

**Eymir Gölü'ndeki klorofil-a'nın mekansal dağılımının  
belirlenmesi için uzaktan algılanmış reflektans ve  
sahada ölçülmüş parametre değerlerini hibrid girdi  
olarak kullanan model geliştirilmesi**

**Proje No: 106Y201**

Doç. Dr. Ayşegül Aksoy  
Araş. Gör. Onur Yüzügüllü

OCAK 2011  
ANKARA

## ÖNSÖZ

Bu projede, sığ ve ötrofik bir göl olan Eymir Gölü'ndeki klorofil-a konsantrasyonlarının uzaktan algılanmış reflektans değerleri ile daha verimli şekilde modellenebilmesi amaçlanmış, reflektans değerlerini ve bu verileri etkileyebilecek sahada ölçülmüş diğer parametre değerlerini birlikte kullanarak klorofil-a tahmini yapan hibrid girdili çoklu doğrusal regrasyon ve yapay sinir ağı modellerinin geliştirilmesine çalışılmıştır. Bu proje TÜBİTAK ÇAYDAG gurubu ve kısmen Orta Doğu Teknik Üniversitesi BAP Koordinatörlüğü'nce desteklenmiştir.

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
TABLO LİSTESİ.....	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
ÖZET.....	viii
ABSTRACT.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. ÇALIŞMA SAHASI.....	5
3. METOD VE MATERYALLER .....	8
3.1. Uydu Görüntüleri ve Görüntü Analizi .....	9
3.1.1. Ölçüm Noktalarının Lokasyonları .....	14
3.1.2. Yerinde yapılan ölçümler .....	17
3.2. Laboratuvar Analizleri.....	18
3.3. Veri Analizi ve Klorofil-a'nın Modellenmesi .....	19
3.3.1. Çoklu doğrusal regrasyon modeli .....	20
3.3.2. YSA ile modelleme .....	21
4. BULGULAR VE DEĞERLENDİRMELER.....	23
4.1. Saha Ölçümleri ve Saha Verilerinin İstatistiksel Analizi .....	23
4.2. Klorofil-a ve Reflektans Değerleri Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi ve Literatürdeki Modellerin Uygulanması .....	29
4.3. TBA Sonuçları.....	33
4.4. Klorofil'a nın reflektans girdileri ve hibrid girdilerle modellenmesi.....	36
4.4.1. Saha 1 için modeller .....	36
4.4.2. Saha 2 için Modeller .....	41
4.4.3. Saha 3 için Modeller .....	45
4.4.4. Birleşik Veri Seti İçin Modeller .....	49
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	53
KAYNAKLAR .....	54
EK -1: SAHA ÖLÇÜM DEĞERLERİNİN DAĞILIMLARI.....	59

## TABLO LİSTESİ

Tablo 1: Uydu görüntüsü çekim ve saha çalışmaları tarihleri.....	9
Tablo 2: 9 Eylül 2009 tarihli uydu görüntüsü ile saha çalışması arasındaki zaman dilimindeki hava koşulları .....	10
Tablo 3: 26 Nisan 2010 tarihli uydu görüntüsü ile saha çalışması arasındaki zaman dilimindeki hava koşulları .....	10
Tablo 4: 2 Ağustos 2010 tarihli uydu görüntüsü ile saha çalışması arasındaki zaman dilimindeki hava koşulları .....	11
Tablo 5: Ölçümü yapılan saha parametreleri ve ölçüm yöntemleri .....	14
Tablo 6: Ölçüm noktalarının koordinatları (Saha 1 ve Saha 2 için).....	15
Tablo 7: Ölçüm noktalarının koordinatları (Saha 3 için) .....	16
Tablo 8: Saha 1 verilerinin istatistiki analizi.....	26
Tablo 9: Saha 2 verilerinin istatistiki analizi.....	27
Tablo 10: Saha 3 verilerinin istatistiki analizi.....	28
Tablo 11: Klorofil-a konsantrasyonları ile farklı ifade edilmiş bant reflektans değerleri arasındaki korelasyon katsayıları (r) .....	30
Tablo 12: Bant oranlarının klorofil-a konsantrasyonları ile ilişkisi (r).....	31
Tablo 13: Literatürdeki modellerin Eymir Gölü'ne uygulanması (OKH: ortalama karesel hata).....	32
Tablo 14: Temel bileşenler ve yüksek faktör yüküne sahip parametreler (Saha 1) .....	33
Tablo 15: Temel bileşenler ve yüksek faktör yüküne sahip parametreler (Saha 2) .....	34
Tablo 16: Temel bileşenler ve yüksek faktör yüküne sahip parametreler (Saha 3) .....	34
Tablo 17: Temel bileşenler ve yüksek faktör yüküne sahip parametreler (bütün sahaların toplam verileri) .....	35
Tablo 18: Saha 1: Farklı girdili regrasyon modellerinin karşılaştırılması.....	37
Tablo 19: Saha 1 için elde edilen regrasyon modellerinin Saha 2 ve Saha 3'e uygulanması .....	39
Tablo 20: Saha 1: Hibrid girdili YSA modelinin sonuçları .....	40
Tablo 21: Saha 2: Farklı girdili regrasyon modellerinin karşılaştırılması.....	42
Tablo 22: Saha 2 için elde edilen regrasyon modellerinin Saha 1 ve Saha 3'e uygulanması .....	43
Tablo 23: Saha 2: Hibrid girdili YSA modelinin sonuçları .....	44
Tablo 24: Saha 3: Farklı girdili regrasyon modellerinin karşılaştırılması.....	46
Tablo 25: Saha 3 için elde edilen regrasyon modellerinin Saha 1 ve Saha 2'ye uygulanması.....	47

Tablo 26: Saha 3: Hibrid girdili YSA modelinin sonuçları .....	48
Tablo 27: Birleşik veri seti için farklı girdili regrasyon modellerinin karşılaştırılması .....	50
Tablo 28: Birleşik veriyle elde edilen regrasyon modellerinin farklı sahalara uygulanması .....	51
Tablo 29: Birleşik veri için hibrid girdili YSA modelinin sonuçları .....	52

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1: Berrak ve alg içeren suların reflektans karakteristiği (Han, 1997).....	2
Şekil 2: Eymir Gölü'nün lokasyonu.....	6
Şekil 3: Eymir Gölü'nün batimetrik haritası, göle su girişleri ve çıkışı (Altınbilek ve diğ. 1995) .....	7
Şekil 4: QuickBird 2 ve Worldview 2 uyduları için tayfsal bantlar.....	11
Şekil 5: Saha 1'e ait uydu görüntüsü.....	12
Şekil 6: Saha 2'ye ait uydu görüntüsü.....	12
Şekil 7: Saha 3'e ait uydu görüntüsü.....	13
Şekil 8: Eymir Gölü'ndeki ölçüm noktalarının dağılımı (Saha 1 ve Saha 2 için) .....	16
Şekil 9: Eymir Gölü'ndeki ölçüm noktalarının dağılımı (Saha 3 için).....	17
Şekil 10: İki saklı katmanlı bir yapay sinir ağı yapısına örnek.....	22
Şekil 11: Su yüzeyinde klorofil-a konsantrasyonu dağılımı (29 Eylül 2009).....	24
Şekil 12: Su yüzeyinde klorofil-a konsantrasyonu dağılımı (2 Mayıs 2010).....	24
Şekil 13: Su yüzeyinde klorofil-a konsantrasyonu dağılımı (2 Ağustos 2010) .....	25
Şekil 14: Hibrid regrasyon modeliyle elde edilen ve ölçülmüş olan klorofil-a konsantrasyonlarının karşılaştırılması (Saha 1).....	37
Şekil 15: Reflektans regrasyon modeliyle elde edilen ve ölçülmüş olan klorofil-a konsantrasyonlarının karşılaştırılması (Saha 1).....	38
Şekil 16: Hibrid girdili YSA modeli tahminleri ile ölçülmüş klorofil-a konsantrasyonlarının karşılaştırılması (Saha 1).....	40
Şekil 17: Hibrid regrasyon modeliyle elde edilen ve ölçülmüş olan klorofil-a konsantrasyonlarının karşılaştırılması (Saha 2).....	42
Şekil 18: Reflektans regrasyon modeliyle elde edilen ve ölçülmüş olan klorofil-a konsantrasyonlarının karşılaştırılması (Saha 2).....	43
Şekil 19: Hibrid girdili YSA modeli tahminleri ile ölçülmüş klorofil-a konsantrasyonlarının karşılaştırılması (Saha 2).....	44
Şekil 20: Hibrid regrasyon modeliyle elde edilen ve ölçülmüş olan klorofil-a konsantrasyonlarının karşılaştırılması (Saha 3).....	46
Şekil 21: Reflektans regrasyon modeliyle elde edilen ve ölçülmüş olan klorofil-a konsantrasyonlarının karşılaştırılması (Saha 3).....	47
Şekil 22: Hibrid girdili YSA modeli tahminleri ile ölçülmüş klorofil-a konsantrasyonlarının karşılaştırılması (Saha 3).....	48

