1808	25	22	112	0,88	902	0,55
Ortalama	69,50	71,40	8,37	11,20	1713	24,41	28,23	121,97	0,83	858,30	0,59

**Çizelge 4.5 : İkinci arazi çalışması sonucunda elde edilen ölçümler.**

Nokta	Chl-a (mg/m <sup>3</sup> )	AKM (mg/L)	pH (0-14)	ÇO (mg/L)	İletkenlik (ms/cm)	Sıcaklık (C°)	SDD (cm)	Derinlik (cm)	Tuzluluk (ppt)	TÇM (ppm)	Direnç (k Ω)
1	56,4	57	8,41	11,06	1785	25,1	66	132	1,06	1050	0,476
2	80,6	46	8,37	12,35	1790	23,2	56	120	1,04	1033	0,484
3	83	61	8,38	11,56	1946	24,1	60	130	1,03	1016	0,489
4	81,7	54	8,35	12,55	1652	21,6	60	120	1,02	1034	0,482
5	89,2	62	8,4	12,23	1957	22,1	60	140	0,99	980	0,487
6	74,9	49	8,37	11,99	1724	22	56	148	1	1016	0,49
7	61,5	49	8,32	12,3	1730	22	62	130	1,03	1021	0,496
8	71	43	8,33	12,48	1813	23,1	60	140	1,03	1015	0,495
9	88,3	55	8,21	11,99	1820	22,5	50	125	1,05	1033	0,483
10	91,3	68	8,37	11,74	1589	22,4	50	120	0,82	812	0,6
11	72,4	48	8,35	11,99	1968	23,8	54	120	1,06	1041	0,487
12	63	55	8,363	11,74	1734	22,2	62	110	1,01	1002	0,5
13	21,4	43	8,187	11,17	1995	22,3	64	115	1,01	995	0,5
14	22,8	27	8,16	10,73	1996	22,6	60	125	1	999	0,51
15	25	24	8,115	10,26	1965	22,4	60	120	1,01	994	0,5
16	23,3	58	8	11,69	1644	24,4	65	135	0,79	791	0,63
17	23,4	36	8,2	11,62	1637	23,9	34	140	0,82	819	0,61
18	21	37	7,766	12,67	1528	22,2	34	135	0,76	764	0,65
19	12,5	54	7,612	12,48	1538	22,8	36	110	0,77	769	0,65
20	24,2	16	8,007	10,62	1742	22,6	40	130	0,86	868	0,57
21	16,5	21	8,08	10,73	1613	22,4	46	145	1,07	1042	0,474
22	18	30	8,09	11,74	1958	22,9	40	135	1	989	0,5
23	22	29	8,146	11,86	1487	23	41	160	1	986	0,492
24	30	41	8,276	11,74	1980	22,9	48	130	1,01	1005	0,498
25	55	54	8,306	11,62	1986	24,5	35	125	0,99	970	0,5
26	63,3	58	8,21	11	1897	23,1	29	125	0,9	893	0,59
27	46	63	8,165	11,74	1916	22,6	30	140	0,97	962	0,7
28	42,2	66	8,041	11,39	1905	25,1	38	140	1,02	1006	0,497
29	47,56	57	8,33	12,11	1887	23,8	37	140	1,03	1020	0,5
30	63,6	55	8,496	11,86	1712	23	30	120	1,04	1018	0,49
Ortalama	49,70	47,20	8,21	11,70	1796	23,02	48,77	130,17	0,97	964,77	0,53



Şekil 4.12 : Su kalitesi ölçüm verileri dağılım haritası (a) Chl-a. (b) AKM. (c) ÇO. (d) SDD. (e) TÇM. (f) pH.

**Çizelge 4.6 :** Yüzey suları kalite yönetimi yönetmeliği su kalite sınıfları.

Parametre	Min	Max	Ortalama	Su Kalite Sınıfları			
				I	II	III	IV
Genel Şartlar							
ÇO (mg/L)	10,26	12,67	11,45	> 8	6	3	< 3
pH	7,11	8,74	8,29	6,5-8,5	6,5-8,5	6,0-9,0	6,0-9,0
İletkenlik (µS/cm)	1323	1996	1754	< 400	1000	3000	> 3000

Birinci ve ikinci arazi çalışmasında, ÇO ortalama değeri 11.45 mg/L olarak ölçülmüştür. 2006/44/EC direktifine göre ÇO değerinin asgari 4 mg/L olması gerektiği belirtilmiştir. YSY-2016 kalite kriterlerine göre ise I. Sınıf yüksek kaliteli su (çok iyi) olarak tespit edilmiştir. Gölün güneybatı kısmındaki yüksek ÇO değerinin (Şekil 4.12), düşük bitki yoğunluğuna ve Meriç Nehri ile olan yakın bağlantısına bağlı olduğu değerlendirilmektedir. 2006/44/EC direktifi kalite kriterleri dikkate alındığında pH değeri 6 ile 9 arasında olması gerekmektedir. Buna göre pH'ın 8.29 ortalama değeri ile söz konusu limitler içerisinde olduğu görülmüştür.

Yapılan ölçümlerde pH YSY-2016 kalite kriterlerine göre ise I. Sınıf yüksek kaliteli su olarak tespit edilmiştir. İletkenlik parametresi 1323 ile 1996 µS/cm arasında değişkenlik göstermiş ve ortalama 1754 µS/cm olarak kaydedilmiştir. İletkenlik, 2006/44/EC direktifi değerlendirme kapsamına alınmamış olup YSY-2016 kalite kriterlerine göre II. Sınıf (iyi) kaliteli su olarak saptanmıştır.

Geçmiş dönemlerde Gala Gölü su kalite parametre verilerine yönelik (Öterler ve diğ., 2005; Zal ve diğ., 2006; Tokatlı ve diğ., 2014) yapılan çalışmalar ile her iki arazi çalışmasında elde edilen ölçümler Çizelge 4.7'de verilmiştir. Yapılan değerlendirmeye göre, geçmişten günümüze doğru yaklaştıkça su kalitesi parametrelerinde iyileşme olduğu görülmüştür. Özellikle 2005 yılında Gala Gölü'nün milli park ilan edilmesi ile birlikte su kalitesinde önemli bir iyileşme olduğu tespit edilmiştir.

**Çizelge 4.7 :** Geçmiş dönemlerde yapılan çalışmalar ve su kalite sınıfları.

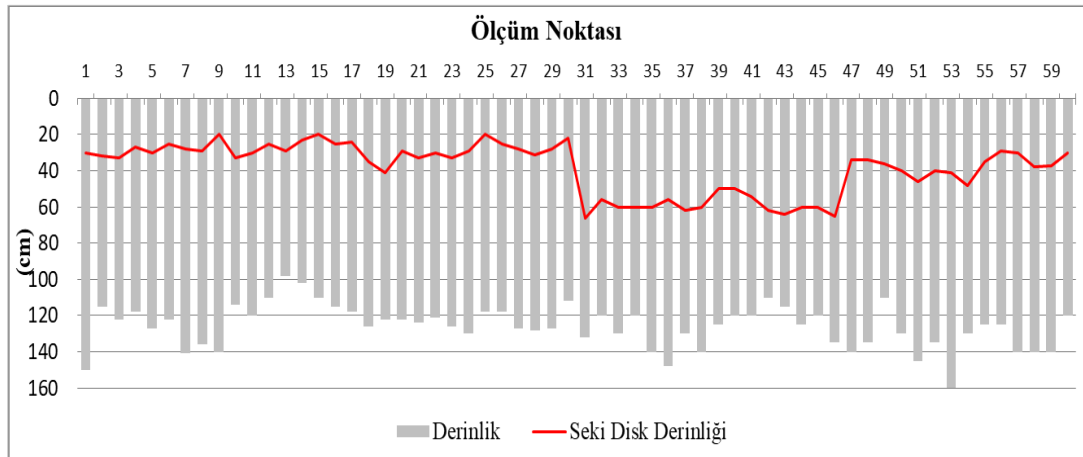
Parametre	2003	2005	2013	2016	2017	Su Kalite Sınıfları			
						I	II	III	IV
ÇO (mg/L)	9,7	12,4	9,56	11,2	11,7	> 8	6	3	< 3
pH	7,65	8,3	8,1	8,37	8,21	6,5-8,5	6,5-8,5	6,0-9,0	6,0-9,0
İletkenlik (µS/cm)	-	2277	1949	1713	1796	< 400	1000	3000	> 3000

Çizelge 4.8’de Göl, Gölet ve Baraj Göllerinde Trofik Sınıflandırma Sistemi sınır değerleri detaylı bir şekilde verilmiştir. Yapılan değerlendirme neticesinde; Chl-a konsantrasyonu ortalama değeri 59,6 µg/L, SDD ortalama değeri 0,38 m ve ÇO değeri 11.4 mg/L olarak ölçülmüştür. Elde edilen bu değerlerin, YSY-2016 tablosuna göre canlı yaşamı için tehlike teşkil eden hipertrofik (parametrelerin farklı seviyelerde çıkması durumunda Chl-a belirleyici konumundadır) göl sınıfına tabi olduğu görülmektedir. OECD (1982) yüzey suları kalite kriterlerine göre ise hipertrofik seviyededir.

**Çizelge 4.8 :** Göl, gölet ve baraj gölleri ötrofikasyon kriterleri.

Parametreler	Toplam P (µg/L)	Toplam N (µg/L)	Klorofil-a (mg/m <sup>3</sup> )	SDD (m)	ÇO (mg/L)
Min.	-	-	12.5	0.2	10.2
Max.	-	-	117	0.66	12.6
Ort.	-	-	59.6	0.38	11.4
S.Sapma.	-	-	24.8	0.13	0.53
<i>YSY-2016 Ötrofikasyon Kriterleri</i>					
Oligotrofik	≤10	≤350	<3.5	>4	>7
Mezotrofik	30	650	9	2	6
Otrofik	100	1500	25	1	3
Hipertrofik	>100	≤350	>25	<1	<3
<i>OECD 1982 Ötrofikasyon Kriterleri</i>					
Oligotrofik	-	-	<2.5	>3	-
Mezotrofik	-	-	2.5-8	1.5-3	-
Otrofik	-	-	8-25	0.7-1.5	-
Hipertrofik	-	-	>25	<0.7	-

Arazi çalışmasında yapılan ölçümlerde gölün ortalama derinliği 126 cm ve SDD 38.5 cm olarak ölçülmüştür (Şekil 4.12). Gölün YSY (2016) ve OECD (1982) ötrofikasyon kriterlerine göre SDD yönünden hipertrofik seviyededir.



**Şekil 4.13 :** Gala Gölü ortalama derinlik ve Secchi disk derinliği.

#### 4.6 Atmosferik Düzeltme

Işın transfer teorisi, su kalitesi parametrelerinin uzaktan algılama verileri ile tespit edilmesine temel oluşturmaktadır. Bir su yüzeyine gelen güneş radyasyonu su tarafından ya emilir ya da geri yansıtılır. Geri yansıtılan radyasyon, su molekülleri de dahil olmak üzere tüm su bileşenlerinin yutma ve dağılma özellikleri ile karakterize edilir (Mobley, 1994). Bu nedenle algılayıcıda kaydedilen yansıtım değeri, su ve bileşenleri hakkında bilgi içerir.

Su yüzeyinden yansıyan radyasyon atmosferden geçerek algılayıcı tarafından kaydedilir. Su yüzeyinden yansıyan radyasyon atmosferden geçerken hava molekülleri ve toz parçacıklarından kaynaklanan saçılım, sera gazı ve su buharından kaynaklı yutulma ve saçılma gibi bir takım bozucu etkilere maruz kalmaktadır (Mobley, 1994). Bunlar suyun yüzey yansıtım değerinin hesaplanmasında göz önünde bulundurulması gereken etkilerdir.

Uzaktan algılama verilerinden nicel sonuçlar çıkartabilmek için algılayıcı tarafından kaydedilmiş dijital değerlerin, yüzey yansıtımı gibi fiziksel büyüklüklere dönüştürülmesi gerekmektedir. Uydu görüntülerinin büyük bir çoğunluğunun bu gibi uygulamalar için doğrudan kullanımı mümkün değildir (Yongseung ve Kwangjae, 2005). Bu nedenle, arazi çalışmasında çekimi yapılan görüntülerin atmosferik düzeltme, başka bir ifade ile yüzey yansıtım dönüşümü gerçekleştirilmiştir. Yüzey yansıtımında izlenen adımlar Şek.4.14'te verilmiştir.



Şekil 4.14 : Yüzey yansıtım değerlerinin hesaplanmasında izlenen adımlar.

Yüzey yansıtım değerindeki küçük değişimlerin önemli olduğu su kalitesi parametrelerinin doğru tespit edilebilmesi için atmosferik düzeltme işlemi en önemli gereksinimlerden birisidir. Atmosferik etkilerin giderilmesi ve algılayıcı çıkışında doğru yüzey yansıtım değerinin elde edilmesi için uygun atmosferik düzeltme yönteminin kullanılması önemli bir rol oynamaktadır (Nazeer ve Nichol, 2014; Lin ve Huang, 2009). Uydu görüntülerinde atmosferik düzeltme işleminin yapılabilmesi için birçok yöntem önerilmektedir (Cavez, 1988; Cavez, 1996; Lin ve Huang, 2009; Liu ve diğ., 2016).

Çalışma alanında atmosferik ölçümler yapmadan görüntünün kendisinden birtakım bilgiler çıkartılarak atmosferik durum hakkında bilgi edinmemizi sağlayan yöntemler geliştirilmiştir (Moran, 1992). Atmosferik düzeltmeler için koyu nesne çıkartma yöntemlerinden birisi olan COST yöntemi kullanılmıştır (Cavez, 1988; Cavez, 1996; Moran, 1992). Bu yöntemdeki temel varsayım; bazı nesnelerin tamamen gölgede kalmış olmasına rağmen sensörde bir miktar ışınımın kaydedildiği ve bu ışınımın yol radyansından (path radiance) kaynaklandığı esasına dayanmasıdır (Cavez, 1996; Moran, 1992 ). Bu kapsamda uydu görüntülerindeki yüzey yansıtımının ( $\delta_s$ ) hesaplamasında denklem 4.1 kullanılmıştır.

$$\delta_s = \pi(L_\lambda - L_p)d^2 / T_v(ESUN_\lambda \cos\theta_s T_z) + E_{down} \quad (4.10)$$

$L_\lambda$ =Algılayıcıdaki spektral radyans [W/m<sup>2</sup>sr $\mu$ m]

$L_p$ =Yol radyansı

$d$ = Dünya-Güneş mesafesi [astronomik birim]

$ESUN_\lambda$ = Ortalama solar ışınım [W/m<sup>2</sup> $\mu$ m]

$T_v$ = Görüntüleme yönündeki atmosferik geçirgenlik

$T_z$ = Aydınlanma yönündeki atmosferik geçirgenlik

$E_{down}$ = Aşağı yönlü ışınım

COST yönteminde  $T_v=1$ ,  $T_z=\cos\theta_s$  ve  $E_{down}=0$  varsayımı yapılmaktadır. Buna göre yüzey yansıtımı aşağıdaki gibi ifade edilir (4.2)

$$\delta_s = \pi(L_\lambda - L_p)d^2 / ESUN_\lambda (\cos\theta_s)^2 \quad (4.2)$$



Uydu görüntüleri yüzey yansıtım değerini elde etmek için oluşturulan mekansal model ve fonksiyon bilgileri Şekil 4.15'te sunulmuştur. Bu model Erdas Imagine Spatial Model Editor aracı kullanılarak oluşturulmuştur. Bu yöntem sayesinde, atmosferik bilgilere gerek duyulmadan, görüntü bilgilerinden faydalanarak yüzey yansıtımı elde edilmiştir. Bu durum, görüntü çekimi esnasında ölçülmesi her zaman mümkün olmayan atmosferik bilgiler kullanılmadan gerçek yüzey yansıtımına yakın değerlerin hesaplanmasına olanak sağlamaktadır.

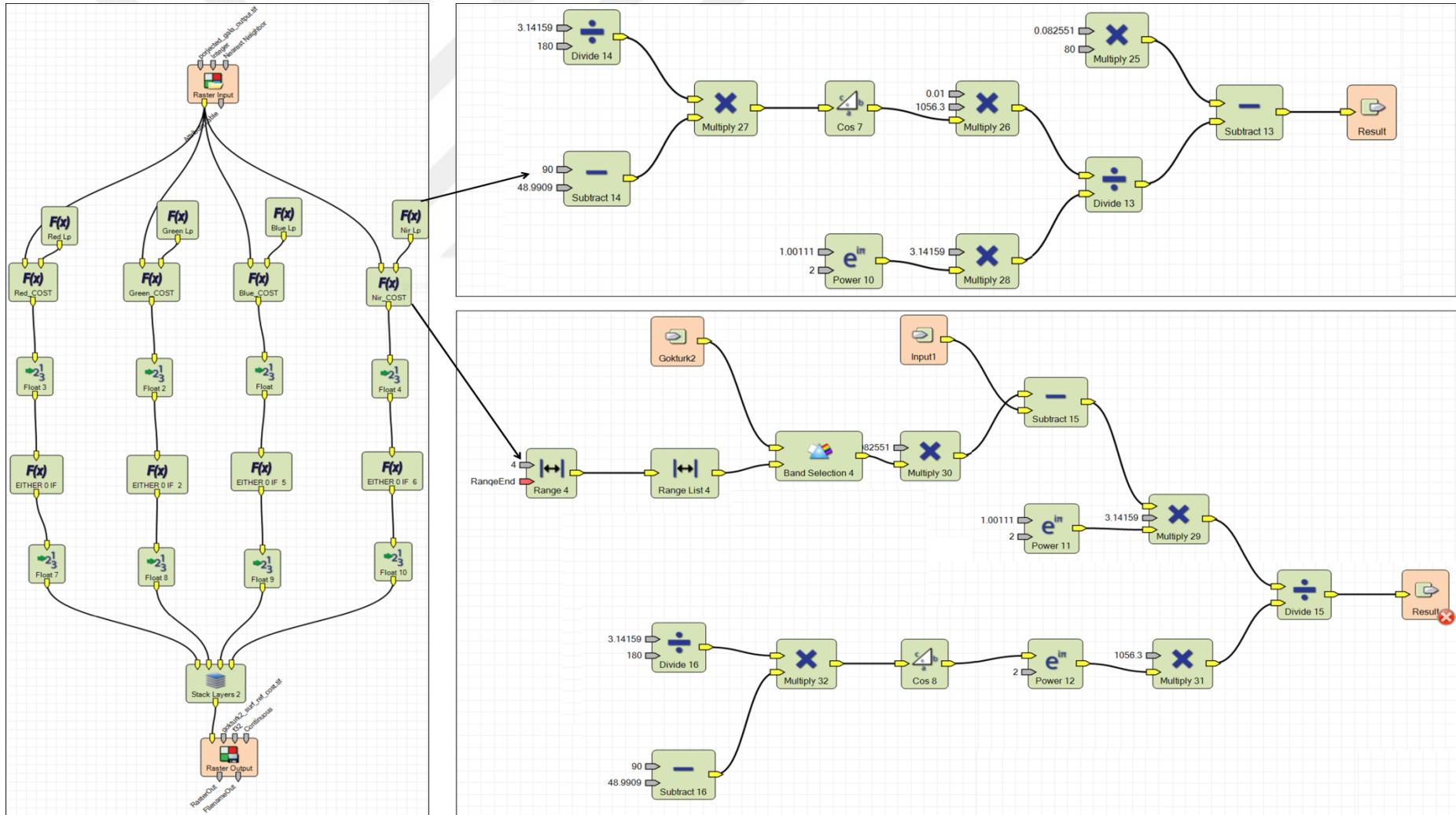
COST modeli güneş açısını, güneş-dünya arasındaki mesafe, atmosferik saçılım ve atmosferik geçirgenlik gibi etkileri düzeltmesi nedeniyle bu çalışmada yüzey yansıtım değerinin hesaplanmasında kullanılmıştır. Buna göre, yeşil, kırmızı ve kızılötesi dalga bantları, alg patlamaları ve bulanık su kütesinden dolayı nispeten yüksek yüzey yansımalarına sahiptir, bu yüzden su kalitesi parametrelerini tespit etmek için kullanılmıştır.

Yol radyansı ile bantlar arasında üstel ilişki bulunmaktadır. Göktürk-2 görüntüleri için elde edilen yol radyansı ve spektral bant merkez değerleri Çizelge 4.9'da, bu değerler aralarındaki üstel ilişki ise Şekil 4.16'da gösterilmiştir.

**Çizelge 4.9 :** Göktürk-2 yol radyansı ve spektral bant merkez değerleri.

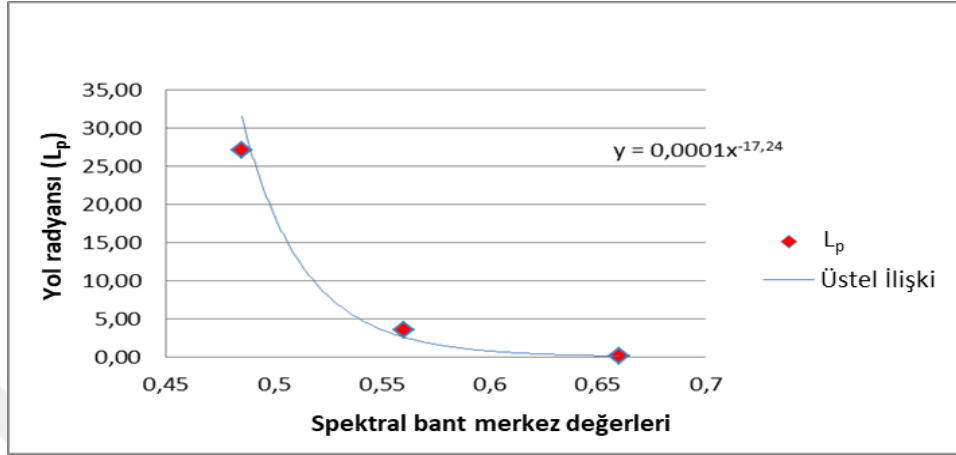
Bant	Spektral Bant Merkezi	DN (Lp)	Yol Radyansı (Lp)
Mavi (B3)	0,485	356	27,16
Yeşil (B2)	0,56	80	3,53
Kırmızı (B1)	0,66	40	0,14

Şekil 4.16'da görüldüğü üzere küçük dalga boylarında saçılım daha yüksek olmakta ve dalga boyu arttıkça saçılım azalmaktadır. Bu durum, görünür dalga boylarında özellikle mavi dalga boyunda saçılımın çok etkili olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla hassas hesaplama gerektiren uygulamalarda atmosferik düzeltme işlemi kaçınılmaz olmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada su kalitesi kestirim modeli oluşturmak için kullanılan bütün görüntülerin yüzey yansıtım dönüşümü yapılmıştır



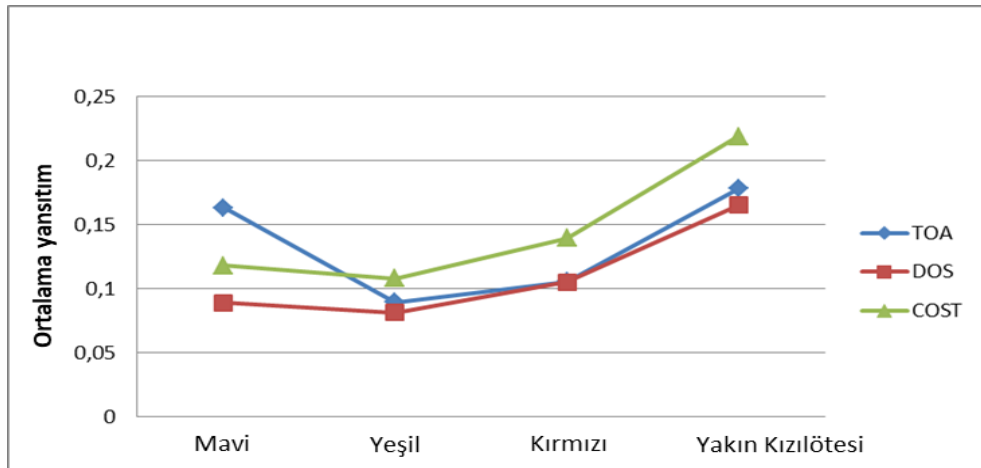
Şekil 4.15 : Yüze yansıtım modeli

Şekil 4.17’de Göktürk-2’nin her bandı için ortalama yansıtım değerini gösteren grafik verilmektedir. Söz konusu grafik incelendiğinde atmosferik etkinin artan dalga boyuna göre azaldığı, dolayısı ile atmosfer etkisinin dalga boyu ile ters orantılı olduğu görülmektedir.



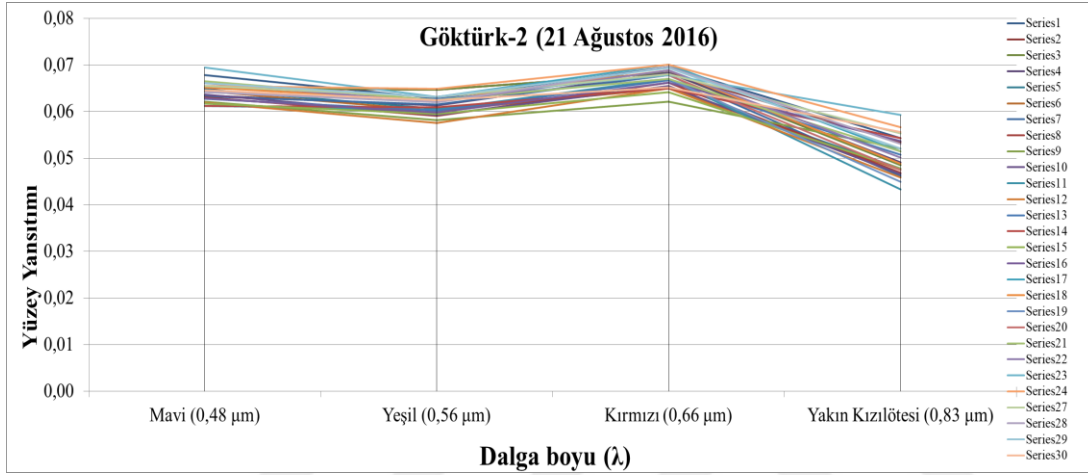
Şekil 4.16 : Göktürk-2 bant ve yol radyansı (L<sub>p</sub>) değerleri.

Göktürk-2 görüntüleri kullanılarak COST modelinden elde edilen yüzey yansıtım DOS modeline göre daha yüksek değerler almıştır. DOS ve COST modelleri güneş açısını, güneş-dünya arasındaki mesafe, solar ışınım ve atmosferik saçılım gibi etkileri düzeltmektedir. COST modeli DOS’tan farklı olarak atmosferik geçirgenliği de düzelttiğinden DOS modeline göre daha doğru sonuçlar vermiştir. Birinci arazi çalışması ölçüm noktalarına karşılık gelen Göktürk-2 yüzey yansıtım değerleri Çizelge A.1’de, ikinci arazi çalışması yüzey yansıtım değerleri ise Çizelge A.2’de verilmiştir. Bu değerler Erdas yazılımı kullanılarak hesaplanmış ve ArcGIS ile vektör formatta ölçüm noktası bazında tablo haline getirilmiştir.



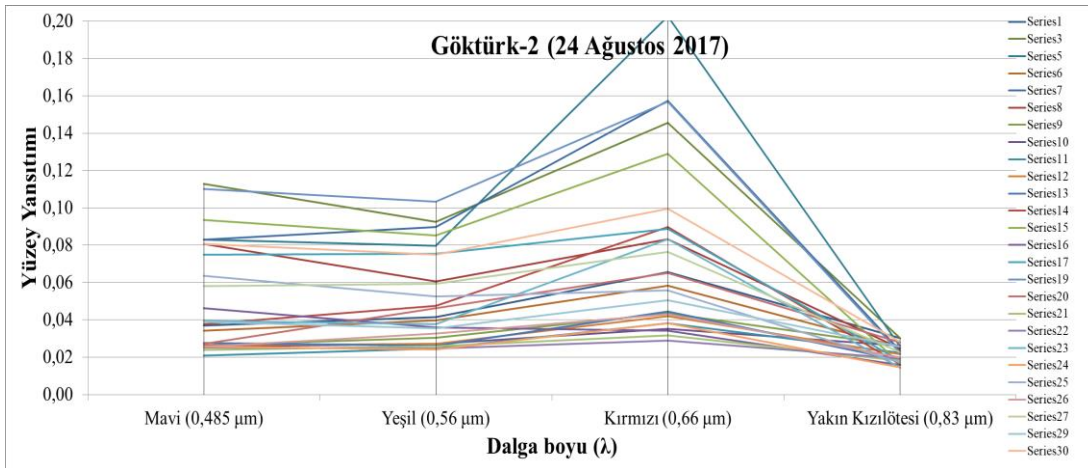
Şekil 4.17 : Ortalama yansıtım değerleri.

Birinci çalışma alanı ölçüm noktalarına karşılık gelen Göktürk-2 yansıtım değerleri Şekil 4.18'de verilmiştir. Grafiğe göre, mavi ve kırmızı banttaki yansıtım değerlerinin yüksek olduğu, dolayısı ile bu bölgedeki yutulma oranının düştüğü görülmektedir. Yeşil dalga boyunda ise yansıtımın düştüğü ve yutulma miktarının artış gösterdiği saptanmıştır. Yakın kızılötesi bantta ise yansıtım değerinin keskin bir şekilde düştüğü görülmektedir. Bu durumun, su kütlelerinin yakın kızılötesi bandındaki yutulma özelliğinden kaynaklı meydana geldiği değerlendirilmektedir.



Şekil 4.18 : Birinci çalışma alanı Göktürk-2 dalga boyu-yüze yansıtımı ilişkisi.

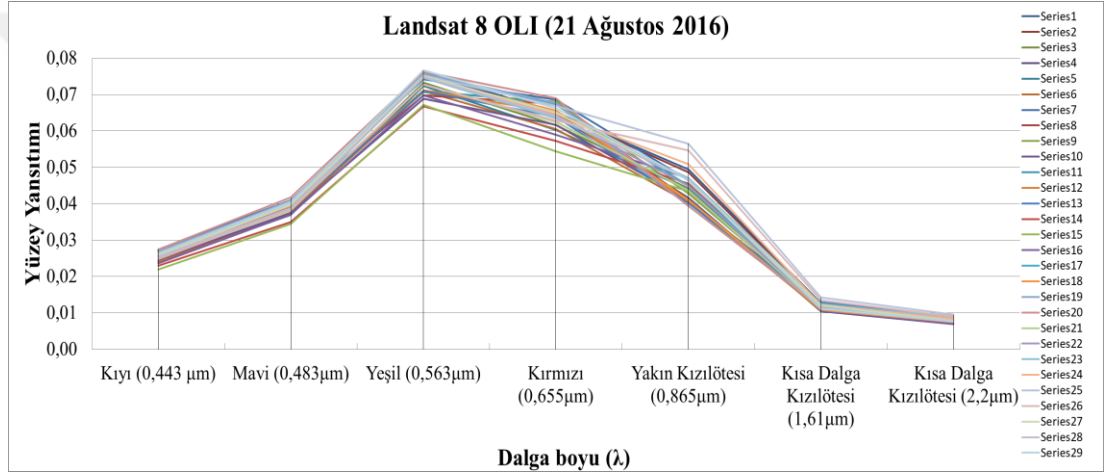
24 Ağustos 2017 tarihinde gerçekleştirilen ikinci ölçüm sonucu (Şekil 4.19) incelendiğinde birinci ölçüm sonuçlarına göre daha yüksek yansıtım değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Yüksek yansıtım değerinin, ikinci ölçüm öncesinde meydana gelen meteorolojik olaylardan kaynaklı olduğu değerlendirilmektedir. Birinci ölçüme benzer olarak mavi ve kırmızı dalga boylarında yansıtımın yüksek olduğu, yakın kızılötesi bantta ise keskin bir düşüşün meydana geldiği saptanmıştır.



Şekil 4.19 : İkinci çalışma alanı Göktürk-2 dalga boyu-yüze yansıtımı ilişkisi.

Ölçüm noktalarına karşılık gelen birinci çalışma alanına ait Landsat-8 OLI yüzey yansıtım değerleri Çizelge A.3'te, ikinci çalışma alanına ait yüzey yansıtım değerleri ise Çizelge A.4'te verilmiştir. Göktürk-2 görüntüsü için izlenen yolun benzeri takip edilerek ölçüm noktalara karşılık gelen yüzey yansıtım bilgileri hesaplanmıştır.

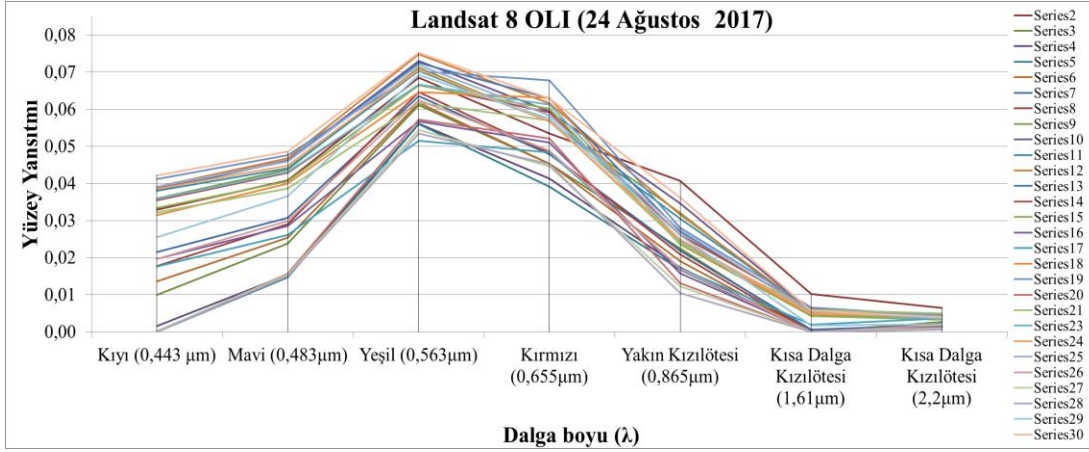
Birinci çalışma alanı ölçüm noktalarına karşılık gelen Landsat-8 OLI yansıtım değerleri Şekil 4.20'de, ikinci çalışma alanına karşılık gelen yansıtım değerleri ise Şekil 4.21'de grafik olarak sunulmuştur. Bu grafiklerde ölçüm noktalarına karşılık gelen her bant yansıtım değeri için verilmiştir. Şekil 4.20'de sunulan grafik incelendiğinde, yeşil ve kırmızı banttaki yansıtım değerlerinin yüksek olduğu, dolayısı ile bu bölgedeki yutulma oranının düşük olduğu görülmektedir.



**Şekil 4.20 :** Birinci çalışma alanı Landsat 8 OLI dalga boyu-yüzey yansıtımı ilişkisi.

Mavi dalga boyunda ise yansıtımın düşük ve yutulma miktarının yüksek olduğu görülmektedir. Yakın kızılötesi bantta ise yansıtım değerinin keskin bir şekilde düştüğü ve kısa dalga kızılötesine gelindiğinde en düşük değerleri aldığı görülmektedir. Bu durum su kütlelerinin yakın kızılötesi banttaki ışınımı yutma özelliğinden kaynaklanmaktadır.

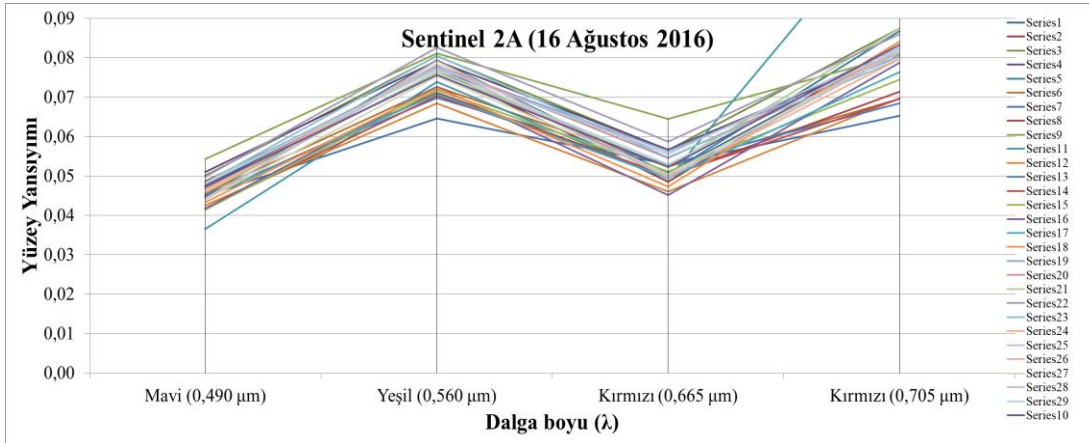
24 Ağustos 2017 tarihinde gerçekleştirilen ikinci ölçüm sonucu (Şekil 4.21) incelendiğinde birinci ölçüm sonuçlarına benzer özelliklere sahip olduğu görülmektedir. Ölçüm noktaları arasındaki farklı artışın (y eksenini) ikinci ölçüm öncesinde meydana gelen meteorolojik olaylardan kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Birinci ölçüme benzer olarak yeşil ve kırmızı dalga boylarında yansıtımın yüksek değerler aldığı, kızılötesi bantta ise keskin bir düşüşün meydana geldiği görülmektedir.



**Şekil 4.21 :** İkinci çalışma alanı Landsat 8 OLI dalga boyu-yüzey yansıtımı ilişkisi.

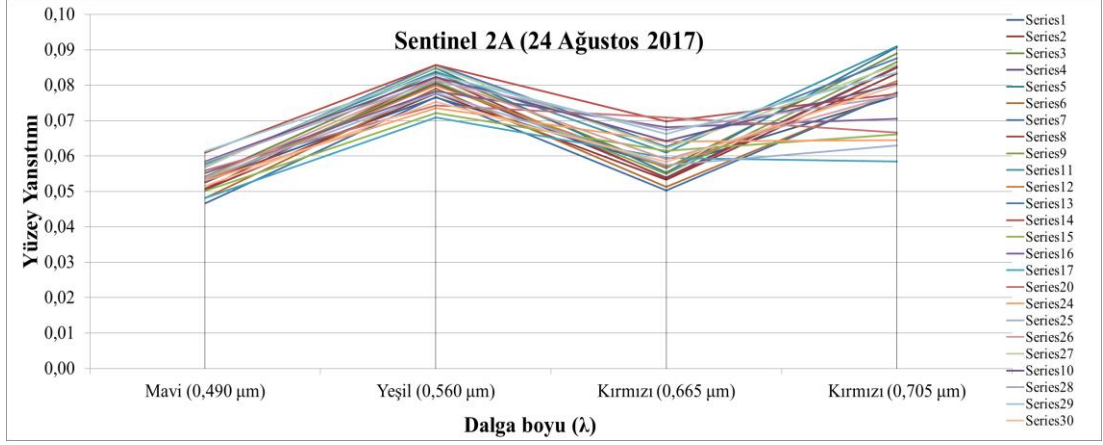
Ölçüm noktalarına karşılık gelen birinci çalışma alanına ait Sentinel 2A yüzey yansıtım değerleri Çizelge A.5'te, ikinci çalışma alanına ait yüzey yansıtım değerleri ise Çizelge A.6'da verilmiştir.

Şekil 4.22'de sunulan grafik incelendiğinde, yeşil ve kırmızı banttaki yansıtım değerlerinin yüksek olduğu, dolayısı ile bu bölgedeki yutulma oranının düşük olduğu görülmektedir. Mavi dalga boyunda ise yansıtımın düşük ve yutulma miktarının yüksek olduğu görülmektedir. Göldeki Chl-a miktarının fazla olması yeşil dalga boyunda yüksek yansıtım değerlerinin elde edilmesine neden olmuştur.



**Şekil 4.22 :** Birinci çalışma alanı Sentinel 2A dalga boyu-yüzey yansıtımı ilişkisi.

24 Ağustos 2017 tarihinde gerçekleştirilen ikinci ölçüm sonucu (Şekil 4.23) incelendiğinde birinci ölçüm sonuçlarına benzer özelliklere sahip olduğu görülmektedir. Kırmızı dalga boylarındaki dalgalanmanın ikinci ölçüm öncesinde meydana gelen meteorolojik olaylardan kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Birinci ölçüme benzer olarak yeşil ve kırmızı dalga boylarında yansıtımın yüksek değerler aldığı görülmektedir.



Şekil 4.23 : İkinci çalışma alanı Sentinel 2A dalga boyu yüze yansıtımı ilişkisi.

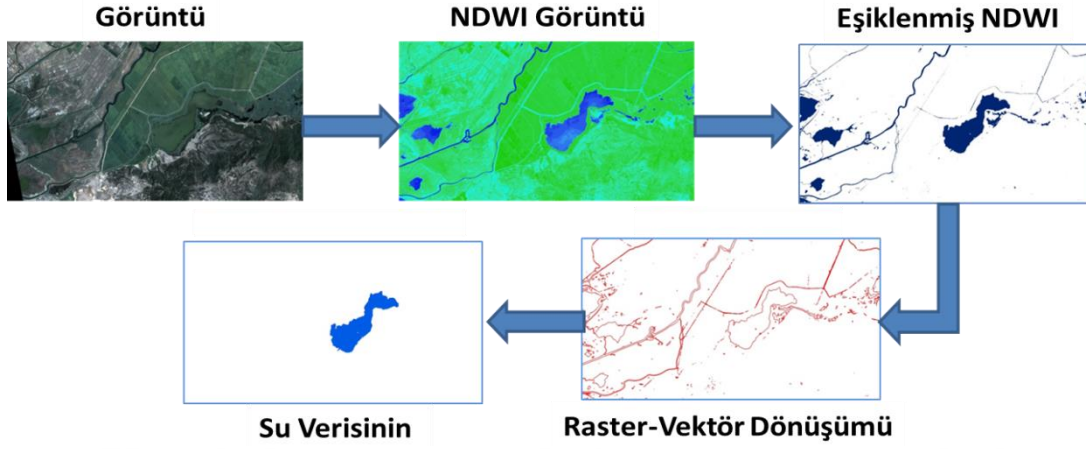
#### 4.7 Yüze Sularının Tespiti ve Değişimi

Gala Gölü yüze alanı değişimini tespit edebilmek için, 1984 yılından günümüze kadar olan Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+, Landsat 8 OLI ve Göktürk-2 görüntülerinden oluşan toplam 9 adet görüntü kullanılmıştır. Göl alanının tespiti ve kestirim modellerinin oluşturulmasında Normalize Fark Su İndeksi (NDWI) ve karşılaştırma amaçlı manuel dijitalleştirme yöntemi kullanılmıştır. Buna göre iki yöntem arasındaki fark kabul edilebilir bir değer olan %2.61 olarak bulunmuştur.

NDWI uzaktan algılanmış görüntülerde yüze sularını tanımlamak için geliştirilen bir yöntemdir. NDWI, yansıyan yakın kızıl ötesi dalga boyu ve görünür yeşil dalga boyunun toprak ve karasal bitki örtüsü özelliklerini ortadan kaldırırken suyun varlığını arttırmak için kullanılmaktadır. NDWI, uzaktan algılama verilerinde su kütlelerinin bulanıklık kestirimlerinin yapılmasında da kullanılmaktadır.  $NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR}$  şeklinde formüle edilmiştir.

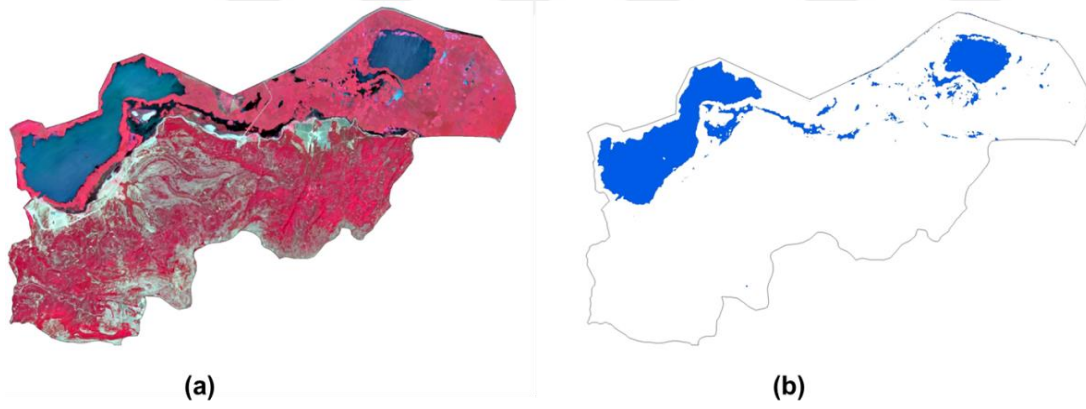
NDWI yeşil dalga boylarında suyun yansımısını en üst seviyeye çıkartırken, NIR bantta suyun yansıtma oranını en aza indirmektedir. Aynı zamanda NIR dalga boyunda bitki örtüsü ve toprağın yüksek yansıtma oranından yararlanmaktadır. Bu durum su kütlelerinin pozitif değerlere, bitki örtüsü ve toprak sınıfının ise sıfır veya negatif değerlere sahip olmasına neden olmaktadır. Bu çalışmada ERDAS ve ArcGIS yazılımları kullanılarak Şekil 4.24'te gösterilen yol takip edilerek su kütleleri tespit edilmiştir. Burada NDWI dönüşümü yapıldıktan sonra su ve su olmayan alanlar olmak üzere eşik değeri verilerek iki sınıf belirlenmiştir. Sınıf ayırımından sonra raster-vektör dönüşüm işlemi yapılmış ve göl alanı belirlenmiştir (Şekil 4.25).

Bu çalışmada, su kalitesi parametrelerinin elde edilmesi için her bir uydu görüntüsünden NDWI yöntemi ile belirlenmiş göl verisi kullanılmıştır.



Şekil 4.24 : NDWI ile su verisinin tespit edilmesi.

NDWI sonucunda elde edilen su kütlelerinin eşik değerleri 0.5'den büyüktür. Bitki örtüsü çok daha küçük değerlere sahip olduğundan su kütlelerinden daha kolay ayırt edilmesine neden olmaktadır. Bina ve yapılar ise sıfır ve 0.2 arasında pozitif eşik değere sahiptir.