Şekil 23: Birleşik veri için hibrid regrasyon modeliyle elde edilen ve ölçülmüş olan klorofil-a konsantrasyonlarının karşılaştırılması .....	50
Şekil 24: Birleşik veri için reflektans regrasyon modeliyle elde edilen ve ölçülmüş olan klorofil-a konsantrasyonlarının karşılaştırılması .....	50
Şekil 25: Birleşik veri için YSA modeli tahminleri ile ölçülmüş klorofil-a konsantrasyonlarının karşılaştırılması .....	52
Şekil 1-1: Su kolonunda ortalama iletkenlik dağılımı (29 Eylül 2009) .....	59
Şekil 1-2: Su kolonunda ortalama çözünmüş oksijen konsantrasyonu dağılımı (29 Eylül 2009).....	59
Şekil 1-3: Su kolonunda ortalama pH dağılımı (29 Eylül 2009).....	60
Şekil 1-4: Su kolonunda ortalama bulanıklık dağılımı (29 Eylül 2009).....	60
Şekil 1-5: Secchi disk derinliği dağılımı (29 Eylül 2009).....	61
Şekil 1-6: Su yüzeyinde iletkenlik dağılımı (29 Eylül 2009).....	61
Şekil 1-7: Su yüzeyinde çözünmüş oksijen konsantrasyonu dağılımı (29 Eylül 2009) .....	62
Şekil 1-8: Su yüzeyinde pH dağılımı (29 Eylül 2009) .....	62
Şekil 1-9: Su yüzeyinde toplam askıda katı madde konsantrasyonu dağılımı (29 Eylül 2009).....	63
Şekil 1-10: Su yüzeyinde bulanıklık dağılımı (29 Eylül 2009) .....	63
Şekil 1-11: Su yüzeyinde sıcaklık dağılımı (29 Eylül 2009).....	64
Şekil 1-12: Su derinliği dağılımı (29 Eylül 2009) .....	64
Şekil 1-13: Su kolonunda ortalama iletkenlik dağılımı (2 Mayıs 2010) .....	65
Şekil 1-14: Su kolonunda ortalama çözünmüş oksijen konsantrasyonu dağılımı (2 Mayıs 2010) .....	65
Şekil 1-15: Su kolonunda ortalama pH dağılımı (2 Mayıs 2010).....	66
Şekil 1-16: Su kolonunda ortalama bulanıklık dağılımı (2 Mayıs 2010) .....	66
Şekil 1-17: Secchi disk derinliği dağılımı (2 Mayıs 2010).....	67
Şekil 1-18: Su yüzeyinde iletkenlik dağılımı (2 Mayıs 2010) .....	67
Şekil 1-19: Su yüzeyinde çözünmüş oksijen konsantrasyonu dağılımı (2 Mayıs 2010) .....	68
Şekil 1-20: Su yüzeyinde pH dağılımı (2 Mayıs 2010) .....	68
Şekil 1-21: Su yüzeyinde toplam askıda katı madde konsantrasyonu dağılımı (2 Mayıs 2010).....	69
Şekil 1-22: Su yüzeyinde bulanıklık dağılımı (2 Mayıs 2010).....	69
Şekil 1-23: Su yüzeyinde sıcaklık dağılımı (2 Mayıs 2010).....	70
Şekil 1-24: Su derinliği dağılımı (2 Mayıs 2010).....	70

Şekil 1-25: Su kolonunda ortalama iletkenlik dağılımı (2 Ağustos 2010) .....	71
Şekil 1-26: Su kolonunda ortalama çözünmüş oksijen konsantrasyonu dağılımı (2 Ağustos 2010).....	71
Şekil 1-27: Su kolonunda ortalama pH dağılımı (2 Ağustos 2010) .....	72
Şekil 1-28: Su kolonunda ortalama bulanıklık dağılımı (2 Ağustos 2010).....	72
Şekil 1-29: Secchi disk derinliği dağılımı (2 Ağustos 2010) .....	73
Şekil 1-30: Su yüzeyinde iletkenlik dağılımı (2 Ağustos 2010).....	73
Şekil 1-31: Su yüzeyinde çözünmüş oksijen konsantrasyonu dağılımı (2 Ağustos 2010) .....	74
Şekil 1-32: Su yüzeyinde pH dağılımı (2 Ağustos 2010).....	74
Şekil 1-33: Su yüzeyinde toplam askıda katı madde konsantrasyonu dağılımı (2 Ağustos 2010) .....	75
Şekil 1-34: Su yüzeyinde bulanıklık dağılımı (2 Ağustos 2010) .....	75
Şekil 1-35: Su yüzeyinde sıcaklık dağılımı (2 Ağustos 2010) .....	76
Şekil 1-36: Su derinliği dağılımı (2 Ağustos 2010) .....	76



## ÖZET

Klorofil-a, göl su kalitesinin belirlenmesi için önemli parametrelerden biridir. Ancak klorofil-a özellikle ötrofik su kütlelerinde heterojen dağılım göstermektedir. Bu nedenle, klorofil-a konsantrasyonlarında mekansal ve zamansal değişimlerin izlenmesi için çok sayıda örnekleme yapılması gerekmektedir. Bu da izleme maliyetlerini arttırmaktadır. Uzaktan algılama, klorofil-a'nın mekansal ve zamana bağlı dağılımının daha kolay ve ucuz şekilde belirlenebilmesi için potansiyeli yüksek bir teknolojidir. Ancak, bu amaçla kullanılan modeller sığ ve ötrofik göllerde düşük performans göstermektedir. Bu projede, klorofil-a tahmin model performansını arttırmak için hibrid girdili doğrusal regrasyon ve yapay sinir ağları modelleri oluşturulmuştur. Klorofil-a konsantrasyonunun belirlenmesi için uygulanmış olan modellerde reflektans değerlerine ek olarak, reflektans değerlerini değiştirebilecek saha parametreleri de girdi olarak eklenmiştir. Bu parametreler fotosentez için aktif ışık, Secchi derinliği, su derinliği, bulanıklık, çözülmüş oksijen, pH, toplam askıda katı madde, toplam çözülmüş organik madde, hava ve su sıcaklıkları, rüzgar hızı ve nemdir. Reflektans değerleri QuickBird ve Worldview 2 uydularından elde edilen multispektral görüntülerden elde edilmiştir. Çalışmanın sonuçları göstermiştir ki hibrid girdili modeller sadece reflektans değerlerini kullanan modellere göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Ancak modellerin performansı aynı zamanda sahadaki klorofil-a konsantrasyonlarına da bağlıdır. Klorofil-a konsantrasyonları yüksek olduğunda modeller daha iyi tahmin yapabilmektedir. Elde edilen modeller farklı saha koşullarında klorofil-a konsantrasyonlarını hesaplayamamıştır. Ancak bu durumun 2010 yılında Eymir Gölü'ndeki özel koşullara da bağlı olduğu düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Eymir Gölü, doğrusal regrasyon modeli, yapay sinir ağları, uzaktan algılama, klorofil-a

## ABSTRACT

Chlorophyll-a is one of the important parameters for the assessment of lake water quality. However, chlorophyll-a exhibits heterogeneous distribution especially in eutrophic lakes. For this reason, extensive sampling is required for the monitoring of spatial and temporal variations in chlorophyll-a concentrations. This would increase the monitoring costs. Remote sensing is a technology with high potential of aiding in easier and less costly determination of the spatial and temporal distributions of chlorophyll-a concentrations. However, the models used for this purpose exhibit low performance in shallow and eutrophic lakes. In this project linear regression and artificial neural network models with hybrid inputs are generated to improve the chlorophyll-a prediction performance. In addition to the reflectance values, field parameters that can impact the reflectance values are also used as the inputs in the models applied for the determination of chlorophyll-a concentrations. These parameters are the photosynthetically active radiation, Secchi depth, water column depth, turbidity, dissolved oxygen, pH, total suspended solids, total dissolved organic matter, water and air temperatures, wind speed and humidity. Reflectance values are obtained from the multispectral images obtained from the QuickBird and World View 2 satellites. The results of the study indicate that the models with hybrid inputs have better results compared to the models that use reflectance values only. However, the performances of the models depend on the chlorophyll-a concentrations as well. The models can predict better when chlorophyll-a concentrations are high. The generated models could not calculate the chlorophyll-a concentrations for different field conditions. However, it is thought that this condition is related to the unique conditions in Lake Eymir in 2010.

**Keywords:** Lake Eymir, linear regression models, artificial neural networks, remote sensing, chlorophyll-a

## 1. GİRİŞ

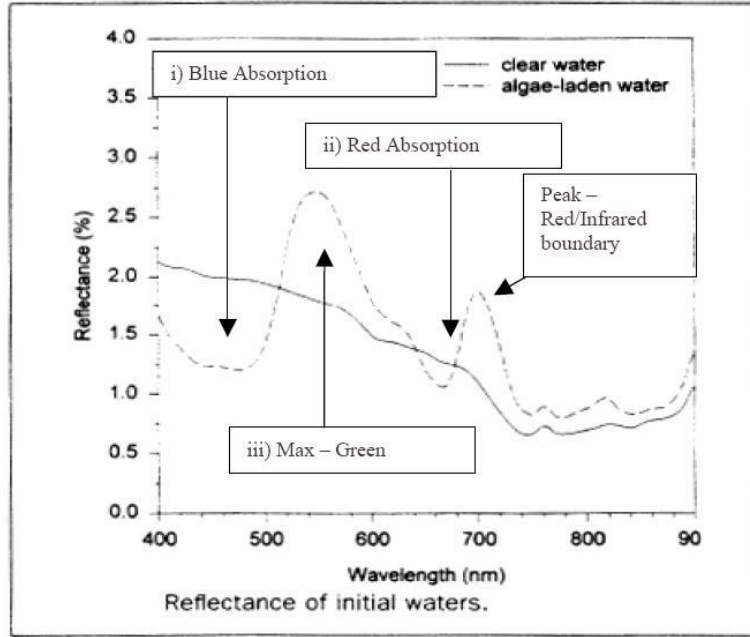
Özellikle insan aktivitelerinden kaynaklardan yüksek miktardaki besin maddelerinin su kütlelerinde birikmesi sonucunda çok sayıda tatlı su kaynağı artan bir hızla ötrofikasyona maruz kalmakta, su kaliteleri olumsuz şekilde etkilenmektedir. Bununla birlikte, iklim değişikliği zaten kısıtlı olan su kaynaklarının önemini ve korunmaları gerekliliğini daha da belirgin hale getirmektedir. Bu değişimlerle birlikte bu kaynakların izlenmesi, kontrolü ve yönetimi için uygulanan yaklaşımlarda da gelişmelere ihtiyaç vardır.