Şekil 4.25 : Gala Gölü Milli Parkı Sentinel-2A görüntüsü ve göl alanı.

NDWI hesaplamaları ERDAS Spatial Modeler yardımı ile gerçekleştirilmiştir. Bu işlem her uydu görüntüsü için ayrı ayrı uygulanmıştır. İşlem sonucundaki indeks görüntüsü ArcGIS yazılımında, eşikleme yöntemi ile bölünmüş NDWI'dan, iki sınıf oluşturulmuş ve sonrasında sınıflar vektörize edilerek su kütlesi tespiti yapılmıştır. NDWI ile yapılan hesaplama sonucunda 1984 yılında Landsat 5 TM ile alınmış olan görüntüdeki göl yüzey alanı ile 2017 yılında Göktürk-2 uydusu ile alınmış görüntüdeki göl yüzey alanında 1.42 km<sup>2</sup> (% 27'lik artış) gibi fark olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.10).



**Çizelge 4.10 : Göl Alanı (NDWI ve manuel yöntem).**

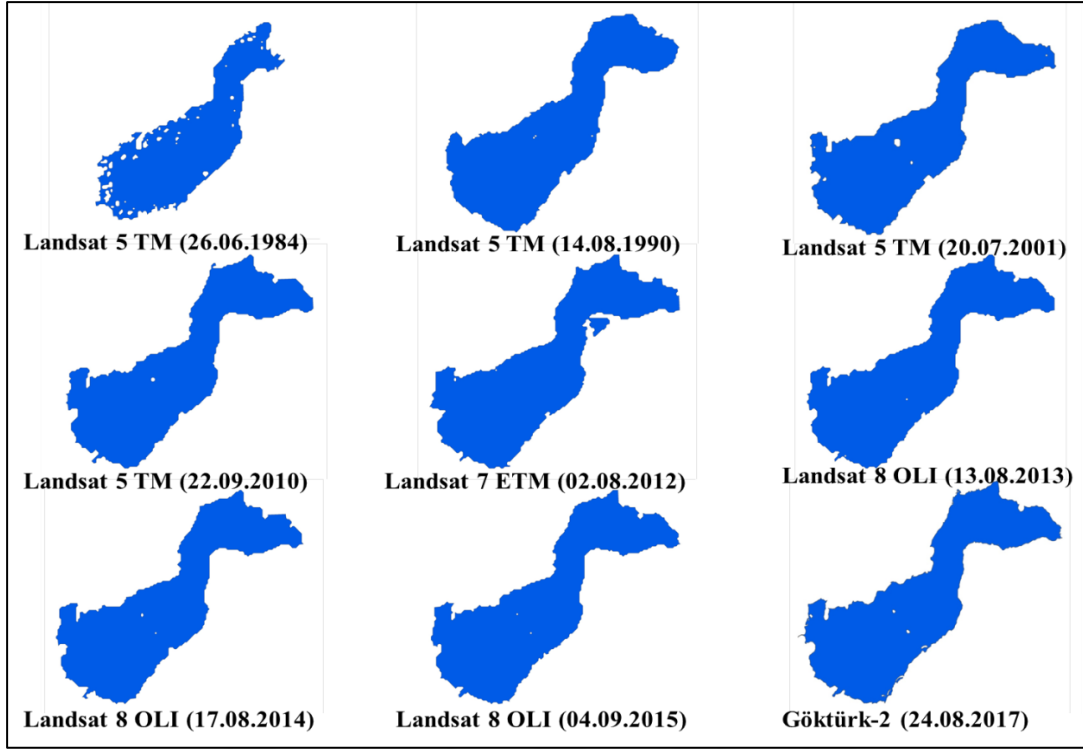
Uydu	Görüntüleme Tarihi	Alan-NDWI (km <sup>2</sup> )	Alan-Manuel (km <sup>2</sup> )
Landsat 5 TM	26.06.1984	3.82	3.80
Göktürk-2	24.08.2017	5.24	5.19
Fark	%	27	26

NDWI ile bulunan alanların doğruluğunu test etmek için ilk ve son görüntü elle sayısallaştırılmış ve sonucunda 1.39 km<sup>2</sup> (%29'luk artış)'lik bir fark olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.26). NDWI ve manuel yöntem arasında 0.03 km<sup>2</sup> 'lik bir hata olduğu tespit edilmiştir. Bu hatanın, manuel dijitalleştirme esnasında kullanıcının hassas bir şekilde göl alanı ile arazi arasındaki ayırımı tam olarak yapamamasından kaynaklandığı değerlendirilmiştir. Bu sonuç, NDWI yöntemi ile bulunan değerlerin güvenilir olduğunu göstermiştir.



**Şekil 4.26 : Göl alanı manuel dijitalleştirme.**

Yüzey alanı değişimi tespit edilirken ArcGIS yazılımı kullanılmış ve mevsimsel etkilerin en aza indirgenmesi için görüntülerin aynı mevsimde (yaz) alınmış olmasına dikkat edilmiştir. Bu kapsamda Haziran ve Ağustos ayları arasında kalan dönemi kapsayan görüntüler kullanılmıştır (Şekil 4.27). Yüzey alanı değişim tespitinde kullanılan Landsat-7 ETM+ görüntülerinde, 31 Mayıs 2003 tarihi itibari ile Tarayıcı Satır Düzelticisi (Scan Line Corrector-SLC)'nde meydana gelen arızadan dolayı şeritler oluşmuştur. Bu nedenle, SLC hatalarının düzeltilmesi için Erdas Focal Analysis (Tarayıcı Analizi) modeli kullanılmıştır. Tarayıcı Analizine göre 3x3'lük hareketli bir pence kullanılarak ortalama piksel değeri bulunmuş ve eksik piksel değerleri tamamlanmıştır. Bu işlem tüm SLC hatası giderilene kadar her bant için ayrı ayrı tekrarlanmıştır (Şekil A.9).



**Şekil 4.27 :** Gala Gölü değişim analizi.

Gala Gölü'nde Meriç Nehri taşkınlarından kaynaklı zararların önlenmesi için ilk çalışmaların temelleri 1934 yıllarında atılmıştır. Bu çalışmalar kapsamında, 1953 yılında mastır plan yayınlanmış ve 1960 yılında taşkın koruma çalışmaları (Meriç ve Kolları Islahı Projesi) başlamıştır. Taşkın koruma çalışmaları kapsamında 1963 yılında İpsala taşkın seditleri tamamlanmıştır. Bu çalışmalardan sonra bölgede pirinç üretimi haricinde tarım yapılamayan alanlar sulu tarıma açılmıştır. İpsala ovasının taşkınlardan korunması sağlandıktan sonra bataklık alanların kurutulması için kurutma tesisleri (Telmata, Cımra ve Karasaz) inşa edilmiştir. Bu dönemlerde bataklık alanların suları Cımra ve Telmata pompa istasyonları ile sulak alana verilmiştir.

Pirinç üretim alanlarına temiz suyun verilebilmesi için DSİ Edirne XI. Bölge Müdürlüğü tarafından 1995 yılında Yenikarpuzlu depolama ve sulama projesi başlatılmıştır (Bayrak, 2004). Yukarıda sunulan bilgiler ve Şekil 3.27'de verilen değişim analizi göz önünde bulundurularak bir takım değerlendirmeler yapılmıştır. Buna göre, 1984 yılında göl yüzey alanındaki azalmanın 1970'li yıllarda taşkın seditlerinin tamamlanması ve kurutma çalışmalarının başlatılmış olmasından kaynaklandığı değerlendirilmiştir. Daha sonraki yıllarda inşa edilen kurutma tesisleri

vasıtası ile bataklık alanlardaki suların sulak alanlara verilmesi sonucunda 1990'lı yıllarda göldeki yüzey alanında artış olduğu tespit edilmiştir.

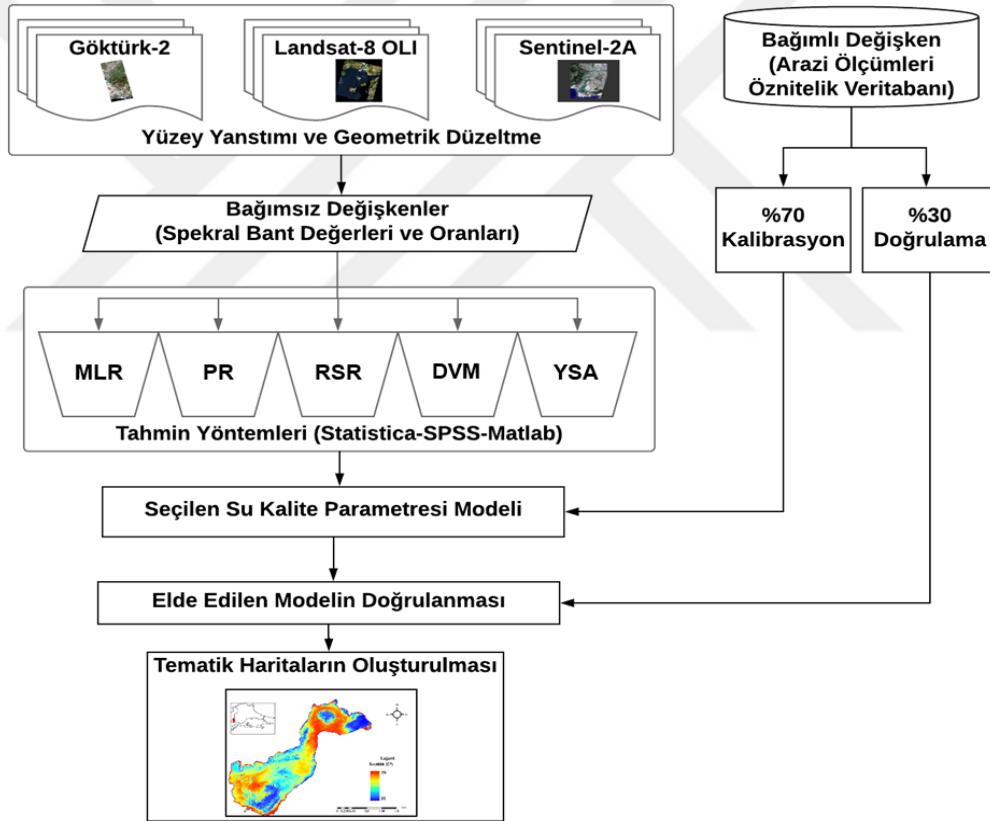
Bulgaristan baraj işletmeleri ve hidroelektrik enerji üretimi 1994 yılından sonra devletten özel sektöre devredilmiştir (Sağlam, 2014). Özel sektör tarafından yüksek kar elde edebilmek için rezervuardaki su seviyesinin yüksek tutulması, Meriç Nehri su seviyesinin düşmesine, dolayısıyla 1990'lı yıllardan sonra göl yüzeyinde azalmanın oluşmasına neden olduğu değerlendirilmiştir. 2000'li yıllardan sonra meydana gelen varyasyonların ise kuraklık ve iklimsel etkilerin havza su rejiminde meydana getirdiği değişimlerden kaynaklandığı değerlendirilmiştir.





## 5. KESTİRİM MODELLERİ VE DOĞRULUK ANALİZİ

Su kalitesi parametreleri 5 farklı kestirim yöntemi (MLR, PR, RSR, DVM ve YSA) ile modellenmiştir (Şekil 5.1). Modelleme yapılırken Göktürk-2, Landsat-8 OLI ve Sentinel 2A görüntülerindeki bant değerleri model girdisi (bağımsız değişken) olarak tanımlanmıştır. Arazi ölçümleri ile elde edilen kalite parametreleri ise bağımlı değişken olarak kullanılmıştır. Bağımlı değişkenlerin %70'i modelin oluşturulması, %30'u ise modelin doğrulanması için kullanılmıştır.



Şekil 5.1 : Kestirim modeli ve doğruluk analizinde işlenen yöntem.

Kestirim modelleri MLR, PR, RSR ve DVM modelleri için Statistica ve IBM SPSS yazılımları kullanılmıştır. YSA modelinde ise MATLAB yazılımı kullanılmıştır. Doğruluk analizi hesaplamaları Microsoft Excel'de oluşturulan denklemler yardımı ile yapılmıştır. Model sonuçlarının karşılaştırılmasında aşağıda sunulan istatistikî kriterler kullanılmıştır.

Karesel ortalama hata (RMSE) en sık kullanılan hata metriğidir. Ana kütle tahmin edilecek parametresi ile tahmincisi arasındaki farkların karelerinin beklenen değerinin kareköküdür (5.1).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{n}} \quad (5.1)$$

Ortalama Mutlak Yüzde Hata (MAPE), mutlak hataların ortalama olarak gerçek gözlem değerlerine bölünmesidir (5.2). Hatanın büyüklüğünü yüzde cinsinden ifade etmektedir.

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right|}{n} \times 100 \quad (5.2)$$

Ortalama Mutlak Hata (MAE), tüm mutlak hataların ortalamasıdır (5.3). MAE, kestirimlerdeki hataların ortalama büyüklüğünü yönlerini dikkate almadan ölçer. Bu kriter, sürekli değişkenler için doğruluğu ölçmektedir.

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \hat{x}_i|}{n} \quad (5.3)$$

MAE ve RMSE tahminler grubundaki hataların varyasyonunu belirlemek için kullanılmaktadır. Başka bir ifade ile her iki kriterde model performansını ölçmek için kullanılmaktadır. RMSE değerinin MAE değerinden daha yüksek veya eşit olması beklenir. Kriterler arasındaki farkın yüksek olması, bireysel hata varyanslarının daha yüksek olduğunun göstergesidir. RMSE ve MAE'nin aynı veya yakın değerleri alması hataların eşit olduğu anlamına gelmektedir.

Korelasyon katsayısı (R) değişkenler arasındaki ilişkinin bir göstergesi olup söz konusu ilişkinin yönü ve gücü hakkında bilgi vermektedir.

Determinasyon katsayısı (R<sup>2</sup>) ise oluşturulan modelin uyumlu olup olmadığını göstermektedir. R<sup>2</sup> bağımlı değişkendeki değişimin ne kadarının bağımsız değişken tarafından ifade edildiğinin bir ölçüsüdür. Bu kriter, oluşturulan modelin doğruluğunun bir göstergesidir.

## 5.1 Klorofil-a Kestirim Modelleri

### 5.1.1 Çoklu regresyon modeli

MLR kestirim modeli oluşturulduktan sonra R ve R<sup>2</sup> incelenerek (kestirim yeteneği bakımından) modelin ne derece doğru olduğu kontrol edilmiştir. R<sup>2</sup> her zaman 0 ile 1 arasında bir değer alır. Bu çalışmada kullanılan ilk yöntem MLR yöntemidir. Bu yöntem için IBM SPSS ve Statistica programları kullanılmıştır. Göktürk-2 yansıtım değerleri kullanılarak oluşturulan Chl-a MLR modeli denklem 5.4'te, Landsat-8 OLI MLR modeli denklem 5.5'te, Sentinel-2A MLR modeli ise denklem 5.6'da verilmiştir.

$$GK2_{Chl-a(mg/L)} = 19,2+(375*B1_{GK2})-(477*B2_{GK2})-(38*B3_{GK2})+(1148*B4_{GK2}) \quad (5.4)$$

$$L8_{OLI}_{Chl-a(mg/L)} = -1,53-(6101*B1_{L8})+(8097*B2_{L8})+(1825*B3_{L8})-(4230*B4_{L8}) + (2055*B5_{L8})-(4063*B6_{L8})+(517*B7_{L8}) \quad (5.5)$$

$$S2A_{Chl-a(mg/L)} = -43,3+(3014*B2_{S2A})-(2,2*B3_{S2A})-(1519*B4_{S2A})+(761*B8_{S2A}) \quad (5.6)$$

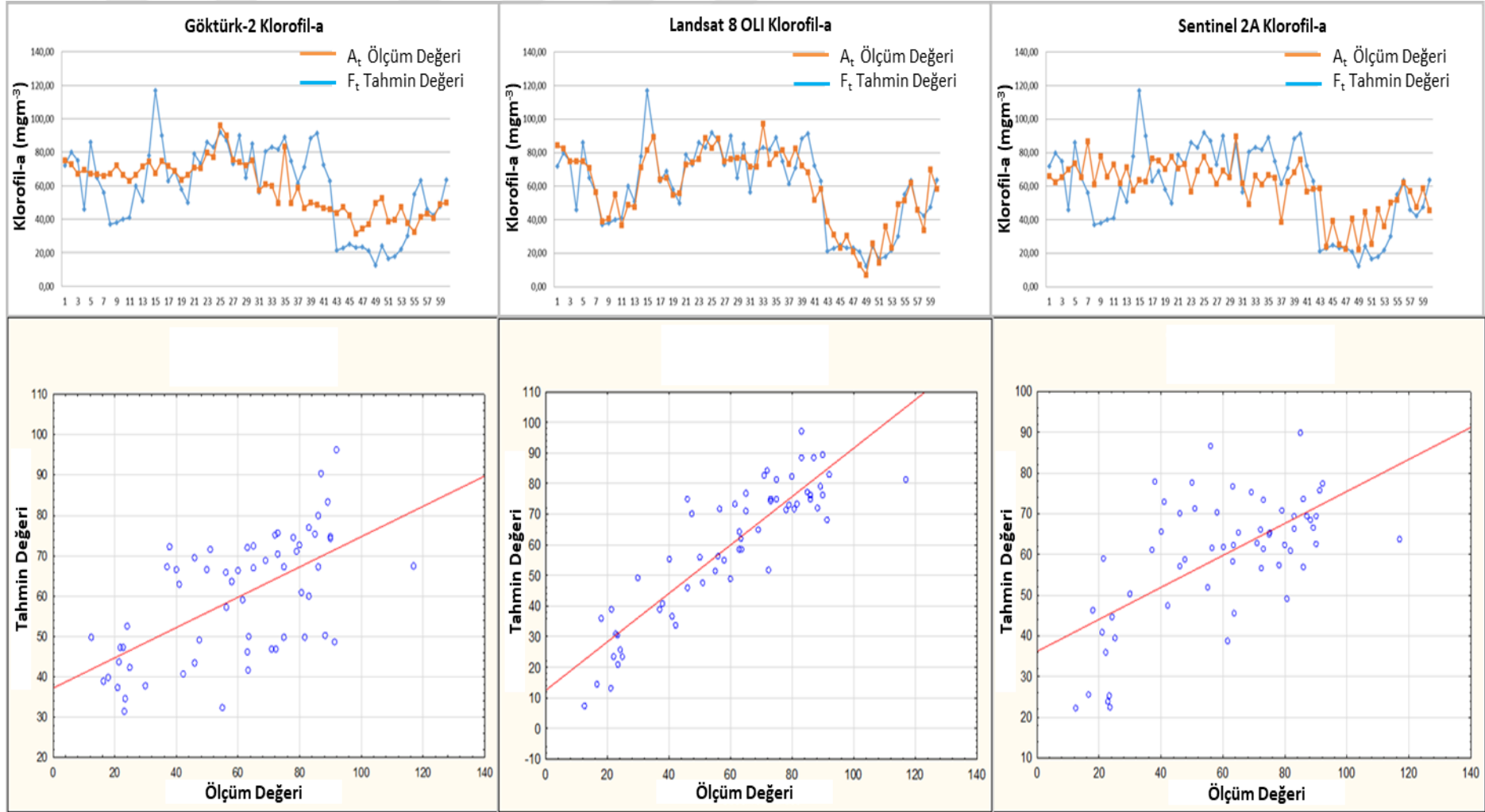
MLR yöntemi ile elde edilen kestirimlerin doğruluk analizi Çizelge 5.1'de özetlenmiştir.

**Çizelge 5.1 : MLR modeli Chl-a sonuçları ve karşılaştırma.**

Algılayıcı	Değişken Sayısı	Örnek Sayısı	RMSE	MAPE	MAE	R	R <sup>2</sup>	P
Göktürk-2	4	60	19,50	39,04	15,6	0,61	0,38	0,00003
Landsat-8	7	60	11,29	17,67	8,49	0,89	0,79	0,00001
Sentinel 2A	4	60	19,23	34,46	15,8	0,62	0,39	0,00001

Yapılan analiz (T-testi) sonucuna göre Chl-a parametresi anlamlılık değeri Göktürk-2 görüntüsü için p=0,00003<0,05, Landsat-8 OLI görüntüsü için p=0,00001<0,05 ve Sentinel 2A görüntüsü için p=0,00001<0,05 bulunmuştur. Bu durum, arazi ölçümleriyle kestirim sonuçları arasında yüksek düzeyde anlamlı bir farklılık bulunduğunu göstermektedir. Dolayısı ile p ve R<sup>2</sup> değerine göre Chl-a parametresinin tespitinde Landsat 8 OLI görüntüleri daha doğru sonuçlar vermiştir. Sonucun Landsat 8 OLI ve Sentinel 2A görüntülerinde daha yüksek çıkması spektral çözünürlüğünün Göktürk-2'ye göre daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.

Ölçülen ve MLR yöntemi ile kestirilen Chl-a konsantrasyon dağılımı Şekil 5.2'de sunulmuştur. Grafikten anlaşılacağı üzere Landsat-8 OLI ve Sentinel 2A'dan elde edilen sonuçlar daha yüksek korelasyona (R=0.79, R=0.39) sahiptir.



Şekil 5.2 : MLR modeli Chl-a ölçülen ve kestirilen konsantrasyon dağılımı.



### 5.1.2 Polinom regresyon modeli

Bu çalışmada kullanılan yöntemlerden ikincisi PR yöntemidir. Bu yöntem için IBM SPSS ve Statistica programları kullanılmıştır. Göktürk-2 yansıtım değerleri kullanılarak oluşturulan Chl-a polinom regresyon modeli denklem 5.7’de, Landsat-8 OLI polinom regresyon modeli denklem 5.8’de, Sentinel-2A polinom regresyon modeli ise denklem 5.9’da verilmiştir.

$$GK2_{chl-a(mg/L)} = 21 + (235*B1_{GK2}) + (713*B1_{GK2}^2) - (1706*B2_{GK2}) + (8220*B2_{GK2}^2) + (336*B3_{GK2}) - (1970*B3_{GK2}^2) + (2734*B4_{GK2}) - (18152*B4_{GK2}^2) \quad (5.7)$$

$$L8_{OLI_{chl-a(mg/L)}} = (115*B1_{L8}) + (5335*B1_{L8}^2) + (4158*B2_{L8}) + (26402*B2_{L8}^2) - (844*B3_{L8}) + (17125*B3_{L8}^2) - (3737*B4_{L8}) - (3587*B4_{L8}^2) + (4332*B5_{L8}) - (25756*B5_{L8}^2) - (2357*B6_{L8}) - (165784*B6_{L8}^2) - (7762*B7_{L8}) + (940530*B7_{L8}^2) \quad (5.8)$$

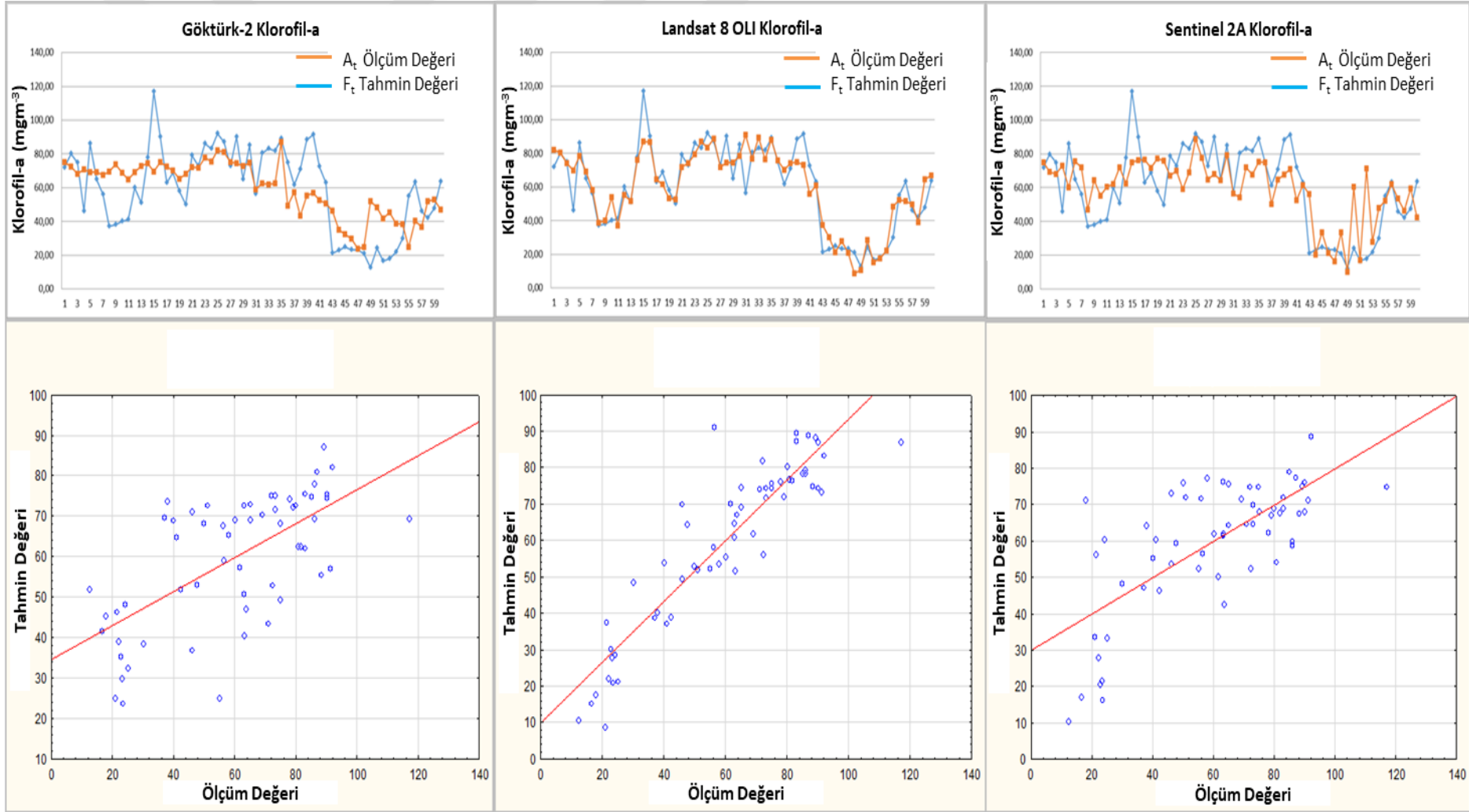
$$S2A_{chl-a(mg/L)} = 448 + (41,410939972*B2_{S2A}) + (21116*B2_{S2A}^2) - (7124*B3_{S2A}) + (50664*B3_{S2A}^2) - (5909*B4_{S2A}) + (30387*B4_{S2A}^2) + (1497*B8_{S2A}) - (20266*B8_{S2A}^2) \quad (5.9)$$

PR yöntemi ile elde edilen kestirimlerin doğruluk analizi Çizelge 5.2’de özetlenmiştir.

**Çizelge 5.2 : PR modeli Chl-a sonuçları ve karşılaştırma.**

Algılayıcı	Değişken Sayısı	Örnek Sayısı	RMSE	MAPE	MAE	R	R <sup>2</sup>	P
Göktürk-2	4	60	18,80	37,28	15,24	0,65	0,42	0,00028
Landsat-8	7	60	10,04	14,05	6,97	0,91	0,83	0,00001
Sentinel 2A	4	60	17,46	30,45	13,50	0,71	0,50	0,00001

PR modelinin sonuçları doğrusal regresyon modellerine kıyasla daha iyi sonuçlar vermiştir. Yapılan analize göre Chl-a anlamlılık değeri Göktürk-2 görüntüsü için  $p=0,00028 < 0,05$ , Landsat-8 OLI görüntüsü için  $p=0,00001 < 0,05$  ve Sentinel 2A görüntüsü için  $p=0,00001 < 0,05$  bulunmuştur. Bu durum, arazi ölçümleriyle kestirim sonuçları arasında yüksek düzeyde anlamlı bir farklılık bulunduğunu göstermektedir. Dolayısı ile p ve R<sup>2</sup> değerine göre Chl-a parametresinin tespitinde Landsat-8 OLI görüntüleri daha doğru sonuçlar vermiştir. Bu sonuç, Landsat-8 OLI PR modelinin göl yüzeyindeki Chl-a dağılımının tespitinde daha yüksek kestirime sahip olduğunu kanıtlamaktadır. Ölçülen ve PR yöntemi ile kestirilen Klorofil-a konsantrasyon dağılımı Şekil 5.3’te sunulmuştur. Grafikten anlaşılacağı üzere Landsat-8 OLI’den elde edilen sonuçların daha yüksek korelasyona (R=0.91, R=0.71) sahip olduğu açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 5.3 : PR modeli Chl-a ölçülen ve kestirilen konsantrasyon dağılımı.

### 5.1.3 Yanıt yüzey regresyon modeli

Göktürk-2 yansıtım değerleri kullanılarak oluşturulan Chl-a RSR modeli denklem 5.10'da, Landsat-8 RSR modeli denklem 5.11'de, Sentinel-2A RSR modeli ise denklem 5.12'de verilmiştir.

$$GK2_{chl-a(mg/L)} = 20-(476*B1_{GK2})+(1564*B1_{GK2}^2)-(1696*B2_{GK2})+(24702*B2_{GK2}^2)+(1269*B3_{GK2})+(10809*B3_{GK2}^2)+(2318*B4_{GK2})-(2833*B4_{GK2}^2)-(5669*B1_{GK2}*B2_{GK2})-(10755*B1_{GK2}*B3_{GK2})-(9683*B2_{GK2}*B3_{GK2})+(69874*B1_{GK2}*B4_{GK2})-(61586*B2_{GK2}*B4_{GK2})-(27138*B3_{GK2}*B4_{GK2}) \quad (5.10)$$

$$L8_{OLI_{chl-a(mg/L)}} = -426-(24740*B2_{L8})-(155609*B2_{L8}^2)+(22527*B3_{L8})-(93807*B3_{L8}^2)+(7727*B4_{L8})+(206977*B4_{L8}^2)-(4773*B5_{L8})-(17531*B5_{L8}^2)+(534514*B2_{L8}*B3_{L8})+(57600*B2_{L8}*B4_{L8})-(551659*B3_{L8}*B4_{L8})-(145617*B2_{L8}*B5_{L8})+(212581*B3_{L8}*B5_{L8})-(24370*B4_{L8}*B5_{L8}) \quad (5.11)$$

$$S2A_{chl-a(mg/L)} = -130+(3209*B2_{S2A})-(48856*B2_{S2A}^2)+(2268*B3_{S2A})+(27703*B3_{S2A}^2)+(251*B4_{S2A})-(22066*B4_{S2A}^2)-(3821*B8_{S2A})+(5510*B8_{S2A}^2)-(41176*B2_{S2A}*B3_{S2A})+(95839*B2_{S2A}*B4_{S2A})-(60887*B3_{S2A}*B4_{S2A})+(44540*B2_{S2A}*B8_{S2A})+(38925*B3_{S2A}*B8_{S2A})-(19085*B4_{S2A}*B8_{S2A}) \quad (5.12)$$

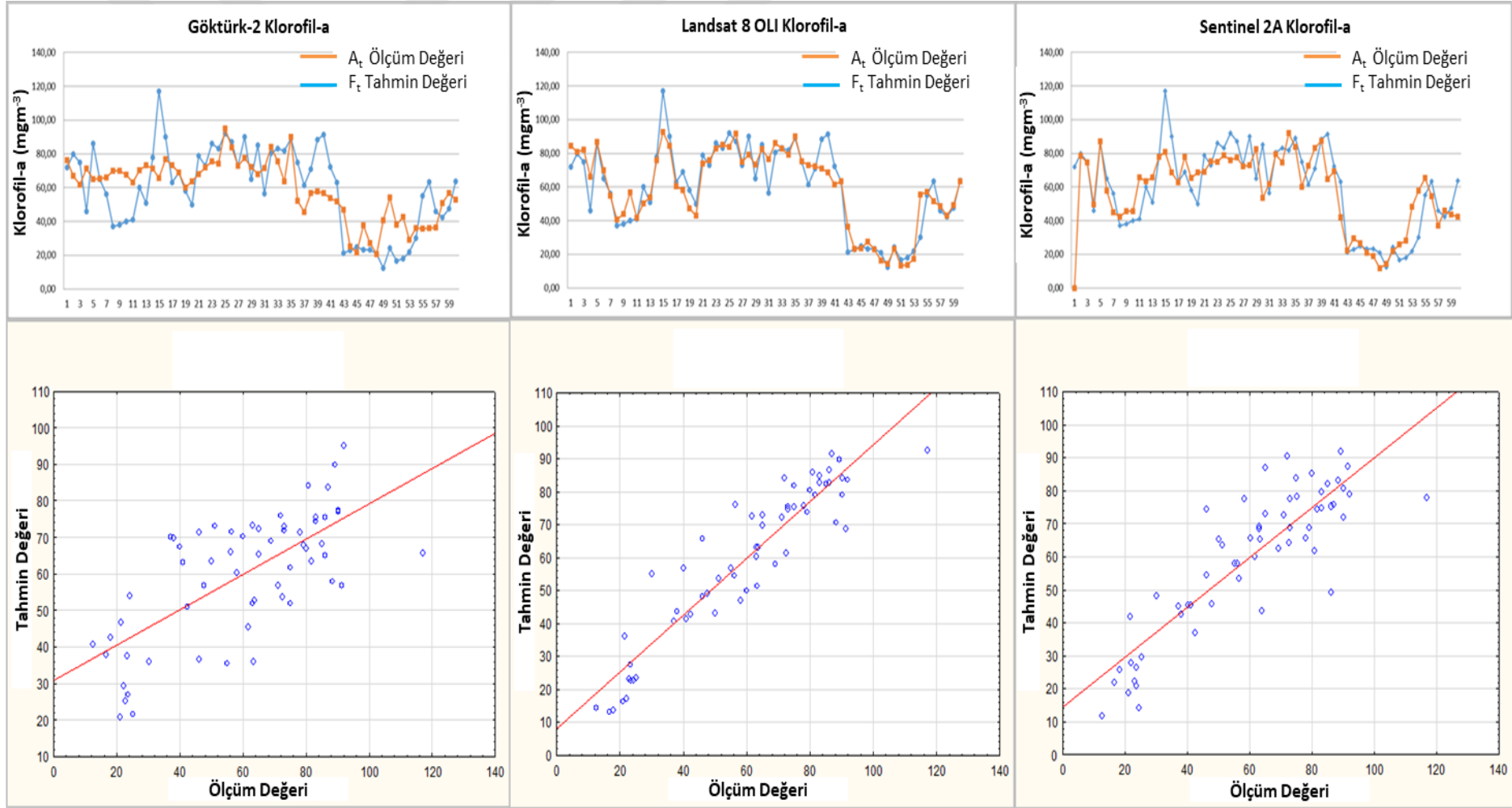
RSR yöntemi ile elde edilen kestirimlerin doğruluk analizi Çizelge 5.3'te özetlenmiştir. RSR modelinin sonuçları MLR ve PR modellerine kıyasla daha iyi sonuçlar vermiştir.

**Çizelge 5.3 : RSR modeli Chl-a sonuçları ve karşılaştırma.**

Algılayıcı	Değişken Sayısı	Örnek Sayısı	RMSE	MAPE	MAE	R	R <sup>2</sup>	P
Göktürk-2	4	60	17,71	33,34	14,15	0,70	0,48	0,00242
Landsat-8	7	60	9,07	12,77	6,31	0,93	0,87	0,00001
Sentinel 2A	4	60	13,03	19,90	9,87	0,85	0,73	0,00001

Analiz sonucuna göre Chl-a anlamlılık değeri Göktürk-2 görüntüsü için  $p=0,00242<0,05$ , Landsat-8 görüntüsü için  $p=0,00001<0,05$  ve Sentinel 2A görüntüsü için  $p=0,00001<0,05$  bulunmuştur. Bu durum, arazi ölçümleriyle kestirim sonuçları arasında yüksek düzeyde anlamlı bir farklılık bulunduğunu göstermektedir. Dolayısı ile p ve R<sup>2</sup> değerine göre Chl-a parametresinin tespitinde Landsat-8 OLI görüntüleri daha doğru sonuçlar vermiştir. Bu sonuç, Landsat-8 OLI RSR Chl-a dağılımının daha yüksek kestirime sahip olduğunu kanıtlamaktadır.

Ölçülen ve RSR yöntemi ile kestirilen Chl-a konsantrasyon dağılımı Şekil 5.4'te sunulmuştur. Grafikten anlaşılacağı üzere Landsat-8 OLI'den elde edilen sonuçların daha yüksek korelasyona ( $R=0.93$ ) sahip olduğu açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 5.4 : RSR modeli Chl-a ölçülen ve kestirilen konsantrasyon dağılımı.

#### 5.1.4 DVM modeli

Destek vektör makineleri (DVM) yönteminde lineer olmayan verilerin doğrusal olarak ayrılabilmesi için bazı kısıtlamalar bulunmakta olup bu kısıtlamalar bir takım fonksiyonların (çekirdek fonksiyonları) kullanılması ile ortadan kalkmaktadır. Bu çalışmada kestirimlerde en etkili çekirdek fonksiyonlarından birisi olan Radyal Tabanlı Çekirdek Fonksiyonu (RBF) kullanılmıştır. Bu kestirim yöntemi için Statistica programından faydalanılmıştır.

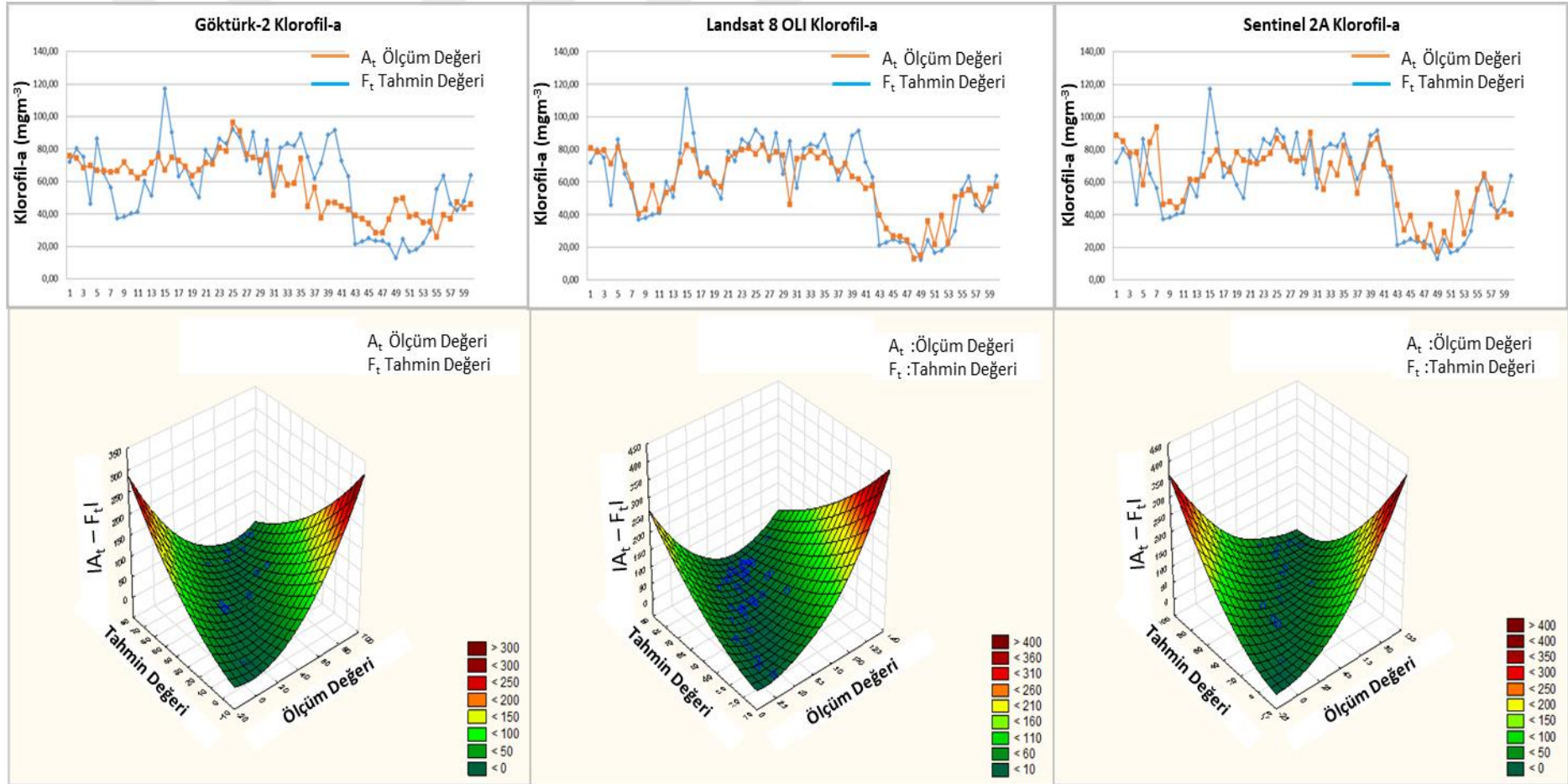
Göktürk-2, Landsat-8 OLI ve Sentinel 2A yansıtım değerleri kullanılarak oluşturulan Chl-a DVM modeli kestirim sonuçları ve doğruluk analizi Çizelge 5.4'te özetlenmiştir.

**Çizelge 5.4 : DVM modeli Chl-a sonuçları ve karşılaştırma.**

Algılayıcı	Değişken Sayısı	Örnek Sayısı	RMSE	MAPE	MAE	R	R <sup>2</sup>
Göktürk-2	4	60	19,42	36,54	15,51	0,62	0,39
Landsat-8	7	60	12,16	18,18	8,75	0,88	0,77
Sentinel 2A	4	60	14,63	24,21	10,93	0,81	0,66

Çizelge 5.4'e göre DVM modeli çoklu, polinom regresyon ve RSR modellerine kıyasla daha düşük sonuçlar vermiştir. Landsat-8 OLI için R=0,88 olarak hesaplanmış ve önerilen diğer modellere göre daha düşük bir kestirime sahip olduğu görülmüştür. Statistica programındaki kısıtlardan dolayı bu model için denklemler verilememektedir.

Ölçülen ve DVM yöntemi ile kestirilen Chl-a konsantrasyon dağılımı Şekil 5.5'te sunulmuştur. Chl-a konsantrasyonu için kestirim değerleri x ekseninde, ölçüm değerleri y ekseninde ve hata miktarı z ekseninde gösterilmiştir. Bu grafiğe göre, Göktürk-2, Landsat-8 OLI ve Sentinel 2A için lineer olmayan bir hata oranı söz konusudur. Göktürk-2 sisteminden elde edilen hata miktarı Landsat-8 OLI ve Sentinel 2A'ya göre daha yüksektir.



Şekil 5.5 : DVM modeli Chl-a ölçülen ve kestirilen konsantrasyon dağılımı.

### 5.1.5 Yapay sinir ağıları modeli

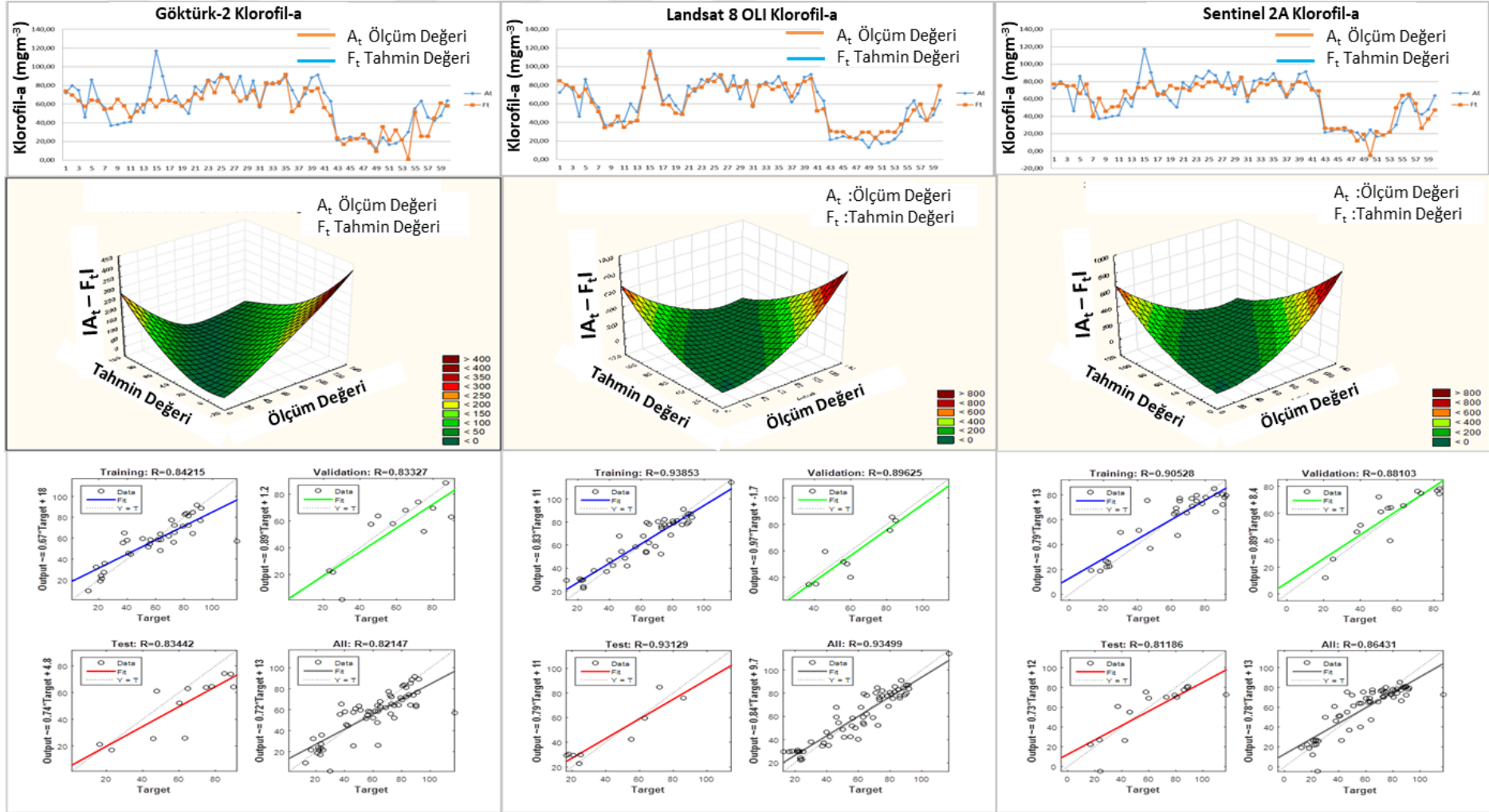
YSA, geçmişteki veri örneklerinden yararlanarak, problemi tanımlar ve matematiksel model oluşturarak istenen verileri kestirebilir. Göktürk-2, Landsat-8 OLI ve Sentinel 2A yansıtım değerleri kullanılarak oluşturulan Chl-a YSA modeli kestirim sonuçları ve doğruluk analizi Çizelge 5.5'te özetlenmiştir.