Günümüzde özellikle havza bazlı kirlilik kontrolü ve su yönetimine geçiş, önceki yıllarla kıyaslandığında su kalitesinin izlenmesinde ve problemlili bölgelerin belirlenmesinde daha büyük alanlarda çalışılması ve daha yüksek sayıda örnekleme yapılması gerekliliğini ortaya koymuştur. Bunlar, izleme çalışmalarını zorlaştıran ve maliyetleri arttıran sonuçlar doğurabilmektedir. Ancak, yeni geliştirilen veya kullanılmaya başlanan yöntemler, bu problemleri azaltma potansiyellerinin yanında, su kalitesi parametrelerinin noktasal olarak değil mekansal dağılımlar şeklinde belirlenebilmesine de olanak tanımaktadır. Bu yöntemlerden birisi de uzaktan algılama yöntemidir.

Uzaktan algılama amaçlı kullanılan uydular, güneş ışınlarının yüzey suları tarafından birçok ışık dalga boyunda geri yansıttığı ışınları ölçebilirler. Bu yansıma (reflektans), diğer etkenler yanında su kalitesi parametrelerinin optik özelliklerine ve konsantrasyonlarına bağlı olarak değişir (Ekercin, 2007). Su kalitesine bağlı olarak değişen farklı ışık dalga boylarındaki reflektans veya emilim değerleri kullanılarak belirli bir su kalitesi parametresine ait değerlerin mekansal dağılımları belirlenebilir. Mekansal dağılımı belirlemek ise problemlili olabilecek bölgelerin gözden kaçırılması riskini azaltabilir. Bunun yanında, ulaşılması zor alanlarda da izleme yapılmasına olanak sağlayabilmesi uzaktan algılanmış veriler yardımıyla izleme yapmanın diğer bir avantajıdır (Barrett ve diğ., 1992).

Uzaktan algılama yöntemi ile belirlenebilen ve su kalitesi için önemli olan parametrelerden birisi klorofil-a'dır (Zhang ve diğ., 2002; Cauwer ve diğ., 2004; Cannizzaro ve diğ., 2006; Ekercin, 2007; Wang ve diğ., 2008; Cui ve diğ., 2008; Lin ve diğ., 2008). Klorofil-a tüm alg gruplarının bileşiminde bulunduğu için sularda üretkenliği göstermek amacıyla kullanılan en

önemli parametrelerden biridir (Brivio ve diğ. 2001, Ostlund ve diğ. 2001). Klorofil-a, besin maddeleri konsantrasyonları, bulanıklık ve Secchi derinliği (SD) ile birlikte su kütlesinin ötrofikasyon açısından hangi evrede olduğunu belirleyebilmek için değerlendirilmesi gereken önemli bir parametredir. Klorofil-a, ışık spektrumunun belirli bölgelerinde pik enerji emiline sahiptir. Bu değer berrak suda 680 nm'dir (Shevyrnogov ve Sidko, 1998). Şekil 1, berrak suyun ve alg içeren suyun gösterdikleri reflektans karakteristiklerini yansıtmaktadır (Han, 1997). Reflektans eğrisindeki emilim bölgeleri, klorofil-a'nın enerji üretmek için mavi ve kırmızı bantlardaki ışığı emmesi nedeniyle oluşmaktadır. Yeşil banttaki dalga boylarındaki pik reflektans ise, algin yeşil görünmesine de sebep olan geri yansımadan dolayı oluşmaktadır (Han, 1997). Ancak, konsantrasyonlar açısından klorofil-a heterojen bir özellik taşımaktadır. Bu nedenle, bir su kütlesinde bazı noktalarda alglerin öbek halinde bulunmasına bağlı olarak, temsili noktalardan alınmayan örneklerin yanlış sonuçlar doğurması muhtemeldir. Özellikle ötrofik su kaynaklarındaki olası heterojen dağılım belirlenmesinde, uzaktan algılama klasik örnekleme yaklaşımlarına göre önemli bir avantaj sağlamaktadır.



Şekil 1: Berrak ve alg içeren suların reflektans karakteristiği (Han, 1997)

Klorofil-a'nın uzaktan algılanmış veriler yardımıyla belirlenmesinin sağlayacağı birçok yarar olmasına rağmen, literatürdeki çalışmalar genel izleme uygulamaları için araştırma ve geliştirmeye ihtiyaç duyulduğuna işaret etmektedir. Farklı çalışmalarda elde edilen

performanslar değişkindir. Özellikle derinlikleri daha az olan iç sularda, ışık reflektans değerlerini etkileyebilecek birçok parametrenin varlığı nedeniyle, derin sulara kıyasla daha düşük seviyede başarı elde edilebilmektedir (Panda ve diğ., 2004, Sudheer ve diğ., 2006; Kishino ve diğ., 2005). Bulanık sularda bulunan yüksek miktarda çözünmüş organik madde, askıda katı madde, düşük derinlikteki sularda tabandan yansıma, optik özelliklerin değişmesine sebep olur. Bu nedenle, denizler için geçerli olan empirik regrasyon modelleri, bulanıklığı yüksek olan göller için düşük performans gösterebilmektedir (Dall'Olmo ve diğ., 2006; Gitelson,2000; Gons 1999).

Giardino ve Pepe (2001) Landsat TM görüntüsünü İtalya'daki bir gölde klorofil-a konsantrasyonlarını belirlemek için kullanılmışlardır. TM1 ve TM2 bantlarındaki değerler klorofil-a değerlerini belirlemek için yeterli olmuştur. Elde edilen korelasyon katsayısı ( $R^2$ ), 0,99 olarak belirlenmiştir. Ancak bu yüksek sayı sadece 4 nokta ile elde edilen bir değerdir. Thiemann ve Kaufman (2000), Hindistan'a ait bir uzaktan algılama uydusundan elde edilen verilerle Almanya'daki bir gölde bulunan klorofil-a'nın dağılımını çıkartmışlardır. Zamana bağlı değişiklikleri de görebilmek amacıyla 4 adet görüntü kullanılmıştır. Ancak kalibrasyon için sadece 2 adet yer verisi istasyonu kullanılmıştır. Yeşil bant ve kızılötesi bant için  $R^2$  değerleri sırasıyla 0,28 ve 0,51 olarak tayin edilmiştir. Yüksek olmayan bu değerlerin elde edilmesi yaz aylarında bulutluluğa, kış aylarında ise gölde klorofil-a miktarlarının az olmasına bağlanmıştır. Aynı bölgede uydu fotoğrafı yerine saha radyospektrofotometresi ile de çalışma yapılmış, bu çalışmadan elde edilen  $R^2$  değerleri 0,89'a kadar çıkmıştır. Ostlund ve Flink (2001), birçok regrasyon modelini test ederek İsveç'teki Erken Gölü'ndeki klorofil-a konsantrasyonlarını belirlemeye çalışmışlardır. Kullanılan regrasyon modeline göre  $R^2$  değerleri 0,76 ile 0,93 arasında değişmiştir. Hamilton ve Davis (1993), uzaktan algılanmış verilerle düşük klorofil-a konsantrasyonlarını ( $0,16 \text{ mg/m}^3$ 'e kadar) belirlemek için araştırma yürütmüşlerdir. Çalışma Californiya'daki Tahoe Gölü için yapılmıştır. AVIRIS uydusundan alınan görüntüler gölün batimetrisini çıkartmak ve klorofil-a konsantrasyonlarını belirlemek için kullanılmıştır. Sonuçlar, düşük klorofil-a konsantrasyonlarında performansın göldeki diğer parametrelerden etkilendiğini göstermiştir. Buttner ve diğ. (1987), Balaton Gölü'nde Landsat görüntüsü kullanarak klorofil-a belirlemiştir. Ölçülen klorofil-a ile farklı bantlar arasındaki  $R^2$  değeri 0,71 ile 0,90 arasında değişmiştir. George (1997), uydu yerine uçaktan alınmış görüntüleri kullanarak İngiltere'deki göllerde çalışmıştır. Ölçülen ve uzaktan algılanmış veriler ile elde edilen değerler arasındaki  $R^2$ , farklı trofik duruma sahip göllerde 0,71 ile 0,98 arasında değişkenlik göstermiştir. Zimba ve Gidelson (2006), uzaktan algılanmış verileri kullanarak konsantrasyon tahmini yapabilmek için yeterli sayıda ve incelenen tüm alanı kapsayacak şekilde örnek alınmış olması gerektiğini belirtmiştir.

Görüntü alındıktan 1 ay sonra alınan yer örnekleriyle yapılan analizde tahmin edilen ve ölçülen değerler arasındaki  $R^2$  0,3 ile 0,4 arasında değişmiştir. Bu düşük değer, görüntünün alınması ile yer verilerinin elde edilmesi arasındaki zaman farkına bağlanmıştır. Buna mukabil, Nelson ve diğ. (2003) incelenen su kütlesinde zamana bağlı büyük değişimin olmadığı durumlarda veri alınma zamanlamaları arasındaki farkın klorofil-a tayinindeki başarıyı etkilemeyeceğini belirtmiştir.

Reflektans değerlerini etkileyen birçok parametre mevcuttur (Dall'Olmo ve Gitelson, 2006). Bu özellikle bulanık sularda daha da önemli hale gelmektedir (Goodin ve diğ., 1993). Fitoplanktonun absorpsiyon spektrumu hem boyut hem de spektral dağılım açısından değişmekte, farklı pigment kompozisyonlarının veya hücre boyutlarının oluştuğuna işaret etmektedir (Lee ve Carder, 2004). Bu değişkenlikleri göz önünde bulundurabilmek için farklı yöntemler denenmektedir. Örneğin, Dall'Olmo ve Gitelson (2005) klasik olarak kullanılan 2 bant değeri yerine 3 banttaki reflektans değerlerini kullanarak klorofil-a değerlerini belirlemişlerdir. Burada amaç, askıda katı madde'nin optik özelliklerde yarattığı değişimi de göz önünde bulunduraktır. Ancak bulanık sularda bu yaklaşımın da doğru çalışmama ihtimali yüksektir. Bu yaklaşım Le ve diğ. tarafından (2009) bulanık Taihu Gölü için denenmiş, klorofil-a tayini performansını arttırabilmek için hem 3 hem de 4 banttaki reflektans değerleri kullanılmıştır. 3 bant ve 4 bant kullanan algoritmalarla elde edilen  $R^2$  değerleri bazı ölçüm tarihleri için sırasıyla %87 ve %97'ye kadar ulaşmıştır. Ancak verilen tüm örnekler, uzaktan algılanmış, atmosferik ve geometrik düzeltmeleri yapılmış reflektans değerleri ile elde edilen klorofil-a konsantrasyonu belirlemede performansın değişken olduğunu ve sahaya bağlı koşullarla ilişkili olduğunu açıkça göstermektedir. Bu nedenle, uzaktan algılanmış verilerden klorofil-a tayini performansını arttırmak için yeni yaklaşımlara ihtiyaç vardır.

Yukarıda verilen örnekler incelendiğinde, uzaktan algılama yöntemi ile klorofil-a'nın mekansal dağılımının belirlenmesi için regresyon modellerinin sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. Bu modeller uzaktan algılanmış multispektral piksel reflektans değerlerinin farklı kombinasyon ve oranlardaki değerlerinin saha ölçümleri ile birlikte değerlendirilmesiyle elde edilmiştir. Ancak bu modellerden elde edilen performanslar ( $R^2$  ve ortalama hata yüzdeleri) sahaya bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Özellikle bulanık ve sığ göller için klorofil-a konsantrasyonlarını belirlemede performans düşüklüğü daha da belirgin haldedir.

Bu çalışmada, bu tür göllere örnek teşkil eden Eymir Gölü'ndeki klorofil-a konsantrasyonlarının uzaktan algılanmış multispektral reflektans değerleri yardımıyla

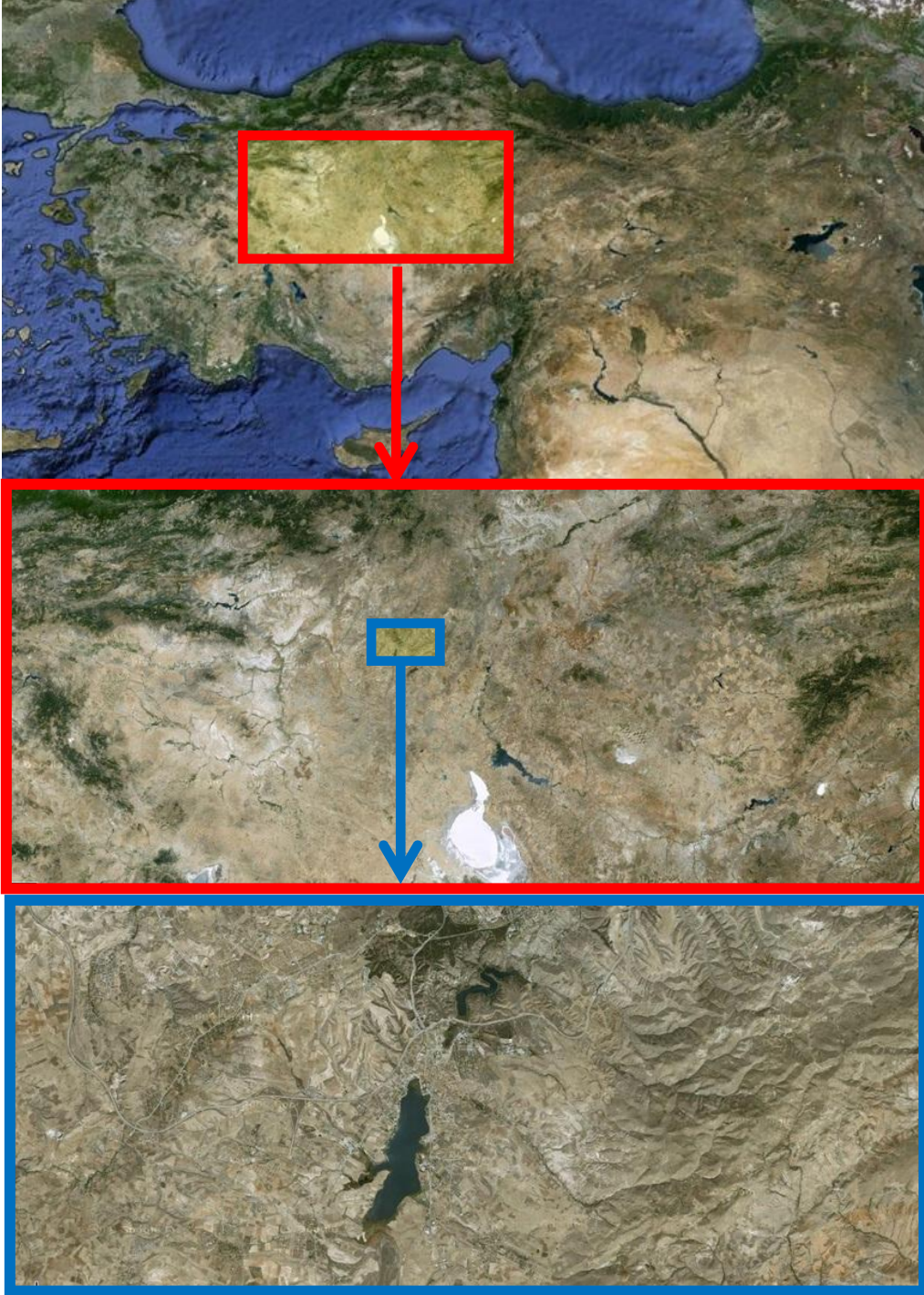
belirlenmesi amaçlanmıştır. Ancak, bu amaçla kullanılacak modellerin performansını arttırmak için sadece reflektans değerleri değil, fotosentez için aktif ışık (FAI), SD, su derinliği, bulanıklık, askıda katı madde, su ve hava sıcaklıkları, rüzgar, nem gibi reflektans değerlerini etkileyebilecek diğer parametrelerde göz önünde bulundurulmuştur. Böylece, uzaktan algılanmış piksel boyutundaki reflektans değerlerini ve bu değerleri etkileyebilecek ve yerinde kolaylıkla ölçülebilecek diğer parametre değerlerini birlikte kullanarak daha doğru klorofil-a ve alg konsantrasyonu tahmini yapabilecek hibrid girdili modeller geliştirilmesi amaçlanmıştır. Reflektans değerlerinin kalibrasyonunda ek parametrelerin etkisi incelenmiştir. Sadece reflektans değerlerini girdi olarak kullanan modeller ile hibrid girdili modellerin sonuçları karşılaştırılmıştır. Klorofil-a modelleri, literatürde ilgili amaçla sıklıkla kullanılan çoklu doğrusal regresyon yanında, yapay sinir ağları (YSA) kullanılarak ta oluşturulmuştur. Modellerin farklı koşullardaki performansı ayrıca irdelenmiştir.

## 2. ÇALIŞMA SAHASI

Eymir Gölü, Ankara'nın 20 km güneyinde yer almaktadır. 39.28 kuzey ve 32.30 doğu koordinatlarında yer alan göl, 969 m yükseklikte bulunmaktadır (Tan, 2002). Eymir Gölü, Ankara ve Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) için önemli bir rekreasyon alanıdır. 1958 yılından bu yana ODTÜ sınırları içerisinde yer alan göl, 1990 yılına kadar ODTÜ'nün birincil su kaynağı olarak kullanılmıştır (Demirci ve diğ., 2005). Gölün yüzey alanı ortalama olarak 1.25 km<sup>2</sup> olup, yaklaşık olarak 3000 m x 500 m x 5.5 m boyutlarındadır. Ortalama olarak yaklaşık 3.88x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> su hacmine sahip olan göl, 13 km kıyı şeridinde sahiptir. Göldeki su derinliği 4.3 – 6 m arasında değişmektedir (Tan ve diğ., 2005). Gölün lokasyonu Şekil 2'de, batimetrik haritası ise Şekil 3'te gösterilmiştir.