**Çizelge 5.5 : YSA modeli Chl-a sonuçları ve karşılaştırma.**

Algılayıcı	Değişken Sayısı	Örnek Sayısı	RMSE	MAPE	MAE	R	R <sup>2</sup>
Göktürk-2	4	60	14,73	19,48	10,10	0,82	0,67
Landsat-8	7	60	8,80	16,95	7,07	0,93	0,87
Sentinel 2A	4	60	12,45	19,30	9,40	0,86	0,75

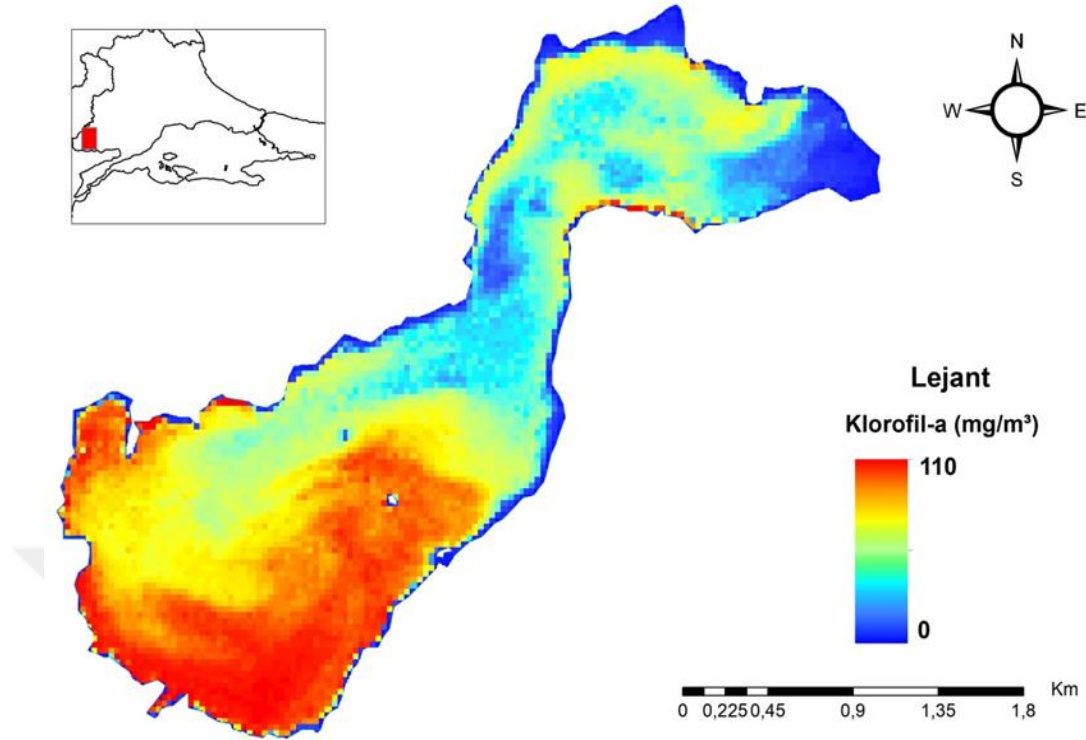
Çizelge 5.5'e göre Chl-a konsantrasyonu için Landsat-8 OLI görüntüsünden elde edilen sonucun ( $R^2=0,87$ ) Sentinel 2A ve Göktürk-2'ye göre daha yüksek performansa sahip olduğu görülmektedir. Genel değerlendirmeye bakıldığında YSA Chl-a sonucunun diğer yöntemlere göre daha doğru olduğu görülmüştür. Ölçülen ve YSA yöntemi ile kestirilen Chl-a konsantrasyon dağılımı ile eğitim, test, doğrulama ve tüm modeli kapsayan kestirim katsayısı değerleri Şekil 5.6'da sunulmuştur. Bu Şekil'de Klorofil-a konsantrasyonu ölçüm değerleri ile kestirim değerleri ve hata miktarı arasındaki ilişkiyi gösteren grafik sunulmuştur. Bu grafiğe göre Göktürk-2 sisteminden elde edilen hata miktarının Landsat-8 OLI ve Sentinel 2A sonuçlarına göre daha fazla olduğu, üç uydu sisteminden elde edilen sonuçlarda artan ölçüm değeri ile hata oranının doğru orantılı olduğu görülmektedir.

Ölçülen ve YSA yöntemi ile kestirilen Chl-a dağılım haritasında (Şek.5.7) özellikle tarım alanlarından gelen drenaj sularının göle giriş yaptığı noktada (kuzeydoğusunda) Chl-a miktarının düşük seviyelerde olduğu görülmektedir. Gölün güneybatısında kalan bölgede ise Chl-a miktarının oldukça yüksek ( $100\text{mg}/\text{m}^3$ ) seviyelerde olduğu tespit edilmiştir. Bu durum ÇO miktarının azalmasına ve sucul yaşamın olumsuz etkilenmesine neden olmaktadır. YSY, 2016 ve OECD, 1982 ötrofikasyon kriterlerine göre gölün yarısından fazlasının (güneybatı kesiminde kalan bölüm) hipertrofik sınır değerinin çok üstünde olduğu görülmektedir. Bu durum alg patlamalarının çok yoğun olduğu, sucul canlılar için oldukça önemli olan ÇO miktarının azaldığı ve göldeki canlıların yaşamını olumsuz etkilediği anlamına gelmektedir.



Şekil 5.6 : YSA modeli Chl-a ölçülen ve kestirilen konsantrasyon dağılımı.





Şekil 5.7 : Chl-a kestirim haritası.

## 5.2 Askıda Katı Madde Kestirim Modelleri

### 5.2.1 Çoklu regresyon modeli

Göktürk-2 yansıtım değerleri kullanılarak oluşturulan AKM çoklu regresyon modeli denklem 5.13'te, Landsat-8 çoklu regresyon modeli denklem 5.14'te, Sentinel-2A çoklu regresyon modeli ise denklem 5.15'te verilmiştir.

$$GK2_{AKM(mg/L)} = 23 + (23 * B1_{GK2}) - (274 * B2_{GK2}) + (301 * B3_{GK2}) + (870 * B4_{GK2}) \quad (5.13)$$

$$L8_{OLI_{AKM(mg/L)}} = 45 - (9612 * B1_{L8}) + (13870 * B2_{L8}) - (2481 * B3_{L8}) - (1895 * B4_{L8}) + (2079 * B5_{L8}) - (1530 * B6_{L8}) - (5144 * B7_{L8}) \quad (5.14)$$

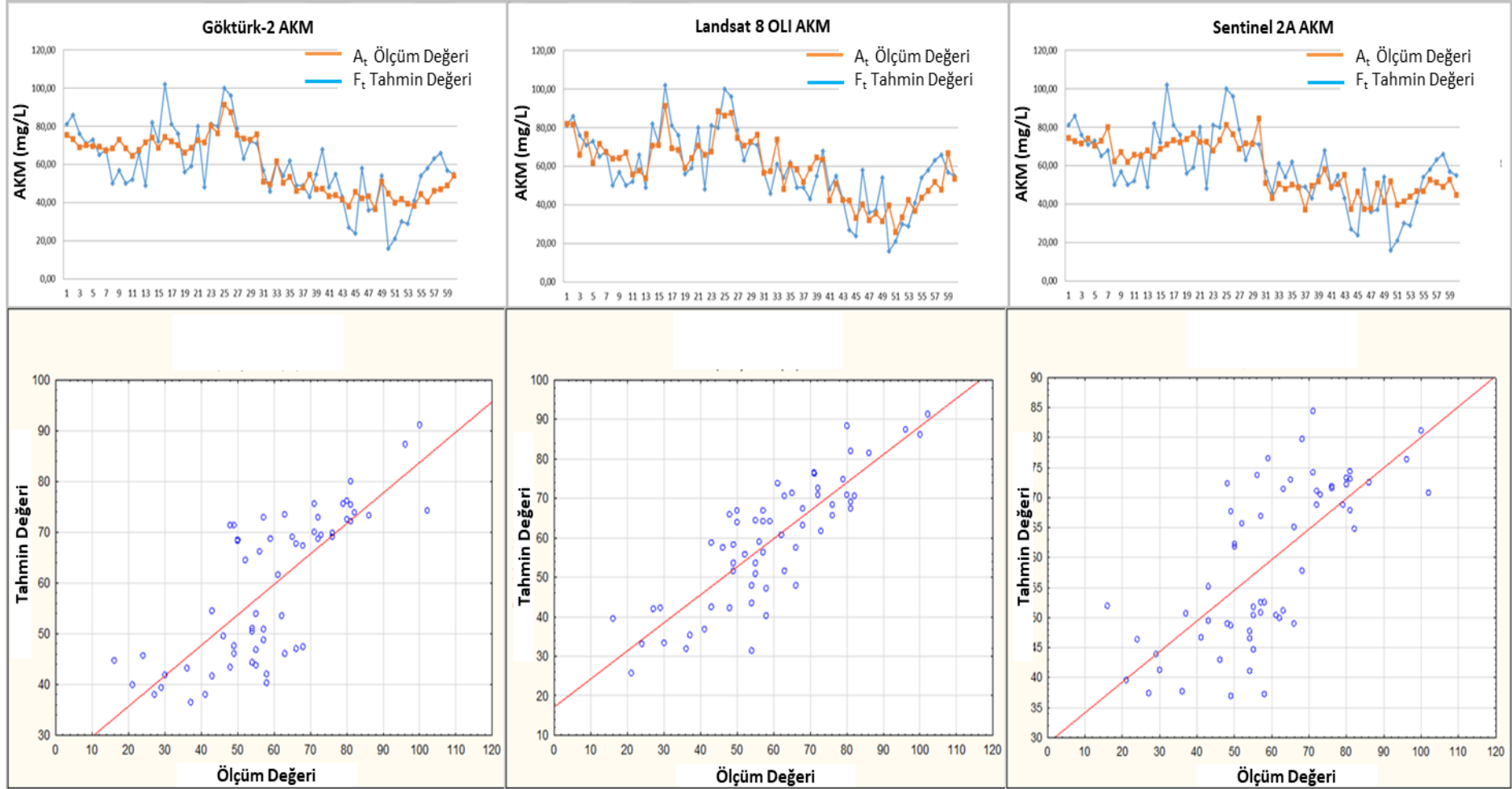
$$S2A_{AKM(mg/L)} = -11,3 + (1400 * B2_{S2A}) - (210 * B3_{S2A}) - (189 * B4_{S2A}) + (339 * B8_{S2A}) \quad (5.15)$$

Bu modeller yardımı ile yapılan kestirimlerin doğruluk analizi Çizelge 5.6'da özetlenmiştir. Yapılan analiz (T-testi) sonucuna göre AKM için anlamlılık değeri Göktürk-2 görüntüsü için  $p=0,00002 < 0,05$ , Landsat-8 OLI görüntüsü için  $p=0,00003 < 0,05$  ve Sentinel 2A görüntüsü için  $p=0,00001 < 0,05$  bulunmuştur.

**Çizelge 5.6 : MLR modeli AKM sonuçları ve karşılaştırma.**

Algılayıcı	Değişken Sayısı	Örnek Sayısı	RMSE	MAPE	MAE	R	R <sup>2</sup>	P
Göktürk-2	4	60	11,78	20,57	9,30	0,77	0,60	0,00002
Landsat-8	7	60	10,02	17,27	8,33	0,84	0,71	0,00003
Sentinel 2A	4	60	13,04	23,51	10,8	0,71	0,51	0,00001

Bu durum, arazi ölçüleriyle kestirim sonuçları arasında yüksek düzeyde anlamlı bir farklılık bulunduğunu göstermektedir. Dolayısı ile p ve R<sup>2</sup> değerine göre Klorofil-a parametresinin tespitinde Landsat 8 OLI görüntüleri daha doğru sonuçlar vermiştir. RMSE, MAPE ve MAE değerlendirmesine göre Landsat 8 OLI diğer uydu sistemlerine kıyasla daha iyi sonuçlar vermiştir. Çoklu regresyon modelinde elde edilen sonucun Landsat 8 OLI görüntüsünde daha iyi çıkması bant sayısının daha fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Bunun yanında, Landsat-8 OLI görüntüsünün spektral çözünürlüğünün yüksek olması da doğruluğu arttıran diğer etkenler arasında sayılabilir. Ölçülen ve çoklu regresyon yöntemi ile kestirilen AKM konsantrasyon dağılımı Şekil 5.8’de sunulmuştur. Grafik incelendiğinde Landsat-8 OLI’den elde edilen sonuçların daha yüksek korelasyona (R=0.84) sahip olduğu açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 5.8 : MLR modeli AKM ölçülen ve kestirilen konsantrasyon dağılımı.

## 5.2.2 Polinom regresyon modeli

Göktürk-2 yansıtım değerleri kullanılarak oluşturulan AKM polinom regresyon modeli denklem 5.16'da, Landsat-8 polinom regresyon modeli denklem 5.17'de, Sentinel-2A polinom regresyon modeli ise denklem 5.18'de verilmiştir. Bu modeller yardımı ile yapılan kestirimlerin doğruluk analizi Çizelge 5.7'de özetlenmiştir.

$$GK2_{AKM(mg/L)} = 53 - (447 * B1_{GK2}) + (1949 * B1_{GK2}^2) - (1056 * B2_{GK2}) + (6692 * B2_{GK2}^2) + (909 * B3_{GK2}) - (4338 * B3_{GK2}^2) + (350 * B4_{GK2}) + (7765 * B4_{GK2}^2) \quad (5.16)$$

$$L8_{OLI_{AKM(mg/L)}} = 458 - (7360 * B1_{L8}) - (21851 * B1_{L8}^2) + (10908 * B2_{L8}) + (26420 * B2_{L8}^2) - (11011 * B3_{L8}) + (65545 * B3_{L8}^2) - (5223 * B4_{L8}) + (25462 * B4_{L8}^2) + (1197 * B5_{L8}) + (12643 * B5_{L8}^2) + (610 * B6_{L8}) - (79852 * B6_{L8}^2) - (4790 * B7_{L8}) - (54786 * B7_{L8}^2) \quad (5.17)$$

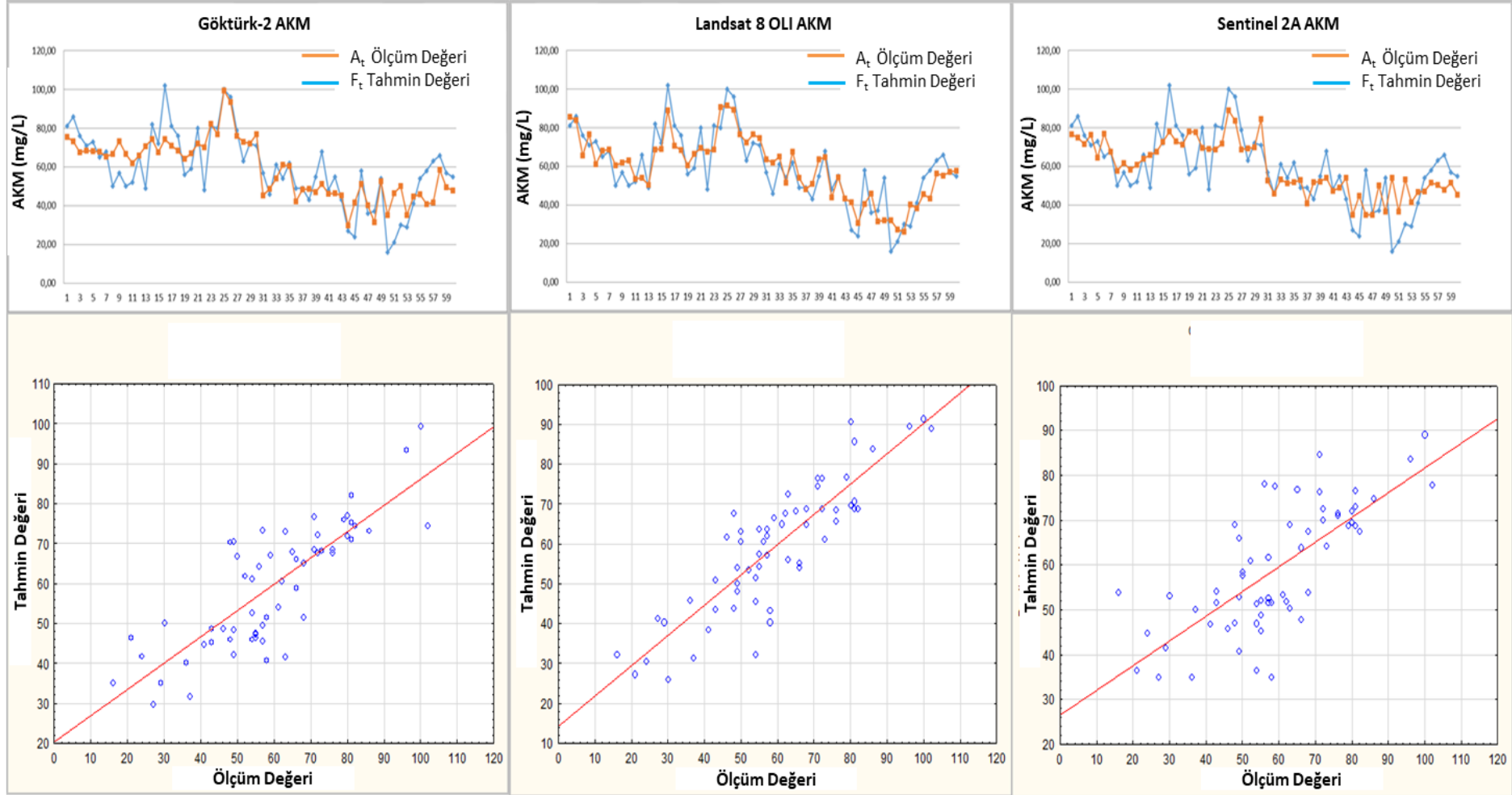
$$S2A_{AKM(mg/L)} = 98 + (2866 * B2_{S2A}) - (11549 * B2_{S2A}^2) - (1501 * B3_{S2A}) + (8120 * B3_{S2A}^2) - (3357 * B4_{S2A}) + (22323 * B4_{S2A}^2) + (939 * B8_{S2A}) - (13749 * B8_{S2A}^2) \quad (5.18)$$

**Çizelge 5.7 : PR modeli AKM sonuçları ve karşılaştırma.**

Algılayıcı	Değişken Sayısı	Örnek Sayısı	RMSE	MAPE	MAE	R	R <sup>2</sup>	P
Göktürk-2	4	60	10,92	18,64	8,54	0,81	0,66	0,00001
Landsat-8	7	60	9,11	15,33	7,57	0,87	0,76	0,00001
Sentinel 2A	4	60	12,49	22,68	10,23	0,74	0,55	0,00001

Polinom regresyon modelinin sonuçları doğrusal regresyon modellerine kıyasla daha iyi sonuçlar vermiştir. Yapılan analiz (T-testi) sonucuna göre AKM için anlamlılık değeri Göktürk-2 görüntüsü için  $p=0,00001 < 0,05$ , Landsat-8 görüntüsü için  $p=0,00001 < 0,05$  ve Sentinel 2A görüntüsü için  $p=0,00001 < 0,05$  bulunmuştur. Bu durum, arazi ölçümleriyle kestirim sonuçları arasında yüksek düzeyde anlamlı bir farklılık bulunduğunu göstermektedir. Dolayısı ile p ve R<sup>2</sup> değerine göre AKM parametresinin tespitinde Landsat-8 görüntüleri daha doğru sonuçlar vermiştir. Bu sonuç, Landsat-8 OLI polinom regresyon modelinin göl yüzeyindeki AKM dağılımının tespitinde daha yüksek kestirime sahip olduğunu kanıtlamaktadır.

Ölçülen ve polinom regresyon yöntemi ile kestirilen AKM konsantrasyon dağılımı Şekil 5.9'da sunulmuştur. Grafikten anlaşılacağı üzere Landsat-8 OLI'den elde edilen sonuçların daha yüksek korelasyona ( $R=0.87$ ) sahip olduğu açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 5.9 : PR modeli AKM ölçülen ve kestirilen konsantrasyon dağılımı.

### 5.2.3 Yanıt yüzey regresyon modeli

Göktürk-2 yansıtım değerleri kullanılarak oluşturulan AKM RSR modeli denklem 5.19’da, Landsat-8 RSR modeli denklem 5.20’de, Sentinel-2A RSR modeli ise denklem 5.21’de verilmiştir. Bu modeller yardımı ile yapılan kestirimlerin doğruluk analizi Çizelge 5.8’de özetlenmiştir.

$$GK2_{AKM(mg/L)} = 44 - (965 * B1_{GK2}) + (53 * B1_{GK2}^2) - (217 * B2_{GK2}) + (13171 * B2_{GK2}^2) + (1231 * B3_{GK2}) - (26243 * B3_{GK2}^2) + (38 * B4_{GK2}) + (16692 * B4_{GK2}^2) - (16932 * B1_{GK2} * B2_{GK2}) + (16874 * B1_{GK2} * B3_{GK2}) + (15053 * B2_{GK2} * B3_{GK2}) + (40010 * B1_{GK2} * B4_{GK2}) - (49285 * B2_{GK2} * B4_{GK2}) - (2084 * B3_{GK2} * B4_{GK2}) \quad (5.19)$$

$$L8_{OLI_{AKM(mg/L)}} = -252 - (36620 * B2_{L8}) - (375058 * B2_{L8}^2) + (31031 * B3_{L8}) - (560273 * B3_{L8}^2) - (886 * B4_{L8}) - (160803 * B4_{L8}^2) - (3980 * B5_{L8}) - (11985 * B5_{L8}^2) + (776855 * B2_{L8} * B3_{L8}) + (232287 * B2_{L8} * B4_{L8}) + (190600 * B3_{L8} * B4_{L8}) - (76670 * B2_{L8} * B5_{L8}) + (199937 * B3_{L8} * B5_{L8}) - (83485 * B4_{L8} * B5_{L8}) \quad (5.20)$$

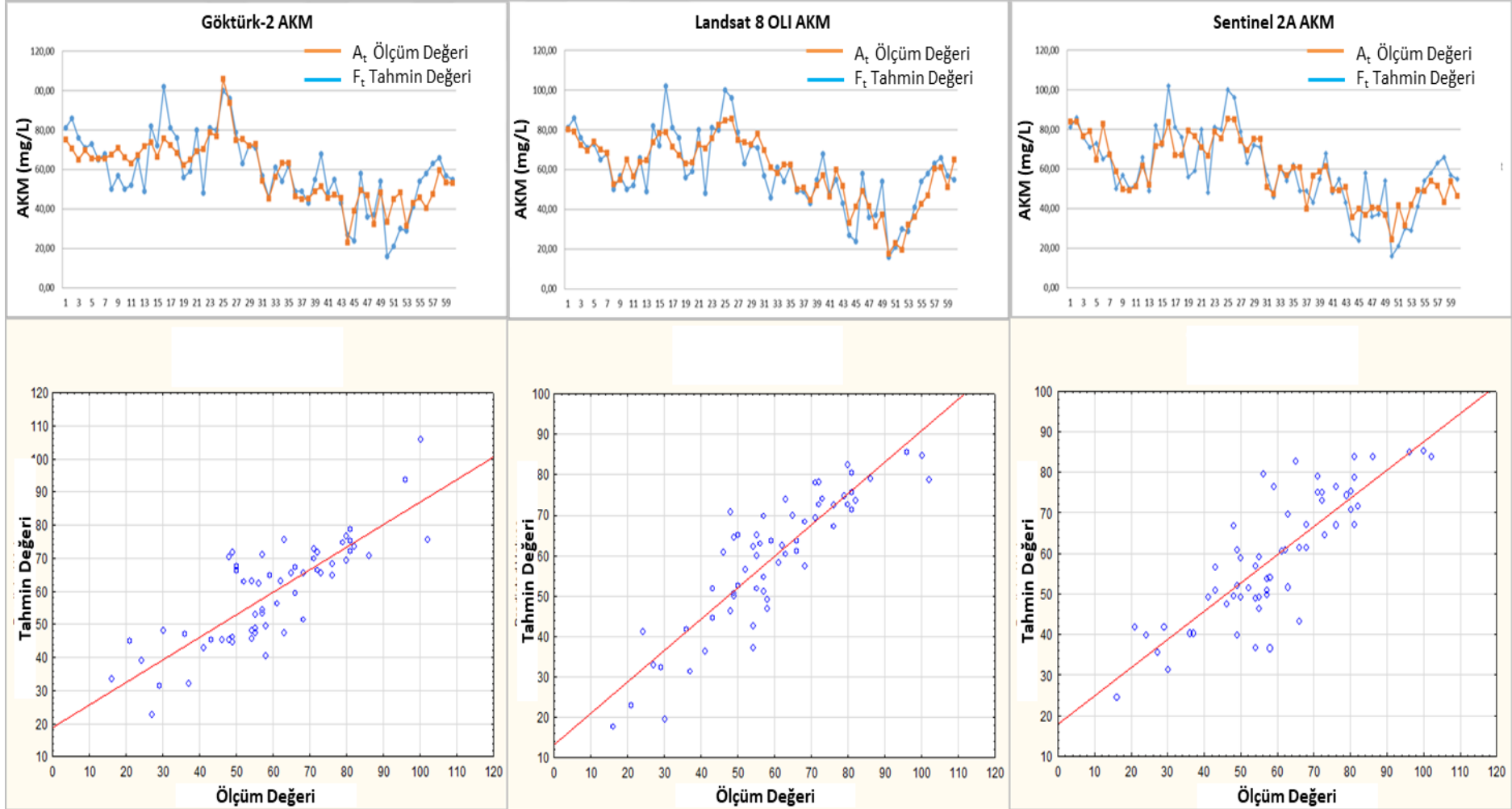
$$S2A_{AKM(mg/L)} = -158 - (4389 * B2_{S2A}) - (15485 * B2_{S2A}^2) + (1210 * B3_{S2A}) - (1002 * B3_{S2A}^2) + (8106 * B4_{S2A}) - (17641 * B4_{S2A}^2) + (899 * B8_{S2A}) - (9081 * B8_{S2A}^2) + (84310 * B2_{S2A} * B3_{S2A}) + (22564 * B2_{S2A} * B4_{S2A}) - (99398 * B3_{S2A} * B4_{S2A}) + (3211 * B2_{S2A} * B8_{S2A}) + (6188 * B3_{S2A} * B8_{S2A}) - (13336 * B4_{S2A} * B8_{S2A}) \quad (5.21)$$

**Çizelge 5.8 : RSR modeli AKM sonuçları ve karşılaştırma.**

Algılayıcı	Değişken Sayısı	Örnek Sayısı	RMSE	MAPE	MAE	R	R <sup>2</sup>	P
Göktürk-2	4	60	10,52	17,55	8,16	0,83	0,68	0,00001
Landsat-8	7	60	8,79	13,15	6,94	0,88	0,78	0,00001
Sentinel 2A	4	60	10,26	16,53	8,12	0,83	0,70	0,00001

RSR modelinin sonuçları çoklu ve polinom regresyon modellerine kıyasla daha iyi sonuçlar vermiştir. Yapılan analiz (T-testi) sonucuna göre AKM için anlamlılık değeri Göktürk-2 görüntüsü için  $p=0,00001 < 0,05$ , Landsat-8 görüntüsü için  $p=0,00001 < 0,05$  ve Sentinel 2A görüntüsü için  $p=0,00001 < 0,05$  bulunmuştur. Bu durum, arazi ölçümleriyle kestirim sonuçları arasında yüksek düzeyde anlamlı bir farklılık bulunduğunu göstermektedir. Dolayısı ile p ve R<sup>2</sup> değerine göre AKM parametresinin tespitinde Landsat-8 OLI görüntüleri daha doğru sonuçlar vermiştir. Bu sonuç, Landsat-8 OLI RSR modelinin göl yüzeyindeki AKM dağılımının tespitinde daha yüksek kestirime sahip olduğunu kanıtlamaktadır.

Ölçülen ve RSR yöntemi ile kestirilen AKM konsantrasyon dağılımı Şekil 5.10’da verilmiştir. Grafikte Landsat-8 OLI’den elde edilen sonuçların daha yüksek korelasyona (R=0.88) sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 5.10 : RSR modeli AKM ölçülen ve kestirilen konsantrasyon dağılımı.

#### 5.2.4 DVM modeli

Göktürk-2, Landsat-8 OLI ve Sentinel 2A yansıtım değerleri kullanılarak oluşturulan AKM DVM modeli kestirim sonuçları ve doğruluk analizi Çizelge 5.9’da özetlenmiştir.

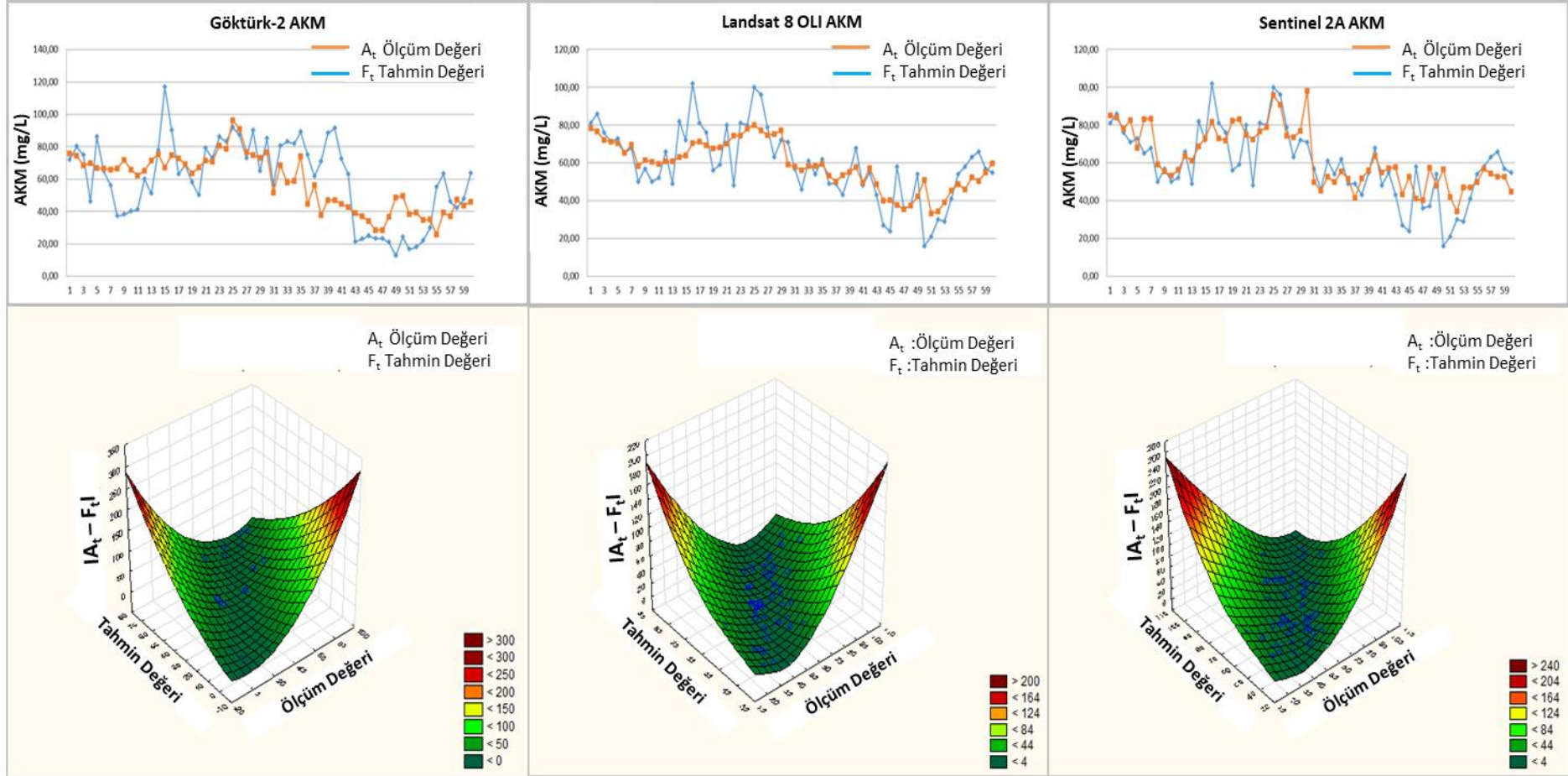
**Çizelge 5.9 : DVM modeli AKM sonuçları ve karşılaştırma.**

Algılayıcı	Değişken Sayısı	Örnek Sayısı	RMSE	MAPE	MAE	R	R <sup>2</sup>	P
Göktürk-2	4	60	128,11	11,32	19,90	8,64	0,80	0,63
Landsat-8	7	60	128,63	11,34	18,55	8,61	0,80	0,64
Sentinel 2A	4	60	163,85	12,80	22,97	9,64	0,75	0,57

Çizelge 5.9’a göre DVM modeli çoklu, polinom regresyon ve RSR modellerine kıyasla daha düşük sonuçlar vermiştir. Landsat-8 OLI için  $R^2=0,80$  olarak hesaplanmış ve önerilen diğer modellere göre daha düşük bir kestirime sahip olduğu görülmüştür. Statistica programındaki kısıtlardan dolayı bu model için denklemler verilememektedir.

Ölçülen ve DVM yöntemi ile kestirilen AKM konsantrasyon dağılımı Şekil 5.11’de sunulmuştur. AKM konsantrasyonu için kestirim değerleri x ekseninde, ölçüm değerleri y ekseninde ve hata miktarı z ekseninde verilmiştir. Bu grafiğe göre, Göktürk-2, Landsat-8 OLI ve Sentinel 2A için lineer olmayan bir hata oranı söz konusudur. Sentinel 2A sisteminden elde edilen hata miktarı Landsat-8 OLI ve Göktürk-2’ye göre daha yüksektir.





Şekil 5.11 : DVM modeli AKM ölçülen ve kestirilen konsantrasyon dağılımı.

### 5.2.5 Yapay sinir ağıları modeli

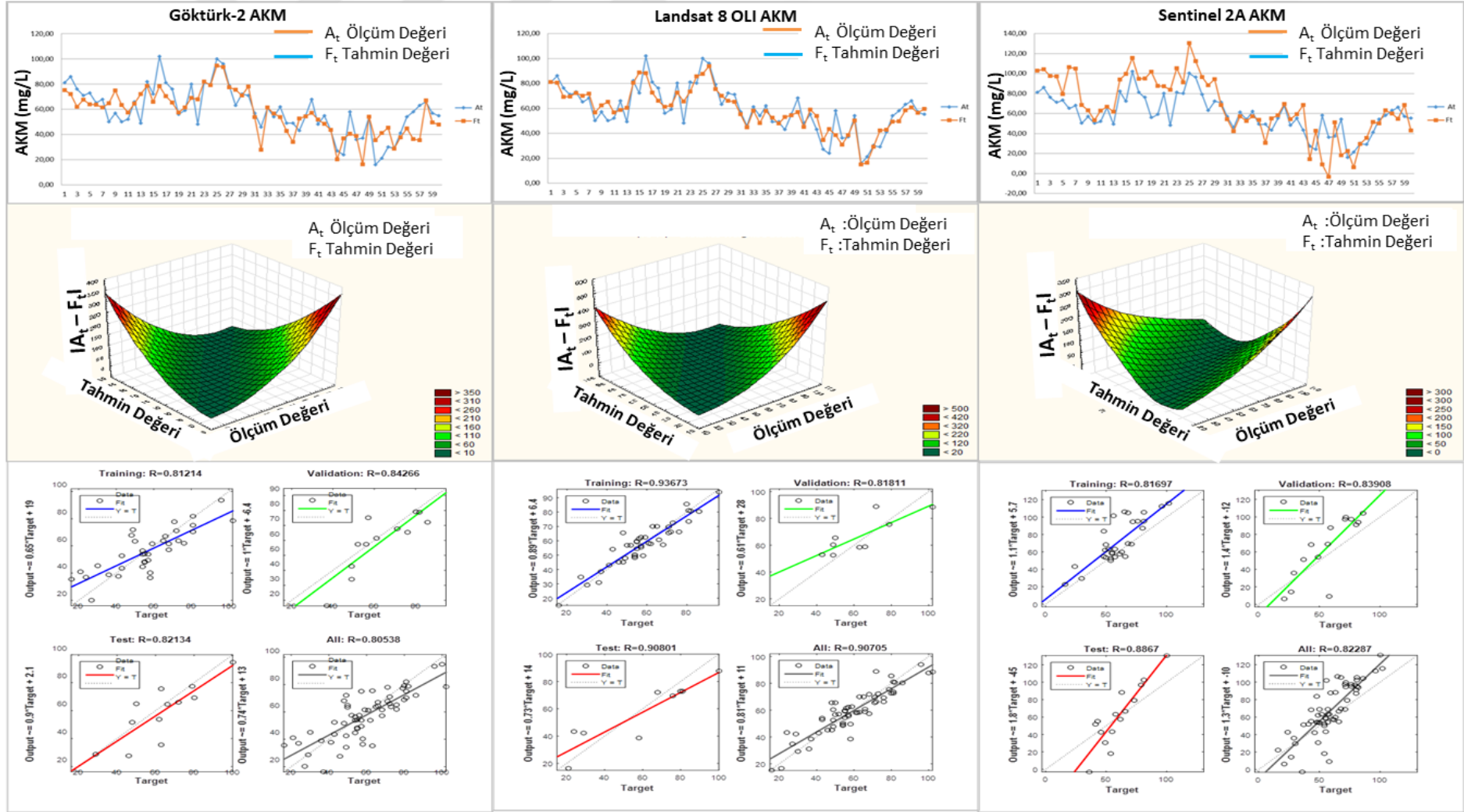
Göktürk-2, Landsat-8 OLI ve Sentinel 2A yansıtım değerleri kullanılarak oluşturulan AKM YSA modeli kestirim sonuçları ve doğruluk analizi Çizelge 5.10'da özetlenmiştir.

**Çizelge 5.10 : YSA modeli AKM sonuçları ve karşılaştırma.**

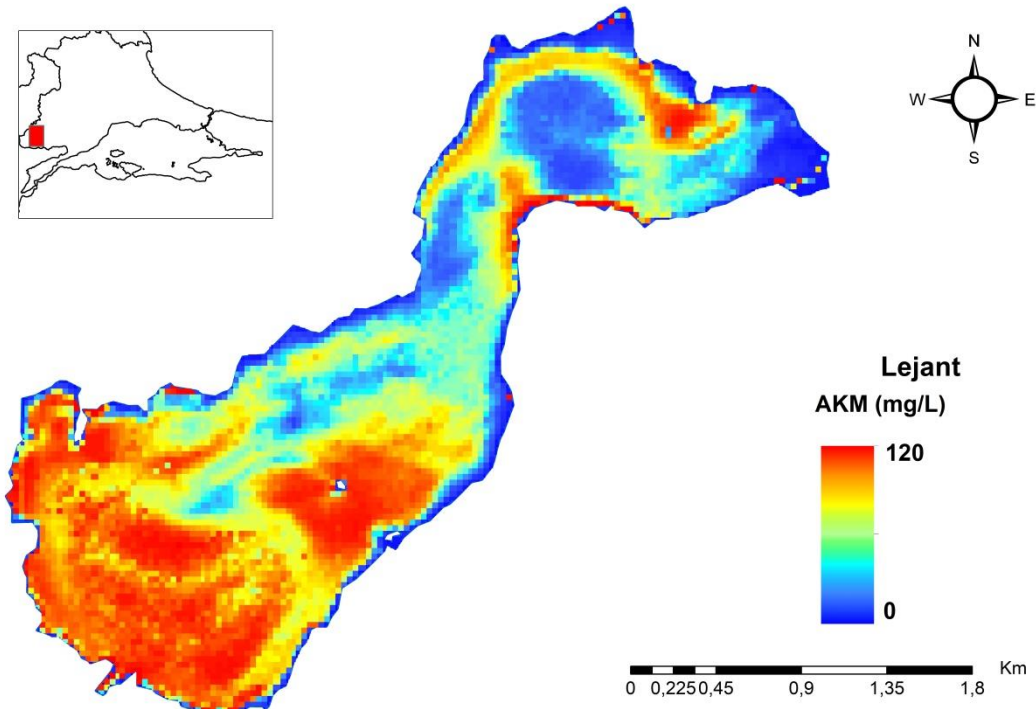
Algılayıcı	Değişken Sayısı	Örnek Sayısı	RMSE	MAPE	MAE	R	R <sup>2</sup>
Göktürk-2	4	60	11,41	18,85	8,84	0,81	0,65
Landsat-8	7	60	7,85	12,08	6,21	0,91	0,82
Sentinel 2A	4	60	19,63	28,52	15,45	0,82	0,68

Çizelge 5.10'a göre AKM konsantrasyonu için Landsat-8 OLI görüntüsünden elde edilen sonucun ( $R^2=0,82$ ) Sentinel 2A ve Göktürk-2'ye göre daha iyi olduğu görülmektedir. Genel değerlendirmeye bakıldığında YSA AKM sonucunun önceki yöntemlere göre daha doğru olduğu görülmektedir. Ölçülen ve YSA yöntemi ile kestirilen AKM konsantrasyon dağılımı ile eğitim, test, doğrulama ve tüm modeli kapsayan kestirim katsayısı değerleri Şekil 5.12'de sunulmuştur. AKM konsantrasyonu ölçüm değerleri, kestirim değerleri ve hata miktarı arasındaki ilişkiyi bakıldığında Göktürk-2 sisteminden elde edilen hata miktarının Landsat-8 OLI ve Sentinel 2A sonuçlarına göre daha fazla olduğu görülmektedir. Üç uydu sisteminden elde edilen sonuçlara bakıldığında artan ölçüm değeri ile hata oranının doğru orantılı olduğu görülmektedir.

YSA yöntemi ile hesaplanan AKM dağılım haritasına bakıldığında (Şekil 5.13) gölün güney batısında AKM miktarının çok fazla olduğu görülmektedir. Özellikle kuzeydoğu girişinde ve güneyde Hisarlı Dağı'nın olduğu bölgelerde tarım alanları ve yağışın etkisiyle toprağın göle taşınması buradaki katı madde miktarını arttırmaktadır. Bu nedenle kuzeydoğu ucunda kalan bölümün neredeyse tamamı balçıkla kaplanmış bulunmaktadır.



Şekil 5.12 : YSA modeli AKM ölçülen ve kestirilen konsantrasyon dağılımı.



Şekil 5.13 : AKM kestirim haritası.

### 5.3 Çözünmüş Oksijen Kestirim Modelleri

#### 5.3.1 Çoklu regresyon modeli

Göktürk-2 yansıtım değerleri kullanılarak oluşturulan ÇO çoklu regresyon modeli denklem 5.22’de, Landsat-8 çoklu regresyon modeli denklem 5.23’te, Sentinel-2A çoklu regresyon modeli ise denklem 5.24’te verilmiştir.

$$GK2_{\text{ÇO}} (mg/L) = 11,6+(3,1*B1\_GK2)+(7,3*B2\_GK2)-(5,3*B3\_GK2)-(12,6*B4\_GK2) \quad (5.22)$$

$$L8\ OLI_{\text{ÇO}} (mg/L) = 12+(39*B1\_L8)-(39*B2\_L8)+(21*B3\_L8)-(34*B4\_L8)+(12*B5\_L8)-(7,8*B6\_L8)-(70*B7\_L8) \quad (5.23)$$

$$S2A_{\text{ÇO}} (mg/L) = 12+(0,65*B2\_S2A)+(6,4*B3\_S2A)-(15,6*B4\_S2A)+(2,4*B8\_S2A) \quad (5.24)$$

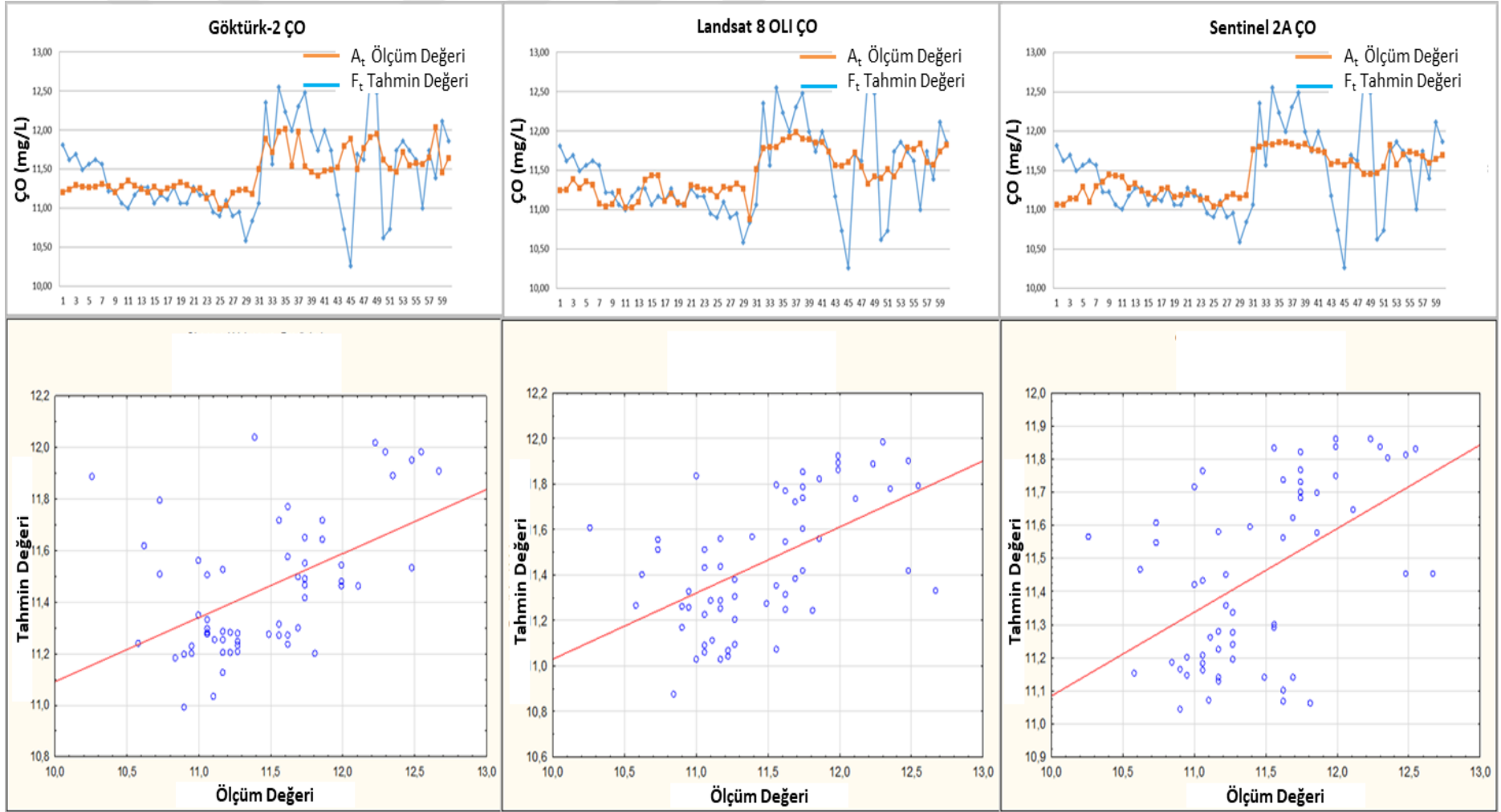
Bu modeller yardımı ile yapılan kestirimlerin doğruluk analizi Çizelge 5.11’de özetlenmiştir. Yapılan analiz (T-testi) sonucuna göre ÇO için anlamlılık değeri Göktürk-2 görüntüsü için  $p=0,00002<0,05$ , Landsat-8 OLI görüntüsü için  $p=0,00003<0,05$  ve Sentinel 2A görüntüsü için  $p=0,0260<0,05$  bulunmuştur.

**Çizelge 5.11 : MLR modeli ÇO sonuçları ve karşılaştırma.**

Algılayıcı	Değişken Sayısı	Örnek Sayısı	RMSE	MAPE	MAE	R	R <sup>2</sup>	P
Göktürk-2	4	60	0,46	3,05	0,35	0,50	0,25	0,00002
Landsat-8	7	60	0,45	2,81	0,32	0,54	0,29	0,00003
Sentinel 2A	4	60	0,46	2,94	0,34	0,50	0,25	0,00260

Bu durum, arazi ölçümleriyle kestirim sonuçları arasında yüksek düzeyde anlamlı bir farklılık bulunduğunu göstermektedir. Dolayısı ile p ve R<sup>2</sup> değerine göre ÇO parametresinin tespitinde Landsat 8 OLI görüntüleri daha doğru sonuçlar vermiştir. Aynı zamanda Landsat 8 OLI RMSE, MAPE ve MAE sonuçları da Göktürk-2 ve Landsat 8'e göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Çoklu regresyon modelinde elde edilen sonucun Landsat 8 OLI görüntüsü için daha iyi çıkması bant sayısının daha fazla olmasından kaynaklandığı yönünde değerlendirilmiştir. Ayrıca, Landsat-8 OLI görüntüsünün spektral çözünürlüğünün yüksek olması da doğruluğu arttıran diğer etkenler arasında sayılabilir.

Ölçülen ve çoklu regresyon yöntemi ile kestirilen ÇO konsantrasyon dağılımı Şekil 5.14'te sunulmuştur. Grafikten anlaşılacağı üzere Landsat-8 OLI'den elde edilen sonuçlar daha yüksek korelasyona (R=0.54) sahiptir.



Şekil 5.14 : MLR modeli ÇO ölçülen ve kestilen konsantrasyon dağılımı.

### 5.3.2 Polinom regresyon modeli

Göktürk-2 yansıtım değerleri kullanılarak oluşturulan ÇO polinom regresyon modeli denklem 5.25'te, Landsat-8 polinom regresyon modeli denklem 5.26'da, Sentinel-2A polinom regresyon modeli ise denklem 5.27'de verilmiştir. Bu modeller yardımı ile yapılan kestirimlerin doğruluk analizi Çizelge 5.12'de özetlenmiştir.

$$GK2_{\text{ÇO}} (mg/L) = 11 - (2,4 * B1_{GK2}) + (31 * B1_{GK2}^2) - (46 * B2_{GK2}) + (361 * B2_{GK2}^2) + (49 * B3_{GK2}) - (385 * B3_{GK2}^2) + (16,5 * B4_{GK2}) - (376 * B4_{GK2}^2) \quad (5.25)$$

$$L8_{OLI} (mg/L) = 17,8 + (234 * B1_{L8}) - (4195 * B1_{L8}^2) - (571 * B2_{L8}) + (8168 * B2_{L8}^2) + (192 * B3_{L8}) - (1591 * B3_{L8}^2) - (211 * B4_{L8}) + (1645 * B4_{L8}^2) + (115 * B5_{L8}) - (1178 * B5_{L8}^2) - (104 * B6_{L8}) + (3164 * B6_{L8}^2) - (167 * B7_{L8}) + (9301 * B7_{L8}^2) \quad (5.26)$$

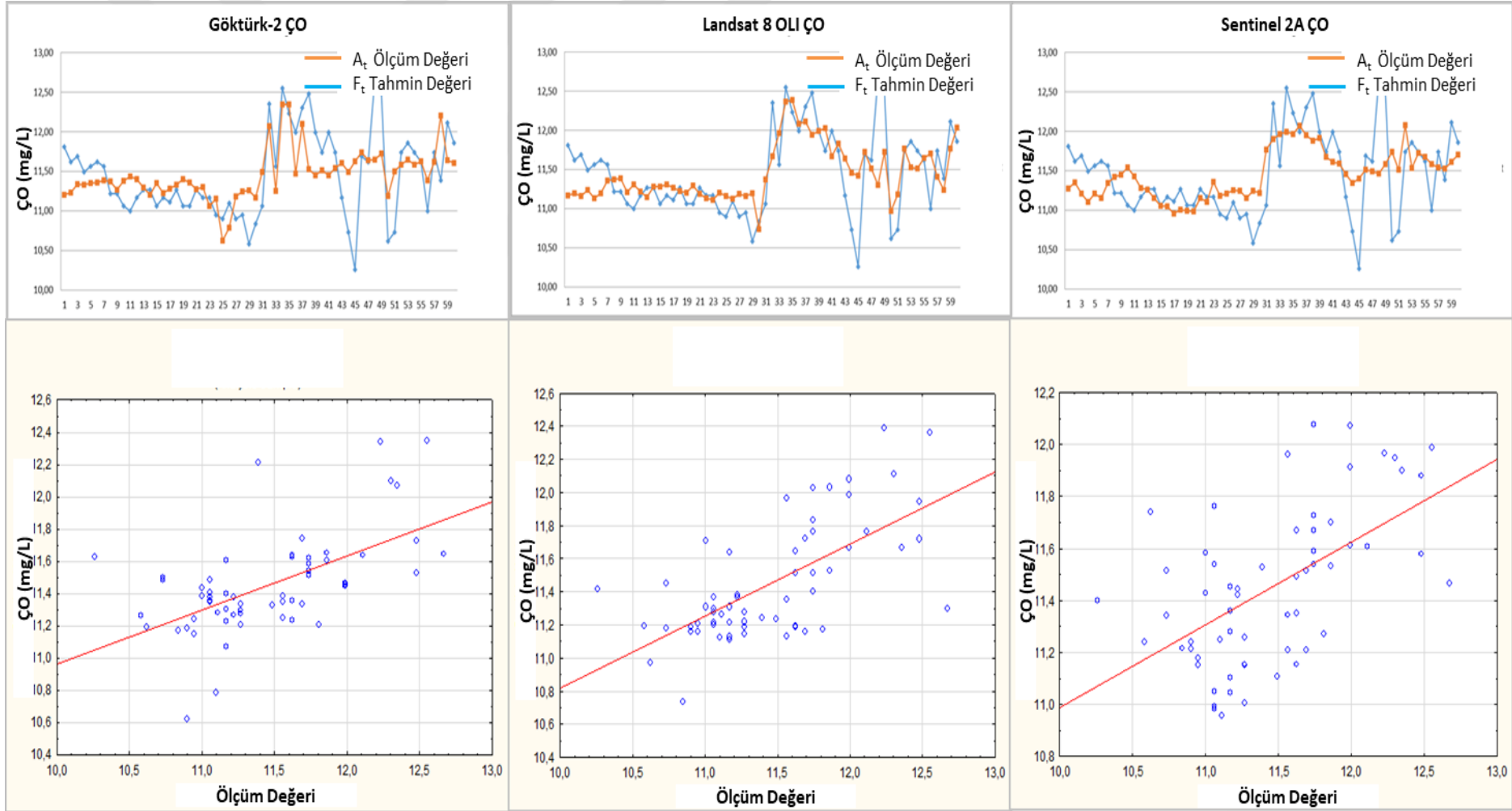
$$S2A_{\text{ÇO}} (mg/L) = 14,8 + (186 * B2_{S2A}) - (1521 * B2_{S2A}^2) + (17 * B3_{S2A}) - (27 * B3_{S2A}^2) - (268 * B4_{S2A}) + (1824 * B4_{S2A}^2) - (33 * B8_{S2A}) + (529 * B8_{S2A}^2) \quad (5.27)$$

**Çizelge 5.12 : PR modeli ÇO sonuçları ve karşılaştırma.**

Algılayıcı	Değişken Sayısı	Örnek Sayısı	RMSE	MAPE	MAE	R	R <sup>2</sup>	P
Göktürk-2	4	60	0,43	2,94	0,34	0,58	0,34	0,00487
Landsat-8	7	60	0,40	2,58	0,30	0,66	0,44	0,01076
Sentinel 2A	4	60	0,44	2,97	0,34	0,56	0,32	0,00820

Polinom regresyon modelinin sonuçları doğrusal regresyon modellerine kıyasla daha iyi sonuçlar vermiştir. Yapılan analiz (T-testi) sonucuna göre ÇO için anlamlılık değeri Göktürk-2 görüntüsü için  $p=0,00487 < 0,05$ , Landsat-8 OLI görüntüsü için  $p=0,01076 < 0,05$  ve Sentinel 2A görüntüsü için  $p=0,00820 < 0,05$  bulunmuştur. Bu durum, arazi ölçümleriyle kestirim sonuçları arasında yüksek düzeyde anlamlı bir farklılık bulunduğunu göstermektedir. Dolayısı ile p ve R<sup>2</sup> değerine göre ÇO parametresinin tespitinde Landsat-8 OLI görüntüleri daha doğru sonuçlar vermiştir. Bu sonuç, Landsat-8 OLI polinom regresyon modelinin göl yüzeyindeki ÇO dağılımının tespitinde daha yüksek kestirime sahip olduğunu kanıtlamaktadır.

Ölçülen ve polinom regresyon yöntemi ile kestirilen ÇO konsantrasyon dağılımı Şekil 5.15'te sunulmuştur. Grafikten anlaşılacağı üzere Landsat-8 OLI'den elde edilen sonuçlar daha yüksek korelasyona ( $R=0.66$ ) sahiptir.



Şekil 5.15 : PR modeli CO ölçülen ve kestirilen konsantrasyon dağılımı.



### 5.3.3 Yanıt yüzey regresyon modeli

Göktürk-2 yansıtım değerleri kullanılarak oluşturulan ÇO RSR modeli denklem 5.28'de, Landsat-8 RSR modeli denklem 5.29'da, Sentinel-2A RSR modeli ise denklem 5.30'da verilmiştir. Bu modeller yardımı ile yapılan kestirimlerin doğruluk analizi Çizelge 5.13'te özetlenmiştir.

$$GK2_{\text{ÇO}} (mg/L) = 11 - (21 * B1\_GK2) - (199 * B1\_GK2^2) - (58 * B2\_GK2) + (2634 * B2\_GK2^2) + (90 * B3\_GK2) - (68 * B3\_GK2^2) + (14 * B4\_GK2) - (314 * B4\_GK2^2) - (419 * B1\_GK2 * B2\_GK2) + (1327 * B1\_GK2 * B3\_GK2) - (3510 * B2\_GK2 * B3\_GK2) + (551 * B1\_GK2 * B4\_GK2) - (2021 * B2\_GK2 * B4\_GK2) + (1436 * B3\_GK2 * B4\_GK2) \quad (5.28)$$

$$L8\ OLI_{\text{ÇO}} (mg/L) = 7,9 - (697 * B2\_L8) - (7852 * B2\_L8^2) - (413 * B3\_L8) + (21659 * B3\_L8^2) + (959 * B4\_L8) + (14510 * B4\_L8^2) + (35 * B5\_L8) + (112 * B5\_L8^2) + (6102 * B2\_L8 * B3\_L8) + (13554 * B2\_L8 * B4\_L8) - (45821 * B3\_L8 * B4\_L8) + 2887 * B2\_L8 * B5\_L8 + (288 * B3\_L8 * B5\_L8) - (3043 * B4\_L8 * B5\_L8) \quad (5.29)$$

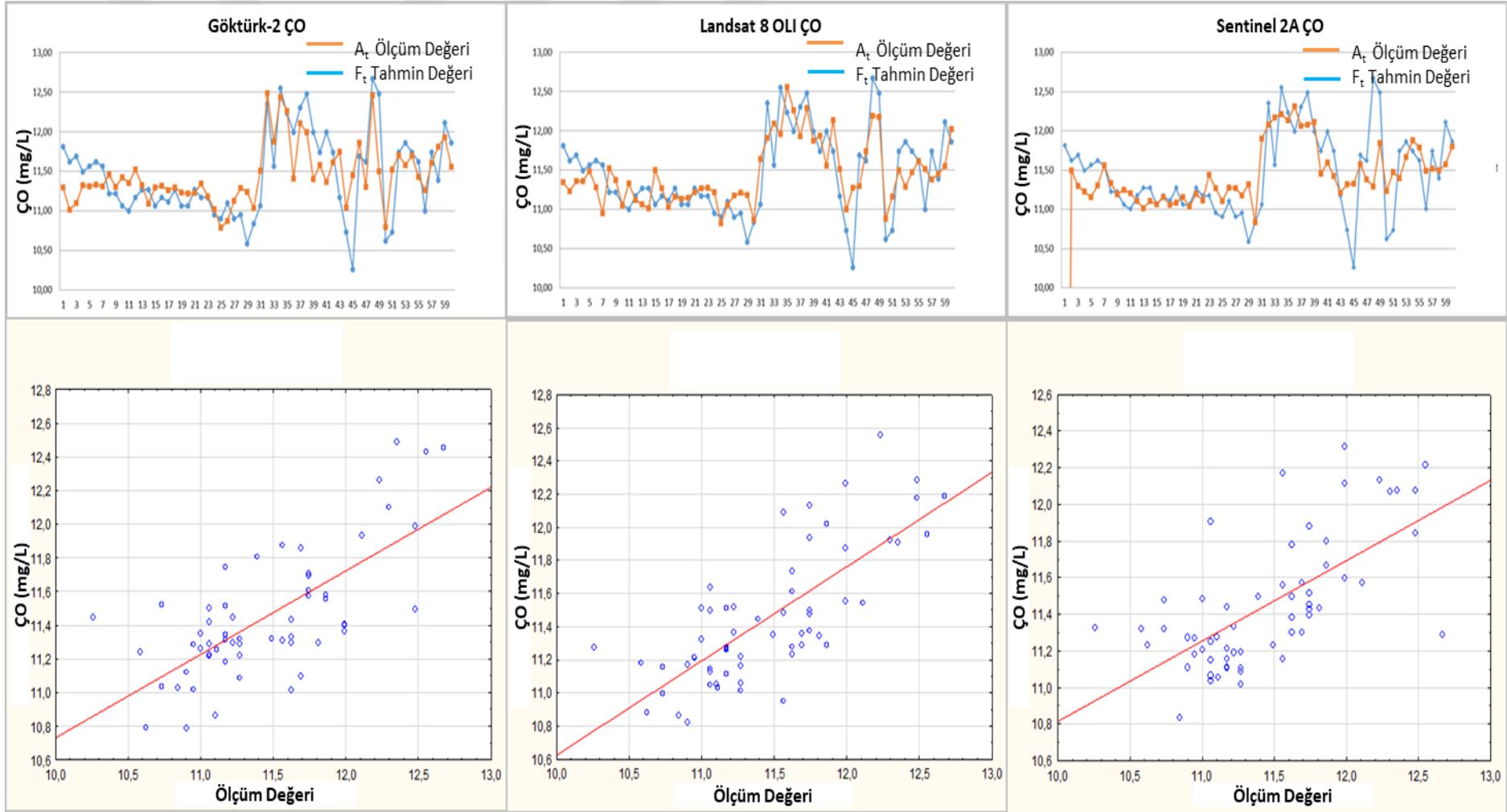
$$S2A_{\text{ÇO}} (mg/L) = -6 + (423 * B2\_S2A) - (2076 * B2\_S2A^2) + 263 * B3\_S2A - (433 * B3\_S2A^2) - 154 * B4\_S2A + (1406 * B4\_S2A^2) + (78 * B8\_S2A) + (522 * B8\_S2A^2) - (2429 * B2\_S2A * B3\_S2A) - (249 * B2\_S2A * B4\_S2A) - (217 * B3\_S2A * B4\_S2A) + (1723 * B2\_S2A * B8\_S2A) - (1035 * B3\_S2A * B8\_S2A) - (2204 * B4\_S2A * B8\_S2A) \quad (5.30)$$

**Çizelge 5.13 : RSR modeli ÇO sonuçları ve karşılaştırma.**

Algılayıcı	Değişken Sayısı	Örnek Sayısı	RMSE	MAPE	MAE	R	R <sup>2</sup>	P
Göktürk-2	4	60	0,38	2,58	0,29	0,71	0,50	0,00161
Landsat-8	7	60	0,35	2,49	0,29	0,76	0,57	0,00009
Sentinel 2A	4	60	0,40	2,57	0,29	0,67	0,44	0,00937

RSR modelinin sonuçları çoklu ve polinom regresyon modellerine kıyasla daha iyi sonuçlar vermiştir. Yapılan analiz (T-testi) sonucuna göre ÇO için anlamlılık değeri Göktürk-2 görüntüsü için  $p=0,00161 < 0,05$ , Landsat-8 görüntüsü için  $p=0,00009 < 0,05$  ve Sentinel 2A görüntüsü için  $p=0,00937 < 0,05$  bulunmuştur. Bu durum, arazi ölçümleriyle kestirim sonuçları arasında yüksek düzeyde anlamlı bir farklılık bulunduğunu göstermektedir. Dolayısı ile p ve R<sup>2</sup> değerine göre ÇO parametresinin tespitinde Landsat-8 görüntüleri daha doğru sonuçlar vermiştir. Bu sonuçlar, Landsat-8 RSR modelinin göl yüzeyindeki ÇO dağılımının tespitinde daha yüksek kestirime sahip olduğunu kanıtlamaktadır.

Ölçülen ve RSR yöntemi ile kestirilen ÇO konsantrasyon dağılımı Şekil 5.16'da sunulmuştur. Grafikten anlaşılacağı üzere Landsat-8 OLI'den elde edilen sonuçların daha yüksek korelasyona (R=0.76) sahip olduğu açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 5.16 : RSR modeli ÇO ölçülen ve kestirilen konsantrasyon dağılımı.

### 5.3.4 DVM modeli

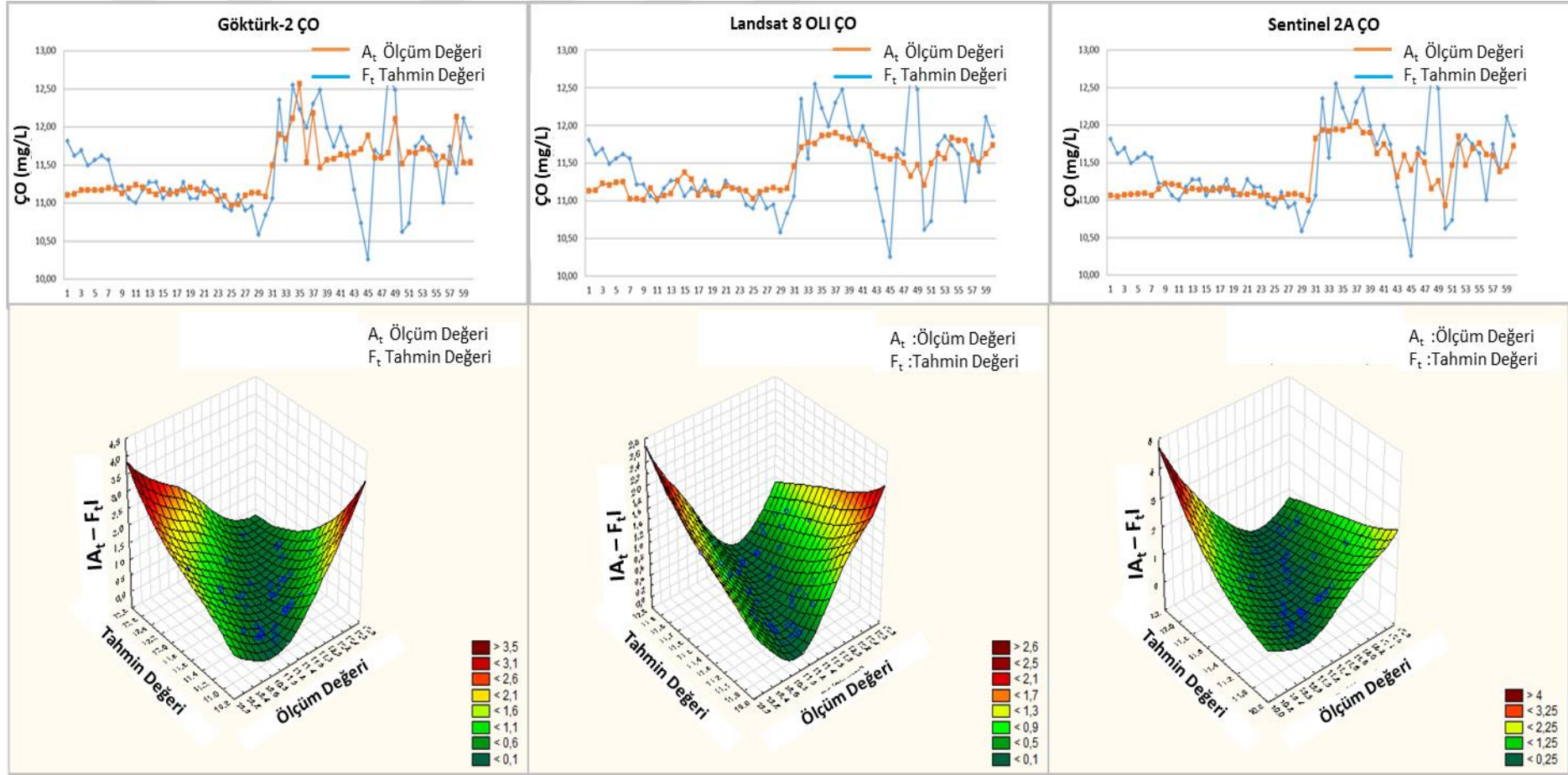
Göktürk-2, Landsat-8 OLI ve Sentinel 2A yansıtım değerleri kullanılarak oluşturulan ÇO DVM modeli kestirim sonuçları ve doğruluk analizi Çizelge 5.14'te özetlenmiştir.

**Çizelge 5.14 : DVM modeli ÇO sonuçları ve karşılaştırma.**

Algılayıcı	Değişken Sayısı	Örnek Sayısı	RMSE	MAPE	MAE	R	R <sup>2</sup>	P
Göktürk-2	4	60	0,46	2,96	0,34	0,51	0,26	0,46
Landsat-8	7	60	0,44	2,79	0,32	0,55	0,31	0,44
Sentinel 2A	4	60	0,45	2,71	0,31	0,56	0,31	0,45

Çizelge 5.14'e göre DVM modeli, MLR ve RSR modellerine oranla daha düşük veya eşit sonuçlar vermiştir. Sentinel 2A için R=0,56 olarak hesaplanmış ve önerilen diğer modellere göre daha düşük bir kestirime sahip olduğu görülmüştür. Statistica programındaki kısıtlardan dolayı bu model için denklemler verilememektedir.

Ölçülen ve DVM yöntemi ile kestirilen ÇO konsantrasyon dağılımı Şekil 5.17'de sunulmuştur. ÇO konsantrasyonu için kestirim değerleri x ekseninde, ölçüm değerleri y ekseninde ve hata miktarı z ekseninde verilmiştir. Bu grafiğe göre, Göktürk-2, Landsat-8 OLI ve Sentinel 2A için lineer olmayan bir hata oranı söz konusudur. Sentinel 2A sisteminden elde edilen hata miktarı Landsat-8 OLI ve Göktürk-2'ye yakın seviyelerdedir.



Şekil 5.17 : DVM modeli ÇO ölçülen ve kestirilen konsantrasyon dağılımı.

### 5.3.5 Yapay sinir ağıları modeli

Göktürk-2, Landsat-8 OLI ve Sentinel 2A yansıtım değerleri kullanılarak oluşturulan ÇO YSA modeli kestirim sonuçları ve doğruluk analizi Çizelge 5.15'te özetlenmiştir.

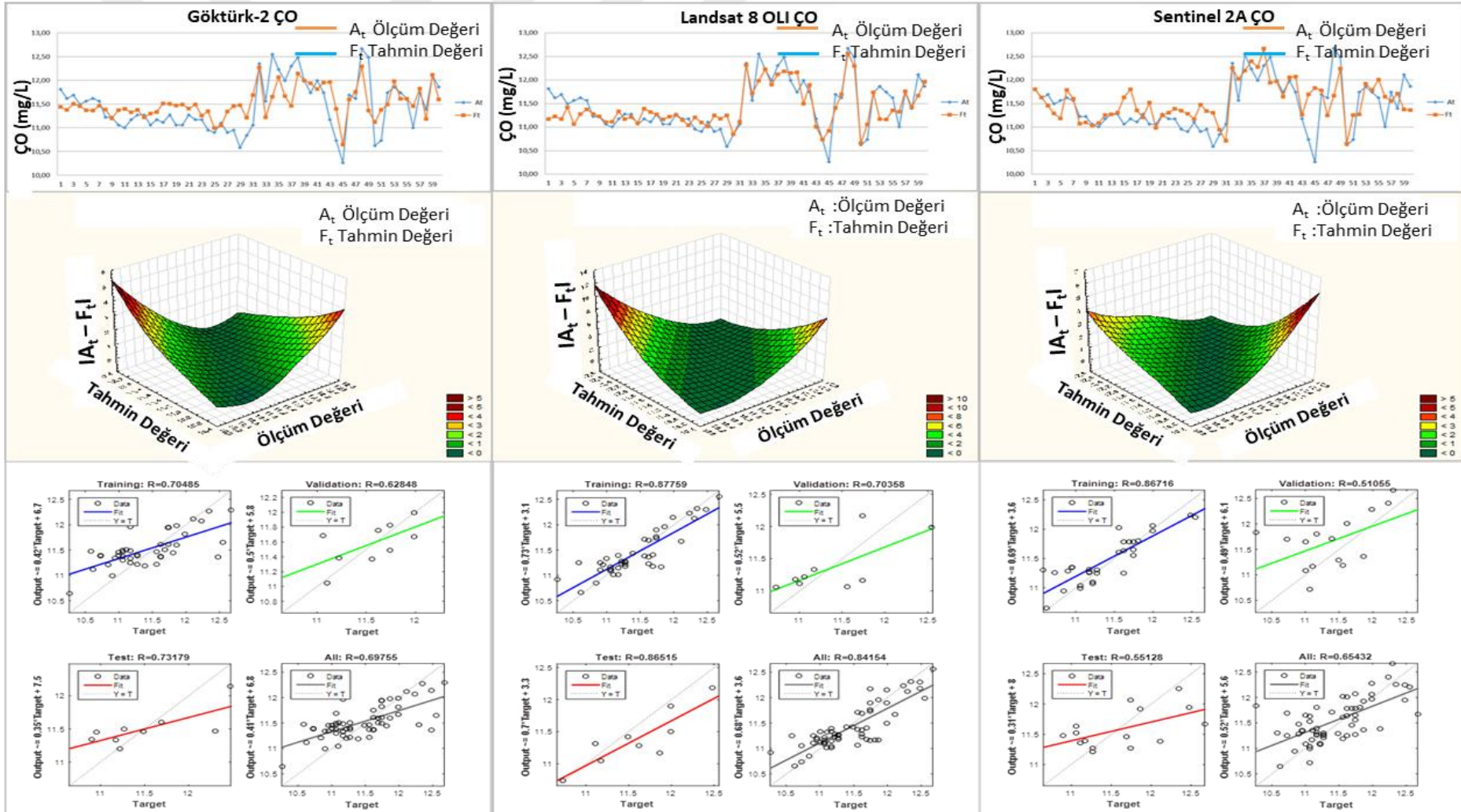
**Çizelge 5.15 : YSA modeli ÇO sonuçları ve karşılaştırma.**

Algılayıcı	Değişken Sayısı	Örnek Sayısı	RMSE	MAPE	MAE	R	R <sup>2</sup>
Göktürk-2	4	60	0,39	2,66	0,30	0,70	0,49
Landsat-8	7	60	0,29	1,86	0,21	0,84	0,71
Sentinel 2A	4	60	0,42	2,64	0,30	0,65	0,43

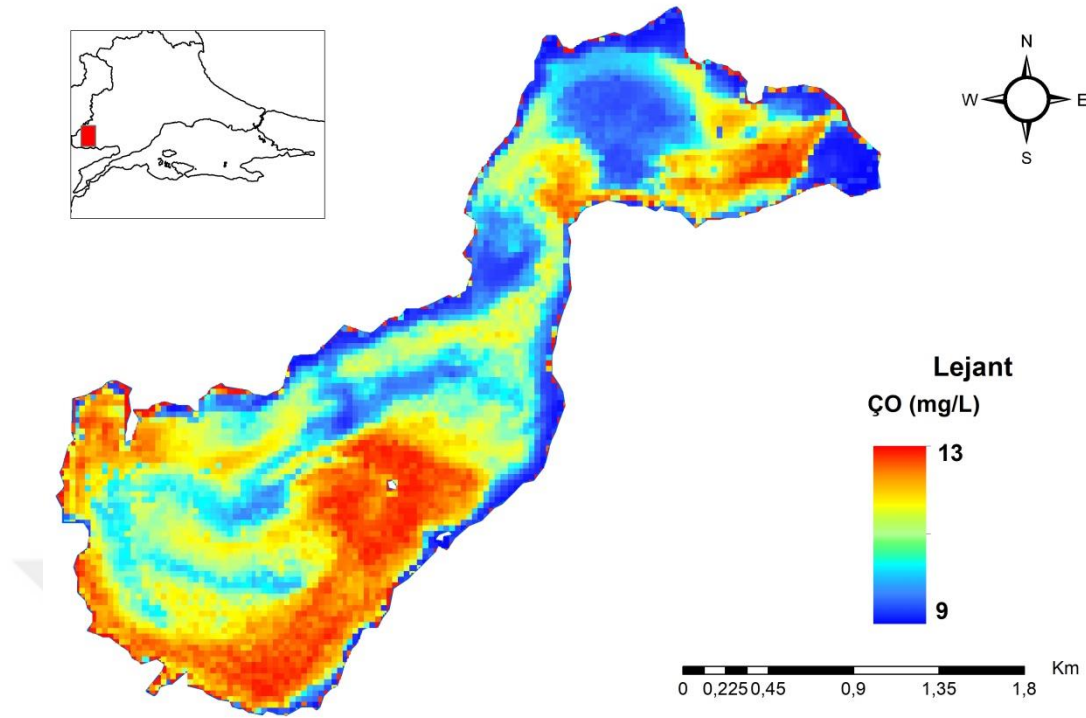
Çizelge 5.15'e göre ÇO konsantrasyonu için Landsat-8 OLI görüntüsünden elde edilen sonucun ( $R^2=0,71$ ) Sentinel 2A ve Göktürk-2'ye göre daha yüksek bir doğruluğa sahip olduğu görülmektedir. Genel değerlendirmeye bakıldığında YSA ÇO miktarı kestirim sonucu önceki yöntemlere göre daha yüksek bir doğruluğa sahiptir.

Ölçülen ve YSA yöntemi ile kestirilen ÇO konsantrasyon dağılımı ile eğitim, test, doğrulama ve tüm modeli kapsayan kestirim katsayısı değerleri Şekil 5.18'de sunulmuştur. ÇO konsantrasyonu ölçüm değerleri, kestirim değerleri ve hata miktarı arasındaki ilişkiye bakıldığında Sentinel 2A sisteminden elde edilen hata miktarının Landsat-8 OLI ve Göktürk-2 sonuçlarına göre daha fazla olduğu görülmektedir. Üç uydu sisteminden elde edilen sonuçlara bakıldığında artan ölçüm değeri ile hata oranının doğru orantılı olduğu görülmektedir.

Landsat 8 OLI algılayıcı bantları yansıtım değerleri kullanılarak oluşturulan ÇO YSA modeli ÇO dağılım haritası incelendiğinde (Şek.5.19) Klorofil-a miktarı ile ters ilişkili olduğu görülmektedir. Bu durum alg patlamalarının olduğu bölgelerde ÇO oksijen miktarının azalmasına, diğer bölgelerde ise artış göstermesine neden olmaktadır. Özellikle güneybatı bölümünde ve boğazın güneydoğusunda kalan bölgelerde ÇO miktarının yüksek seviyelerde olduğu görülmektedir.



Şekil 5.18 : YSA modeli ÇO ölçülen ve kestirilen konsantrasyon dağılımı.



Şekil 5.19 : ÇO kestirim haritası.

## 5.4 Secchi Disk Derinliği Kestirim Modelleri

### 5.4.1 Çoklu regresyon modeli

Göktürk-2 yansıtım değerleri kullanılarak oluşturulan SDD çoklu regresyon modeli denklem 5.31’de, Landsat-8 çoklu regresyon modeli denklem 5.32’de, Sentinel-2A çoklu regresyon modeli ise denklem 5.33’te verilmiştir. Bu modeller yardımı ile yapılan kestirimlerin doğruluk analizi Çizelge 5.16’da özetlenmiştir.

$$GK2_{SDD (cm)} = 56,5 + (272,8 * B1_{GK2}) - (366 * B2_{GK2}) - (19,6 * B3_{GK2}) - (420,8 * B4_{GK2}) \quad (5.31)$$

$$L8_{OLI_{SDD (cm)}} = 55,4 + (4882 * B1_{L8}) - (6820 * B2_{L8}) + (2143 * B3_{L8}) - (535 * B4_{L8}) - (252 * B5_{L8}) - (714 * B6_{L8}) + (1580 * B7_{L8}) \quad (5.32)$$

$$S2A_{SDD (cm)} = 54 - (334 * B2_{S2A}) + (331 * B3_{S2A}) - (225 * B4_{S2A}) + (49,8 * B8_{S2A}) \quad (5.33)$$

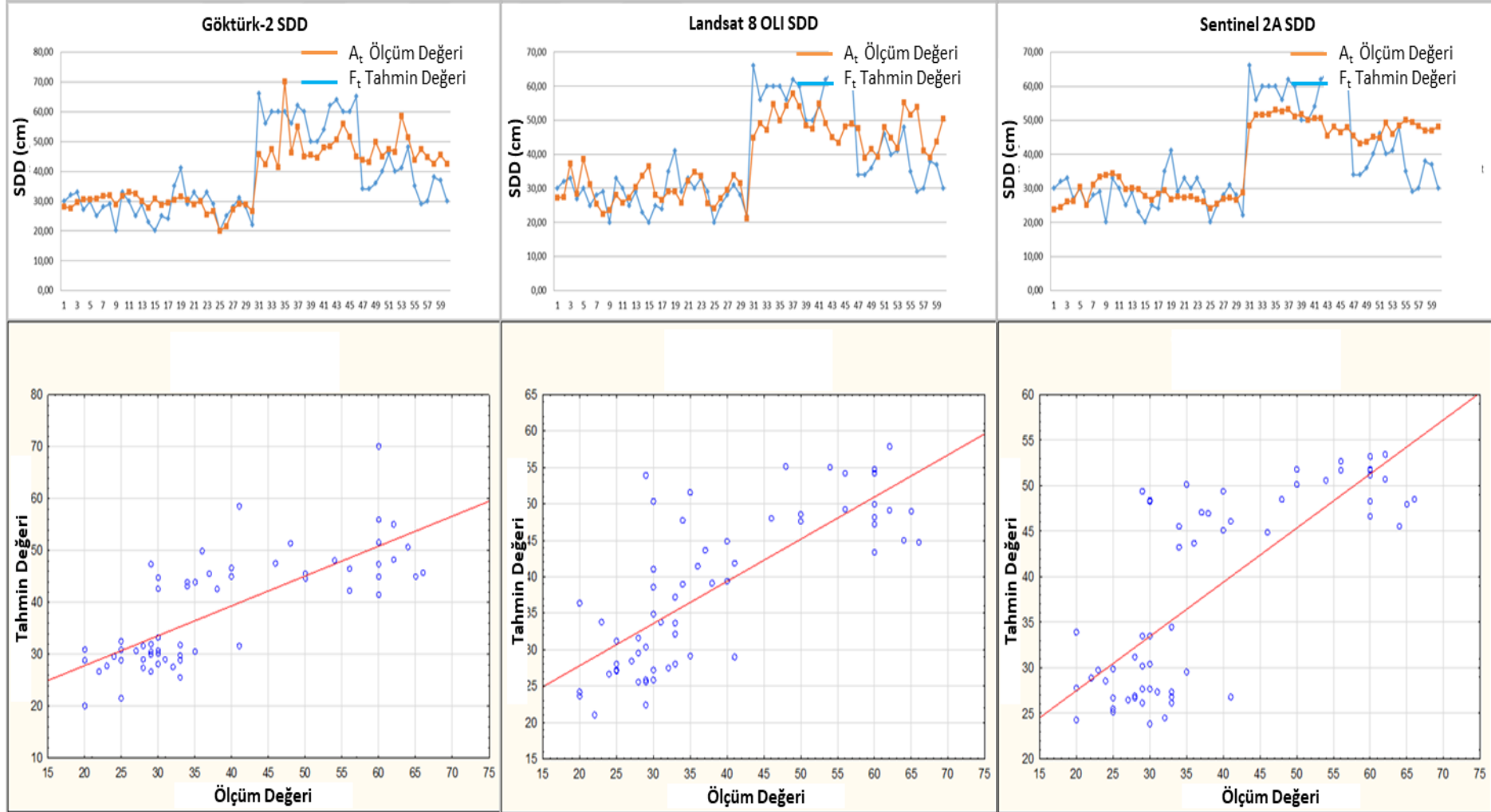
Çizelge 5.16 : MLR modeli SDD sonuçları ve karşılaştırma.

Algılayıcı	Değişken Sayısı	Örnek Sayısı	RMSE	MAPE	MAE	R	R <sup>2</sup>	P
Göktürk-2	4	60	8,97	18,77	7,19	0,76	0,58	0,00001
Landsat-8	7	60	8,94	18,27	6,69	0,76	0,58	0,00001
Sentinel 2A	4	60	8,77	18,94	6,91	0,77	0,60	0,00001

Yapılan analiz (T-testi) sonucuna göre Klorofil-a için anlamlılık değeri Gökürk-2 görüntüsü için  $p=0,00001<0,05$ , Landsat-8 OLI görüntüsü için  $p=0,00001<0,05$  ve Sentinel 2A görüntüsü için  $p=0,00001<0,05$  bulunmuştur. Bu durum, arazi ölçümleriyle kestirim sonuçları arasında yüksek düzeyde anlamlı bir farklılık bulunduğunu göstermektedir. Dolayısı ile  $p$  ve  $R^2$  değerine göre Klorofil-a parametresinin tespitinde Sentinel 2A görüntüleri daha doğru sonuçlar vermiştir. Aynı zamanda Sentinel 2A RMSE, MAPE ve MAE sonuçları da Gökürk-2 ve Landsat 8 OLI'ye göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Çoklu regresyon modelinde elde edilen sonuçlar üç algılayıcı için de birbirine oldukça yakın çıkmıştır. Bu durum SDD'nin her algılayıcıda benzer şekilde tepki verdiğinin bir sonucu olarak karşımıza çıkmaktadır.

Ölçülen ve çoklu regresyon yöntemi ile kestirilen SDD konsantrasyon dağılımı Şekil 5.20'de sunulmuştur. Grafikten anlaşılacağı üzere Sentinel 2A'dan elde edilen sonuçların daha yüksek korelasyona ( $R=0.60$ ) sahip olduğu açık bir şekilde görülmektedir.





Şekil 5.20 : MLR modeli SDD ölçülen ve kestirilen konsantrasyon dağılımı.

## 5.4.2 Polinom regresyon modeli

Göktürk-2 yansıtım değerleri kullanılarak oluşturulan SDD polinom regresyon modeli denklem 5.34'te, Landsat-8 polinom regresyon modeli denklem 5.35'te, Sentinel-2A polinom regresyon modeli ise denklem 5.36'da verilmiştir. Bu modeller yardımı ile yapılan kestirimlerin doğruluk analizi Çizelge 5.17'de özetlenmiştir.

$$GK2_{SDD} (cm) = 57 + (687 * B1_{GK2}) - (1478 * B1_{GK2}^2) - (1813 * B2_{GK2}) + (8529 * B2_{GK2}^2) + (443 * B3_{GK2}) - (2628 * B3_{GK2}^2) + (166 * B4_{GK2}) - (5425 * B4_{GK2}^2) \quad (5.34)$$

$$L8_{OLI_{SDD}} (cm) = -5,6 + (11862 * B1_{L8}) - (119730 * B1_{L8}^2) - (22060 * B2_{L8}) + (199043 * B2_{L8}^2) + (11160 * B3_{L8}) - (67604 * B3_{L8}^2) - (2509 * B4_{L8}) + (17982 * B4_{L8}^2) + (293 * B5_{L8}) - (6478 * B5_{L8}^2) + (374 * B6_{L8}) - (30475 * B6_{L8}^2) - (1629 * B7_{L8}) + (198974 * B7_{L8}^2) \quad (5.35)$$

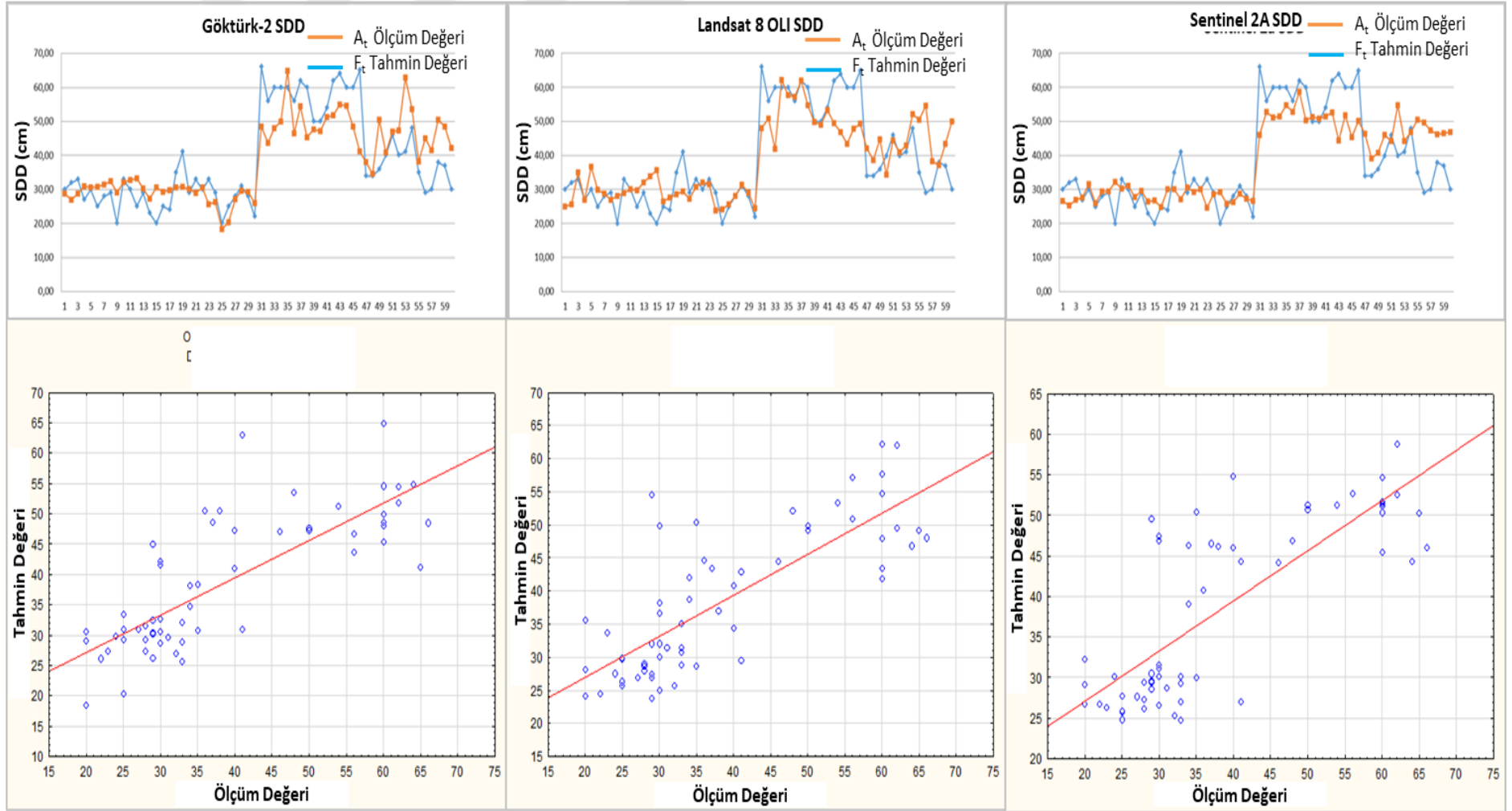
$$S2A_{SDD} (cm) = 215 - (5951 * B2_{S2A}) + (43915 * B2_{S2A}^2) - (880 * B3_{S2A}) + (9596 * B3_{S2A}^2) + (1270 * B4_{S2A}) - (11188 * B4_{S2A}^2) + (69 * B8_{S2A}) + (76 * B8_{S2A}^2) \quad (5.36)$$

**Çizelge 5.17 : PR modeli SDD sonuçları ve karşılaştırma.**

Algılayıcı	Değişken Sayısı	Örnek Sayısı	RMSE	MAPE	MAE	R	R <sup>2</sup>	P
Göktürk-2	4	60	8,53	17,62	6,64	0,79	0,62	0,00001
Landsat-8	7	60	8,49	16,65	5,98	0,79	0,62	0,00001
Sentinel 2A	4	60	8,50	17,17	6,33	0,79	0,62	0,00001

Polinom regresyon modelinin sonuçları çoklu regresyon modellerine kıyasla daha iyi sonuçlar vermiştir. Yapılan analiz (T-testi) sonucuna göre SDD için anlamlılık değeri Göktürk-2 görüntüsü için  $p=0,00001 < 0,05$ , Landsat-8 OLI görüntüsü için  $p=0,00001 < 0,05$  ve Sentinel 2A görüntüsü için  $p=0,00001 < 0,05$  bulunmuştur. Bu durum, arazi ölçümleriyle kestirim sonuçları arasında yüksek düzeyde anlamlı bir farklılık bulunduğunu göstermektedir. Dolayısı ile p ve R<sup>2</sup> değerine göre SDD parametresinin tespitinde üç uydu sistemi de aynı sonucu vermiştir. Bu sonuç, polinom regresyon modelinin, göl yüzeyindeki SDD dağılımının tespitinde üç uydu sisteminde de istikrarlı sonuçlar verdiği ve SDD'nin yüksek kestirime sahip olduğunu kanıtlamaktadır.