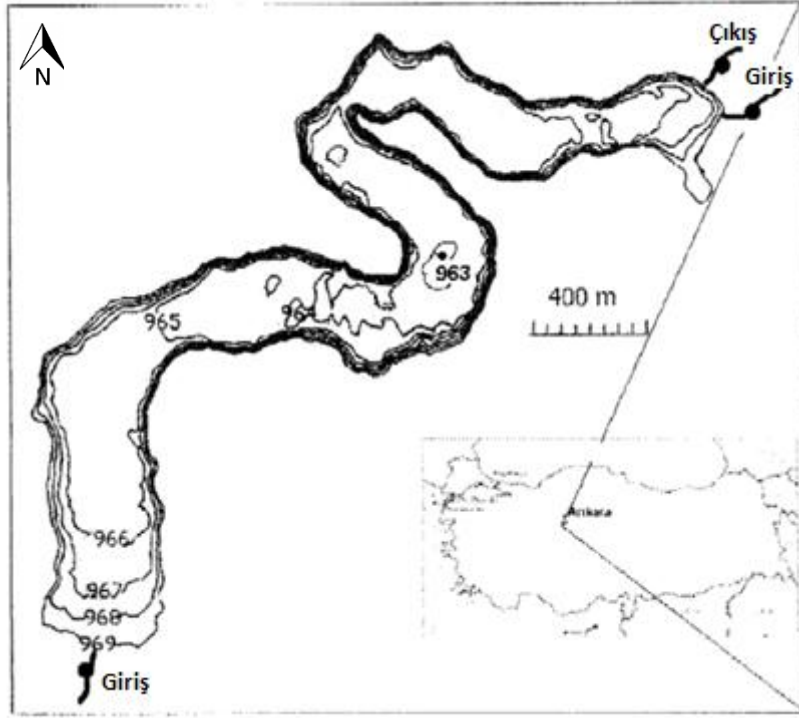
Şekil 3'te de gösterildiği şekilde Mogan Gölü'nden kaynaklanan giriş, Eymir Gölü'nü besleyen en önemli kaynaktır. Ancak, Eymir ve Mogan göllerini birleştiren doğal kanal devre dışı bırakılarak Mogan Gölü'ndeki su seviyesini kontrol etmek amacıyla kapaklı yapay bir kanal yapılmıştır. Kapak daha sonraları betonlanarak su girişi tamamen kısıtlanmıştır. Özellikle kış aylarında Kışlakçı deresi gölü beslemektedir (Yağbasan ve diğ., 2009). Yüzey sularına ek olarak gölün kuzey bölgesinde ortalama akışı 17 L/s olan yeraltı suyu kaynağı da göle giriş yapmaktadır (Altınbilek ve diğ., 1995). Ayrıca Diker (1992) tarafından yapılan çalışmaya göre Eymir Gölü'nün havza alanı içinde yer alan Elmadağ'dan da göle yüzeysel akışlarla su ulaşmaktadır. Bölgenin yağış ortalamalarına bakıldığında ortalama yağış 390 ± 76 mm/yıl

iken ortalama buharlaşmanın 1092.2 mm olduğu görülmektedir (Diker, 1992; Altınbilek ve diğ. 1995). Eymir Gölü güneyde bulunan İmrahor deresine dökülmektedir. Bununla birlikte Altınbilek ve diğ. (1995), Eymir Gölü'nün yeraltısuyunu da geri beslediğini (2 L/s) belirtmektedir.



Şekil 2: Eymir Gölü'nün lokasyonu





Şekil 3: Eymir Gölü'nün batimetrik haritası, göle su girişleri ve çıkışı (Altınbilek ve diğ. 1995)

Topoğrafyaya bağlı olarak Mogan Gölü'ndeki ve Eymir Gölü'ndeki su seviyeleri arasında 3 m'lik bir fark bulunmaktadır. Bu farka bağlı olarak Mogan Gölü Eymir'e boşalmaktadır. Ancak, Mogan ve Eymir Göllerini bağlayan kanaldaki kapak uzun yıllardır kapalı tutulduğundan Eymir Gölü'ne önemli miktarda su girişi olmamaktadır. 2010 yılının Nisan ayında Mogan Gölü'nde biriken yüksek hacimdeki suyun yarattığı basınç ile kapak kırılmış, Mogan Gölü'ndeki su Eymir Gölü'ne geçiş sağlamıştır. Bu durum sonrasında Eymir Gölü'ndeki su derinliği birkaç gün içinde yaklaşık 1 m artmıştır. Aynı ay içinde Gölbaşı Belediyesi tarafından yapılan çalışmalarla kanal kapağı tamir edilmiş, göle su girişi yeniden kısıtlanmıştır. Mogan'dan gelen suya ek olarak, 2010 yılı içerisindeki yüksek miktardaki yağış ile de su derinliğindeki artış bir önceki yıl öncesine kıyasla 1.5 – 1.7 m'yi bulmuştur.

Eymir Gölü'ndeki su kalitesini etkileyebilecek üç adet yerleşim alanı mevcuttur. Bunlar 2009 nüfusu 86.749 olan Gölbaşı ilçesi (TÜİK, 2010), 5000 nüfuslu Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ) ve Polis Akademisi lojmanlarıdır. Bu yerleşimlere ek olarak göl çevresinde birçok küçük büyüklü sanayi tesisleri bulunmaktadır. Eymir Gölü 1970'li yılların başından itibaren Gölbaşı Belediyesinin atıksuları için deşarj alanı olarak kullanılmıştır. Bu deşarjın gerçekleştiği dönemde genellikle gölün güney kısmının etkilendiği gözlemlenmiştir. Ayrıca bu

deşarjların göldeki ötrofik koşulları hızlandırdığı belirtilmiştir. Gölün Ankara için önemi ve biyoçeşitliliğinin korunması gerekliliğine bağlı olarak göl ve çevresindeki 245 km<sup>2</sup>'lik alan Bakanlar Kurulunun 90/1117 nolu kararıyla 22 Ekim 1990 tarihinde Özel Çevre Koruma Bölgesi olarak ilan edilmiştir. 1995 yılında Gölbaşı Belediyesi'nden deşarj edilen atıksuyun göle yaptığı olumsuz etkiyi azaltmak için bypass sistemi inşaa edilmiştir (Altınbilek ve diğ., 1995; Beklioğlu ve diğ., 2003). Ancak bypass sistemi düzenli olarak çalıştırılmadığından dolayı Eymir Gölü'ne atıksu deşarjı devam etmiştir (Altınbilek ve diğ., 1995).

Eymir Gölü'ne ulaşan atıksu gözönüne alındığında, yüksek besin konsantrasyonu ile göl alg üremesi için elverişli hale gelmiştir. Buna ek olarak düşük su derinliği de ötrofik koşulları arttırmıştır. Daha önceki çalışmaların sonuçlarına göre Eymir Gölü'nün ötrofik bir göldür (Elahdab, 2006; Beklioglu ve diğ., 2003; Beklioglu ve diğ., 2000; Karul ve diğ., 2000; Karakoç ve diğ. 2003; Yenilmez ve diğ., 2010; Beklioglu ve diğ.; 2010). Ayrıca göl tabanında sualtı bitkilerinin varlığı da tesbit edilmiştir (Beklioglu ve diğ., 2003; Muluk ve diğ., 2005; Tan ve diğ., 2005).

### 3. METOD VE MATERYALLER

Çalışmada daha sonra detayları verilecek olan saha parametreleri uzaktan algılanmış reflektans değerleri ile beraber kullanılarak hibrid bir girdi seti oluşturulmuş, bu veriler kullanılarak Eymir Gölü'ndeki klorofil-a konsantrasyonları regrasyon ve YSA modelleriyle belirlenmiştir. Bu amaçla Eylül 2009, Nisan 2010 ve Temmuz 2010 tarihlerinde çekilmiş olan multispektral uydu görüntüleri kullanılmıştır. Farklı tarihlerde ve farklı koşullar için çekilen fotoğraflar yardımıyla elde edilen modellerin performanslarının karşılaştırılması amaçlanmıştır. Çalışma alanı kış aylarında genellikle bulutlu olduğundan, kış mevsiminde görüntü alımı sağlanamamıştır. Uydu görüntülerinin çekilmesini takiben saha çalışmaları gerçekleştirilmiş, daha önce belirlenen ve bir GPS alıcısı ile bulunan noktalarda yerinde ölçümler yapılmış, su numuneleri alınmıştır. Temin edilen uydu görüntüleri alımın yapıldığı firma tarafından ortorektifiye edilmiştir. Daha sonra Microsoft Excel programı kullanılarak atmosferik doğrulama uygulanmış ve göldeki reflektans değerleri belirlenmiştir. Sadece reflektans değerleri ve hibrid girdiler kullanılarak farklı girdi koşulları için çoklu doğrusal regrasyon modelleri ve YSA modelleri oluşturulmuştur. Bunların yanında literatürde sığ göller için elde edilmiş olan klorofil-a regrasyon modellerinin performansları Eymir Gölü için test edilmiştir. Hibrid girdilerin oluşturulmasında temel bileşenler analizi (TBA) (principal

component analysis – PCA) kullanılmıştır. Bu aşamalarla ilgili detaylar aşağıda sunulmuştur.

### 3.1. Uydu Görüntüleri ve Görüntü Analizi

Çalışmada Eymir Gölü'nün sadece 1.25 km<sup>2</sup>'lik bir alana sahip olması nedeniyle yüksek çözünürlüğe sahip uydu görüntüleri kullanılmıştır. İlk iki görüntü QuickBird 2 ve son görüntü ise World View 2 uydularından temin edilmiştir. Tablo 1'de görüntü temin ve saha çalışmalarının tarihleri verilmiştir.

Tablo 1: Uydu görüntüsü çekim ve saha çalışmaları tarihleri

Tanım	Uydu	Fotoğraf çekim tarihi	Saha çalışması tarihi
Saha 1	QuickBird 2	9 Eylül 2009	18 Eylül 2009
Saha 2	QuickBird 2	26 Nisan 2010	2 Mayıs 2010
Saha 3	World View 2	28 Temmuz 2010	2 Ağustos 2010

Uydu görüntüsü ile saha çalışmaları arasındaki zaman farkının az olmasının istenmesine rağmen, bu koşul görüntünün çekildiğinin bildirilmesindeki gecikmeye bağlı olarak sağlanamamış, görüntü tarihi ve saha çalışması arasında maksimum 9 güne varan zaman aralıkları meydana gelmiştir. Ancak bu zaman aralıklarında hava koşullarında ve besin maddesi konsantrasyonlarında göldeki alg dağılımını önemli ölçüde etkileyebilecek bir değişimin olmadığı varsayılmıştır. Hava koşullarındaki değişimler Tablolar 2, 3 ve 4'te (Ankara, Türkiye Havadurumu: Weather Underground, 2010) verilmiştir. Literatürdeki çalışmalarda, görüntü elde edilmesi ile saha çalışmaları arasında 1 hafta ile 10 günlük gecikmenin kabul edilebileceği bildirilmiştir (Bricaud ve diğ., 2002). Bu nedenlerden dolayı görüntü alımı ve saha çalışmaları arasındaki zaman farkının sonuçlar üzerindeki etkileri literatürdeki örnekler ışığında kabul edilebileceği varsayılmıştır.

Tablo 2: 9 Eylül 2009 tarihli uydu görüntüsü ile saha çalışması arasındaki zaman dilimindeki hava koşulları

Parametre	Tarih									
	9.09	10.09	11.09	12.09	13.09	14.09	15.09	16.09	17.09	18.09
Ortalama Sıcaklık (°C)	18	16	18	20	18	16	16	16	15	16
En Yüksek Sıcaklık (°C)	24	25	26	23	22	23	23	23	23	24
En Düşük Sıcaklık (°C)	11	7	11	16	15	10	8	10	7	7
Yağış (mm)	1	0	0	0.1	0.3	0	0	0	0	0
Çiğ Noktası (°C)	10	9	10	11	13	9	9	8	6	4
Ortalama Nem	62	60	58	61	76	64	67	59	56	48
En Yüksek Nem	82	88	88	82	94	94	94	88	93	87
En Düşük Nem	36	22	24	32	43	29	26	19	20	14
Deniz Seviyesi Basıncı	1015,0	1016,3	1012,5	1009,9	1011,7	1019,2	1019,9	1017,6	1016,8	1014,0
Rüzgar Hızı (km/s)	9	7	9	14	10	7	5	9	6	5
En Yüksek Rüzgar Hızı	30	24	17	28	28	18	15	26	18	18
Görüş Mesafesi (km)	10,6	10,5	10,6	10,8	10,3	10,6	11,0	10,9	11,7	11,4

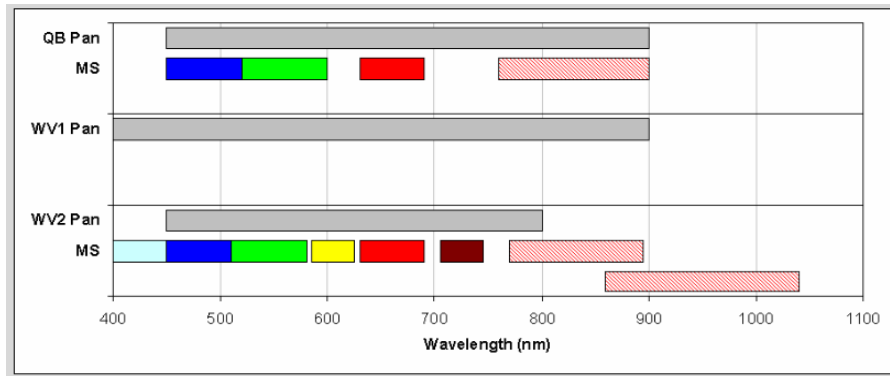
Tablo 3: 26 Nisan 2010 tarihli uydu görüntüsü ile saha çalışması arasındaki zaman dilimindeki hava koşulları

Parametre	Tarih							
	26.4	27.4	28.4	29.4	30.4	1.5	2.5	
Ortalama Sıcaklık (°C)	13	12	10	10	10	10	12	
En Yüksek Sıcaklık (°C)	19	17	17	17	18	19	21	
En Düşük Sıcaklık (°C)	7	6	3	3	3	1	2	
Yağış (mm)	0	0	0	0	0	0	0	
Çiğ Noktası (°C)	-1	1	2	1	-2	-6	1	
Ortalama Nem	41	49	56	50	44	36	47	
En Yüksek Nem	76	71	81	81	87	70	81	
En Düşük Nem	10	20	32	18	10	4	15	
Deniz Seviyesi Basıncı (hPa)	1018,9	1018,0	1016,3	1015,9	1014,7	1014,2	1014,7	
Rüzgar Hızı (km/s)	17	18	14	11	15	9	7	
En Yüksek Rüzgar Hızı (km/s)	28	33	24	20	24	18	15	
Görüş Mesafesi (km)	11,0	10,7	10,9	10,9	11,6	11,3	11,4	

Tablo 4: 2 Ağustos 2010 tarihli uydu görüntüsü ile saha çalışması arasındaki zaman dilimindeki hava koşulları

Parametre	Tarih				
	28.7	29.7	30.7	31.7	1.8
Ortalama Sıcaklık (°C)	26	26	26	28	28
En Yüksek Sıcaklık (°C)	34	30	34	37	38
En Düşük Sıcaklık (°C)	17	21	17	18	19
Yağış (mm)	0	0	0	0	0
Çiğ Noktası (°C)	14	15	14	12	8
Ortalama Nem	49	56	50	42	29
En Yüksek Nem	82	73	77	78	56
En Düşük Nem	12	32	20	9	6
Deniz Seviyesi Basıncı (hPa)	1011,5	1012,9	1014,6	1015,0	1013,6
Rüzgar Hızı (km/s)	6	16	16	9	6
En Yüksek Rüzgar Hızı (km/s)	20	26	24	18	18
Görüş Mesafesi (km)	12,0	11,0	12,7	12,1	12,4

18 Ekim 2001 yılında yörüngeye yerleştirilmiş olan QuickBird 2 uydusu, Digital Globe Company tarafından işletilmektedir. 450 km yörünge yüksekliği bulunan uydu, haritalama, askeri izleme, hava araştırmaları ve çevresel modellemeler için kullanılmaktadır. QuickBird 2 uydusu çoklu tayfsal görüntüde 2.5 m yerel çözünürlüğe ve 4 adet tayfsal banda sahiptir. Uydu 2-3 günlük periyotlarla aynı noktadan görüntü alabilmektedir (QuickBird, 2008). World View 2 uydusu ise Ekim 2009'da yörüngeye yerleştirilmiş olup, QuickBird 2 gibi Digital Globe firması tarafından işletilmektedir. World View 2 uydusunun yörünge yüksekliği 770 kilometredir. World View 2 uydusu, Quickbird 2'den farklı olarak daha fazla yerel çözünürlüğe (çoklu tayfsal olarak 1.84 m) ve daha yüksek tayfsal bant sayısına (8 bant) sahiptir. Her iki uydudaki tayfsal bantlar ve karşılaştırmaları Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4: QuickBird 2 ve Worldview 2 uyduları için tayfsal bantlar

Yüksek yerel çözünürlüğe sahip olan görüntüler, 8-bitlik "multispectral" formdadır. Görüntülerin ortorektifikasyonları yapılmıştır. Çalışmada kullanılan görüntülerdeki bulutluluk oranları Saha 1'e ait uydu görüntüsünde %1.3 olup diğer 2 çalışmada da %0'dır. 9 Eylül 2009'de saat 8:45:47 (GTM+2), 26 Nisan 2010'de saat 8:43:31 (GTM+2) ve 28 Temmuz 2010'da saat 9:10:04 (GTM+2) çekilen gerçek renkli görüntüler sırasıyla Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7'de gösterilmiştir. Görüntülerin elde edilmesinden sonra ITT ENVI programı yardımıyla her bant (yakın kızılötesi, kırmızı, yeşil, mavi) için piksel değerleri belirlenmiştir. Koordinat kontrolü sırasında yer kontrol noktalarının yerleri kontrol edilmiş ve hataya rastlanmamıştır.



Şekil 5: Saha 1'e ait uydu görüntüsü



Şekil 6: Saha 2'ye ait uydu görüntüsü



Şekil 7: Saha 3'e ait uydu görüntüsü

Elde edilen uydu görüntülerinde öncelikle gölün etrafındaki alan maskelenmiş ve göl ön plana çıkartılmıştır. Sonrasında saha Bölüm 3.2.1'de verilecek olan örnekleme noktalarındaki tayfsal bant piksel değerleri ITT ENVI programı yardımıyla elde edilmiştir. Bir sonraki basamakta havadaki nem ve parçacıkların piksel değerleri üzerindeki etkilerini gidermek amacıyla atmosferik düzeltme uygulanmıştır. Düzeltmenin yapılabilmesi için öncelikle tüm uydu görüntülerindeki farklı bantlara ait histogramlar belirlenmiştir. Sonrasında histogramda yer alan 0 değerleri çıkartılmıştır. Son olarak histogramdaki minimum ve maksimum değerler ve aşağıda yer alan formül kullanılarak piksel değerlerinden yansıma değerleri elde edilmiştir.

$$Yansıma Değeri = \frac{Piksel Değeri - Minimum Histogram Değeri}{Maximum Histogram Değeri} \quad (1)$$

### 3.1 Saha Çalışmaları

Uydu görüntülerinin alınmasını takiben saha çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Ölçülmüş olan parametrelerin listesi ve ölçüm yöntemleri, kullanılan gereçler Tablo 5'te özetlenmiştir. Bir sonraki alt bölümde verilecek olan örnekleme noktalarında saha tipi gereçler (anemometre, çok parametrelili sonda) yardımıyla ölçümler yapılmış, laboratuvarda ölçülebilecek parametreler için ise Van-Dorn su örnekleyicisi kullanılarak yüzey ve 0.5 m derinliklerden 500 mL su örneği alınmıştır. Alınan su örneklerinin ışık ve sıcaklık artışından etkilenmemesi için soğutucularda laboratuvara taşınmış, aynı gün içinde analizler tamamlanmıştır.