Ölçülen ve polinom regresyon yöntemi ile kestirilen SDD konsantrasyon dağılımı Şekil 5.21'de sunulmuştur. Grafikten de anlaşılacağı üzere üç uydudan elde edilen sonuçların yüksek korelasyona (R=0.79) sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 5.21 : PR modeli SDD ölçülen ve kestirilen konsantrasyon dağılımı.

### 5.4.3 Yanıt yüzey regresyon modeli

Göktürk-2 yansıtım değerleri kullanılarak oluşturulan SDD RSR modeli denklem 5.37’de, Landsat-8 RSR modeli denklem 5.38’de, Sentinel-2A RSR modeli ise denklem 5.39’da verilmiştir. Bu modeller yardımı ile yapılan kestirimlerin doğruluk analizi Çizelge 5.18’de özetlenmiştir.

$$GK2_{SDD} (cm) = 61 + (287 * B1_{GK2}) - (2798 * B1_{GK2}^2) - (2144 * B2_{GK2}) + (3904 * B2_{GK2}^2) + (1052 * B3_{GK2}) + (19146 * B3_{GK2}^2) + (141 * B4_{GK2}) - (1475 * B4_{GK2}^2) + (23562 * B1_{GK2} * B2_{GK2}) - (17884 * B1_{GK2} * B3_{GK2}) - (21082 * B2_{GK2} * B3_{GK2}) + (15214 * B1_{GK2} * B4_{GK2}) - (10131 * B2_{GK2} * B4_{GK2}) - (9149 * B3_{GK2} * B4_{GK2}) \quad (5.37)$$

$$L8_{OLI_{SDD}} (cm) = 121 + (7560 * B2_{L8}) + (32895 * B2_{L8}^2) + (11892 * B3_{L8}) - (158444 * B3_{L8}^2) - (18772 * B4_{L8}) + (131668 * B4_{L8}^2) - (4063 * B5_{L8}) + (9604 * B5_{L8}^2) - (52412 * B2_{L8} * B3_{L8}) - (96613 * B2_{L8} * B4_{L8}) + (134779 * B3_{L8} * B4_{L8}) + (17743 * B2_{L8} * B5_{L8}) + (136033 * B3_{L8} * B5_{L8}) - (122785 * B4_{L8} * B5_{L8}) \quad (5.38)$$

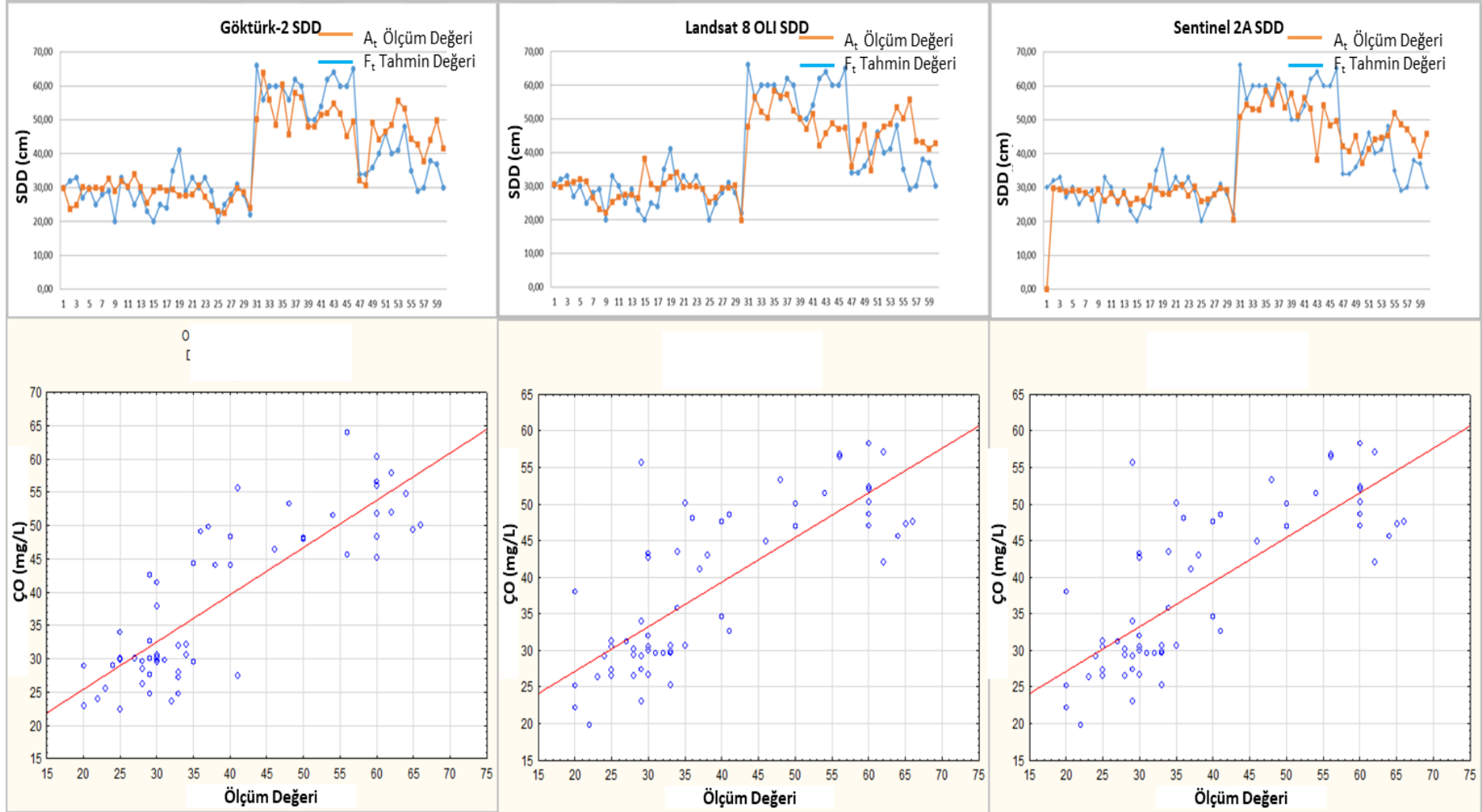
$$S2A_{SDD} (cm) = -177 + (743 * B2_{S2A}) + (47134 * B2_{S2A}^2) + (3820 * B3_{S2A}) - (2900 * B3_{S2A}^2) + (1428 * B4_{S2A}) + (12948 * B4_{S2A}^2) + (1740 * B8_{S2A}) + (1942 * B8_{S2A}^2) - (54763 * B2_{S2A} * B3_{S2A}) - (53283 * B2_{S2A} * B4_{S2A}) + (7145 * B3_{S2A} * B4_{S2A}) + (3949 * B2_{S2A} * B8_{S2A}) - (2217 * B3_{S2A} * B8_{S2A}) - (24196 * B4_{S2A} * B8_{S2A}) \quad (5.39)$$

**Çizelge 5.18 : RSR Modeli SDD sonuçları ve karşılaştırma.**

Algılayıcı	Değişken Sayısı	Örnek Sayısı	RMSE	MAPE	MAE	R	R <sup>2</sup>	P
Göktürk-2	4	60	0,38	2,58	0,29	0,71	0,50	0,00161
Landsat-8	7	60	0,35	2,49	0,29	0,76	0,57	0,00009
Sentinel 2A	4	60	0,40	2,57	0,29	0,67	0,44	0,00937

RSR modelinin sonuçları çoklu ve polinom regresyon modellerine kıyasla daha iyi sonuçlar vermiştir. Yapılan analiz (T-testi) sonucuna göre SDD için anlamlılık değeri Göktürk-2 görüntüsü için  $p=0,00001 < 0,00161$ , Landsat-8 OLI görüntüsü için  $p=0,00009 < 0,05$  ve Sentinel 2A görüntüsü için  $p=0,00937 < 0,05$  bulunmuştur. Bu durum, arazi ölçümleriyle kestirim sonuçları arasında yüksek düzeyde anlamlı bir farklılık bulunduğunu göstermektedir. Dolayısı ile p ve R<sup>2</sup> değerine göre SDD parametresinin tespitinde Landsat-8 OLI görüntüleri daha doğru sonuçlar vermiştir. Bu sonuç, Landsat-8 OLI 2 RSR modelinin göl yüzeyindeki SDD dağılımının tespitinde daha uygulanabilir olduğunu kanıtlamaktadır.

Ölçülen ve RSR yöntemi ile kestirilen SDD konsantrasyon dağılımı Şekil 5.22’de sunulmuştur. Grafikten anlaşılacağı üzere Landsat-8 OLI’den elde edilen sonuçların daha yüksek korelasyona (R=0.76) sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 5.22 : RSR modeli SDD ölçülen ve kestirilen konsantrasyon dağılımı.

#### 5.4.4 DVM modeli

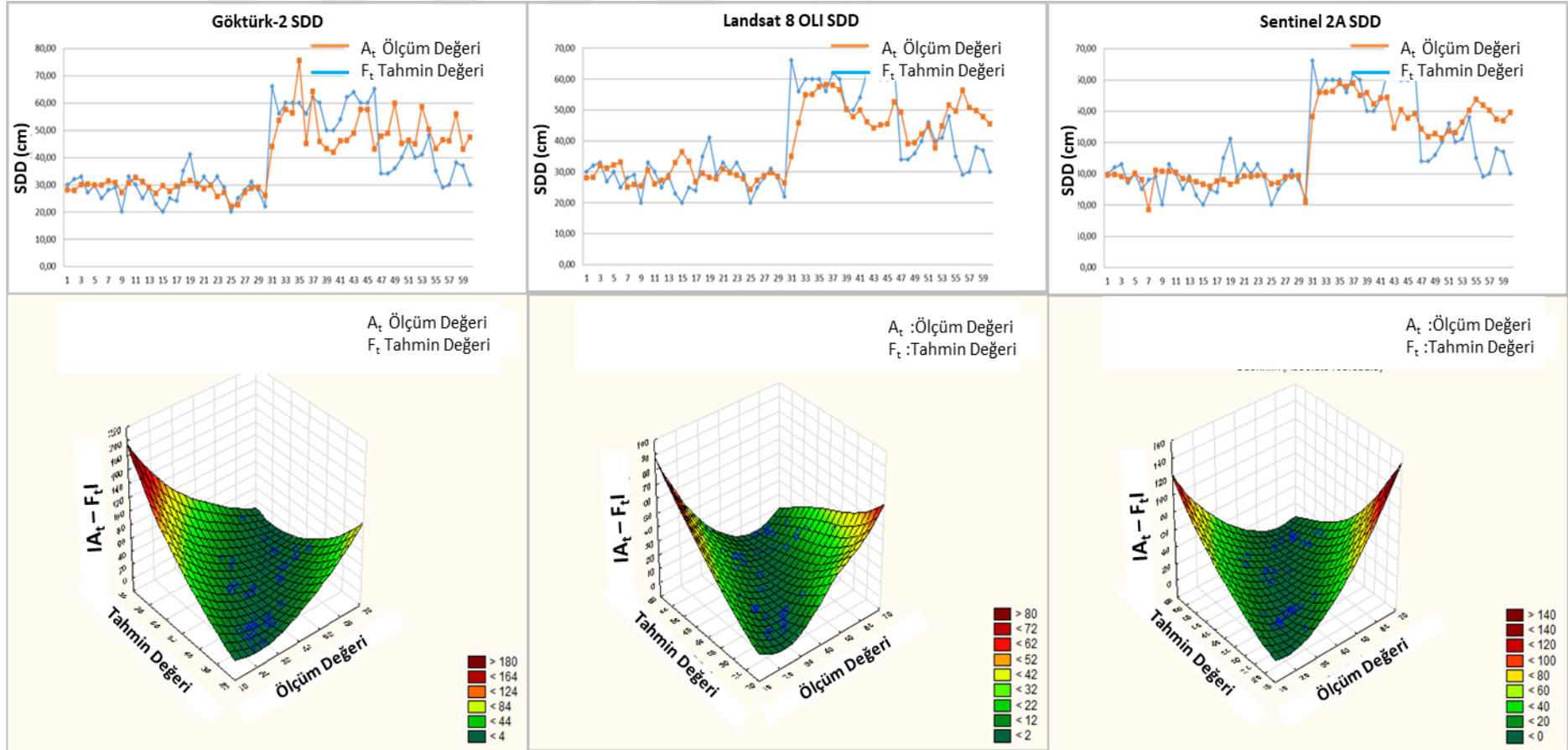
Göktürk-2, Landsat-8 OLI ve Sentinel 2A yansıtım değerleri kullanılarak oluşturulan SDD DVM modeli kestirim sonuçları ve doğruluk analizi Çizelge 5.19’da özetlenmiştir.

**Çizelge 5.19 : DVM modeli SDD sonuçları ve karşılaştırma.**

Algılayıcı	Değişken Sayısı	Örnek Sayısı	RMSE	MAPE	MAE	R	R <sup>2</sup>	P
Göktürk-2	4	60	9,50	18,84	7,06	0,74	0,55	9,50
Landsat-8	7	60	64,46	5,30	45,4	0,72	0,51	64,46
Sentinel 2A	4	60	8,32	16,35	5,86	0,80	0,64	8,32

Çizelge 5.19’a göre DVM modeli çoklu ve polinom regresyon modellerine kıyasla daha iyi sonuçlar vermiştir. Sentinel 2A için R=0,80 olarak hesaplanmış ve önerilen RSR modeline göre daha düşük bir kestirime sahip olduğu görülmüştür. Statistica programındaki kısıtlardan dolayı bu model için denklemler verilememektedir.

Ölçülen ve DVM yöntemi ile kestirilen SDD konsantrasyon dağılımı Şekil 5.23’te sunulmuştur. SDD konsantrasyonu için kestirim değerleri x ekseninde, ölçüm değerleri y ekseninde ve hata miktarı z ekseninde verilmiştir. Bu grafiğe göre, Göktürk-2, Landsat-8 OLI ve Sentinel 2A için lineer olmayan bir hata oranı söz konusudur. Sentinel 2A sisteminden elde edilen hata miktarı Landsat-8 OLI ve Göktürk-2’ye göre daha düşük seviyededir.



Şekil 5.23 : DVM modeli SDD ölçülen ve kestirilen konsantrasyon dağılımı.

#### 5.4.5 Yapay sinir ağı modeli

Göktürk-2, Landsat-8 OLI ve Sentinel 2A yansıtım değerleri kullanılarak oluşturulan SDD YSA modeli kestirim sonuçları ve doğruluk analizi Çizelge 5.20’de özetlenmiştir.

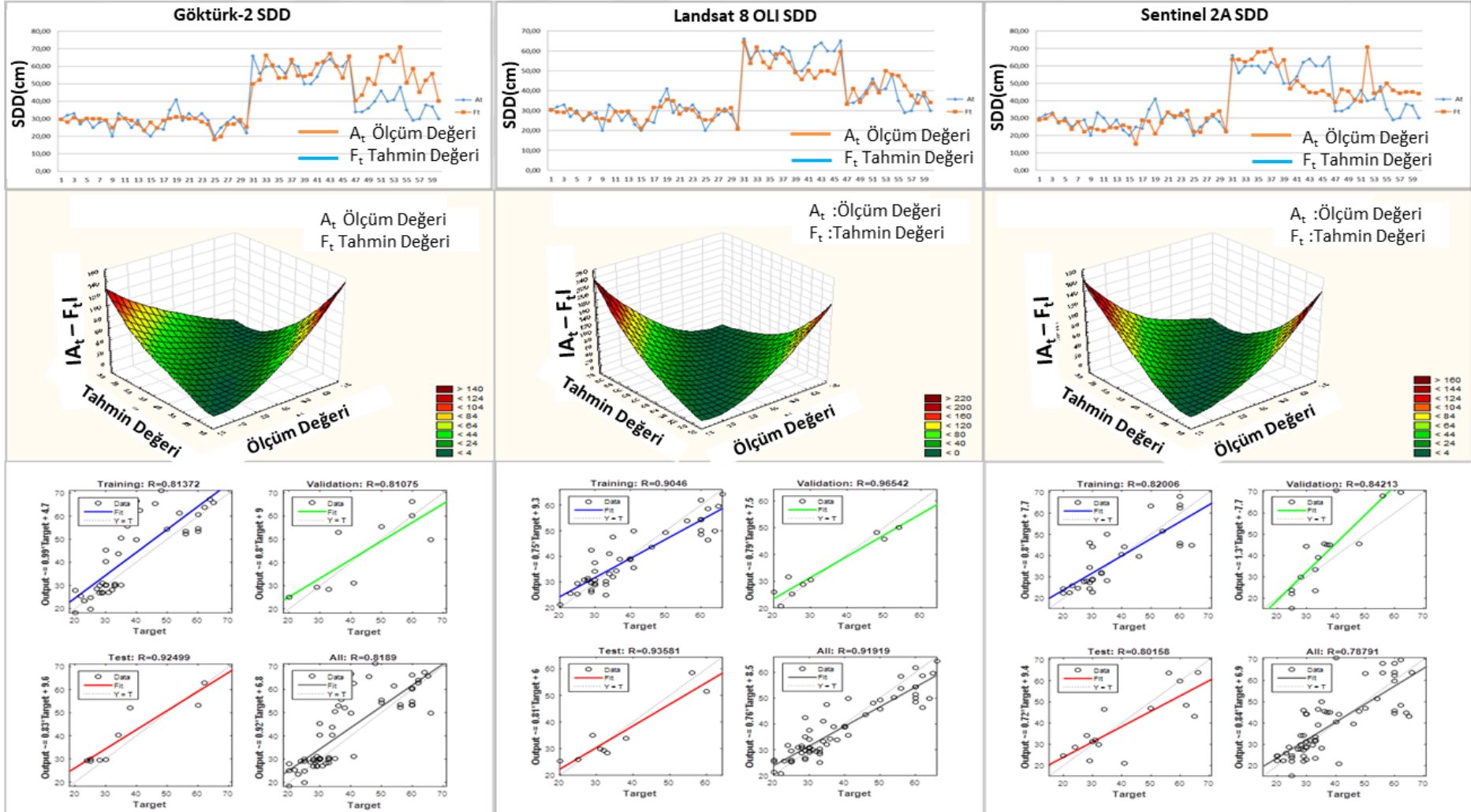
**Çizelge 5.20 : YSA modeli SDD sonuçları ve karşılaştırma.**

Algılayıcı	Değişken Sayısı	Örnek Sayısı	RMSE	MAPE	MAE	R	R <sup>2</sup>
Göktürk-2	4	60	9,63	18,16	6,60	0,82	0,67
Landsat-8	7	60	5,60	11,27	4,19	0,92	0,84
Sentinel 2A	4	60	9,35	17,72	6,79	0,79	0,62

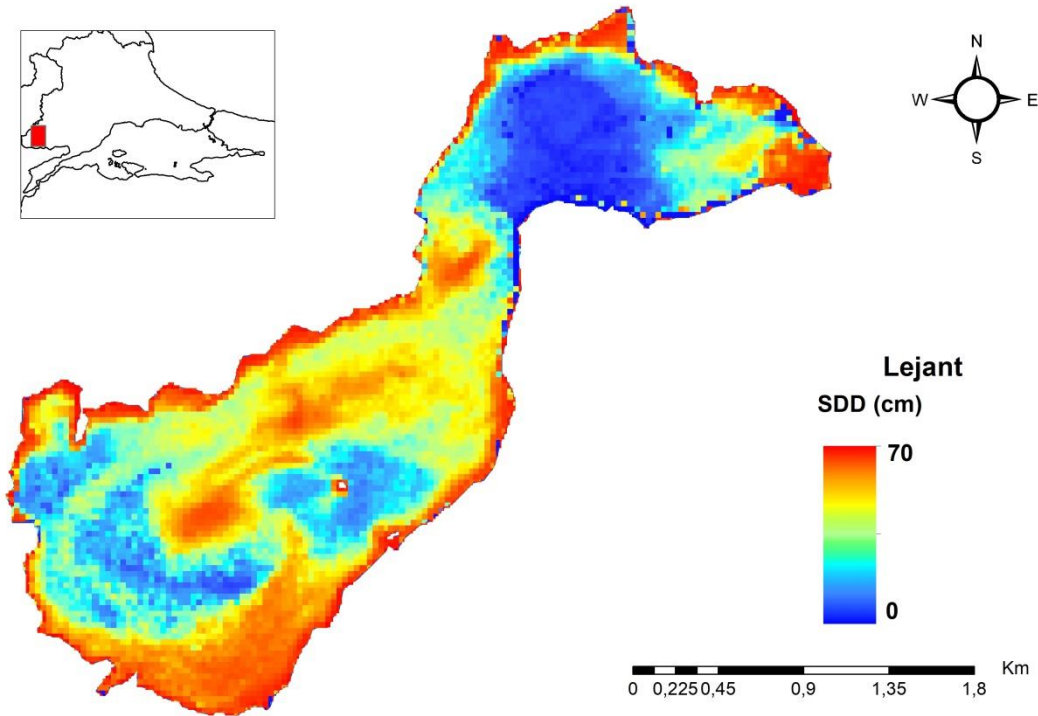
Çizelge 5.20’ye göre SDD konsantrasyonu için Landsat-8 OLI görüntüsünden elde edilen sonucun ( $R^2=0,84$ ) Sentinel 2A ve Göktürk-2’ye göre daha iyi olduğu görülmektedir. Genel değerlendirmeye bakıldığında YSA SDD sonucu diğer yöntemlere göre daha doğru sonuçlar vermiştir. Ölçülen ve YSA yöntemi ile kestirilen SDD konsantrasyon dağılımı ile eğitim, test, doğrulama ve tüm modeli kapsayan kestirim katsayısı değerleri Şekil 5.24’te sunulmuştur. SDD konsantrasyonu ölçüm değerleri, kestirim değerleri ve hata miktarı arasındaki ilişkiye bakıldığında Sentinel 2A sisteminden elde edilen hata miktarının Landsat-8 OLI ve Göktürk-2 sonuçlarına göre daha fazla olduğu görülmektedir. Üç uydu sisteminden elde edilen sonuçlara bakıldığında artan ölçüm değeri ile hata oranının doğru orantılı olduğu görülmektedir.

Landsat 8 OLI bantları yansıtım değerleri kullanılarak oluşturulan ve YSA yöntemi ile kestirilen SDD konsantrasyon dağılımı Şekil 5.25’te sunulmuştur. YSA yöntemi ile hesaplanan SDD dağılım haritası incelendiğinde, Gölün kuzeydoğusunda kalan bölümün balçıkla kaplı olması AKM miktarını arttırmakta ve bunun sonucu olarak SDD değerini azaltmaktadır. Gölün Meriç Nehri ile bağlantısını sağlayan bağlantı kanalının olduğu güneybatı kesiminde akıntının da etkisi ile taşınan askıda maddeler SDD’nin azalmasına neden olmuştur.





Şekil 5.24 : YSA modeli SDD ölçülen ve kestirilen konsantrasyon dağılımı.



Şekil 5.25 : SDD kestirim haritası.

## 5.5 Toplam Çözünmüş Madde Kestirim Modelleri

### 5.5.1 Çoklu regresyon modeli

Göktürk-2 yansıtım değerleri kullanılarak oluşturulan TÇM çoklu regresyon modeli denklem 5.40'ta, Landsat-8 çoklu regresyon modeli denklem 5.41'de, Sentinel-2A çoklu regresyon modeli ise denklem 5.42'de verilmiştir. Bu modeller yardımı ile yapılan kestirimlerin doğruluk analizi Çizelge 5.21'de özetlenmiştir.

$$GK2_{TÇM} (ppm) = 985 + (1725 * B1_{GK2}) - (2228 * B2_{GK2}) - (437 * B3_{GK2}) - (1233 * B4_{GK2}) \quad (5.40)$$

$$L8_{OLI}_{TÇM} (ppm) = 1139 + (4992 * B1_{L8}) - (2214 * B2_{L8}) + (8661 * B3_{L8}) - (14430 * B4_{L8}) + (23 * B5_{L8}) + (7236 * B6_{L8}) - (13570 * B7_{L8}) \quad (5.41)$$

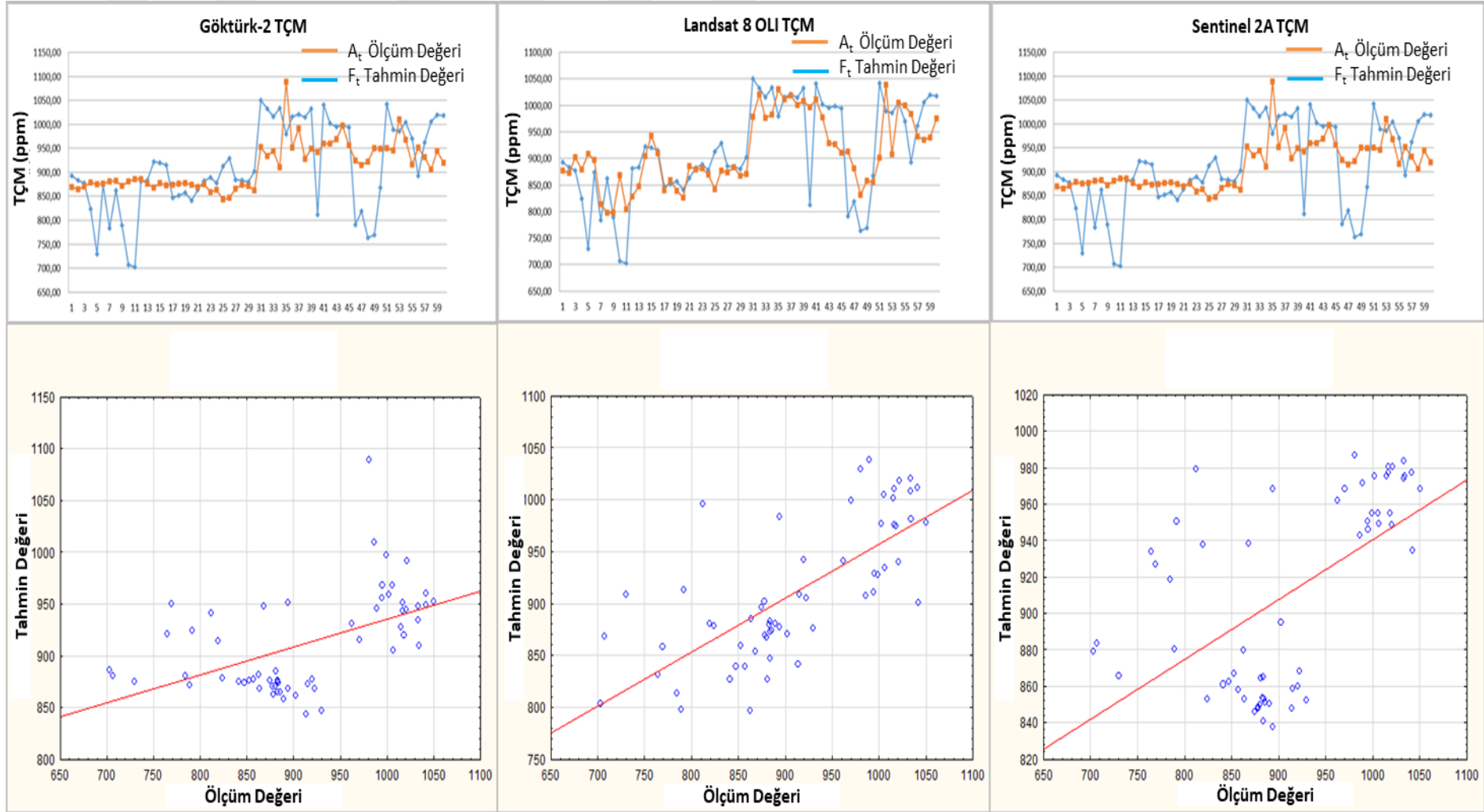
$$S2A_{TÇM} (ppm) = 973 - (1444 * B2_{S2A}) + (1356 * B3_{S2A}) - (984 * B4_{S2A}) + (984 * B8_{S2A}) \quad (5.42)$$

Çizelge 5.21 : MLR modeli TÇM sonuçları ve karşılaştırma.

Algılayıcı	Değişken Sayısı	Örnek Sayısı	RMSE	MAPE	MAE	R	R <sup>2</sup>	P
Göktürk-2	4	60	78,01	7,04	61,65	0,52	0,27	0,00143
Landsat-8	7	60	63,33	5,28	46,05	0,72	0,52	0,00001
Sentinel 2A	4	60	63,23	5,81	50,92	0,72	0,52	0,00001

T-testi ile yapılan analiz sonucuna göre TÇM için anlamlılık değeri Göktürk-2 görüntüsü için  $p=0,00143<0,05$ , Landsat-8 OLI görüntüsü için  $p=0,00001<0,05$  ve Sentinel 2A görüntüsü için  $p=0,00001<0,05$  bulunmuştur. Bu durum, arazi ölçümleriyle kestirim sonuçları arasında yüksek düzeyde anlamlı bir farklılık bulunduğunu göstermektedir. Dolayısı ile p ve  $R^2$  değerine göre Klorofil-a parametresinin tespitinde Landsat 8 OLI ve Sentinel-2A görüntüleri daha doğru sonuçlar vermiştir. RMSE, MAPE ve MAE sonuçlarına göre Landsat 8 OLI ve Sentinel 2A'nın Göktürk-2'ye göre daha iyi sonuçlara sahip olduğu görülmektedir. Ölçülen ve çoklu regresyon yöntemi ile kestirilen TÇM konsantrasyon dağılımı Şekil 5.26'da sunulmuştur. Grafikten anlaşılacağı üzere Landsat-8 OLI ve Sentinel 2A'dan elde edilen sonuçlar aynı korelasyona ( $R=0.72$ ) sahiptir.





Şekil 5.26 : MLR modeli TÇM ölçülen ve kestirilen konsantrasyon dağılımı.

## 5.5.2 Polinom regresyon modeli

Göktürk-2 yansıtım değerleri kullanılarak oluşturulan TÇM polinom regresyon modeli denklem 5.43'te, Landsat-8 polinom regresyon modeli denklem 5.44'te, Sentinel-2A polinom regresyon modeli ise denklem 5.45'te verilmiştir. Bu modeller yardımı ile yapılan kestirimlerin doğruluk analizi Çizelge 5.22'de özetlenmiştir.

$$GK2_{TÇM} (ppm) = 1054 + (9290 * B1_{GK2}) - (27989 * B1_{GK2}^2) - (21807 * B2_{GK2}) + (112704 * B2_{GK2}^2) + (5492 * B3_{GK2}) - (33844 * B3_{GK2}^2) - (989 * B4_{GK2}) + (25634 * B4_{GK2}^2) \quad (5.43)$$

$$L8_{OLI_{TÇM}} (ppm) = 852 - (44250 * B1_{L8}) + (905756 * B1_{L8}^2) + (103588 * B2_{L8}) - (1412053 * B2_{L8}^2) + (2183 * B3_{L8}) + (50320 * B3_{L8}^2) - (38870 * B4_{L8}) + (205310 * B4_{L8}^2) - (9225 * B5_{L8}) + (120073 * B5_{L8}^2) + (7489 * B6_{L8}) - (387869 * B6_{L8}^2) + (5119 * B7_{L8}) - (459691 * B7_{L8}^2) \quad (5.44)$$

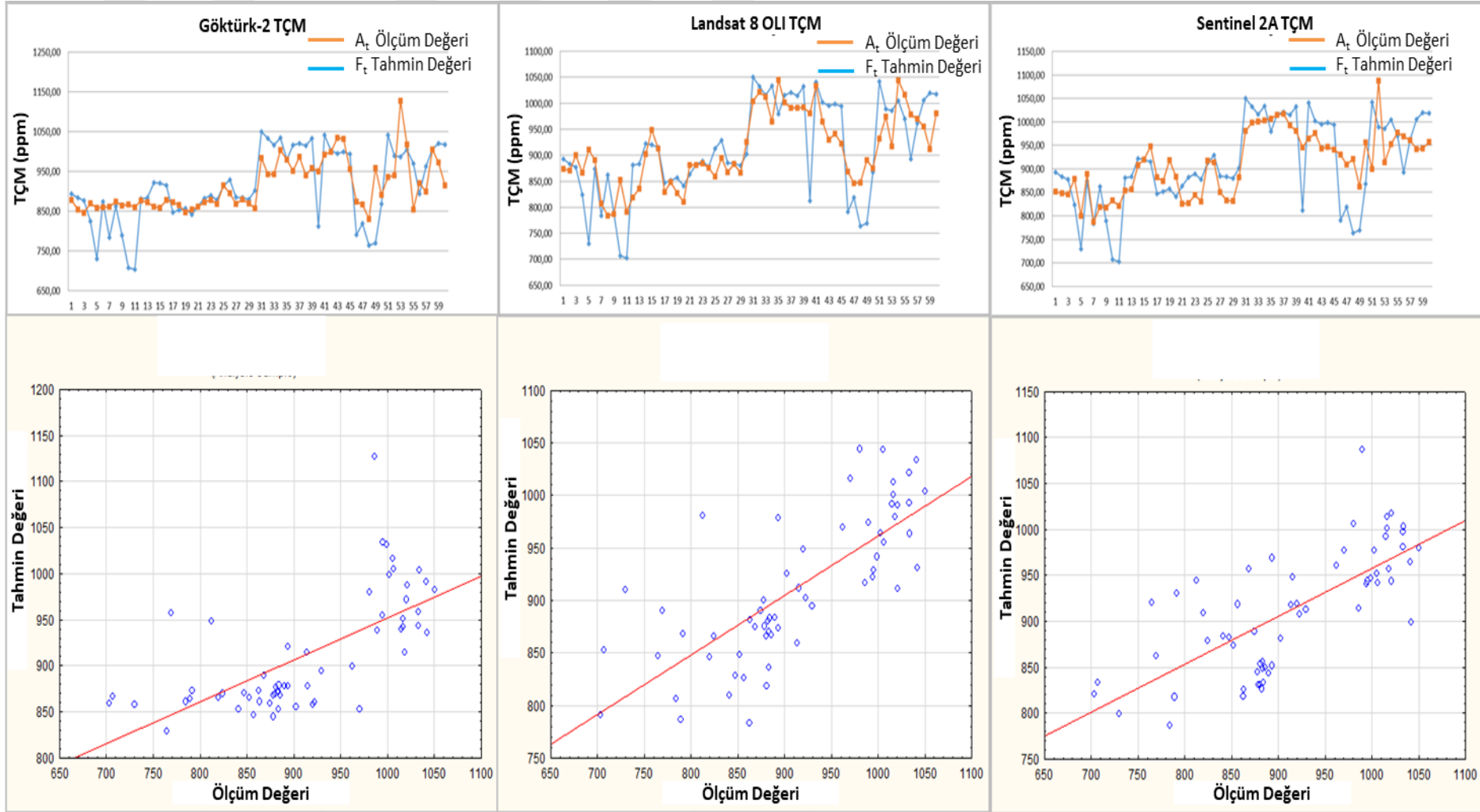
$$S2A_{TÇM} (ppm) = 2284 - (2643 * B2_{S2A}) + (10822 * B2_{S2A}^2) - (19384 * B3_{S2A}) + (133629 * B3_{S2A}^2) - (17180 * B4_{S2A}) + (110928 * B4_{S2A}^2) + (9951 * B8_{S2A}) - (188606 * B8_{S2A}^2) \quad (5.45)$$

**Çizelge 5.22 : PR modeli TÇM sonuçları ve karşılaştırma.**

Algılayıcı	Değişken Sayısı	Örnek Sayısı	RMSE	MAPE	MAE	R	R <sup>2</sup>	P
Göktürk-2	4	60	67,34	5,72	50,18	0,68	0,46	0,00006
Landsat-8	7	60	60,03	5,04	44,02	0,75	0,57	0,00010
Sentinel 2A	4	60	63,23	5,81	50,92	0,72	0,52	0,00001

Polinom regresyon modelinden çoklu regresyon modellerine kıyasla daha iyi sonuçlar alınmıştır. Yapılan analiz (T-testi) sonucuna göre TÇM için anlamlılık değeri Göktürk-2 görüntüsü için  $p=0,00006 < 0,05$ , Landsat-8 OLI görüntüsü için  $p=0,00010 < 0,05$  ve Sentinel 2A görüntüsü için  $p=0,00001 < 0,05$  bulunmuştur. Bu durum, arazi ölçümleriyle kestirim sonuçları arasında yüksek düzeyde anlamlı bir farklılık bulunduğunu göstermektedir. Dolayısı ile p ve R<sup>2</sup> değerine göre pH parametresinin tespitinde Landsat 8 OLI daha doğru sonuç vermiştir. Bu sonuç, polinom regresyon modelinin göl yüzeyindeki TÇM dağılımının tespitinde Landsat 8 OLI sisteminin kullanılabileceğini kanıtlamaktadır.

Ölçülen ve polinom regresyon yöntemi ile kestirilen TÇM konsantrasyon dağılımı Şekil 5.27'de sunulmuştur. Grafikten de anlaşılacağı gibi Landsat 8 OLI'den elde edilen sonucun yüksek korelasyona ( $R=0.75$ ) sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 5.27 : PR modeli TÇM ölçülen ve kestirilen konsantrasyon dağılımı.

### 5.5.3 Yanıt yüzey regresyon modeli

Göktürk-2 yansıtım değerleri kullanılarak oluşturulan pH RSR modeli denklem 5.46'da, Landsat-8 RSR modeli denklem 5.47'de, Sentinel-2A RSR modeli ise denklem 5.48'de verilmiştir. Bu modeller yardımı ile yapılan kestirimlerin doğruluk analizi Çizelge 5.23'te özetlenmiştir.

$$GK2_{TÇM} (ppm) = 1135 + (4273 * B1_{GK2}) - (35751 * B1_{GK2}^2) - (17998 * B2_{GK2}) + (12156 * B2_{GK2}^2) + (7869 * B3_{GK2}) - (60207 * B3_{GK2}^2) - (8240 * B4_{GK2}) + (84142 * B4_{GK2}^2) + (42301 * B1_{GK2} * B2_{GK2}) - (57508 * B1_{GK2} * B3_{GK2}) + (145058 * B2_{GK2} * B3_{GK2}) + (327481 * B1_{GK2} * B4_{GK2}) - (205562 * B2_{GK2} * B4_{GK2}) - (113863 * B3_{GK2} * B4_{GK2}) \quad (5.46)$$

$$L8_{OLI} TÇM (ppm) = 574 + (96737 * B2_{L8}) + (1105043 * B2_{L8}^2) + (34652 * B3_{L8}) - (1039734 * B3_{L8}^2) - (69843 * B4_{L8}) - (1686140 * B4_{L8}^2) - (21694 * B5_{L8}) - (44189 * B5_{L8}^2) - (2523210 * B2_{L8} * B3_{L8}) - (156742 * B2_{L8} * B4_{L8}) + (3568917 * B3_{L8} * B4_{L8}) + (471400 * B2_{L8} * B5_{L8}) - (272371 * B3_{L8} * B5_{L8}) + (441555 * B4_{L8} * B5_{L8}) \quad (5.47)$$

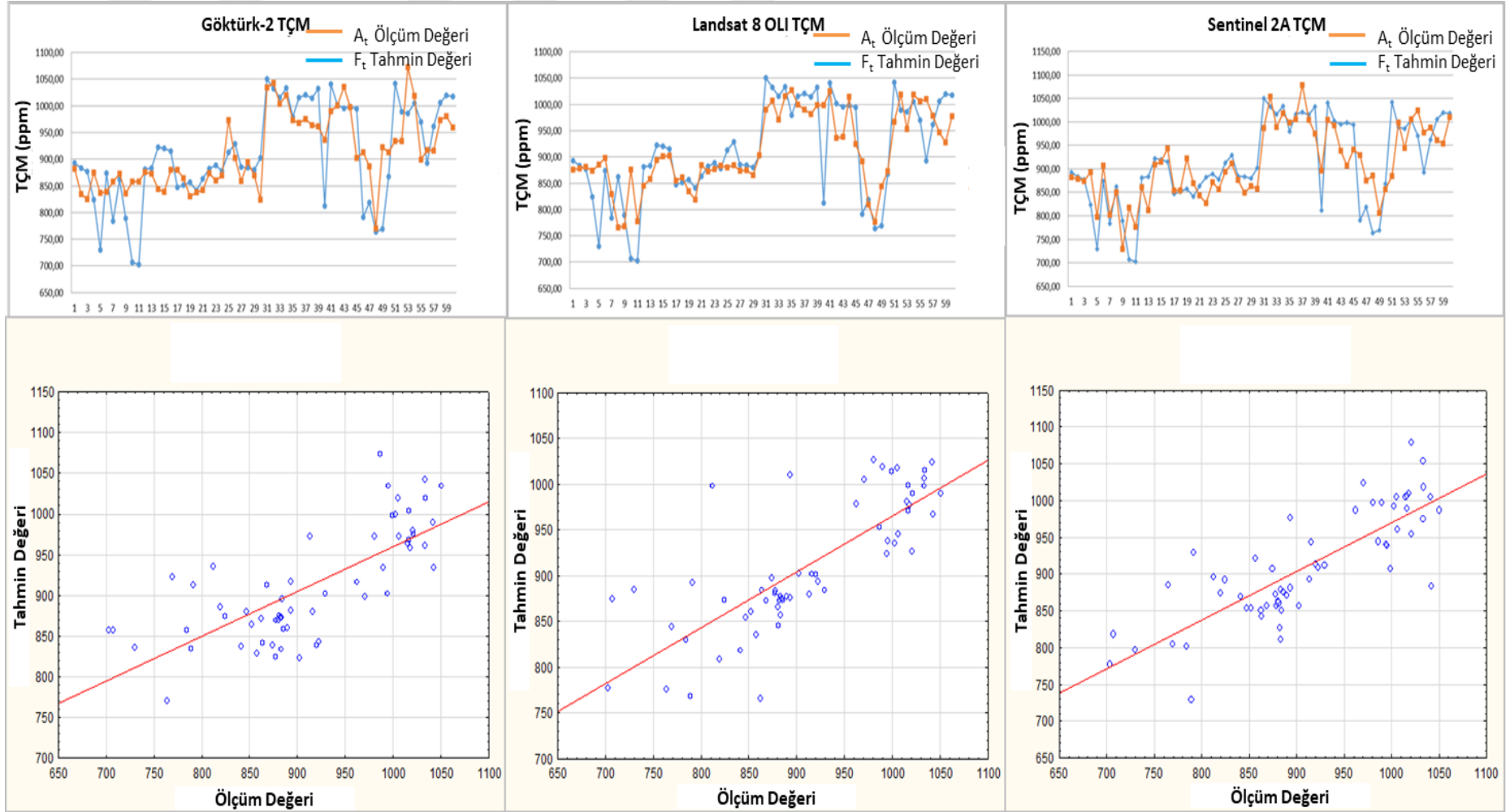
$$S2A_{TÇM} (ppm) = -404 + (54107 * B2_{S2A}) - (1266282 * B2_{S2A}^2) + (18850 * B3_{S2A}) + (19587 * B3_{S2A}^2) - (29343 * B4_{S2A}) - (658153 * B4_{S2A}^2) + (16293 * B8_{S2A}) - (157232 * B8_{S2A}^2) - 286743 * B2_{S2A} * B3_{S2A} + (1851007 * B2_{S2A} * B4_{S2A}) - (29981 * B3_{S2A} * B4_{S2A}) - (322700 * B2_{S2A} * B8_{S2A}) - (57522 * B3_{S2A} * B8_{S2A}) + (218848 * B4_{S2A} * B8_{S2A}) \quad (5.48)$$

**Çizelge 5.23 : RSR modeli TÇM sonuçları ve karşılaştırma.**

Algılayıcı	Değişken Sayısı	Örnek Sayısı	RMSE	MAPE	MAE	R	R <sup>2</sup>	P
Göktürk-2	4	60	61,30	5,39	46,89	0,74	0,55	0,00023
Landsat-8	7	60	56,91	4,66	40,69	0,78	0,61	0,00001
Sentinel 2A	4	60	53,22	4,58	40,36	0,81	0,66	0,00001

TÇM modelinin sonuçları çoklu ve polinom regresyon modellerine kıyasla daha iyi sonuçlar vermiştir. Yapılan analiz (T-testi) sonucuna göre TÇM için anlamlılık değeri Göktürk-2 görüntüsü için  $p=0,00023 < 0,05$ , Landsat-8 görüntüsü için  $p=0,00001 < 0,05$  ve Sentinel 2A görüntüsü için  $p=0,00001 < 0,05$  bulunmuştur. Bu durum, arazi ölçümleriyle kestirim sonuçları arasında yüksek düzeyde anlamlı bir farklılık bulunduğunu göstermektedir. Dolayısı ile p ve R<sup>2</sup> değerine göre TÇM parametresinin tespitinde Sentinel 2A görüntüleri daha doğru sonuçlar vermiştir. Bu sonuç, Sentinel 2A RSR modelinin göl yüzeyindeki TÇM dağılımının tespitinde daha yüksek kestirime sahip olduğunu kanıtlamaktadır.