Tablo 5: Ölçümü yapılan saha parametreleri ve ölçüm yöntemleri

Parametre Adı	Yöntem, araç	Parametre Adı	Yöntem, araç
Klorofil-a	Laboratuvar, ISO 10260	FAI	LI-COR LI-193SA
Toplam Askıda Katı Madde	Laboratuvar, SM 2540 D	Toplam Çözünmüş Madde	Çok parametrelili sonda
Renk	Laboratuvar, spektrofotometrik	Tuzluluk	Çok parametrelili sonda
Sıcaklık	Çok parametrelili sonda	Rüzgar Hızı	Anemometre
İletkenlik	Çok parametrelili sonda	Nem	Anemometre
Çözünmüş Oksijen	Çok parametrelili sonda	Rüzgan Yönü	Anemometre
Bulanıklılık	Çok parametrelili sonda	Sıcaklık	Anemometre
Su Kolon Derinliği	Secchi Diski	Çiğ oluşum sıcaklığı	Anemometre
SD	Secchi Diski		

#### 3.1.1. Ölçüm Noktalarının Lokasyonları

Çalışmada kullanılan ölçüm noktalarının sayısı tüm göl alanını kapsayacak şekilde belirlenmiştir. Su kalitesinin uzaktan algılama ile belirlenmesi ile ilgili literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, ölçüm noktası yoğunluğunun 0.002 ölçüm/km<sup>2</sup> (Zhang ve diğ., 2002) ile 3.2 ölçüm/km<sup>2</sup> (Elahdab, 2006) aralığında değiştiği gözlenmiştir. Bu çalışmada 30 ölçüm noktası kullanılmış ve ölçüm yoğunluğu 24 ölçüm/km<sup>2</sup> olarak gerçekleştirilmiştir. Ölçüm noktalarının



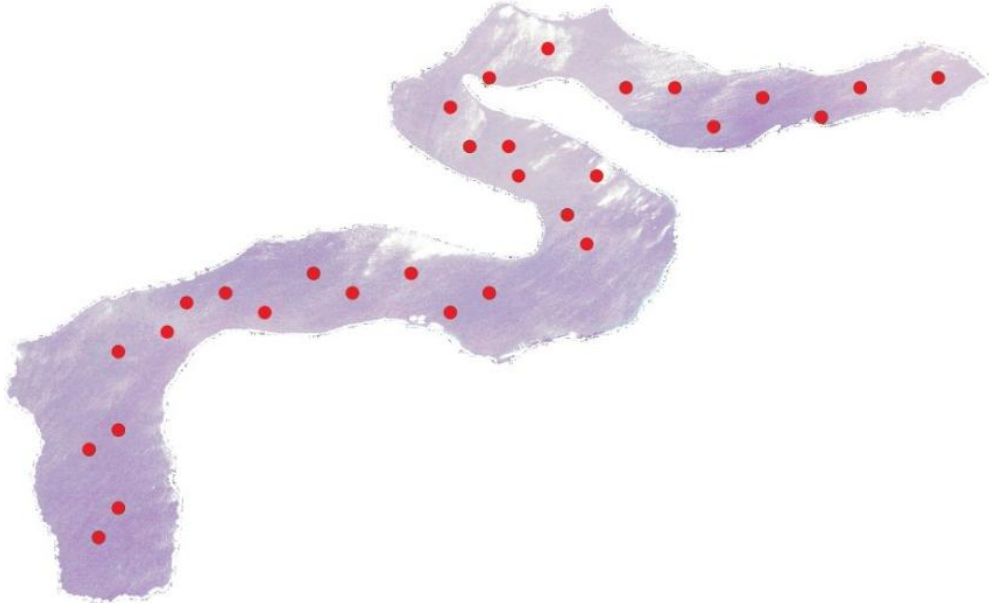
yerleri göl alanını kaplayacak şekilde rastgele seçilmiştir. Saha 1 ve Saha 2 için örnekleme noktalarının koordinatları Tablo 6'da, Saha 3 için ise Tablo 7'de verilmiştir (Lat/Lon koordinat sisteminde ED50 datumuna göre). Bu noktalar sahada Magellan Sportak GPS alıcısı yardımıyla bulunmuştur. Örnekleme noktaları Saha 3 için daha homojen bir dağılım elde etmek için değiştirilmiştir. İlgili noktalar ayrıca Şekil 8 ve 9'da da gösterilmiştir. Ölçüm noktalarında anemometre ile hava durumu ile ilgili parametrelerin, YSI çok parametrelili sonda ile derinliğe bağlı su kalitesi parametrelerinin ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bunların yanısıra, her ölçüm noktasında Secchi diski kullanılarak SD ve su kolonu derinliği ölçülmüştür.

Tablo 6: Ölçüm noktalarının koordinatları (Saha 1 ve Saha 2 için)

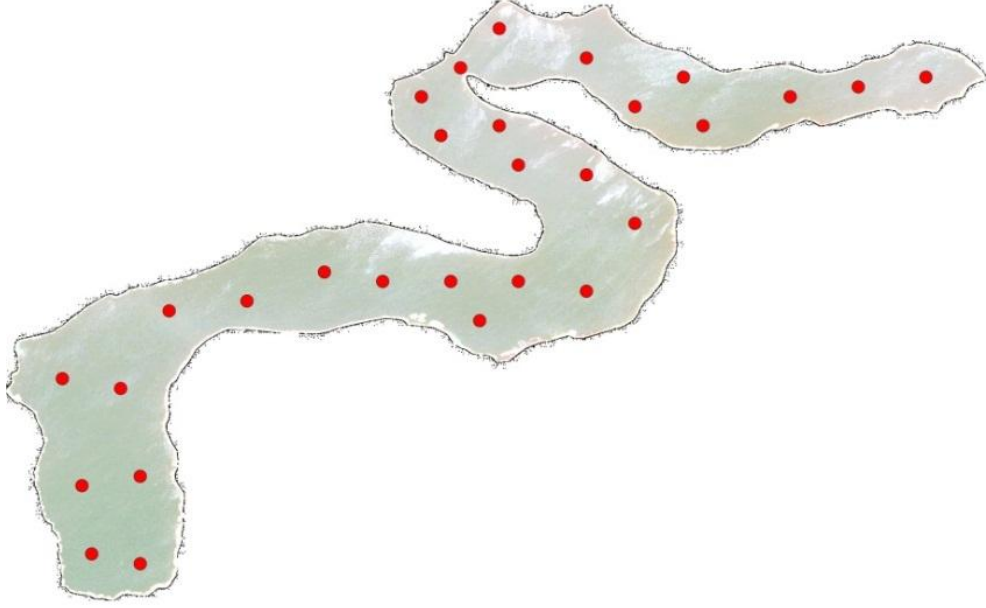
Nokta no	Kuzey	Doğu	Nokta no	Kuzey	Doğu
1	39° 49' 5"	32° 49' 7"	16	39° 49' 38"	32° 49' 55"
2	39° 49' 8"	32° 49' 9"	17	39° 49' 42"	32° 49' 58"
3	39° 49' 14"	32° 49' 6"	18	39° 49' 42"	32° 49' 50"
4	39° 49' 16"	32° 49' 9"	19	39° 49' 45"	32° 49' 49"
5	39° 49' 24"	32° 49' 9"	20	39° 49' 45"	32° 49' 45"
6	39° 49' 26"	32° 49' 14"	21	39° 49' 49"	32° 49' 43"
7	39° 49' 29"	32° 49' 16"	22	39° 49' 52"	32° 49' 47"
8	39° 49' 30"	32° 49' 20"	23	39° 49' 55"	32° 49' 53"
9	39° 49' 28"	32° 49' 24"	24	39° 49' 51"	32° 50' 1"
10	39° 49' 32"	32° 49' 29"	25	39° 49' 51"	32° 50' 6"
11	39° 49' 30"	32° 49' 33"	26	39° 49' 47"	32° 50' 10"
12	39° 49' 32"	32° 49' 39"	27	39° 49' 50"	32° 50' 15"
13	39° 49' 28"	32° 49' 43"	28	39° 49' 48"	32° 50' 21"
14	39° 49' 30"	32° 49' 47"	29	39° 49' 51"	32° 50' 25"
15	39° 49' 35"	32° 49' 57"	30	39° 49' 52"	32° 50' 33"

Tablo 7: Ölçüm noktalarının koordinatları (Saha 3 için)