Ölçülen ve RSR yöntemi ile kestirilen TÇM konsantrasyon dağılımı Şekil 5.28'de sunulmuştur. Grafikten de anlaşılacağı üzere Sentinel 2A'dan elde edilen sonuçların daha yüksek korelasyona ( $R=0.81$ ) sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 5.28 : RSR modeli TÇM ölçülen ve kestirilen konsantrasyon dağılımı.



#### 5.5.4 DVM modeli

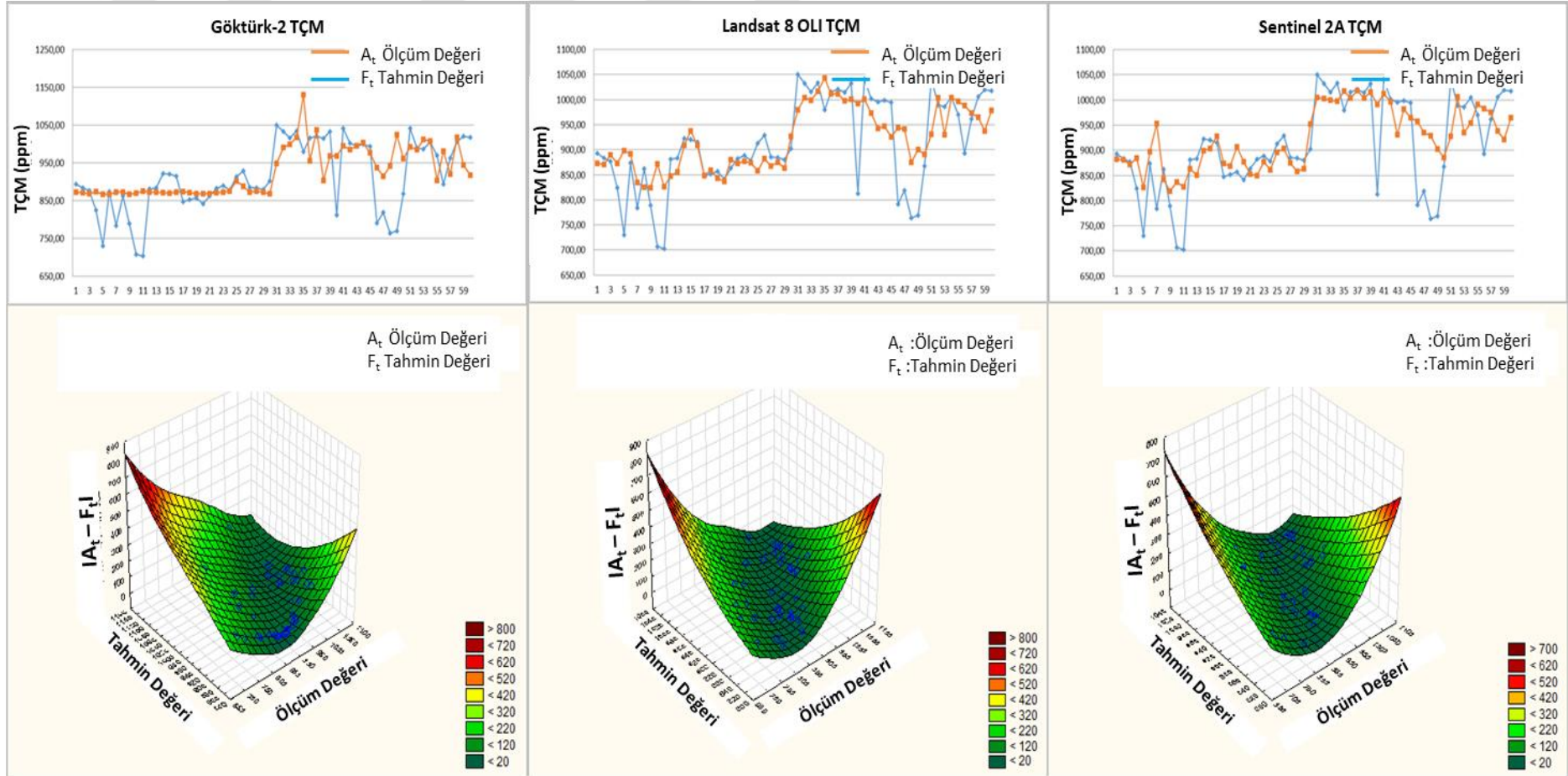
Göktürk-2, Landsat-8 OLI ve Sentinel 2A yansıtım değerleri kullanılarak oluşturulan TÇM DVM modeli kestirim sonuçları ve doğruluk analizi Çizelge 5.24'te özetlenmiştir.

**Çizelge 5.24 : DVM modeli TÇM sonuçları ve karşılaştırma.**

Algılayıcı	Değişken Sayısı	Örnek Sayısı	RMSE	MAPE	MAE	R	R <sup>2</sup>	P
Göktürk-2	4	60	0,25	2,01	0,16	0,42	0,18	0,25
Landsat-8	7	60	0,22	1,65	0,13	0,58	0,33	0,22
Sentinel 2A	4	60	0,20	1,60	0,13	0,67	0,45	0,20

Çizelge 5.24'e göre DVM modeli MLR modeli sonuçlarından daha düşük değerler hesaplamıştır. Sentinel 2A için R=0,67 olarak hesaplanmış ve önerilen PR ve RSR modellerine göre daha düşük bir kestirime sahip olduğu görülmüştür. Statistica programındaki kısıtlardan dolayı bu model için denklemler verilememektedir.

Ölçülen ve DVM yöntemi ile kestirilen TÇM konsantrasyon dağılımı Şekil 5.29'da sunulmuştur. TÇM konsantrasyonu için kestirim değerleri x ekseninde, ölçüm değerleri y ekseninde ve hata miktarı z ekseninde verilmiştir. Bu grafiğe göre, Göktürk-2, Landsat-8 OLI ve Sentinel 2A için lineer olmayan bir hata oranı söz konusudur. Sentinel 2A sisteminden elde edilen hata miktarı Landsat-8 OLI ve Göktürk-2'ye göre daha düşük seviyededir.



Şekil 5.29 : DVM modeli TÇM ölçülen ve kestirilen konsantrasyon dağılımı.

### 5.5.5 Yapay sinir ağı modeli

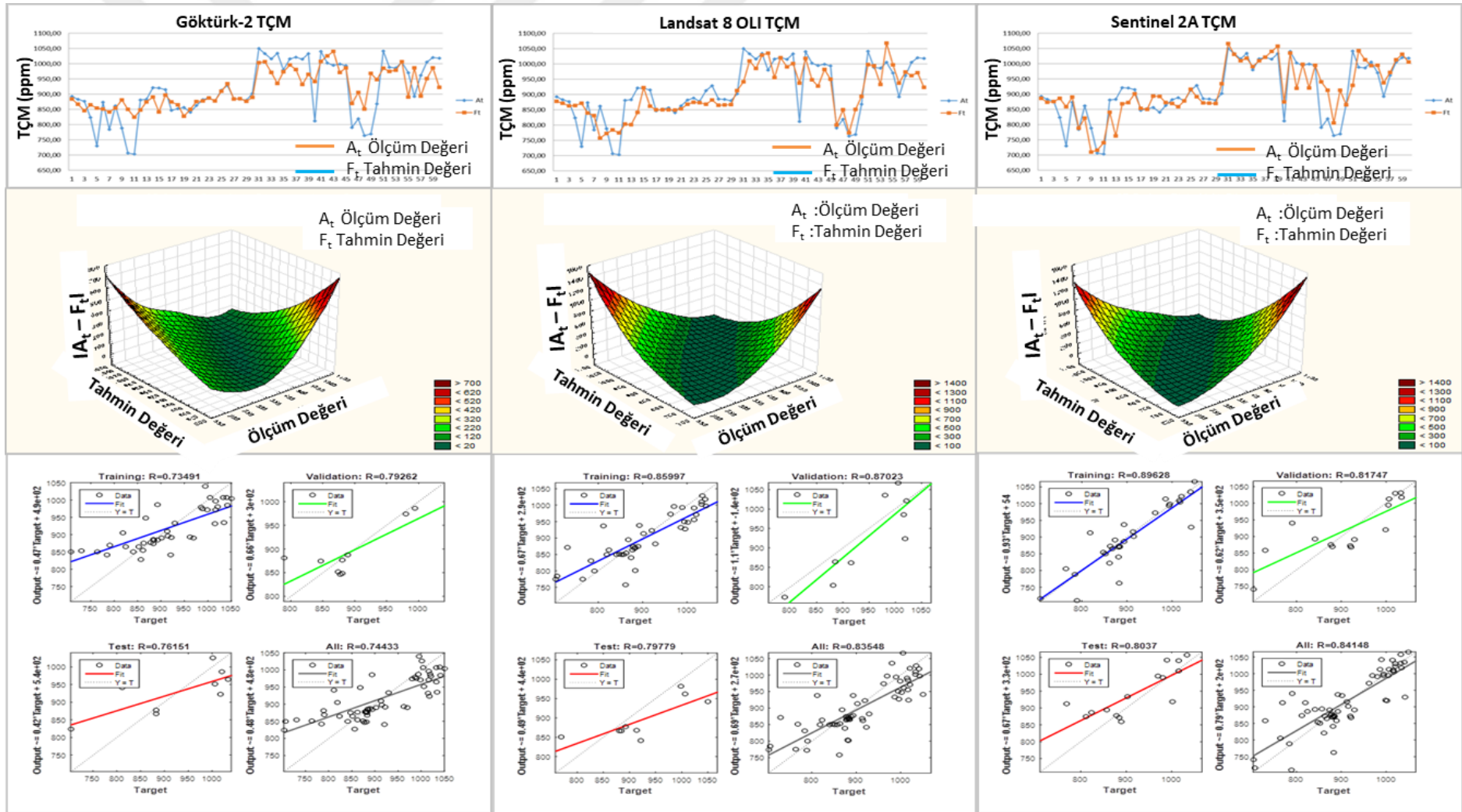
Göktürk-2, Landsat-8 OLI ve Sentinel 2A yansıtım değerleri kullanılarak oluşturulan TÇM YSA modeli kestirim sonuçları ve doğruluk analizi Çizelge 5.25'te özetlenmiştir.

**Çizelge 5.25 :** YSA modeli TÇM sonuçları ve karşılaştırma.

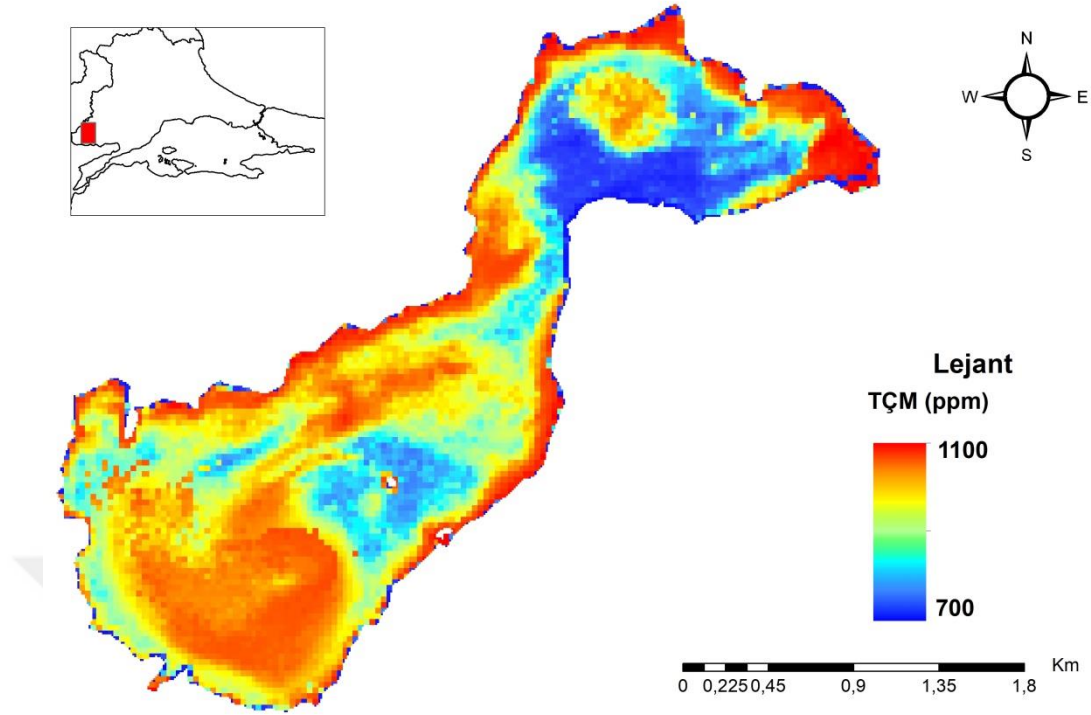
Algılayıcı	Değişken Sayısı	Örnek Sayısı	RMSE	MAPE	MAE	R	R <sup>2</sup>
Göktürk-2	4	60	61,88	5,19	44,87	0,74	0,55
Landsat-8	7	60	51,06	4,40	39,13	0,84	0,70
Sentinel 2A	4	60	50,31	3,89	33,65	0,84	0,71

Çizelge 5.25'e göre TÇM konsantrasyonu için Sentinel 2A ve Landsat-8 OLI görüntülerinden elde edilen sonucun ( $R^2=0,70$ ) Göktürk-2'ye göre daha yüksek değere sahip olduğu görülmektedir. Genel değerlendirmeye bakıldığında YSA TÇM sonucu diğer yöntemlere göre daha doğru sonuçlar vermiştir. Ölçülen ve YSA yöntemi, kestirilen TÇM konsantrasyon dağılımı ile eğitim, test, doğrulama ve tüm modeli kapsayan kestirim katsayısı değerleri Şekil 5.30'da sunulmuştur. TÇM konsantrasyonu ölçüm değerleri, kestirim değerleri ve hata miktarı arasındaki ilişkiye bakıldığında Göktürk-2 sisteminden elde edilen hata miktarının Landsat-8 OLI ve Sentinel 2A sonuçlarına göre daha fazla olduğu görülmektedir. Üç uydu sisteminden elde edilen sonuçlara bakıldığında artan ölçüm değeri ile hata oranının doğru orantılı olduğu görülmektedir.

Landsat 8 yüzey yansıtım değerleri kullanılarak oluşturulan TÇM YSA dağılım haritası incelendiğinde (Şek.5.31) özellikle gölün kuzey doğusunda kalan bölümünde balçık miktarının ve çürümüş bitki artıklarının fazla olmasından kaynaklı TÇM miktarının düşük olduğu görülmektedir. Gölün kıyı kesimlerinde TÇM seviyesinin yüksek olması, etrafını saran tarımsal amaçlı kullanılmakta olan araziden kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Gölün Meriç Nehri ile bağlantısını sağlayan bağlantı kanalının olduğu güneybatı kesimi ve boğaz olarak isimlendirilen bölgelerde ise TÇM miktarının gölün diğer bölümlerine göre yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun, göle giriş yapan tarımsal amaçlı suların bölgenin eğiminden kaynaklı birikmesi sonucunda oluştuğu değerlendirilmektedir.



Şekil 5.30 : YSA modeli TÇM ölçülen ve kestirilen konsantrasyon dağılımı



Şekil 5.31 : TÇM kestirim haritası.

## 5.6 pH Kestirim Modelleri

### 5.6.1 Çoklu regresyon modeli

Göktürk-2 yansıtım değerleri kullanılarak oluşturulan pH çoklu regresyon modeli denklem 5.49'da, Landsat-8 çoklu regresyon modeli denklem 5.50'de, Sentinel-2A çoklu regresyon modeli ise denklem 5.51'de verilmiştir. Bu modeller yardımı ile yapılan kestirimlerin doğruluk analizi Çizelge 5.26'da özetlenmiştir.

$$GK2_{pH} = 8 + (2,3 * B1_{GK2}) - (6,4 * B2_{GK2}) + (1,8 * B3_{GK2}) + (8,4 * B4_{GK2}) \quad (5.49)$$

$$L8_{OLI_{pH}} = 7,7 - (56,8 * B1_{L8}) + (81,6 * B2_{L8}) + (21 * B3_{L8}) - (43,58 * B4_{L8}) + (6,4 * B5_{L8}) - (13,2 * B6_{L8}) + (13,3 * B7_{L8}) \quad (5.50)$$

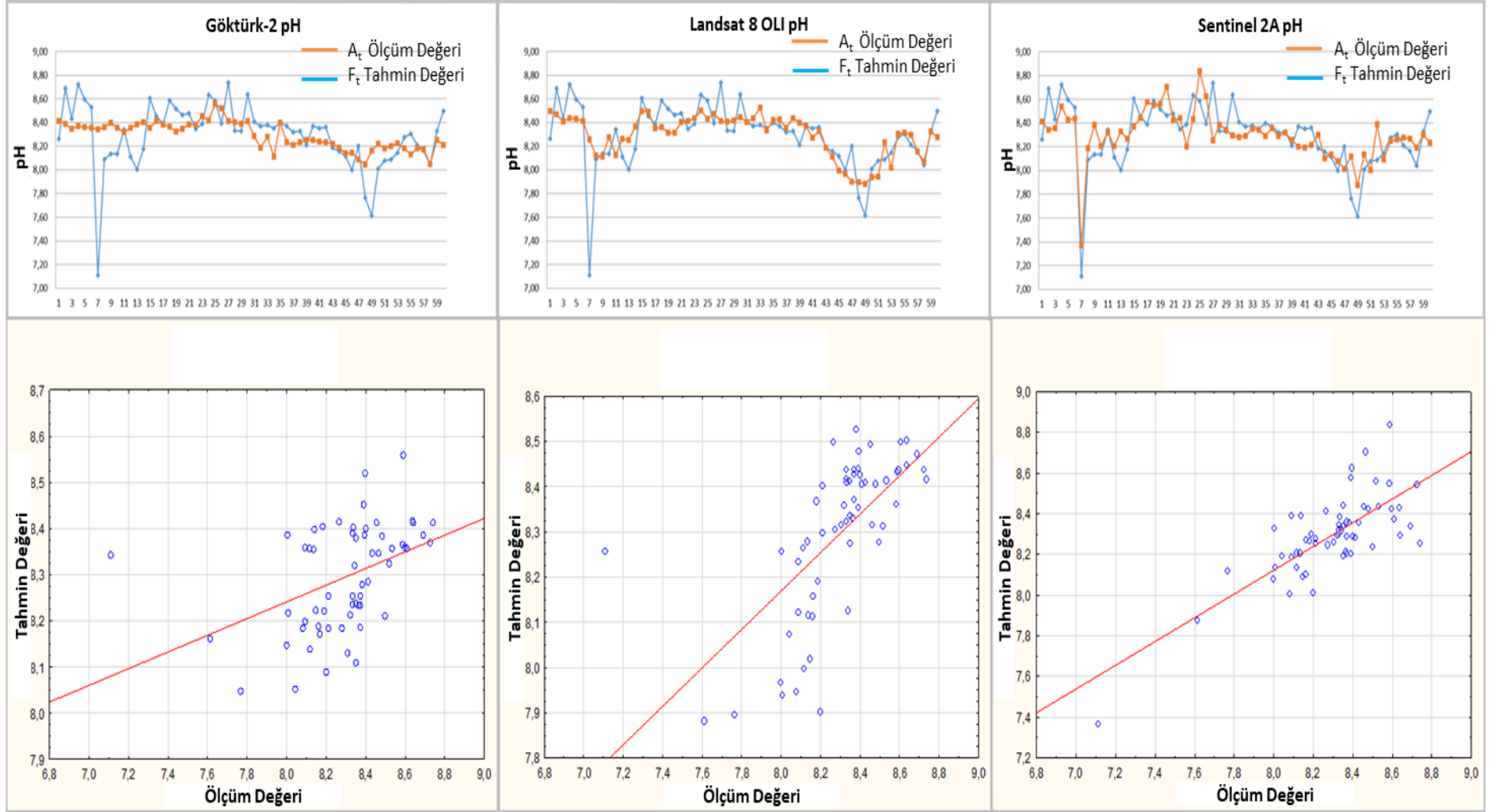
$$S2A_{pH} = 7,2 + (25 * B2_{S2A}) + (5,4 * B3_{S2A}) - (12,7 * B4_{S2A}) - (2,9 * B8_{S2A}) \quad (5.51)$$

Çizelge 5.26 : MLR modeli pH sonuçları ve karşılaştırma.

Algılayıcı	Değişken Sayısı	Örnek Sayısı	RMSE	MAPE	MAE	R	R <sup>2</sup>	P
Göktürk-2	4	60	0,24	2,04	0,17	0,43	0,18	0,02478
Landsat-8	7	60	0,20	1,58	0,13	0,65	0,42	0,00009
Sentinel 2A	4	60	0,23	2,10	0,17	0,52	0,27	0,00147

Yapılan analiz (T-testi) sonucuna göre pH için anlamlılık değeri Göktürk-2 görüntüsü için  $p=0,02478<0,05$ , Landsat-8 OLI görüntüsü için  $p=0,00009<0,05$  ve Sentinel 2A görüntüsü için  $p=0,00147<0,05$  bulunmuştur. Bu durum, arazi ölçümleriyle kestirim sonuçları arasında yüksek düzeyde anlamlı bir farklılık bulunduğunu göstermektedir. Dolayısı ile p ve  $R^2$  değerine göre pH parametresinin tespitinde Landsat 8 OLI görüntüleri daha doğru sonuçlar vermiştir. Ancak RMSE, MAPE ve MAE sonuçlarına göre Sentinel 2A'nın diğer algılayıcılara göre daha iyi sonuçlara sahip olduğu tespit edilmiştir. MLR modelinde, pH değeri için yapılan kestirimlerin  sensör modeli için de birbirine yakın olduğu görülmektedir. Bu durum pH kestiriminde sensörlerin birbirlerine karşı üstünlüklerinin olmadığını göstermektedir.

Ölçülen ve çoklu regresyon yöntemi ile kestirilen pH konsantrasyon dağılımı şekil 5.32'de verilmiştir. Landsat-8 OLI'den elde edilen sonuçların daha yüksek korelasyona ( $R=0.65$ ) sahip olduğu grafikte görülebilmektedir.



Şekil 5.32 : MLR modeli pH ölçülen ve kestirilen konsantrasyon dağılımı.

### 5.6.2 Polinom regresyon modeli

Göktürk-2 yansıtım değerleri kullanılarak oluşturulan pH PR modeli denklem 5.52’de, Landsat-8 OLI PR modeli denklem 5.53’te, Sentinel-2A PR modeli ise denklem 5.54’te verilmiştir. Bu modeller yardımı ile yapılan kestirimlerin doğruluk analizi Çizelge 5.27’de özetlenmiştir.

$$GK2_{SDD} (cm) = 7,9+(9,3*B1_{GK2})-(24,3*B1_{GK2}^2)-(31*B2_{GK2})+(143*B2_{GK2}^2) + (19*B3_{GK2})-(117*B3_{GK2}^2)+(14*B4_{GK2})-(72*B4_{GK2}^2) \quad (5.52)$$

$$L8_{OLI_{SDD}} (cm) = 9,9-(9*B1_{L8})-(1116*B1_{L8}^2)-(17,9*B2_{L8})+(1608*B2_{L8}^2)-(89*B3_{L8})+(900*B3_{L8}^2)+(58*B4_{L8})-(985*B4_{L8}^2)-(31*B5_{L8})+(404*B5_{L8})^2+(5*B6_{L8})-(139*B6_{L8}^2)+(76*B7_{L8})-(5833*B7_{L8}^2) \quad (5.53)$$

$$S2A_{SDD} (cm) = 10,4-(79,8*B2_{S2A})+(873*B2_{S2A}^2)-(3,6*B3_{S2A})+(13*B3_{S2A}^2)-(6,8*B4_{S2A})-(65,8*B4_{S2A}^2)+(33*B8_{S2A})-(666*B8_{S2A}^2) \quad (5.54)$$

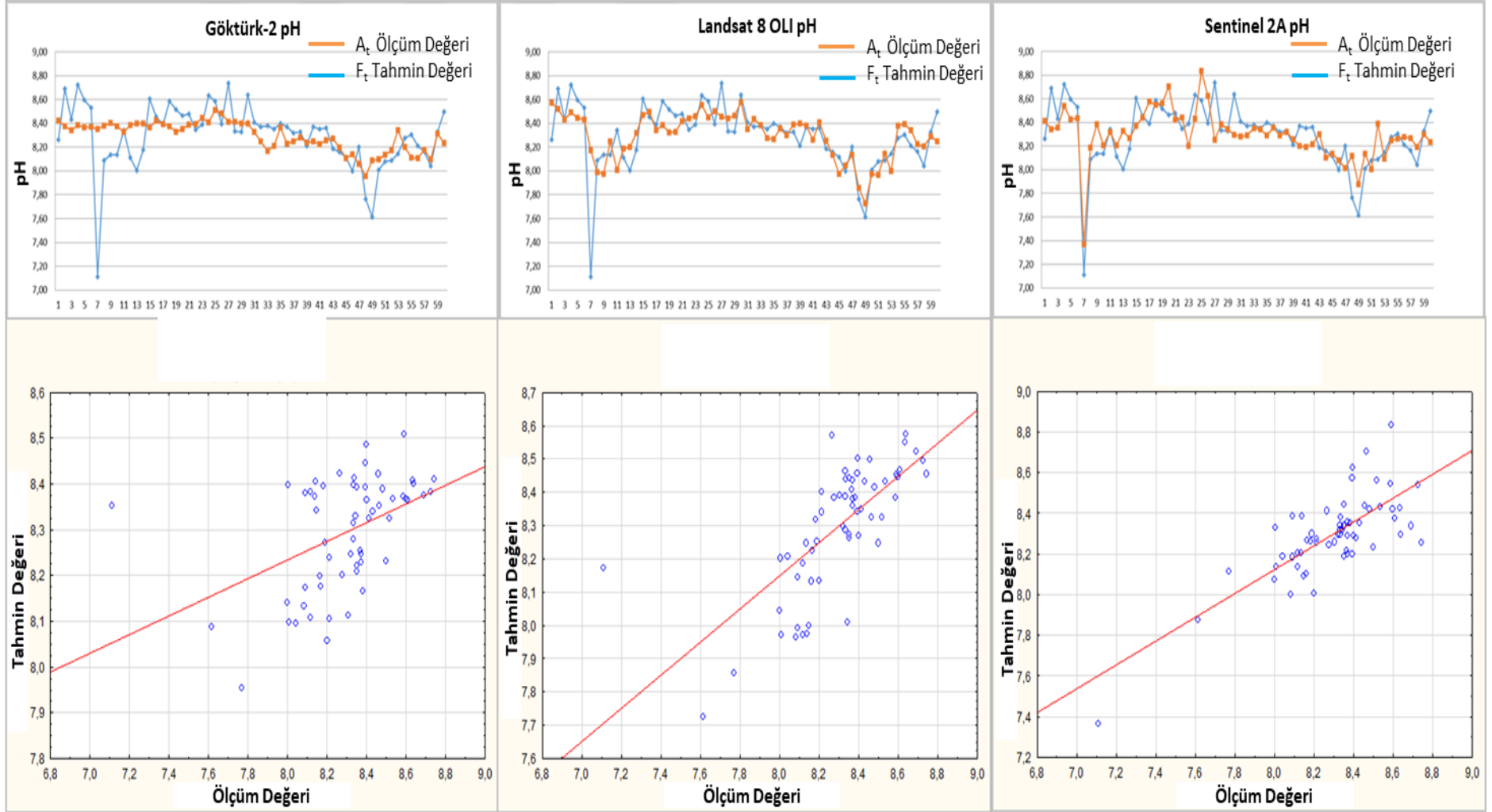
**Çizelge 5.27 : PR modeli pH sonuçları ve karşılaştırma.**

Algılayıcı	Değişken Sayısı	Örnek Sayısı	RMSE	MAPE	MAE	R	R <sup>2</sup>	P
Göktürk-2	4	60	0,24	2,00	0,16	0,45	0,20	0,13614
Landsat-8	7	60	0,19	1,54	0,13	0,71	0,50	0,00153
Sentinel 2A	4	60	0,17	1,64	0,14	0,76	0,58	0,00147

PR modelinden MLR modeline kıyasla daha doğru sonuçlar alınmıştır. T-testi sonucuna göre pH için anlamlılık değeri Göktürk-2 görüntüsü için  $p=0,013614<0,05$ , Landsat-8 OLI görüntüsü için  $p=0,00153<0,05$  ve Sentinel 2A görüntüsü için  $p=0,00147<0,05$  bulunmuştur. Bu durum, arazi ölçümleriyle kestirim sonuçları arasında yüksek düzeyde anlamlı bir farklılık bulunduğunu göstermektedir. Dolayısı ile p ve R<sup>2</sup> değerine göre pH parametresinin tespitinde Sentinel 2A daha doğru sonuç vermiştir. Bu sonuç, PR modelinin göl yüzeyindeki pH dağılımının tespitinde Sentinel 2A uydu sisteminin kullanılabileceğini kanıtlamaktadır.

Ölçülen ve PR yöntemi ile kestirilen pH konsantrasyon dağılımı Şekil 5.33’te sunulmuştur. Grafikte Sentinel 2A’dan elde edilen sonucun yüksek korelasyona ( $R=0.76$ ) sahip olduğu görülmektedir.





Şekil 5.33 : PR modeli pH ölçülen ve kestirilen konsantrasyon dağılımı.

### 5.6.3 Yanıt yüzey regresyon modeli

Göktürk-2 yansıtım değerleri kullanılarak oluşturulan pH RSR modeli denklem 5.55'te, Landsat-8 RSR modeli denklem 5.56'da, Sentinel-2A RSR modeli ise denklem 5.57'de verilmiştir. Bu modeller yardımı ile yapılan kestirimlerin doğruluk analizi Çizelge 5.28'de özetlenmiştir.

$$GK2_{pH} = 8,5 + (5,7 * B1_{GK2}) + (18,5 * B1_{GK2}^2) - (28,7 * B2_{GK2}) - (189 * B2_{GK2}^2) + (13 * B3_{GK2}) - (228 * B3_{GK2}^2) - (17,7 * B4_{GK2}) - (68 * B4_{GK2}^2) - (101 * B1_{GK2} * B2_{GK2}) - (168 * B1_{GK2} * B3_{GK2}) + (700 * B2_{GK2} * B3_{GK2}) + (457 * B1_{GK2} * B4_{GK2}) + (412 * B2_{GK2} * B4_{GK2}) - (425 * B3_{GK2} * B4_{GK2}) \quad (5.55)$$

$$L8_{OLI_{pH}} = 9,3 - (71 * B2_{L8}) - (848 * B2_{L8}^2) - (185 * B3_{L8}) + (2448 * B3_{L8}^2) + (197 * B4_{L8}) - (1879 * B4_{L8}^2) + (9 * B5_{L8}) + (28 * B5_{L8}^2) + (32 * B2_{L8} * B3_{L8}) + (2346 * B2_{L8} * B4_{L8}) - (1615 * B3_{L8} * B4_{L8}) - (653 * B2_{L8} * B5_{L8}) - (10 * B3_{L8} * B5_{L8}) + (321 * B4_{L8} * B5_{L8}) \quad (5.56)$$

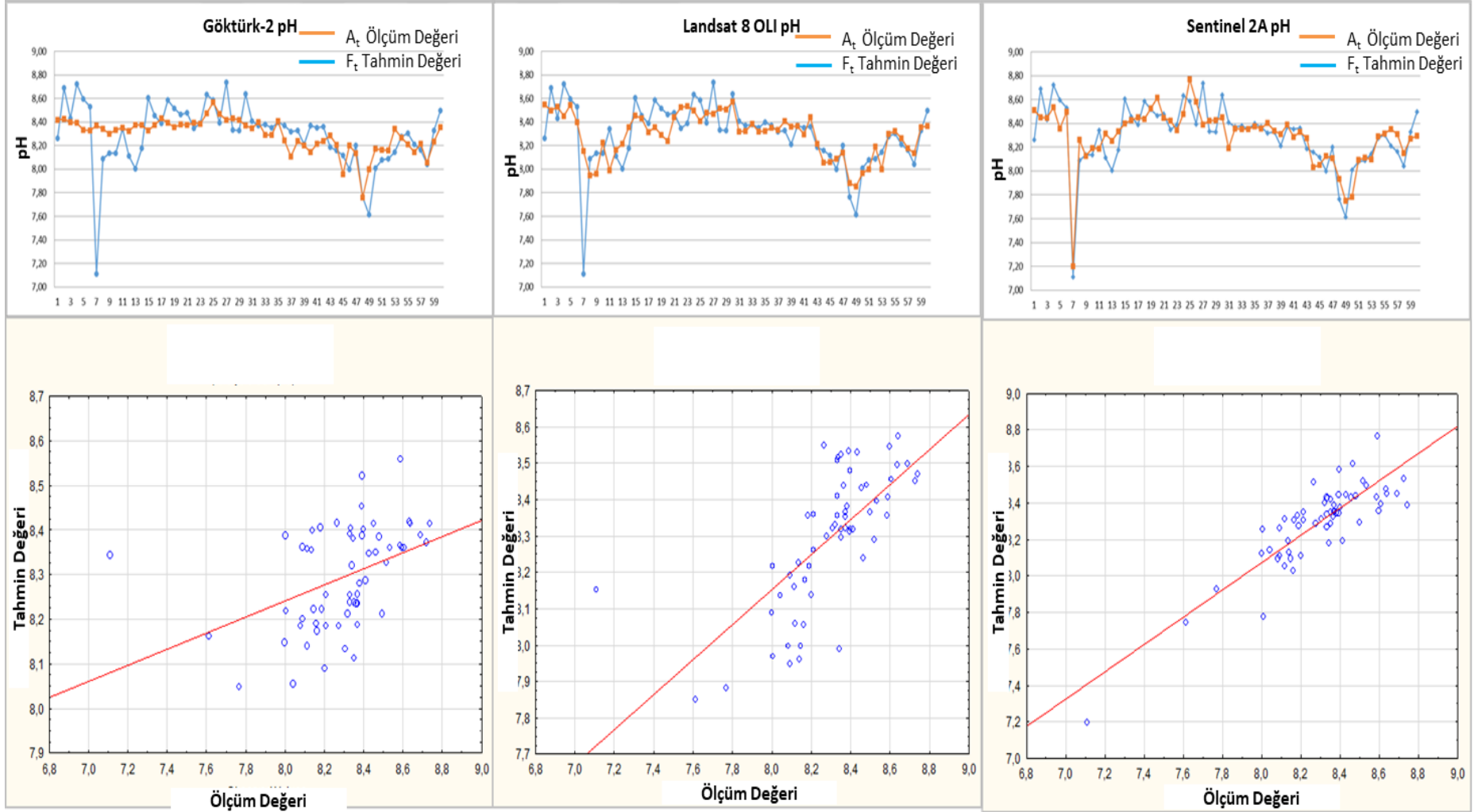
$$S2A_{pH} = 11 - (124 * B2_{S2A}) - (1183 * B2_{S2A}^2) + (22,4 * B3_{S2A}) - (117 * B3_{S2A}^2) + (19,4 * B4_{S2A}) - (1796 * B4_{S2A}^2) - (63 * B8_{S2A}) - (342 * B8_{S2A}^2) + (353 * B2_{S2A} * B3_{S2A}) + (3886 * B2_{S2A} * B4_{S2A}) - (550 * B3_{S2A} * B4_{S2A}) + (134 * B2_{S2A} * B8_{S2A}) + (567 * B3_{S2A} * B8_{S2A}) + (457 * B4_{S2A} * B8_{S2A}) \quad (5.57)$$

**Çizelge 5.28 : RSR modeli pH sonuçları ve karşılaştırma.**

Algılayıcı	Değişken Sayısı	Örnek Sayısı	RMSE	MAPE	MAE	R	R <sup>2</sup>	P
Göktürk-2	4	60	0,23	1,85	0,15	0,51	0,26	0,34158
Landsat-8	7	60	0,19	1,58	0,13	0,69	0,48	0,00287
Sentinel 2A	4	60	0,13	1,29	0,11	0,87	0,76	0,00001

pH modelinin sonuçları çoklu ve polinom regresyon modellerine kıyasla daha iyi sonuçlar vermiştir. T-testi sonucuna göre pH için anlamlılık değeri Göktürk-2 görüntüsü için  $p=0,34158 < 0,05$ , Landsat-8 görüntüsü için  $p=0,00287 < 0,05$  ve Sentinel 2A görüntüsü için  $p=0,00001 < 0,05$  bulunmuştur. Bu durum, arazi ölçümleriyle kestirim sonuçları arasında yüksek düzeyde anlamlı bir farklılık bulunduğunu göstermektedir. Dolayısı ile p ve R<sup>2</sup> değerine göre pH parametresinin tespitinde Sentinel 2A görüntüleri daha doğru sonuçlar vermiştir. Bu sonuç, Sentinel 2A RSR modelinin göl yüzeyindeki pH dağılımının tespitinde daha yüksek kestirime sahip olduğunu kanıtlamaktadır.

Ölçülen ve RSR yöntemi ile kestirilen pH konsantrasyon dağılımı Şekil 5.34'te sunulmuştur. Grafikte Sentinel 2A'dan elde edilen sonuçların daha yüksek korelasyona (R=0.76) sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 5.34 : RSR modeli pH ölçülen ve kestirilen konsantrasyon dağılımı.

#### 5.6.4 DVM modeli

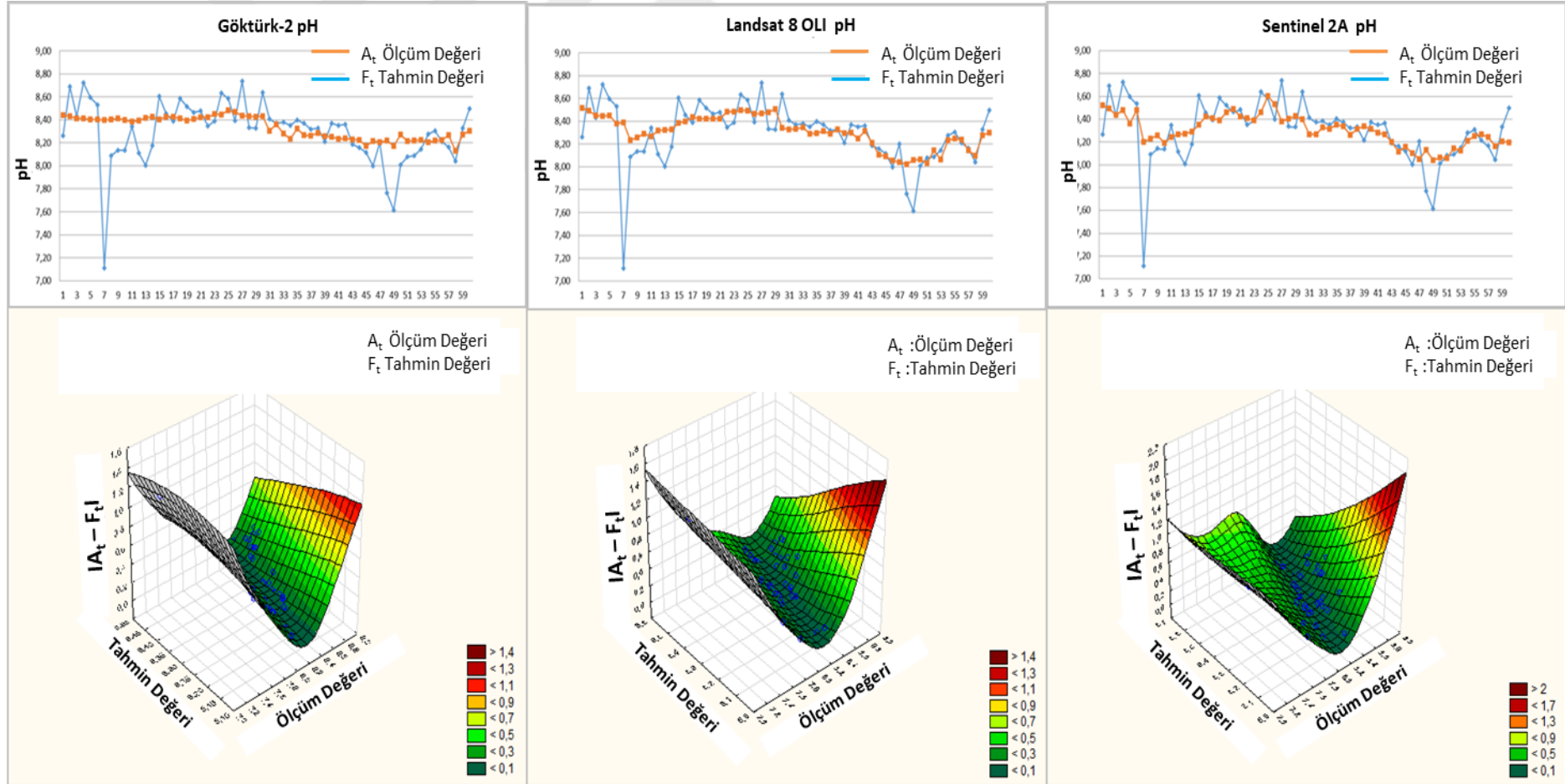
Göktürk-2, Landsat-8 OLI ve Sentinel 2A yansıtım değerleri kullanılarak oluşturulan pH DVM modeli kestirim sonuçları ve doğruluk analizi Çizelge 5.29'da özetlenmiştir.

**Çizelge 5.29** : DVM modeli pH sonuçları ve karşılaştırma.

Algılayıcı	Değişken Sayısı	Örnek Sayısı	RMSE	MAPE	MAE	R	R <sup>2</sup>	P
Göktürk-2	4	60	0,25	2,01	0,16	0,42	0,18	0,25
Landsat-8	7	60	0,22	1,65	0,13	0,58	0,33	0,22
Sentinel 2A	4	60	0,20	1,60	0,13	0,67	0,45	0,20

Çizelge 5.29'a göre DVM modeli çoklu ve polinom regresyon modellerine kıyasla daha iyi sonuçlar vermiştir. Sentinel 2A için R=0,67 olarak hesaplanmış ve önerilen PR ve RSR modellerine göre daha düşük bir kestirime sahip olduğu görülmüştür. Statistica programındaki kısıtlardan dolayı bu model için denklemler verilememektedir.

Ölçülen ve DVM yöntemi ile kestirilen pH konsantrasyon dağılımı Şekil 5.35'te sunulmuştur. pH konsantrasyonu için kestirim değerleri x ekseninde, ölçüm değerleri y ekseninde ve hata miktarı z ekseninde verilmiştir. Bu grafiğe göre, Göktürk-2, Landsat-8 OLI ve Sentinel 2A için lineer olmayan bir hata oranı söz konusudur. Sentinel 2A sisteminden elde edilen hata miktarı Landsat-8 OLI ve Göktürk-2'ye göre daha düşüktür.



Şekil 5.35 : DVM modeli pH ölçülen ve kestirilen konsantrasyon dağılımı.

### 5.6.5 Yapay sinir ağıları modeli

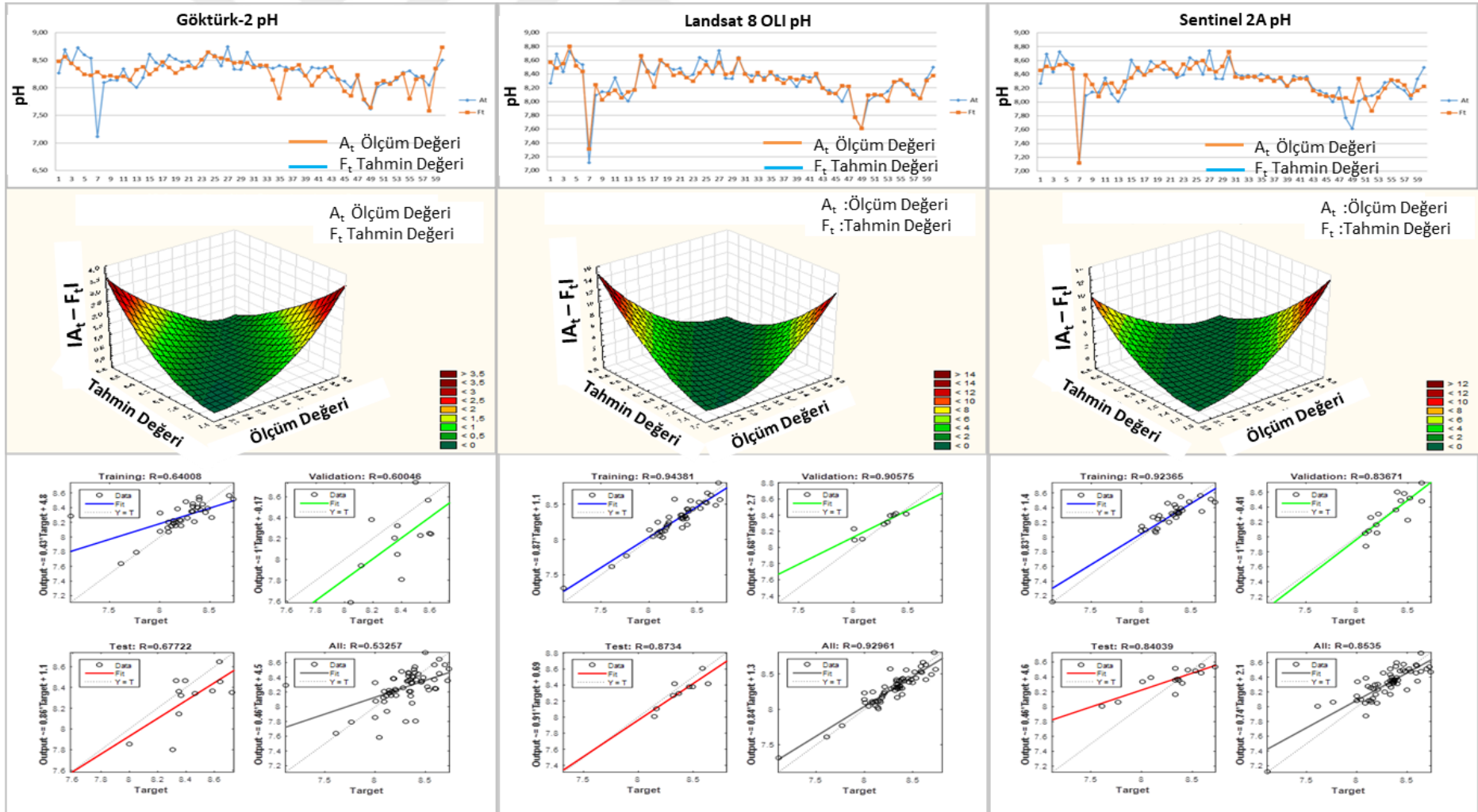
Göktürk-2, Landsat-8 OLI ve Sentinel 2A yansıtım değerleri kullanılarak oluşturulan pH YSA modeli kestirim sonuçları ve doğruluk analizi Çizelge 5.30'da özetlenmiştir.

**Çizelge 5.30 : YSA modeli pH sonuçları ve karşılaştırma.**

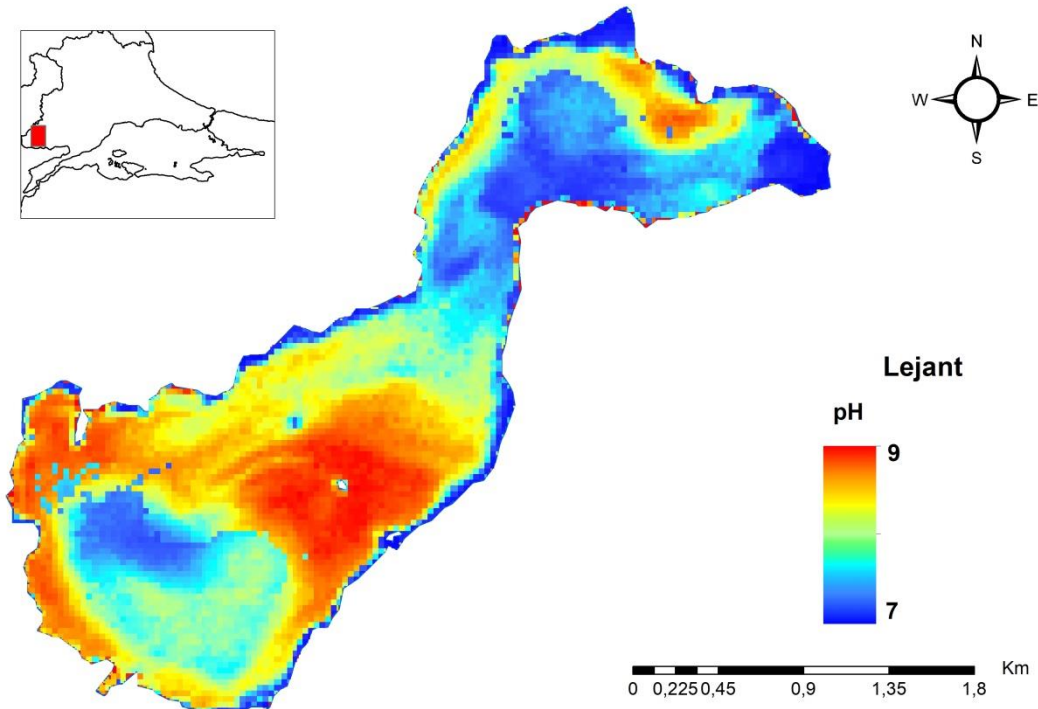
Algılayıcı	Değişken Sayısı	Örnek Sayısı	RMSE	MAPE	MAE	R	R <sup>2</sup>
Göktürk-2	4	60	0,24	1,92	0,16	0,53	0,28
Landsat-8	7	60	0,10	0,87	0,07	0,93	0,86
Sentinel 2A	4	60	0,14	1,27	0,10	0,85	0,73

Çizelge 5.30'a göre pH konsantrasyonu için Landsat-8 OLI görüntüsünden elde edilen sonucun ( $R^2=0,86$ ) Sentinel 2A ve Göktürk-2'ye göre daha yüksek doğruluğa sahip olduğu görülmektedir. Genel değerlendirmeye bakıldığında YSA pH sonucu diğer yöntemlere göre daha güvenilir sonuçlar vermiştir. Ölçülen ve YSA yöntemi, kestirilen pH konsantrasyon dağılımı ile eğitim, test, doğrulama ve tüm modeli kapsayan kestirim katsayısı değerleri Şekil 5.36'da sunulmuştur. pH konsantrasyonu ölçüm değerleri, kestirim değerleri ve hata miktarı arasındaki ilişkiye bakıldığında Göktürk-2 sisteminden elde edilen hata miktarının Landsat-8 OLI ve Sentinel 2A sonuçlarına göre daha fazla olduğu görülmektedir. Üç uydu sisteminden elde edilen sonuçlara bakıldığında artan ölçüm değeri ile hata oranının doğru orantılıdır.

Landsat 8 OLI bant yansıtım değerleri kullanılarak YSA yöntemi ile kestirilen pH konsantrasyon dağılım haritası incelendiğinde (Şek.5.37) özellikle gölün kuzey doğusunda kalan bölümünde balçık miktarının ve çürümüş bitki artıklarının fazla olmasından kaynaklı pH miktarının düşük olduğu görülmektedir. Gölün kıyı kesimlerinde pH seviyesinin düşük olmasının ise, yoğun bitki örtüsünden dolayı olduğu değerlendirilmektedir. Aynı şekilde gölün orta kesminde kalan bölümde düşük pH oranının bitki adacıklarından ve AKM miktarının fazla olmasından kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Gölün Meriç Nehri ile bağlantısını sağlayan bağlantı kanalının olduğu güneybatı kesimi ve boğaz olarak isimlendirilen bölgelerde ise pH miktarının gölün diğer bölümlerine göre yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 5.36 : YSA modeli pH ölçülen ve kestirilen konsantrasyon dağılımı.



Şekil 5.37 : pH kestirim haritası.

### 5.7 Doğruluk Analizi

Model sonuçlarının karşılaştırılmasında RMSE, MAPE, MAE ve R istatistik kriterleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre (Çizelge 5.31), yüzey yansıtım değerleri kullanılarak oluşturulan modeller arasında en yüksek korelasyon ve belirtme katsayısı değerini Landsat 8 OLI YSA modeli vermiştir.

YSA için determinasyon katsayısı ( $R^2$ ) Chl-a için 0.87, AKM 0.82, ÇO 0.71, SDD 0.84, TÇM 0.71 ve pH için 0.86 olarak bulunmuştur. Genel olarak YSA ve PR'nin, YSA modelinden sonra, diğer kestirim yöntemlerine göre daha doğru sonuçlar verdiği görülmektedir. Elde edilen bu sonuçlar ( $R>0,5$ ) bağımlı değişkenler (kalite parametresi) ile bağımsız değişkenler (yüzey yansıtım değerleri) arasında orta seviye ve üzerinde ilişki olduğunu göstermektedir.

Chl-a, AKM, ÇO, SDD ve pH parametreleri MLR, PR, RSR, DVM ve YSA modelleri için en doğru sonuçlar Landsat 8 OLI, TÇM parametresi için ise Sentinel 2A algılayıcısından alınmıştır. Bu durum Chl-a, AKM, ÇO, SDD ve pH kestirim modelinde Landsat 8 OLI'nin, TÇM kestirim modelinde ise Sentinel 2A'nın en doğru sonuçları verdiğini göstermektedir.



Çizelge 5.31 : Analiz sonuçları.

Parametre	Model	RMSE	MAPE	MAE	R	R <sup>2</sup>	Algılayıcı Sistem
Klorofil-a	MLR	11,29	17,67	8,49	0,89	0,79	Landsat 8 OLI
	PR	10,04	14,05	6,97	0,91	0,83	Landsat 8 OLI
	RSR	9,07	12,77	6,31	0,93	0,87	Landsat 8 OLI
	DVM	12,16	18,18	8,75	0,88	0,77	Landsat 8 OLI
	YSA	8,80	16,95	7,07	0,93	0,87	Landsat 8 OLI
AKM	MLR	10,02	17,27	8,33	0,84	0,71	Landsat 8 OLI
	PR	9,11	15,33	7,57	0,87	0,76	Landsat 8 OLI
	RSR	8,79	13,15	6,94	0,88	0,78	Landsat 8 OLI
	DVM	11,34	18,55	8,61	0,80	0,64	Landsat 8 OLI
	YSA	7,85	12,08	6,21	0,91	0,82	Landsat 8 OLI
ÇO	MLR	0,45	2,81	0,32	0,54	0,29	Landsat 8 OLI
	PR	0,40	2,58	0,30	0,66	0,44	Landsat 8 OLI
	RSR	0,35	2,49	0,29	0,76	0,57	Landsat 8 OLI
	DVM	0,45	2,71	0,31	0,56	0,31	Sentinel 2A
	YSA	0,29	1,86	0,21	0,84	0,71	Landsat 8 OLI
SDD	MLR	8,77	18,94	6,91	0,77	0,60	Sentinel 2A
	PR	8,49	16,65	5,98	0,79	0,62	Göktürk-2
	RSR	7,43	15,98	5,90	0,84	0,71	Göktürk-2
	DVM	8,32	16,35	5,86	0,80	0,64	Sentinel 2A
	YSA	5,60	11,27	4,19	0,92	0,84	Landsat 8 OLI
TÇM	MLR	63,33	5,28	46,05	0,72	0,52	Landsat 8 OLI
	PR	60,03	5,04	44,02	0,75	0,57	Landsat 8 OLI
	RSR	53,22	4,58	40,36	0,81	0,66	Sentinel 2A
	DVM	64,46	5,30	45,42	0,72	0,51	Landsat 8 OLI
	YSA	50,31	3,89	33,65	0,84	0,71	Sentinel 2A
pH	MLR	0,20	1,58	0,13	0,65	0,42	Landsat 8 OLI
	PR	0,17	1,64	0,14	0,76	0,58	Sentinel 2A
	RSR	0,13	1,29	0,11	0,87	0,76	Sentinel 2A
	DVM	0,20	1,60	0,13	0,67	0,45	Sentinel 2A
	YSA	0,10	0,87	0,07	0,93	0,86	Landsat 8 OLI

The pie chart illustrates the distribution of satellite systems used in the analysis. Landsat 8 OLI is the most frequently used system, accounting for 67% of the total. Sentinel 2A follows, representing 27%, and Göktürk 2 accounts for the remaining 6%.

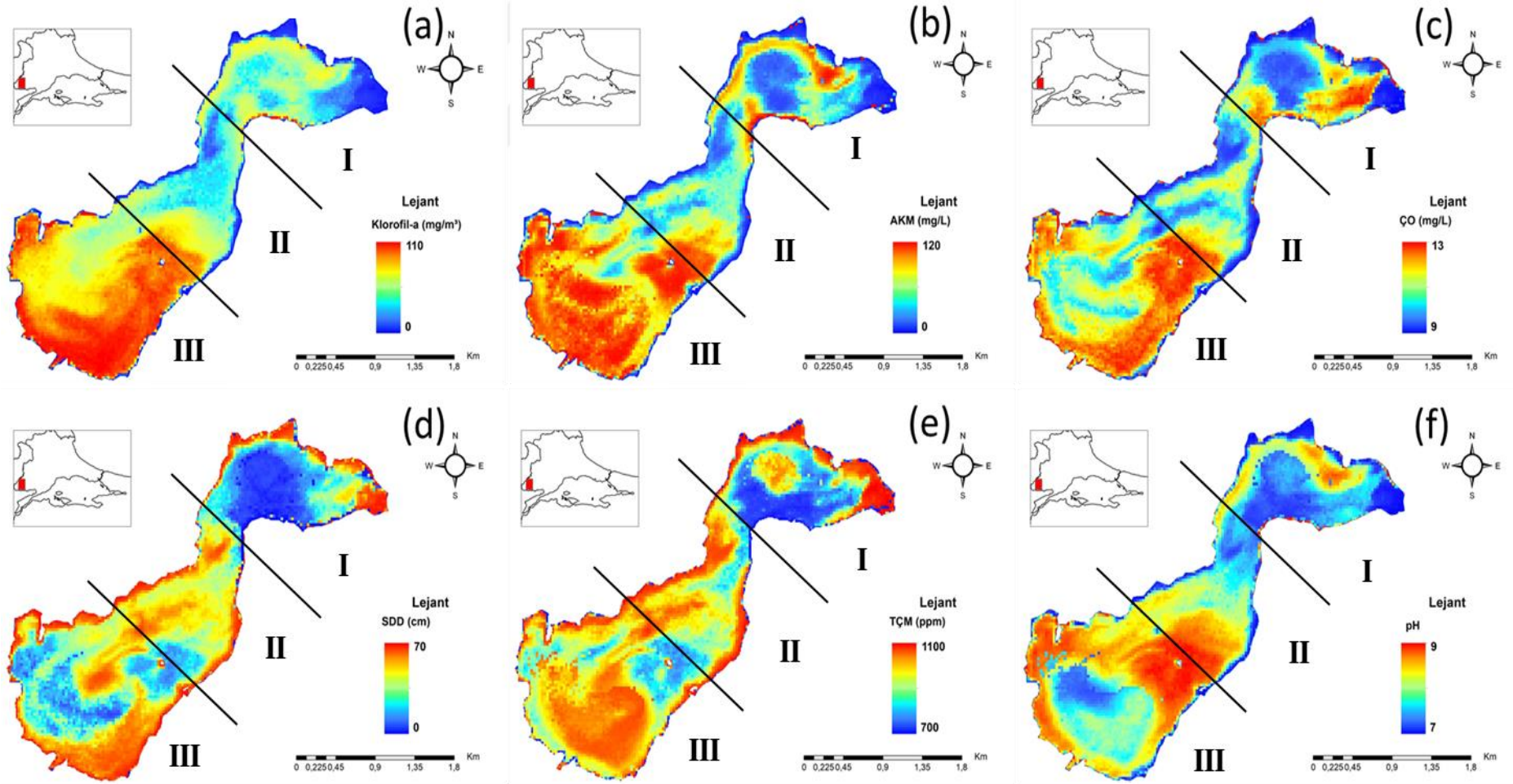
Genel değerlendirmede yapılan hesaplamalarda en fazla doğru sonucu veren % 67 gibi bir oranla Landsat 8 OLI, ikinci sırada % 27 ile Sentinel 2A ve % 6'lık bir değerle Göktürk-2 üçüncü sırada yer almıştır.

## 5.8 Su Kalitesi Kestirim Haritaları

Doğruluk analizi performans ölçüm parametreleri sonuçlarına göre YSA kestirim modelinin MLR, PR, RSR ve SVM modellerinden daha üstün olduğu görülmüştür. Chl-a, TSS, SDD, TDS ve pH için hesaplanan performans değerleri kestirim sonuçları ile arazi ölçümleri arasında yüksek düzeyde anlamlı bir benzerlik olduğunu göstermektedir. Tüm su kalitesi parametreleri için YSA kestirim modeli ile elde edilen su kalitesi dağılım (yoğunluk) haritaları oluşturulmuştur (Şek. 5.38). Hesaplanan kalite parametreleri ile arazi ölçümleri arasındaki uyumun daha iyi gösterilebilmesi için göl üç bölgeye (I,II,III) ayrılmıştır. Chl-a YSA dağılım haritasına göre (Şek. 5.38a) III numaralı bölgede kalan Chl-a miktarı  $100 \text{ mg/m}^3$  seviyesine ulaşmaktadır. Bu durum, sudaki yaşam üzerinde olumsuz bir etkiye neden olan ÇO miktarında bir azalmaya yol açmaktadır. Şekil 5.38b'de, I ve II numaralı bölgeler hariç, göldeki toplam AKM miktarı oldukça yüksek seviyelerde hesaplanmıştır. Özellikle gölün girişinde (I) ve Hisar Dağları'nın bulunduğu alanın (III) güney kısmında tarım alanları, yağış ve eğimin etkisiyle toprağın göle taşınması sonucunda AKM miktarı artmaktadır. Bu nedenle gölün kuzeydoğu kesiminde kalan alanın neredeyse tamamı balçık ile kaplanmış durumdadır.

ÇO dağıtım haritasına (Şek. 5.38c) göre, I nolu bölgede göle giriş yapan su kanallarının olması, III nolu bölgede ise Hisarlı Dağı yönünden süzülen yağmur ve yeraltı sularının bu bölgeye gelmesinden dolayı ÇO miktarı yüksek seviyelerdedir. SDD su kütlelerinde bulanıklığın bir göstergesidir. SDD dağılımı (Şek. 5.38d) ile AKM miktarı arasında ters orantılı bir ilişki söz konusudur. Artan AKM miktarı sudaki bulanıklığı arttırmakta, dolayısıyla SDD değeri bunun bir sonucu olarak azalmaktadır. Özellikle II ve III nolu bölgelerde, artan AKM miktarına karşılık SDD'nin azaldığı görülmektedir.

TÇM dağılım haritası (Şek. 5.38e) incelendiğinde, II ve III nolu bölgelerde tarımsal alanlardan gelen kimyasallar açısından zengin sulardan dolayı TÇM miktarının arttığı görülmektedir. Şekil 5.38f'de verilen pH dağılım haritasında II ve III nolu bölgelerde pH yoğunluğunun fazla olduğu ve bunun sonucunda bu bölgelerin bazik bir yapıya sahip olduğu söylenebilir. I nolu bölgenin ise normal seviyelerdeki pH değerine sahip olduğu görülmektedir.

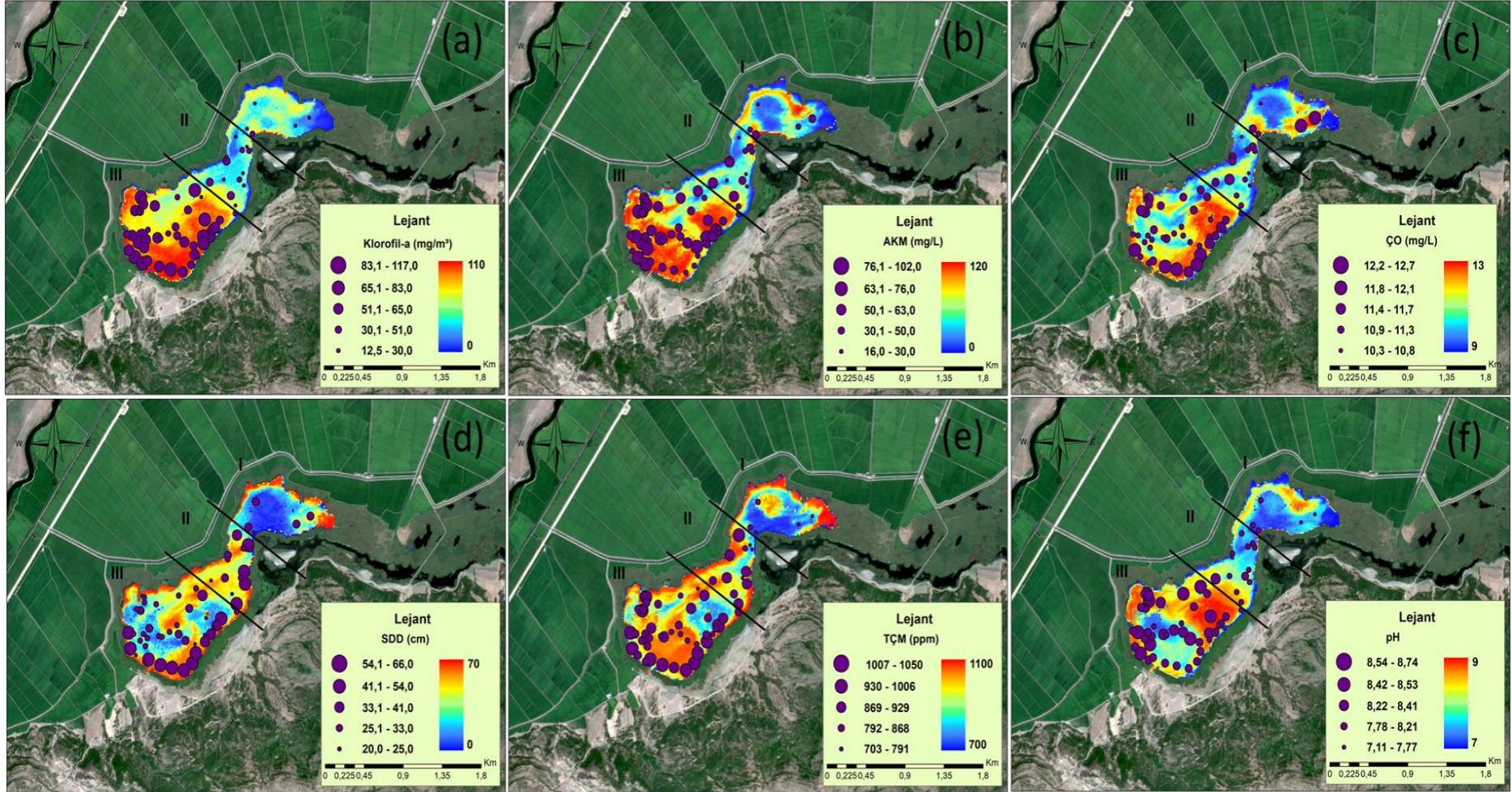


Şekil 5.38 : Su kalitesi kestirim haritası (a) Chl-a. (b) AKM. (c) CO. (d) SDD. (e) TDS. (f) pH.

Türkiye Yüzeysel Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliği Kıtaiçi Yerüstü Su Kaynaklarının Kalite Kriterleri ile Avrupa Birliği Su Kalitesi Direktifi Chl-a ötrofikasyon kriterlerine göre, II nolu bölgenin bir bölümünün ve III nolu bölgenin tamamının hipertrofik sınır değerinin çok üstünde olduğu görülmektedir. Chl-a miktarındaki bu artış su yaşamı için önemli bir etken teşkil etmekte ve göldeki canlı metabolizmaların yaşamını olumsuz yönde etkilemektedir.

Şekil 5.39'da YSA modeli ile oluşturulan su kalitesi kestirim haritaları ve arazi ölçümleri arasındaki uyum gösterilmiştir. Buna göre korelasyon katsayısı 0,93 olarak hesaplanmış Chl-a kestirim haritası ile arazi ve laboratuvar ölçüm değerlerinin neredeyse bire bir örtüştüğü görülmektedir (Şek. 5.39a). AKM kestirim modelinde korelasyon katsayı 0,91 olarak hesaplanmıştır. Arazi ölçümleri ile yapılan karşılaştırmada (Şek. 5.39b) her iki veri arasında yüksek oranda bir benzerlik ve uyum söz konusudur. Chl-a ve AKM korelasyon değerine göre daha düşük korelasyona sahip (0,84) olan ÇO parametresinde I ve III nolu bölgelerde (Şek. 5.39c) yer alan ölçüm ve hesaplama parametreleri II nolu bölgeye nispeten daha yüksek oranda benzerlik ve uyum göstermektedir. SDD parametresinde (0,92) özellikle III nolu bölgede (Şek. 5.39d) uyumun çok yüksek olduğu ve kıyı bölgelerde daha doğru sonuçlar alındığı değerlendirilmektedir. TÇM korelasyon katsayısının (0,72) diğer ölçümlere kıyasla daha düşük olmasından dolayı sadece I nolu bölgede (Şek. 5.39e) yüksek bir uyumun söz konusu olduğu, diğer bölgelerde ise uyum oranının düşük olduğu görülmektedir. Şekil 5.38f'de sunulan pH karşılaştırmasında ise korelasyon oranının yüksek olması ile orantılı olarak tüm bölgelerde yüksek bir uyum ve benzerliğin olduğu tespiti yapılmıştır.

Genel anlamda Landsat 8 OLI spektral değerleri kullanılarak YSA yöntemiyle oluşturulan kestirim haritaları ile arazi ölçümlerinin arasında yüksek oranda bir benzerlik ve uyumun olduğu görülmüştür. Bu durum, Landsat 8 OLI spektral bant değerleri kullanılarak oluşturulan YSA modelinin Chl-a, AKM, ÇO, SDD, TÇM ve pH gibi fiziko kimyasal ve fiziksel su kalitesi parametrelerinin hesaplanmasında doğru ve güvenilir sonuçlar verdiğini göstermektedir.



Su kalitesi kestirim haritaları ve arazi ölçümlerinin karşılaştırması (a) Chl-a. (b) AKM. (c) ÇÖ. (d) SDD. (e) TDS. (f) pH



## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Endüstriyel ve tarımsal faaliyetlerin artması ile birlikte doğal kaynaklardaki su kalitesi çarpıcı bir şekilde azalmaya başlamıştır. Klasik ölçüm yöntemleri ile birlikte uzaktan algılama tekniklerinin de kullanılması (göller, nehirler, yeraltı suları vb.) su kalitesi parametrelerinin uygun maliyetle izlenmesi, belirlenmesi ve haritalanmasında etkili ve güvenilir bir yöntem haline gelmiştir. Teknolojideki son gelişmeler su kalitesi izleme üzerinde büyük bir etkiye sahip olmuş ve uzaktan algılama yöntemlerinin daha geniş uygulama alanları bulmasına neden olmuştur.

Bu çalışmada, Türkiye-Yunanistan sınırında yer alan Gala Gölü'ndeki su kalitesini izlemek için Göktürk-2, Landsat-8 OLI ve Sentinel-2A görüntüleri kullanılarak farklı kestirim yaklaşımları sunulmuştur. İncelenen su kalitesi parametrelerinin her biri için deneysel ilişkiler elde edilmiş ve girdi olarak Göktürk-2, Landsat-8 OLI ve Sentinel-2A uyduları spektral bantlarının yansıtım değerleri kullanılarak test edilmiştir. Aynı zamanda uzaktan algılamanın yüzey suları kalite parametrelerinin kestirilmesi ve mekansal dağılım haritalarının hazırlanmasında etkili bir yöntem olduğu gösterilmiştir.

Yapılan analizler sonucunda, kestirilen Chl-a, ÇO, AKM, SDD, TÇM ve pH parametreleri determinasyon katsayılarının 0.8 ve 0.9 arasında olması kalite parametrelerinin yüksek korelasyona sahip olduğunu göstermektedir. Doğruluk analizi değerlendirmesine göre YSA modelinin MLR, PR, RSR ve DVM modellerine göre daha doğru sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Landsat 8 OLI yüzey yansıtım bantlarından hesaplanan parametrelerin, YSA yöntemiyle en doğru sonucu verdiği tespit edilmiştir. Bunun yanında Türkiye'nin ilk yüksek çözünürlüklü yer gözlem uydusu Göktürk-2 verilerinin su kalitesi tespit çalışmalarında yeterli korelasyon göstermediği tespit edilmiştir. Farklı algılayıcılardan (Göktürk-2, Landsat-8 OLI, Sentinel 2A) elde edilen uzaktan algılama verileri ve gerçek zamanlı arazi ölçümleri yardımıyla Gala Gölü'ndeki su kalitesi parametrelerinin hesaplanabileceği gösterilmiştir.

Gala Gölü yüzey alanı değişimini tespit edebilmek için, 1984 yılından günümüze kadar olan Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+, Landsat 8 OLI ve Göktürk-2 görüntüleri kullanılarak gerçekleştirilen analize göre göl alanının 3.8 km<sup>2</sup>'den 5.4 km<sup>2</sup>'ye yükseldiği tespit edilmiştir. 90'lı yıllardan sonra gölün yüzey alanındaki 1.6 km<sup>2</sup>'lik artışın 1991 yılında Tabiatı Koruma Alanı ve 2005 yılında Milli Park olarak ilan edilmesinin önemli bir payının olduğu değerlendirilmektedir.

Bu çalışma ile geniş alanlara yayılmış olan su kütlelerindeki konsantrasyonların Göktürk-2, Landsat 8 OLI ve Sentinel 2A görüntülerinden elde edilen yüzey yansıtım verileri ile daha uygun maliyet ve sürelerde tespit edilebileceği gösterilmiştir. Göllerdeki endüstriyel ve tarımsal faaliyetlerden kaynaklı kirliliklerin izlenmesi, doğal yaşam alanlarının sürdürülebilir yönetiminin sağlanmasında büyük bir öneme sahiptir. Bu çalışma, uzaktan algılama ve arazi ölçümlerinin entegre bir şekilde kullanılmasının su kalitesinin kestirilmesi ve değerlendirilmesi için önemli bir araç olduğunu kanıtlamaktadır.

Göllerin stratejik bir kaynak olarak rolü sosyal, çevresel ve ekonomik açıdan büyük bir öneme sahiptir. Su kaynaklarının korunması ve yönetimi sürdürülebilir kalkınmanın kilit unsurlarındandır. Erken uyarı sistemlerinin önemi, ulusların sosyo-ekonomik gelişme süreci içerisinde göz ardı edilmemesi gereken konulardan birisidir. Su kalitesinin takip edilmesi için uzaktan algılama destekli erken uyarı sisteminin kurulması, göl ve çevresinde olumsuz durumların uyarılması ve zamanında önlem alınmasında büyük bir öneme sahiptir. Göllerde, kirlilik ve ötrofikasyon olaylarının önlenmesi için atılan adımların yanı sıra hızlı ve etkili bir iyileştirme sürecinin takip edilmesi de çok önemlidir. Bu nedenle, oluşturulacak olan uzaktan algılama destekli su kalitesi erken uyarı sisteminin uygun maliyetli ve elde edilecek olan verilerin nitelik ve nicelik açısından kolayca yorumlanabilir olması gerekmektedir.

Su kalitesi parametreleri zaman ve mekana göre değişiklik gösterdiğinden klasik yollarla tespit edilebilmesi için çok miktarda örnek alınması ve kısa zamanda analiz edilmesi gerekmektedir. Yüzeysel sulara su kalitesi modelleri sadece ilgili bölge ve mevsim için uygulanabildiğinden bu çalışmada elde edilen modeller yaz mevsiminde ölçülen Gala Gölü su kalitesi parametreleri için hesaplanmıştır. Tüm dönemleri kapsayacak bir model oluşturulabilmesi için daha uzun ve farklı dönemlerde ölçümlerin yapılması ve analiz edilmesi gerekmektedir. Bu çalışma ile elde edilmiş



olan modellerin aynı bölge içerisinde yer alan Pamuklu ve Sığırcılı göllerinde denenerek doğrulanabileceği ve faydalı sonuçlar alınabileceği değerlendirilmektedir.

Su kalitesi tespit çalışmalarında algılayıcının dar bir dalga boyu aralığına bakması dolayısıyla yüksek spektral çözünürlüğe sahip olması önemli bir yere sahiptir. Elde edilen sonuçlara göre diğer algılayıcılardan (Göktürk-2, Sentinel 2A) daha yüksek spektral çözünürlüğü olan Landsat 8 OLI daha doğru sonuçlar vermiştir. Bu durum, dinamik ve karmaşık bir yapıya sahip olan göllerde, su kalite parametrelerinin spektral çözünürlüğü yüksek algılayıcılar ile daha hassas şekilde ayırt edilebileceğinin bir göstergesidir. Bu nedenle, yüksek hassasiyete ihtiyaç duyulan su kalitesi kestirim çalışmalarında yüzlerce dar dalga boyu aralığına sahip hiperspektral görüntüler tercih edilmelidir. Ancak yüzlerce dar hiperspektral yansıma bandından önemli dalga boylarının ayırt edilmesi (seçilmesi) zorlu bir süreç olduğundan hiperspektral verilerin boyutları bazı analiz ve dönüşüm teknikleri ile azaltılmalıdır.

Su kalitesi çalışmalarında bölgenin genişliği, morfolojik yapısı, erişilebilirliği, zaman kısıtlaması, maliyet ve personel durumu karşılaşılan zorluklardan bazılarıdır. Bu zorlukların üstesinden gelebilmek için örnekleme ve ölçüm ekipmanları ile donatılmış insansız su-altı, su-üstü ve hava araçlarının kullanımı ön plana çıkmaktadır. Otonom olarak çalışabilen bu araçlar önceden tanımlanmış olan örnekleme noktalarına uzaktan kontrollü ve hızlı bir şekilde gidebilmekte ve üzerinde bulunun ekipmanlar ile kalite parametrelerini konum bilgileri ile birlikte ölçebilmektedir. Uzaktan algılama ve otonom ölçüm araçlarının entegre bir şekilde kullanılmasının klasik su kalitesi ölçüm yöntemlerine kıyasla zaman ve maliyet açısından önemli avantajlar sağlayacağı düşünülmektedir.

Sonuç olarak, bu çalışma ile YSA yönteminin su kalitesi parametrelerinin mekansal dağılım haritalarının oluşturulmasında etkili bir kestirim yöntemi olduğu gösterilmiştir. Ayrıca uzaktan algılamanın mekansal veriler ile birlikte kullanılmasının geniş coğrafi bölgeleri kapsayan göllerde kirliliğin rutin olarak izlenmesi, faydalı çevresel verilerin elde edilmesi ve doğal yaşam alanlarının sürdürülebilir yönetiminin sağlanmasında hızlı ve ucuz bir yöntem olduğu gösterilmiştir.



## KAYNAKLAR

- Abdelmalik, K. W.** (2016). Role of statistical remote sensing for inland water quality parameters prediction, *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 21(2), 193–200. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2016.12.002>
- Ay, M.** (2014). *Su kalitesi parametrelerinin Yapay Zekâ yöntemleri ile değerlendirilmesi*. (Doktora tezi). Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Azab, A. M.** (2012). *Integrating GIS, Remote Sensing, and Mathematical Modelling for Surface Water Quality Management in Irrigated Watersheds* (1st Edition). Rotterdam: CRC Press, Balkema.
- Bayrak, G.** (2004). *Gala Gölü ve çevresinde ağır metal değişiminin dinamiği* (Yüksek lisans tezi). Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- Bayram, A., Kankal, M., Tayfur, G., & Önsoy, H.** (2014). Prediction of suspended sediment concentration from water quality variables, *Neural Computing and Applications*, 24(5), 1079–1087. <https://doi.org/10.1007/s00521-012-1333-3>
- Bhatti, A., Nasu, S., Takagi, M., & Nojiri, Y.** (2008). Assessing the potential of remotely sensed data for water quality monitoring of coastal and inland waters, *Society for Social Management Systems Internet Journal*, 4(1), 201–207.
- Boyer, J. N., Kelble, C. R., Ortner, P. B., & Rudnick, D. T.** (2009). Phytoplankton bloom status: Chlorophyll a biomass as an indicator of water quality condition in the southern estuaries of Florida, *Ecological Indicators*, 9(6), S56–S6. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2008.11.013>
- Brando, V. E., Braga, F., Zaggia, L., Giardino, C., Bresciani, M., Matta, E., ... Carniel, S.** (2015). High-resolution satellite turbidity and sea surface temperature observations of river plume interactions during a significant flood event, *Ocean Sci.*, 11(6), 909–920. <https://doi.org/10.5194/os-11-909-2015>
- Chang, N.-B., Imen, S., & Vannah, B.** (2015). Remote sensing for monitoring surface water quality status and ecosystem state in relation to the nutrient cycle: a 40-year perspective. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 45(2), 101–166. <https://doi.org/10.1080/10643389.2013.829981>
- Chang, N.-B., & Vannah, B.** (2013a). Comparative data fusion between genetic programming and neural network models for remote sensing images of water quality monitoring. *2013 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, (pp.1046–1051). Manchester, United

Kingdom: October 13-16. <https://doi.org/10.1109/SMC.2013.182>

- Chang, N.-B., & Vannah, B.** (2013b). Intercomparisons between empirical models with data fusion techniques for monitoring water quality in a large lake. *10th IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control (ICNSC)*, (pp.258–263). Evry, France: April 10-12. <https://doi.org/10.1109/ICNSC.2013.6548747>
- Chavez, P. S.** (1988). An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote Sensing of Environment*, 24(3), 459–479. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90019-3](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90019-3)
- Chavez Jr., P. S.** (1996). Image-based atmospheric corrections-revisited and improved. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62(9), 1025–1035.
- Curran, P. J., & Novo, E. M. M.** (1988). The relationship between suspended sediment concentration and remotely sensed spectral radiance: a review. *Journal of Coastal Research*, 4(3), 351–368.
- Da Silva, I. N., Hernane Spatti, D., Andrade Flauzino, R., Liboni, L. H. B., & dos Reis Alves, S. F.** (2017). *Artificial Neural Networks* (pp.21-28). Cham: Springer International Publishing, Switzerland. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-43162-8>
- Davis, A. P., & McCuen, R. H.** (2005). *Stormwater Management for Smart Growth*. New York: Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/0-387-27593-2>.
- Dekker, A. G., & Peters, S. W. M.** (1993). The use of the thematic mapper for the analysis of eutrophic lakes: a case study in the netherlands. *International Journal of Remote Sensing*, 14(5), 799–821. <https://doi.org/10.1080/01431169308904379>
- Dekker, A. G., Zamurovic-Nenad, Ž., Hoogenboom, H. J., & Peters, S. W. M.** (1996). Remote sensing, ecological water quality modelling and in situ measurements: a case study in shallow lakes. *Hydrological Sciences Journal*, 41(4), 531–547. <https://doi.org/10.1080/02626669609491524>.
- Desale, R. P., & Verma, S. V.** (2013). Study and analysis of PCA, DCT & DWT based image fusion techniques. *2013 International Conference on Signal Processing , Image Processing & Pattern Recognition* (pp. 66–69). Coimbatore, India: February 7-8. <https://doi.org/10.1109/ICSIPR.2013.6497960>
- Diri, B.** (2014). Makine Öğrenmesine Giriş. Ders Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- Doña, C., Sánchez, J. M., Caselles, V., Domínguez, J. A., & Camacho, A.** (2014). Empirical relationships for monitoring water quality of lakes and reservoirs through multispectral images. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 7(5), 1632–1641. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2014.2301295>
- Dökmeçi, A. H.** (2005). *Gala Gölü ve gölü besleyen su kaynaklarında ağır metal kirliliğinin araştırılması*. (Yüksek lisans tezi). Trakya Üniversitesi,

- Directive 2006/44/EC.** (2006). The European Parliament and of the Council of 6 September 2006 on the quality of fresh waters needing protection or improvement in order to support fish life. *Official Journal of the European Union*, 17, 133–145.
- El-Din, M. S., Gaber, H., Koch, M., Ahmed, R. S., & Bahgat, I.** (2013). Remote sensing application for water quality assessment in lake timsah, Suez Canal, Egypt. *Journal of Remote Sensing Technology*, 1(3), 61–74. <https://doi.org/10.18005/JRST0103002>
- Ermış, M.** (2005). *Lojistik sistemlerinin Yapay Sinir Ağları ile modellenmesi.* (Doktora tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Gholizadeh, H. M., Melesse, M. A., & Reddi, L.** (2016). A comprehensive review on water quality parameters estimation using remote sensing techniques. *Sensors*, 16(8), 1-43. <https://doi.org/10.3390/s16081298>
- Giardino, C., Bresciani, M., Cazzaniga, I., Schenk, K., Rieger, P., Braga, F., ... Brando, E. V.** (2014). Evaluation of multi-resolution satellite sensors for assessing water quality and bottom depth of Lake Garda. *Sensors*, 14(12), 24116-24131. <https://doi.org/10.3390/s141224116>
- Gómez, H., & Kavzoglu, T.** (2005). Assessment of shallow landslide susceptibility using artificial neural networks in Jabonosa River Basin, Venezuela. *Engineering Geology*, 78(1-2), 11-27. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2004.10.004>
- Gunn, S.** (1998). *Support Vector Machines for Classification and Regression* (Technical report). School of Electronics and Computer Science, University of Southampton, United Kingdom.
- Guodong, G., & Li, S. Z.** (2003). Content-based audio classification and retrieval by support vector machines. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 14(1), 209–215. <https://doi.org/10.1109/TNN.2002.806626>
- Gürgenburan, G., & Çinar, E.** (2015). Göktürk-2: Two years of operation. *7th International Conference on Recent Advances in Space Technologies (RAST)* (pp. 405–409). İstanbul, Türkiye: June 16-19. <https://doi.org/10.1109/RAST.2015.7208378>
- Hajjizadeh, M.** (2016). *Water quality modelling using multivariate statistical analysis and remote sensing in South Florida* (PhD. theses). Florida International University, Civil Engineering, Miami, Florida. <https://doi.org/10.25148/etd.FIDC001230>
- Hakvoort, H., Dehaan, J., Jordans, R., Vos, R., Peters, S., & Rijkeboer, M.** (2002). Towards airborne remote sensing of water quality in The Netherlands Validation and error analysis. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 57(3), 171-183. [https://doi.org/10.1016/S0924-2716\(02\)00120-X](https://doi.org/10.1016/S0924-2716(02)00120-X)
- Hsu, H., Chen, L., Kou, C., Yeh, H., & Wang, T.** (2009). Applying multi-temporal satellite imageries to estimate chlorophyll-a concentration in feitsui reservoir using ANNs. *2009 International Joint Conference on*

*Artificial Intelligence* (pp. 345–348). Pasadena, Los Angeles, April 25-26. <https://doi.org/10.1109/JCAI.2009.80>

- Hu, C.** (2002). *Advanced tourism demand forecasting: ANN and Box Jenkins modelling* (PhD. theses). Purdue University, Department of Hospitality and Tourism Management, West Lafayette.
- Huang, W., Huang, F., & Song, J.** (2011). Water quality retrieval and performance analysis using landsat thematic mapper imagery based on LS-SVM. *Journal of Software*, 6(8), 1619–1627. <https://doi.org/10.4304/jsw.6.8.1619-1627>
- Huiqun, M., & Ling, L.** (2008). Water quality assessment using artificial neural network. *2008 International Conference on Computer Science and Software Engineering* (pp.13–15). Wuhan, Hubei, June 15. <https://doi.org/10.1109/CSSE.2008.411>
- Jayalakshmi, T., & Santhakumaran, A.** (2011). Statistical normalization and back propagation for classification. *International Journal of Computer Theory and Engineering*, 3(1), 89–93. <https://doi.org/10.7763/IJCTE.2011.V3.288>
- Kallio, K.** (2000). Remote Sensing As A Tool For Monitoring Lake Water Quality. P. Heinonen, G. Ziglio, & A. Van Der Beken (Eds.), *Hydrological and Limnological Aspects of Lake Monitoring* (pp. 237–245). Chichester: John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9780470511121.ch20>
- Kallio, K.** (2012). *Water quality estimation by optical remote sensing in boreal lakes* (Academic dissertation). University of Helsinki, Faculty of Biological and Environmental Sciences, Viikinkaari.
- Karahan, M.** (2011). *İstatistiksel tahmin yöntemleri: yapay sinir ağları ile ürün talep tahmini uygulaması* (Doktora tezi). Selçuk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Konya.
- Kıraç, S. K.** (1993). *Türkiyenin Sulak Alanları* (s.75-78). Ankara: Türkiye Çevre Vakfı Yayını.
- Landsat 8 (L8) Data Users Handbook.** (2018). Department of the Interior U.S. Geological Survey, Version 3.0, EROS, Sioux Falls, South Dakota. Retrieved from <https://landsat.usgs.gov/landsat-8-data-users-handbook>
- Lathrop, R. G., & Lillesand, T. M.** (1986). Use of thematic mapper data to assess water quality in Green Bay and Central Lake Michigan. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 52(5), 671–680.
- Li, R., Zou, Z., & An, Y.** (2016). Water quality assessment in qu river based on fuzzy water pollution index method. *Journal of Environmental Sciences*, 50(12), 87-92. <https://doi.org/10.1016/J.JES.2016.03.030>
- Liew, S. C., Saengtuksin, B., & Kwoh, L. K.** (2009). Monitoring turbidity and suspended sediment concentration of coastal and inland waters using satellite data. *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium* (pp.837-839). Cape Town, South Africa: July 12-17. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2009.5418225>
- Lin, W., & Huang, J.** (2009). Inversion of reflectance of ground object in urban areas based on SPOT-5 dimap and dark-object. *Joint Urban Remote*

- Sensing Event* (pp. 1–5). Shanghai, China: May 20–22. <https://doi.org/10.1109/URS.2009.5137657>
- Liu, A., Liu, L., & Liu, X.** (2016). A new atmospheric correction method based on ANN in hyperspectral remote sensing image. *4th International Workshop on Earth Observation and Remote Sensing Applications (EORSA)* (pp. 57–61). Guangzhou, China: July 4–6. <https://doi.org/10.1109/EORSA.2016.7552766>
- Ma, R., Tang, J., & Dai, J.** (2006). Bio-optical model with optimal parameter suitable for Taihu Lake in water colour remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, 27(19), 4305–4328. <https://doi.org/10.1080/01431160600857428>
- Miller, R. L., & McKee, B. A.** (2004). Using MODIS Terra 250 m imagery to map concentrations of total suspended matter in coastal waters. *Remote Sensing of Environment*, 93(1-2), 259–266. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.07.012>
- Milli Parklar Kanunu.** (1983). *T.C. Resmi Gazete, Sayı: 181322873, Tertip: 5, Cilt: 22*, 11 Ağustos 1983.
- Mobasheri, M.** (2008). Assessment of Suspended Sediments Concentration in Surface Waters, Using Modis Images. *American Journal of Applied Sciences*, 5(7), 798–804. <https://doi.org/10.3844/ajassp.2008.798.804>
- Mobley, C.** (1994). *Light and Water: Radiative Transfer In Natural Waters* (pp.592). San Diago: Academic Press.
- Moran, M. S., Jackson, R. D., Slater, P. N., & Teillet, P. M.** (1992). Evaluation of simplified procedures for retrieval of land surface reflectance factors from satellite sensor output. *Remote Sensing of Environment*, 41(2-3), 169–184. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(92\)90076-V](https://doi.org/10.1016/0034-4257(92)90076-V)
- Mujumdar, P. P., & Kumar, D. N.** (2012). *Floods in a Changing Climate: Hydrologic Modeling (International Hydrology Series)* (1st edition, pp.88). New York: Cambridge University Press.
- Nas, B., Ekercin, S., Karabörk, H., Berktaş, A., & Mulla, D. J.** (2010). An application of Landsat-5TM image data for water quality mapping in Lake Beyşehir, Turkey. *Water, Air, & Soil Pollution*, 212(1-4), 183–197. <https://doi.org/10.1007/s11270-010-0331-2>
- Nazeer, M., & Nichol, J. E.** (2014). Selection of atmospheric correction method and estimation of Chlorophyll-a (Chl-a) in coastal waters of Hong Kong. *Third International Workshop on Earth Observation and Remote Sensing Applications (EORSA)* (pp.374–378). <https://doi.org/10.1109/EORSA.2014.6927916>
- OECD.** (1982). *Methodes de Surveillance, Devaluationet de Lutte (Eutrophication of Water, Monitoring, Assessment and Control)*, OECD Eutrophisation des Eaux, Paris, France.
- Olet, E.** (2010). *Water quality monitoring of Roxo reservoir using Landsat images and in-situ measurements* (Master of science thesis). International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, Geo-Information Science and Earth Observation, Netherlands.

- Olmanson, L. G.** (2012). *Remote sensing for regional assessment and analysis of Minnesota lake and river water quality* (Ph.D. dissertation). University of Minnesota, Natural Resource Management, Minnesota.
- Öterler, B., Albay, M., Çamur-Elipek, B., Güher, H., & Kirgiz, T.** (2015). Spatial and temporal distribution of phytoplankton in Lake Gala (Edirne/Turkey). *Trakya University Journal of Natural Sciences (TUJNS)*, 16(2), 71-80.
- Özkoç, Ö. B.** (2011). *Su mercimeği (Lemna minor) bitkisi ile ağır metal içeren Gala gölü sularının ileri artırımının değerlendirilmesi* (Yüksek lisans tezi). Namık Kemal Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Pan, Y., Shen, F., & Wei, X.** (2018). Fusion of Landsat-8/OLI and GOCI data for hourly mapping of suspended particulate matter at high spatial resolution: a case study in the Yangtze (Changjiang) Estuary. *Remote Sensing*, 10(2), 158. <https://doi.org/10.3390/rs10020158>
- Patil, U., & Mudengudi, U.** (2011). Image Fusion Using Hierarchical PCA. *International Conference on Image Information Processing* (pp. 1-6). India: Jaypee University of Information Technology, November 3-5. <https://doi.org/10.1109/ICIIP.2011.6108966>
- Ritchie, J. C., Cooper, C. M., & Schiebe, F. R.** (1990). The relationship of MSS and TM digital data with suspended sediments, chlorophyll, and temperature in Moon Lake, Mississippi. *Remote Sensing of Environment*, 33(2), 137-148. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(90\)90039-O](https://doi.org/10.1016/0034-4257(90)90039-O)
- Ritchie, J. C., & Schiebe, F. R.** (2000). *Water Quality*. G. A. Schultz & E. T. Engman (Ed.), *Remote Sensing in Hydrology and Water Management* (pp.287-303, 351-352). Berlin, Heidelberg: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-59583-7>
- Ritchie, J. C., Schiebe, F. R., & McHenry, J. R.** (1976). Remote sensing of suspended sediments in surface water. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 42, 1539-1545.
- Ritchie, J. C., Zimba, P. V., & Everitt, J. H.** (2003). Remote sensing techniques to assess water quality. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 69(6), 695-704. <https://doi.org/10.14358/PERS.69.6.695>
- Saadi, A. M., Yousry, M. M., & Jahin, H. S.** (2014). Statistical estimation of Rosetta Branch water quality using multi-spectral data. *Water Science*, 28(1), 18-30. <https://doi.org/10.1016/j.wsj.2014.10.001>
- Sağlam, S.** (2014). *Meriç nehir havzası'nın Avrupa Birliği su çerçeve direktifi açısından değerlendirilmesi* (Uzmanlık tezi). Orman ve Su İşleri, Ankara.
- Sarıkaya, Ö. V.** (2006). *Ikonos uydu görüntüsüyle Haliç'te su kalitesi* (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Saygılı, Y. S.** (2008). *İstatistiksel yöntemlerle yapay sinir ağları uygulamalarının karşılaştırılması: Milli Savunma Bakanlığı bütçesinin öngörülmesi*



(Yüksek lisans tezi). Kara Harp Okulu, Savunma Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

- Sentinel-2 User Handbook.** (2015). ESA Standard Document, Issue 1, Rev 2, European Space Agency. Retrieved from [https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/document-library/-/asset\\_publisher/xlslt4309D5h/content/sentinel-2-user-handbook](https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/document-library/-/asset_publisher/xlslt4309D5h/content/sentinel-2-user-handbook).
- Schneider, K., & Mauser, W.** (1996). Processing and accuracy of Landsat Thematic Mapper data for lake surface temperature measurement. *International Journal of Remote Sensing*, 17(11), 2027–2041. <https://doi.org/10.1080/01431169608948757>
- Schultz, G. A., & Engman, E. T.** (2000). *Remote Sensing in Hydrology and Water Management*. Berlin, Heidelberg: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-59583-7>
- Silva, N., Rosato, A., Altilio, R., & Panella, M.** (2018). Water Quality Prediction Based on Wavelet Neural Networks and Remote Sensing. *International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)* (pp. 1-6). Rio de Janeiro, Brazil: July 8-13. <https://doi.org/10.1109/IJCNN.2018.8489662>
- Slonecker, E. T., Jones, D. K., & Pellerin, B. A.** (2016). The new Landsat 8 potential for remote sensing of colored dissolved organic matter (CDOM). *Marine Pollution Bulletin*, 107(2), 518–527. <https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2016.02.076>
- Stevenson, J., McKenzie, R., Wood, J., Hayden, M. L., & Investigator, P.** (2015). A comparative study to the 2011/2013 water quality assessments in the Pasquotank Watershed in Northeastern North Carolina with a sea level rise component. *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)* (pp.153-156). Milan, Italy: July 26-31. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2015.7325722>
- Şiltu, E.** (2015). *Water quality management practices in Turkey*. Joint Training Programme on Sustainable Water Resources Management, Ministry of Forestry and Water Affairs, İstanbul.
- Theologou, I., Patelaki, M., & Karantzalos, K.** (2015). Can single empirical algorithms accurately predict inland shallow water quality status from high resolution, multi-sensor, multi-temporal satellite data. *36th International Symposium on Remote Sensing of Environment* (pp. 1511–1516). Berlin, Germany: May 11-15. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-7-W3-1511-2015>
- Thilagavathi, N., & Subramani, T.** (2012). Ground water quality monitoring of mine area using remote sensing and geographic information techniques. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 3(7), 1–18.
- Tokatlı, C., Köse, E., Uğurluoğlu, A., Çiçek, A., & Emiroğlu, Ö.** (2014). Gala Gölü su kalitesinin Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) kullanarak belirlenmesi. *Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 32(4), 490–501.

- Topçu, İ. B., Karakurt, C., & Sarıdemir, M.** (2008). Predicting the strength development of cements produced with different pozzolans by neural network and fuzzy logic. *Materials & Design*, 29(10), 1986–1991. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2008.04.005>
- Url-1** <<https://water.usgs.gov/edu>>, alındığı tarih: 23.11.2017.
- Url-2** <<http://www.dsi.gov.tr/toprak-ve-su-kaynaklari>>, alındığı tarih: 23.11.2017.
- Url-3** <<http://www.unep.org>>, alındığı tarih: 23.11.2017.
- Url-4** <<http://water.usgs.gov/edu/earthlakes.html>>, alındığı tarih: 29.11.2018.
- Url-5** <<http://www.ibm.com>>, alındığı tarih: 02.04.2018.
- Url-6** <<http://www.milliparklar.gov.tr/korunan-alanlar/milli-parklar>>, alındığı tarih: 06.05.2018.
- Üstün, B., Ekercin, C., & Öztopal, A.** (2007). Investigation of water quality parameters by using multiple regression and fuzzy logic in the Istanbul Strait, Turkey. *Proceedings of the 26th Annual Symposium of the European Association of Remote Sensing Laboratories (EARSeL)* (pp. 603–611). Warsaw, Poland: May 29, June 2.
- Wang, H., Fan, T., Shi, A., Huang, F., & Wang, H.** (2010). Fuzzy integral based information fusion for water quality monitoring using remote sensing data. *International Journal of Communications, Network and System Sciences*, 03(09), 737–744. <https://doi.org/10.4236/ijcns.2010.39098>
- Wang, J., Yun, T., & Wu, Y.** (2011). Assessment of surface water quality using PCA and FA in Jinghe River of Shaanxi Province, China. *3rd International Conference on Computer Research and Development* (pp. 49–53). Shanghai, China: March 11-15. <https://doi.org/10.1109/ICCRD.2011.5763851>
- Wang, X., Zhang, F., & Ding, J.** (2017). Evaluation of water quality based on a machine learning algorithm and water quality index for the Ebinur Lake Watershed, China. *Scientific Reports*, 7(1), 12858. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-12853-y>
- Wang, Y., Xia, H., Fu, J., & Sheng, G.** (2004). Water quality change in reservoirs of Shenzhen, China: detection using LANDSAT/TM data. *Science of The Total Environment*, 328(1–3), 195–206. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.02.020>
- Wang, Z., Wang, Y., Jia, K., & Deller Jr., J. R.** (2012). Fusion of Multi-sensor Images Based on PCA and Self-Adaptive Regional Variance Estimation. *IEEE Workshop on Signal Processing Systems* (pp. 109–113). Quebec City, QC, Canada: October 17-19. <https://doi.org/10.1109/SiPS.2012.42>
- Xie, H., Tong, X., Qiu, Y., Zhang, H., & Zhao, J.** (2006). Remote Sensing Based Water Quality Monitoring and Spatial-Temporal Analysis in Huangpu River, Shanghai. *IEEE International Symposium on Geoscience and Remote Sensing* (pp.1447-1450). Denver, CO, USA: July 31-August 4. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2006.373>

- Xu, L., Wang, J., Guan, J., & Fengchen, H.** (2007). A support vector machine model for mapping of lake water quality from remote-sensed images. *International Journal of Intelligent Computing in Medical Sciences & Image Processing*, 1(1), 57–66. <https://doi.org/10.1080/1931308X.2007.10644137>
- Xu, M.** (2007). Assessment Method of Lake's Water Quality Based on Remote-Sensed Image and Support Vector Machine. *2nd IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications* (pp. 2565–2570). Harbin, China: May 23-25. <https://doi.org/10.1109/ICIEA.2007.4318876>
- Ya Qiu, Jin Wu, Honglin Huang, Huaiyu Wu, Jian Liu, & Jinwen Tian.** (2005). Multi-sensor image data fusion based on pixel-level weights of wavelet and the PCA transform. *IEEE International Conference Mechatronics and Automation* (pp.653-658). Niagara Falls, Canada: July 29-August 1. <https://doi.org/10.1109/ICMA.2005.1626627>
- Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği.** (2016). *T.C. Resmi Gazete, Sayı: 29797*. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara.
- Yongseung Kim, & Kwangjae Lee.** (2005). An experimental study on the image-based atmospheric correction method for high resolution multispectral data. *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium-IGARSS'05* (pp.434-436). Seoul, South Korea: July 29 . <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2005.1526203>
- Yu, T.** (2005). *Utility of remote sensing data in retrieval of water quality constituents concentrations in coastal water of New Jersey* (Ph.D. dissertation). New Jersey Institute of Technology, Civil and Environmental Engineering, Newark.
- Yunus, A. P., Dou, J., & Sravanthi, N.** (2015). Remote sensing of chlorophyll-a as a measure of red tide in Tokyo Bay using hotspot analysis. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 2, 11–25. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2015.09.002>
- Yüzügüllü, O.** (2011). *Hibrid girdili regresyon ve yapay sinir ağları modelleri ile Eymir Gölü'nde Klorofil-a dağılımının belirlenmesi* (Yüksek lisans tezi). Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Ankara.
- Zal, N., Ezcacıbaşı, G., B., Karauz, E. E.** (2006). Aşağı Meriç ovasının biyosfer rezervi olarak planlanması. *İç Anadolu Ormancılık Araştırma Enstitüsü yayınları No.69*, s.252.
- Zhang, Y., Zhang, Y., Shi, K., Zha, Y., Zhou, Y., & Liu, M.** (2016). A Landsat 8 OLI-based, semianalytical model for estimating the total suspended matter concentration in the slightly turbid Xin'anjiang Reservoir (China). *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 9(1), 398–413. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2015.2509469>
- Zhou, Y. T., & Hecht-Nielsen, R.** (1993). Target recognition using multiple sensors. *Neural Networks for Signal Processing III - Proceedings of the 1993 IEEE-SP Workshop* (pp.411–420). New York: September 6-9. <https://doi.org/10.1109/NNSP.1993.471847>

**Zolfaghari, K., & Duguay, C. R.** (2014). Secchi Disk depth estimates using MERIS satellite data and a linear mixed effect model over Lake Simcoe, Canada. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium* (pp. 3882–3885). Quebec City, Canada: July 13-18. .  
<https://doi.org/10.1109/IGARSS.2014.6947332>

**Zaruda, J. M.** (1992). *Introduction to Artificial Neural Systems* (First edition, pp.25-35). Los Angeles: West Group.



## EKLER

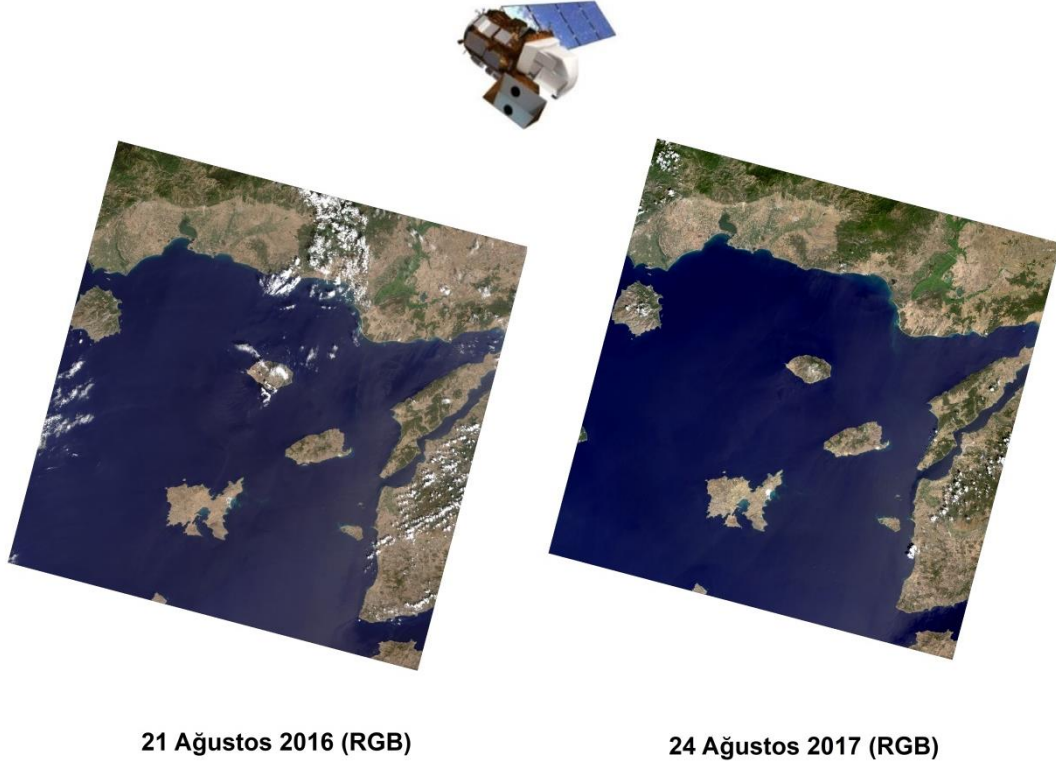
### EK A: Uydu Görüntüleri



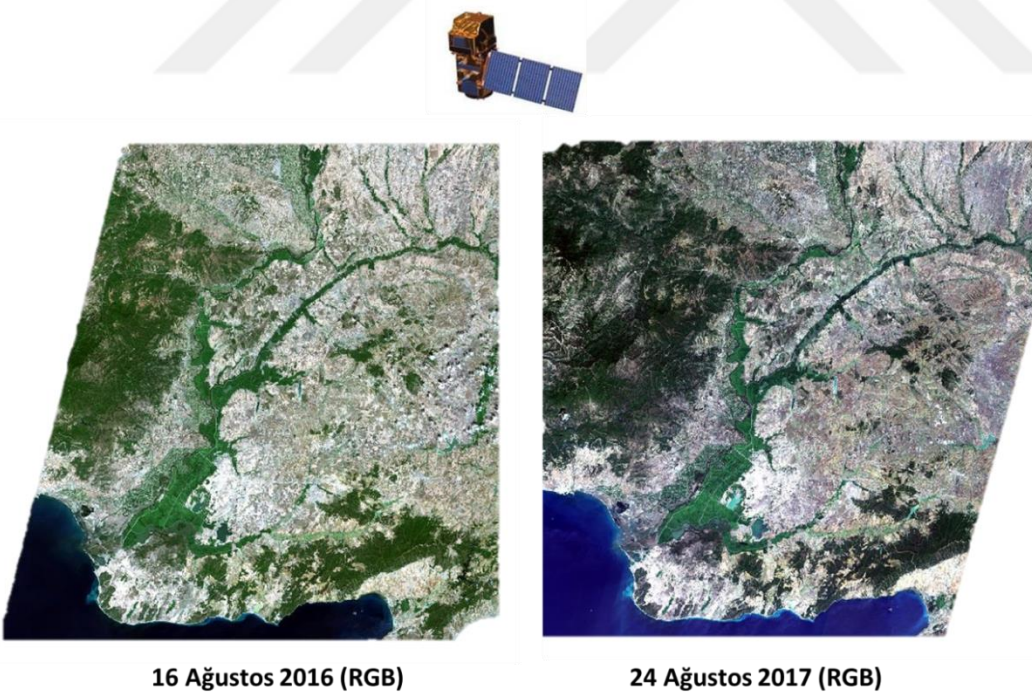
21 Ağustos 2016 (RGB)

24 Ağustos 2017 (RGB)

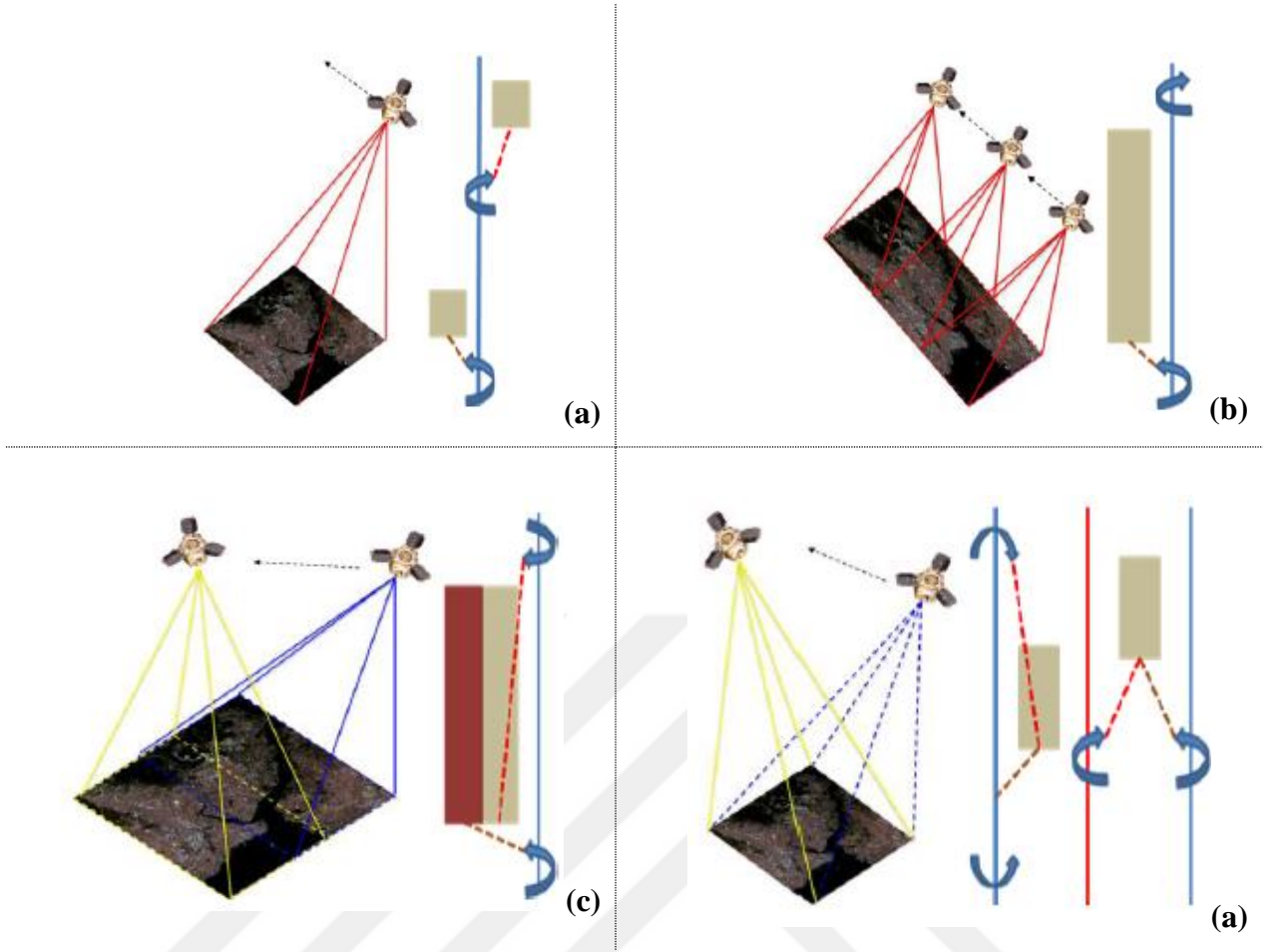
Şekil A.1 : Göktürk-2 görüntüleri.



Şekil A.2 : Landsat 8 OLI görüntüleri.



Şekil A.3 : Sentinel 2A görüntüleri.



Şekil A.4 : Göktürk-2 görüntüleme modları: (a) Nokta. (b) Şerit. (c) Geniş Alan. (d) Stereo.



Specifications:		Bante 900P	Bante 901P	Bante 902P	Bante 903P	Bante 904P
pH	Model					
	Range	-2.000—20.000pH	-	-	-	-
ORP	Accuracy	± 0.002pH	-	-	-	-
	Calibration Points	1—5 points	-	-	-	-
mV	Calibration Solutions	USA, NIST, ORP or User-defined	-	-	-	-
	Range	+1999.9—1999.9mV	-	-	-	-
µm	Accuracy	± 0.2mV	-	-	-	-
	Calibration Points	1 point	-	-	-	-
Conductivity	Measurement Modes	mV and Relative mV	-	-	-	-
	Range	0—19999ppm, mg/L, mol/L (Depending on range of ISE)	-	-	-	-
TDS	Accuracy	± 0.5% FS (Monovalent), ± 1% FS (Divalent)	-	-	-	-
	Calibration Points	2—5 points	-	-	-	-
Salinity	Calibration Solutions	0.001, 0.01, 0.1, 1, 10, 100, 1000, 10000ppm, mol/L, mg/L	-	-	-	-
	Range	0—20.00, 200.0, 2000µS/cm, 20.00, 200.0mS/cm	-	-	-	-
Resistivity	Accuracy	± 0.5% FS	-	-	-	-
	Calibration Points	1—5 points	-	-	-	-
Dissolved Oxygen	Calibration Solutions	10µS/cm, 84µS/cm, 1413µS/cm, 12.88mS/cm, 111.8mS/cm	-	-	-	-
	Temperature Coefficient	0.0—10.0%/°C	-	-	-	-
Others	Compensation Modes	Linear or Pure Water	-	-	-	-
	Cell Constant	K=0.1, 1, 10 or User-defined	-	-	-	-
Stability	Normalization Temperature	20°C or 25°C	-	-	-	-
	Range	0—100ppt (Max. 200ppt, depending on factor setting)	-	-	-	-
Memory	Accuracy	± 1% FS	-	-	-	-
	TDS Factor	0.1—1.0 (Default 0.5)	-	-	-	-
Output	Range	0—10ppt (Max. 80ppt)	-	-	-	-
	Accuracy	± 1% FS	-	-	-	-
Power Requirements	Measurement Modes	Seawater or Practical Salinity	-	-	-	-
	Range	0—100MC	-	-	-	-
Dimensions	Accuracy	± 1% FS	-	-	-	-
	Resolution	0.01, 0.1, 1	-	-	-	-
Weight	Concentration Range	0.00—20.00mg/L (or ppm)	-	-	-	-
	Accuracy	± 0.2mg/L	-	-	-	-
Weight	Calibration Points	1—2 points	-	-	-	-
	Pressure Correction	60.0—112.5kPa, 450—850mmHg	-	-	-	-
Weight	Salinity Correction	0—50ppt	-	-	-	-
	% Saturation of Oxygen	0.0—200.0%	-	-	-	-
Weight	Accuracy	± 2.0%	-	-	-	-
	Temperature Compensation	0—100°C, 32—212°F, Manual or Automatic	-	-	-	-
Weight	Stability Conditions	Low or High	-	-	-	-
	Calibration Due	0 to 31 days	-	-	-	-
Weight	Memory	Stores up to 500 data sets	-	-	-	-
	Output	USB Communication Interface	-	-	-	-
Weight	Power Requirements	3 × 1.5V "AA" batteries or DC5V power adapter	-	-	-	-
	Dimensions	185(L) × 88(W) × 32(H)mm	-	-	-	-
Weight	Weight	300g	-	-	-	-

Şekil A.5 : BANTE 900P multiparametre özellikleri.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

**Şekil A.6** : Birinci arazi ölçümleri ve Gala Gölü çevresi (21 Ağustos 2016).





(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Şekil A.7 : İkinci arazi ölçümleri ve Gala Gölü çevresi (24 Ağustos 2017).



**T.C.**  
**ORMAN VE SU İŞLERİ BAKANLIĞI**  
**Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü**



**Sayı :** 72784983-488.04-174661  
**Konu:** Araştırma İzinleri

15.08.2017

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜNE**  
**(İTÜ İnşaat Fak, Geomatik Müh. Böl. Maslak)**  
**İSTANBUL**

İstanbul Teknik Üniversitesi Öğretim Üyesi Prof. Dr. Mithat Derya MAKTAV tarafından yürütülecek olan "Uzaktan Algılama Verilerinden Su Kalitesi Parametlerinin Tespit Edilmesi" başlıklı proje kapsamında araştırmacı personelin yürütmesi planlanan arazi çalışmaları ile ilgili Bilimsel Araştırma İzin Başvurusu Genel Müdürlüğümüz yetki ve sorumlulukları çerçevesinde incelenmiş olup, buna göre;

- Çalışmaların sahada bulunan flora, fauna, doğal ve kültürel değerlerin yanı sıra ekosistem bütünlüğüne de zarar vermeyecek şekilde yapılması,
  - Arazi çalışması öncesinde ve arazide yapılacak her türlü çalışma ile ilgili Orman ve Su İşleri Bakanlığının ilgili İl Şube Müdürlüklerine bilgi verilmesi, korunan alanlarda yapılacak çalışmalarda mihmandar bulundurulması
  - Arazi çalışmalarının yapılacağı yerin il merkezlerinde Valiliğe, ilçelerde ise Kaymakamlığa bilgi verilmesi,
  - Çalışmalar kapsamında toplanacak örneklerde temsil edici yeterlilikte miktarın aşılması ve bu örneklerin Genel Müdürlüğümüz onayı alınmadan yurtdışına çıkarılmaması,
  - Araştırma ara ve sonuç raporlarının basılı ve dijital ortamda birer kopyasının Genel Müdürlüğümüze ve ilgili Bölge Müdürlüklerine gönderilmesi,
- şartıyla bahse konu çalışmaların yapılması Genel Müdürlüğümüzce uygun görülmüş olup, izin belgesi ekte gönderilmektedir.

Bilgilerinizi ve gereğini rica ederim.

**Mustafa AKINCIOĞLU**  
**Bakan a.**  
**Genel Müdür Yardımcısı**

**EKLER :**

1- Rapor Tanım Bilgileri

**Bu evrak 5070 sayılı Elektronik İmza Kanunu'na göre elektronik olarak imzalanmıştır.**  
**Evrak Doğrulama Kodu:H3LWEXR1A85XVMBZIMRV Evrak Doğrulama Adresi: <https://www.turkiye.gov.tr>**

Adres : Alparslan Türkeş Cad. No:71 Beştepe 06560 Yenimahalle - ANKARA  
Telefon : 03122075594  
e-posta : ydagasan@cob.gov.tr

Ayrıntılı Bilgi : Yakup DAĞAŞAN Uzman

Fax :  
Elektronik Ağ: [www.ormansu.gov.tr](http://www.ormansu.gov.tr)

**Şekil A.8 : Arazi çalışması izin belgesi.**



Şekil A.9 : Tarayıcı analizi (facal analysis) ile SLC hata gidermesi.

**Çizelge A.1** : Birinci arazi çalışması Göktürk-2 yüzey yansıtım değerleri.

Nokta	B1_Gokturk2	B2_Gokturk2	B3_Gokturk2	B4_Gokturk2
1	0,0657	0,0415	0,0371	0,0302
2	0,1304	0,0928	0,0621	0,0344
3	0,1456	0,0924	0,1129	0,0302
4	0,1505	0,1149	0,1004	0,0285
5	0,2025	0,0797	0,0829	0,0256
6	0,0583	0,0398	0,0342	0,0253
7	0,1574	0,0899	0,0829	0,0234
8	0,0833	0,0606	0,0807	0,0247
9	0,0436	0,0305	0,0264	0,0263
10	0,0353	0,0271	0,0256	0,0263
11	0,0382	0,0245	0,0210	0,0224
12	0,0421	0,0271	0,0264	0,0217
13	0,0446	0,0262	0,0278	0,0185
14	0,0897	0,0474	0,0378	0,0162
15	0,1290	0,0852	0,0936	0,0166
16	0,0343	0,0360	0,0464	0,0159
17	0,0887	0,0754	0,0750	0,0182
18	0,0907	0,0780	0,0493	0,0201
19	0,1569	0,1034	0,1100	0,0221
20	0,0652	0,0462	0,0271	0,0279
21	0,0318	0,0258	0,0239	0,0182
22	0,0289	0,0245	0,0253	0,0195
23	0,0833	0,0377	0,0396	0,0143
24	0,0382	0,0241	0,0256	0,0146
25	0,0559	0,0525	0,0636	0,0172
26	0,0431	0,0326	0,0256	0,0198
27	0,0765	0,0593	0,0582	0,0227
28	0,1515	0,1191	0,1104	0,0224
29	0,0505	0,0356	0,0389	0,0256
30	0,0995	0,0750	0,0807	0,0282
Ortalama	0,0837	0,0568	0,0550	0,0226
S.Sapma	0,0480	0,0297	0,0304	0,0052
Min	0,0289	0,0241	0,0210	0,0143
Max	0,2025	0,1191	0,1129	0,0344

**Çizelge A.2 : İkinci arazi çalışması Göktürk-2 yüzey yansıtım değerleri.**

Nokta	B1_Gokturk2	B2_Gokturk2	B3_Gokturk2	B4_Gokturk2
1	0,0657	0,0415	0,0371	0,0302
2	0,1304	0,0928	0,0621	0,0344
3	0,1456	0,0924	0,1129	0,0302
4	0,1505	0,1149	0,1004	0,0285
5	0,2025	0,0797	0,0829	0,0256
6	0,0583	0,0398	0,0342	0,0253
7	0,1574	0,0899	0,0829	0,0234
8	0,0833	0,0606	0,0807	0,0247
9	0,0436	0,0305	0,0264	0,0263
10	0,0353	0,0271	0,0256	0,0263
11	0,0382	0,0245	0,0210	0,0224
12	0,0421	0,0271	0,0264	0,0217
13	0,0446	0,0262	0,0278	0,0185
14	0,0897	0,0474	0,0378	0,0162
15	0,1290	0,0852	0,0936	0,0166
16	0,0343	0,0360	0,0464	0,0159
17	0,0887	0,0754	0,0750	0,0182
18	0,0907	0,0780	0,0493	0,0201
19	0,1569	0,1034	0,1100	0,0221
20	0,0652	0,0462	0,0271	0,0279
21	0,0318	0,0258	0,0239	0,0182
22	0,0289	0,0245	0,0253	0,0195
23	0,0833	0,0377	0,0396	0,0143
24	0,0382	0,0241	0,0256	0,0146
25	0,0559	0,0525	0,0636	0,0172
26	0,0431	0,0326	0,0256	0,0198
27	0,0765	0,0593	0,0582	0,0227
28	0,1515	0,1191	0,1104	0,0224
29	0,0505	0,0356	0,0389	0,0256
30	0,0995	0,0750	0,0807	0,0282
Ortalama	0,0837	0,0568	0,0550	0,0226
S.Sapma	0,0480	0,0297	0,0304	0,0052
Min	0,0289	0,0241	0,0210	0,0143
Max	0,2025	0,1191	0,1129	0,0344

**Çizelge A.3 : Birinci arazi çalışması Landsat-8 OLI yüzey yansıtım değerleri.**

Nokta	B1_L8 OLI	B2_L8 OLI	B3_L8 OLI	B4_L8 OLI	B5_L8 OLI	B6_L8 OLI	B7_L8 OLI
1	0,0258	0,0402	0,0761	0,0651	0,0494	0,0127	0,0084
2	0,0257	0,0399	0,0753	0,0649	0,0487	0,0122	0,0082
3	0,0246	0,0374	0,0732	0,0616	0,0442	0,0108	0,0074
4	0,0257	0,0398	0,0748	0,0644	0,0416	0,0104	0,007
5	0,0242	0,0369	0,0724	0,0602	0,044	0,0115	0,0082
6	0,0242	0,0375	0,0709	0,0605	0,0403	0,0107	0,0073
7	0,0274	0,0409	0,0742	0,0686	0,0464	0,0126	0,0086
8	0,0269	0,0398	0,0698	0,0674	0,0409	0,0118	0,0078
9	0,027	0,0398	0,0706	0,068	0,0428	0,0119	0,0077
10	0,0246	0,0374	0,0688	0,0617	0,041	0,012	0,0076
11	0,0271	0,0399	0,0711	0,0677	0,0401	0,0122	0,0081
12	0,026	0,0393	0,0712	0,0651	0,0405	0,0127	0,0091
13	0,0255	0,0384	0,0709	0,0639	0,0402	0,0129	0,0088
14	0,0229	0,035	0,0667	0,0572	0,0455	0,0119	0,0081
15	0,0219	0,0344	0,0672	0,0544	0,0434	0,0118	0,0083
16	0,0236	0,037	0,0697	0,0589	0,047	0,0106	0,0071
17	0,0267	0,0407	0,0752	0,0672	0,045	0,0125	0,0085
18	0,0261	0,0399	0,0746	0,0656	0,0411	0,0109	0,0074
19	0,0269	0,0408	0,0757	0,0676	0,0394	0,0116	0,008
20	0,0274	0,0417	0,0763	0,0689	0,0394	0,0113	0,0078
21	0,0249	0,0382	0,0728	0,0625	0,0437	0,0111	0,0076
22	0,0254	0,0388	0,0752	0,0642	0,0449	0,0112	0,0079
23	0,0251	0,0386	0,0746	0,0635	0,0471	0,0124	0,0087
24	0,0255	0,0399	0,0749	0,0646	0,0508	0,0122	0,0084
25	0,0264	0,0405	0,0752	0,0669	0,0565	0,0142	0,0095
26	0,0248	0,0385	0,0727	0,0628	0,0546	0,0134	0,009
27	0,0258	0,0396	0,0751	0,065	0,0466	0,012	0,0078
28	0,0254	0,0387	0,0748	0,064	0,0465	0,0113	0,0076
29	0,0263	0,0401	0,0766	0,0662	0,0466	0,0112	0,0077
30	0,0293	0,0408	0,0717	0,0645	0,098	0,0351	0,0199
Ortalama	0,0256	0,0390	0,0729	0,0641	0,0465	0,0126	0,0085
S.Sapma	0,0015	0,0017	0,0027	0,0034	0,0106	0,0043	0,0022
Min	0,0219	0,0344	0,0667	0,0544	0,0394	0,0104	0,0070
Max	0,0293	0,0417	0,0766	0,0689	0,0980	0,0351	0,0199

**Çizelge A.4 : İkinci arazi çalışması Landsat-8 OLI yüzey yansıtım değerleri.**

Notka	B1_L8 OLI	B2_L8 OLI	B3_L8 OLI	B4_L8 OLI	B5_L8 OLI	B6_L8 OLI	B7_L8 OLI
1	0,0324	0,0399	0,0669	0,0548	0,0637	0,0196	0,0122
2	0,033	0,0408	0,0685	0,0535	0,0407	0,0102	0,0065
3	0,01	0,0238	0,0611	0,0453	0,0225	-0,0001	0,0027
4	0,0016	0,0154	0,0562	0,0413	0,0174	-0,0012	0,0022
5	0	0,0147	0,056	0,0391	0,0168	-0,0025	0,0011
6	0,0136	0,0254	0,0617	0,0453	0,0191	-0,0002	0,0016
7	0,0215	0,0308	0,0636	0,0479	0,0219	0,0007	0,0018
8	0,0178	0,0291	0,0646	0,0483	0,0209	-0,0001	0,0019
9	0,036	0,0438	0,0712	0,0568	0,0321	0,0046	0,0033
10	0,0388	0,0462	0,073	0,0594	0,0347	0,0056	0,0037
11	0,038	0,0441	0,0704	0,0568	0,0305	0,0061	0,004
12	0,0391	0,0468	0,0749	0,0616	0,0316	0,0058	0,0041
13	0,0383	0,0462	0,0725	0,063	0,027	0,0058	0,0044
14	0,0355	0,0429	0,0666	0,0592	0,0262	0,0063	0,0046
15	0,0334	0,0406	0,0665	0,0601	0,0236	0,0043	0,0033
16	0,0197	0,0286	0,0568	0,051	0,0158	-0,0001	0,0013
17	0,0177	0,0262	0,0515	0,0484	0,0172	0,002	0,0037
18	0,0315	0,04	0,0647	0,0631	0,0238	0,0048	0,0045
19	0,0412	0,0476	0,0703	0,0678	0,0281	0,0066	0,0044
20	0	0,0157	0,0572	0,0521	0,0132	-0,0028	0,001
21	0,0322	0,0387	0,0617	0,057	0,024	0,006	0,005
22	0,0349	0,0395	0,0628	0,0522	0,0799	0,0334	0,0163
23	0,0359	0,0432	0,0667	0,0612	0,0246	0,0052	0,0035
24	0,0385	0,0449	0,0707	0,0567	0,0249	0,005	0,0042
25	0,0392	0,046	0,0719	0,0583	0,0275	0,0058	0,0042
26	0,0197	0,0299	0,0625	0,0489	0,0171	-0,0004	0,0019
27	0,0003	0,0154	0,0544	0,0446	0,0123	-0,0029	0,001
28	-0,0001	0,0151	0,0535	0,0452	0,0105	-0,0036	0,0006
29	0,0255	0,0366	0,0693	0,0575	0,026	0,0017	0,0021
30	0,0422	0,0486	0,0752	0,0629	0,0362	0,0058	0,0039
Ortalama	0,0256	0,0349	0,0648	0,0540	0,0270	0,0044	0,0038
S.Sapma	0,0143	0,0114	0,0067	0,0073	0,0143	0,0072	0,0032
Min	-0,0001	0,0147	0,0515	0,0391	0,0105	-0,0036	0,0006
Max	0,0422	0,0486	0,0752	0,0678	0,0799	0,0334	0,0163

**Çizelge A.5 :** Birinci arazi çalışması Sentinel 2A yüzey yansıtım değerleri.

Nokta	B2 Blue	B3 Green	B4 Red	B5 Red Edge
1	0,0475	0,0776	0,0507	0,0824
2	0,0486	0,077	0,0485	0,0841
3	0,0501	0,0804	0,0566	0,0874
4	0,051	0,0792	0,0567	0,0812
5	0,0452	0,0794	0,0506	0,0868
6	0,0456	0,0726	0,0524	0,0696
7	0,0449	0,0646	0,0529	0,0653
8	0,0446	0,0712	0,05	0,0714
9	0,0543	0,0811	0,0645	0,0808
10	0,0365	0,0739	0,0493	0,1199
11	0,0425	0,0685	0,0461	0,0697
12	0,0452	0,0698	0,053	0,0684
13	0,0417	0,0704	0,0501	0,0696
14	0,0414	0,0718	0,0511	0,0744
15	0,0417	0,0726	0,0452	0,0787
16	0,0443	0,0708	0,0494	0,0764
17	0,0433	0,0723	0,0473	0,0841
18	0,0483	0,0777	0,0563	0,0803
19	0,0467	0,0782	0,0545	0,0814
20	0,0458	0,0764	0,0524	0,0874
21	0,0498	0,0826	0,0587	0,086
22	0,0483	0,0806	0,0548	0,0797
23	0,0461	0,0782	0,0498	0,0796
24	0,048	0,0774	0,0557	0,0826
25	0,044	0,0792	0,0502	0,082
26	0,044	0,0754	0,0505	0,0814
27	0,0444	0,0783	0,0496	0,0814
28	0,0483	0,0769	0,053	0,0823
29	0,0473	0,0757	0,0523	0,0833
30	0,0423	0,0619	0,0527	0,1051
Ortalama	0,0457	0,0751	0,0522	0,0814
S.Sapma	0,0035	0,0049	0,0039	0,0105
Min	0,0365	0,0619	0,0452	0,0653
Max	0,0543	0,0826	0,0645	0,1199



**Çizelge A.6 : İkinci arazi çalışması Sentinel 2A yüzey yansıtım değerleri.**

Nokta	B2 Blue	B3 Green	B4 Red	B5 Red Edge
1	0,0528	0,0766	0,057	0,0769
2	0,0505	0,0777	0,0533	0,0833
3	0,0542	0,0835	0,0566	0,089
4	0,0525	0,0806	0,0539	0,0852
5	0,0572	0,0849	0,0553	0,0908
6	0,0482	0,0791	0,0513	0,078
7	0,0466	0,0767	0,0503	0,0779
8	0,0508	0,0824	0,0537	0,085
9	0,053	0,081	0,0549	0,0866
10	0,0578	0,0839	0,061	0,091
11	0,0529	0,08	0,0568	0,0812
12	0,0569	0,0857	0,0626	0,0876
13	0,061	0,0857	0,0698	0,0776
14	0,0501	0,0722	0,0615	0,0661
15	0,0552	0,0783	0,0681	0,0705
16	0,0481	0,0709	0,0595	0,0585
17	0,0498	0,0654	0,0617	0,0574
18	0,0585	0,0776	0,075	0,0694
19	0,056	0,0743	0,0709	0,0666
20	0,0636	0,091	0,0797	0,0837
21	0,0501	0,0661	0,0622	0,056
22	0,0444	0,0602	0,0492	0,0504
23	0,053	0,0736	0,0641	0,0645
24	0,0537	0,0778	0,0575	0,063
25	0,0539	0,0818	0,0591	0,0774
26	0,0571	0,0851	0,0622	0,0857
27	0,0585	0,0823	0,0643	0,0804
28	0,0582	0,0812	0,0674	0,0769
29	0,0613	0,0831	0,0662	0,0836
30	0,0516	0,0753	0,0583	0,08
Ortalama	0,0539	0,0785	0,0608	0,0760
S.Sapma	0,0045	0,0067	0,0072	0,0112
Min	0,0444	0,0602	0,0492	0,0504
Max	0,0636	0,0910	0,0797	0,0910



## ÖZGEÇMİŞ

**Ad-Soyad** : Ersan BATUR  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 20.10.1981/Edirne  
**E-posta** : baturer@itu.edu.tr/  
baturersan@gmail.com



## ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2003, Hava Harp Okulu, Elektronik Mühendisliği Bölümü.
- **Yüksek Lisans** : 2012, Milli Savunma Üniversitesi Hezârfen Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü, Uzay Bilimleri Anabilim Dalı, Uydu Teknolojileri Programı.
- **Doktora** : 2019, İstanbul Teknik Üniversitesi, Bilişim Enstitüsü, İletişim Sistemleri Anabilim Dalı, Uydu Haberleşmesi ve Uzaktan Algılama Programı.

## MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2003-2018 yılları arasında Hava Kuvvetleri Komutanlığı bünyesinde çeşitli görevlerde ve yönetici pozisyonunda görev aldı.
- 2009-2017 yılları arasında Göktürk Uydu Projesi ve Göktürk Uydu Yer İstasyonu'nda uydu kontrol, görev planlama, görüntü kalitesi değerlendirme personeli ve temel uydu görüntü işleme birimi yöneticisi olarak çalıştı.
- 2019 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi'nde doktorasını tamamladı.

## DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE

### PATENTLER:

- **Batur, E.** and Maktav, D. (2017). Transformation of surface reflectance of Göktürk-2 images using image-based methods. *8th International Conference on Recent Advances in Space Technologies-RAST* (pp. 155-159). Istanbul: June 19-22. <https://doi.org/10.1109/RAST.2017.8003012>.
- **Batur, E.** and Maktav, D. (2018). Assessment of surface water quality by using satellite images fusion based on PCA method in the Lake Gala, Turkey, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* (pp.1-7), <https://doi.org/10.1109/TGRS.2018.2879024>.

## DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Batur, E.** ve Maktav, D. (2012). Uzaktan algılama ve CBS entegrasyonu ile taşkın alanlarının belirlenmesi: Meriç Nehri örneği. *Journal of Aeronautics & Space Technologies/Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 5(3) 47-54.
- **Batur, E.** ve Maktav, D. (2012). Uzaktan algılama ve CBS kullanılarak Meriç Nehri taşkın alanlarının belirlenmesi, *IV.uzaktan Algılama Ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu*, 16-19 Ekim, Bülent Ecevit Üniversitesi, Zonguldak.
- Maktav D., ve **Batur E.** (2015). *Uzaktan Algılama Verilerinden Su Kalitesi Parametrelerinin Saptanması* (Proje numarası: 39809). İTÜ Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP), Araştırmacı, Bilişim Enstitüsü, Uydu Haberleşmesi ve Uzaktan Algılama Doktora Programı.