Nokta no	Kuzey	Doğu	Nokta no	Kuzey	Doğu
1	39° 49' 3"	32° 49' 6"	16	39° 49' 42"	32° 49' 57"
2	39° 49' 2"	32° 49' 11"	17	39° 49' 43"	32° 49' 50"
3	39° 49' 10"	32° 49' 5"	18	39° 49' 47"	32° 49' 48"
4	39° 49' 11"	32° 49' 11"	19	39° 49' 46"	32° 49' 42"
5	39° 49' 21"	32° 49' 3"	20	39° 49' 50"	32° 49' 40"
6	39° 49' 20"	32° 49' 9"	21	39° 49' 53"	32° 49' 44"
7	39° 49' 28"	32° 49' 14"	22	39° 49' 57"	32° 49' 48"
8	39° 49' 29"	32° 49' 22"	23	39° 49' 54"	32° 49' 51"
9	39° 49' 32"	32° 49' 30"	24	39° 49' 54"	32° 49' 57"
10	39° 49' 31"	32° 49' 36"	25	39° 49' 49"	32° 50' 2"
11	39° 49' 31"	32° 49' 43"	26	39° 49' 52"	32° 50' 7"
12	39° 49' 27"	32° 49' 46"	27	39° 49' 47"	32° 50' 9"
13	39° 49' 31"	32° 49' 50"	28	39° 49' 50"	32° 50' 18"
14	39° 49' 30"	32° 49' 57"	29	39° 49' 51"	32° 50' 25"
15	39° 49' 37"	32° 50' 2"	30	39° 49' 52"	32° 50' 32"



Şekil 8: Eymir Gölü'ndeki ölçüm noktalarının dağılımı (Saha 1 ve Saha 2 için)



Şekil 9: Eymir Gölü'ndeki ölçüm noktalarının dağılımı (Saha 3 için)

### **3.1.2. Yerinde yapılan ölçümler**

Çalışmada pH, sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ), iletkenlik ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ ), çözünmüş oksijen ( $\text{mg}/\text{L}$ ) ve bulanıklık (NTU) parametreleri YSI 6600 EDS çok parametrelili sonda ile ölçülmüştür. Çalışma sırasında sonda su kolonuna yavaşça batırılmış ve 3 saniyede bir ölçüm alınmıştır. Sondanın ölçülen parametreler için kalibrasyonu saha çalışması öncesinde laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir.

Meteorolojik parametrelerin ölçümü için Kestrel 4500 marka çok parametrelili anemometre kullanılmıştır. Bu cihaz ile rüzgar hızı, hava sıcaklığı, bağıl nem, ısıl gerilim endeksi, çiğ sıcaklığı, ıslak hazne sıcaklığı, yükseklik, rüzgar yönü gibi parametreler ölçülmüş ve kaydedilmiştir.

FAI alglerin üremesini etkileyen parametrelerden biridir. Bu parametrenin çalışma sırasındaki ölçümü LICOR LI-193SA marka cihaz ile gerçekleştirilmiştir. Ayrıca ışık geçirgenliğinin ölçülebilmesi amacıyla SD de ölçülmüştür. Bu amaçla 20 cm çapındaki standart siyah beyaz bölmeli Secchi diski kullanılmıştır. Disk suya yavaşça indirilirken siyah ve beyaz dilimlerin gözle ayırt edilemediği derinlik SD değeri olarak saptanmıştır. Bu disk aynı zamanda göl tabanına değinceye kadar suya indirilmiş ve ölçüm noktasındaki derinlik belirlenmiştir.

### 3.2. Laboratuvar Analizleri

Van-Dorn örnekleyicisi ile alınan su numuneleri klorofil-a, toplam askıda katı madde ve renk tayini için laboratuvarında analiz edilmiştir. Spektrofotometrik analizlerde DR 2400 Hach Lange Spektrofotometre kullanılmıştır. Klorofil-a analizleri 60 farklı numune için yapılmış olup (yüzey ve 0.5 derinlik), ISO 10260 etanol ekstraksiyon metodu kullanılmıştır. Bu metod dahilinde öncelikle 250 mL su numunesi cam yünü filtreden süzülmemektedir. Ayrıca şahit olarak kullanılmak amacıyla saf su da filtreden süzülmemektedir. Sonrasında süzüntüleri barındıran filtre cam vezin kabına yerleştirilmekte ve üzerine 20 mL saf etanol eklenmektedir. Bu basamakta eklenen etanolün saflığı %100'dür. İçine filtre yerleştirilerek etanol eklenmiş olan vezin kapları daha önceden 76°C'e ısıtılmış olan su banyosuna yerleştirilerek 15 dakika boyunca bekletilmektedir. Bu süre içinde etanol algin hücre yapısını bozmakta ve klorofil-a'yı açığa çıkarmaktadır. Sonrasında vezin kapları sıcak su banyosundan çıkartılarak oda sıcaklığına soğumaya bırakılmaktadır. Vezin kaplarının içinde yer alan filtreler çıkarıldıktan sonra her vezin kabından 2.5 mL'lik numuneler alınmakta ve mikro küvetlere doldurulmaktadır. Bu basamak sonrasında her vezin kabına 0.1 mL, 0.1 N HCl eklenip hızlıca karıştırılarak 35 dakika bekletilmektedir. Sonrasında tekrar 2.5 mL numune alınarak ikinci set mikro küvetlere doldurulmakta ve spektrofotometre ile ölçüm yapılmaktadır. Tüm numunelerin 665 ve 750 nm'lik dalga boylarındaki absorpsiyon değerleri belirlenmekte, aşağıdaki formül yardımıyla klorofil-a konsantrasyonu hesaplanmaktadır.

$$\text{Klorofil - a } (\mu\text{g/L}) = (A - A_a) * 29.6 * V_e / V_n * 1 \quad (2)$$

A = 665 nm ve 750 nm arasında asit ekleme öncesi absorpsiyon farkı

A<sub>a</sub> = 665 nm ve 750 nm arasındaki asit ekleme sonrası absorpsiyon farkı

V<sub>n</sub> = Su örneği hacmi (L) = 2.5 mL

V<sub>e</sub> = Kullanılan etanol hacmi (mL) = 20 mL

Toplam askıda katı madde analizleri her bir saha çalışmasında yine 60 örnek için standard metod (SM 2540 D) ile gerçekleştirilmektedir. Bu analiz için öncelikle 0.45 µm'lik filtreler 24 saat boyunca 105°C'lik etüvde kurutularak nemden arındırılmaktadır. Kurutulan filtreler oda sıcaklığına getirildikten sonra hassas terazi yardımıyla tartılmaktadır. Daha sonra belirli bir

hacimdeki su numunesi filtreden süzölmektedir. Bu basamak sonrasında filtre üzerindekiyle birlikte tekrar 105°C'lik etüve yerleştirilerek 24 saat bekletilmektedir. Kurutma sonrası filtreler oda sıcaklığına getirildikten sonra tartılarak ağırlıkları belirlenmektedir. Toplam askıda katı madde konsantrasyonları aşağıda yer alan denklem ile hesaplanmaktadır

$$\text{Toplam Askıda Katı Madde } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) = (A - B) * 1000 / V \quad (3)$$

A = Süzme işlemi sonrası kurutulmuş filtrenin ağırlığı (mg)

B = Süzme işlemi öncesi kurutulmuş filtrenin ağırlığı (mg)

V = Alınan örnek hacmi (mL)

Laboratuarda analizi yapılan parametrelerden bir tanesi de renktir. Suda renk görülmesi su içindeki çözünmüş maddelerin varlığına bağlanabilir. Renk analizleri askıda katı madde tayini için kullanılan örneklerin süzöntü (filtreden geçen sıvı kısım) kısmına uygulanmıştır. Bu analiz Platinyum-Kobalt Standart metoduyla gerçekleştirilmiştir (Standart Metot, 1971). Hach Spektrofotometre DR 2400 içinde yüklü olan 120 kodlu renk programı kullanılmıştır. Program dahilinde su numunesinin 455 nm'deki absorbans değeri ölçölmektedir. Analizler sırasında 10 mL süzöntü suyu alınarak daha önceden 10 mL ultra-saf su ile kalibre edilmiş spektrofotometrede renk PtCo cinsinden okunmaktadır.

### 3.3. Veri Analizi ve Klorofil-a'nın Modellenmesi

Çalışma süresince toplanan saha, laboratuvar ve uydu verileri arasındaki ilişkiler EXCEL altında çalışabilen XLStat istatistik programı yardımıyla incelenmiştir. Klorofil-a'nın uzaktan algılanmış ve hibrid girdiler kullanılarak modellenmesi için parametre azaltılması yoluna gidilmiştir. Bu amaçla XLStat altında bulunan TBA analizi kullanılmıştır. TBA veri seti boyutunun azaltılması amacıyla uygulanan matematiksel bir tekniktir. TBA ile veri setinde yer alan ve birbirleri ile ilişki içinde olan parametrelerin sayısı azaltılabilir. Bu azaltım sırasında veri setindeki dağılım korunarak daha az sayıda parametre ile sistemin açıklanmasını sağlayabilecek etkili faktör grupları belirlenmektedir. Bir temel bileşen gözlem parametrelerinin sahip olduğu ağırlıkların doğrusal kombinasyonudur. Buna ek olarak TBA,

içinde belirsiz bir eğilime sahip olan veri setlerinin açıklanması için de kullanılabilir (Abdi ve Williams, 2010).

Klorofil-a modellerinde kullanılan bağımsız değişkenler TBA analizi baz alınarak belirlenmiştir. Bu analizden önce parametreler arasındaki çoklu bağlantılar test edilmiş, birbirleriyle ilişkili parametreler elenmiştir. Böylece TBA birbirinden bağımsız parametreler için uygulanarak regresyon modelinde bağımsız değişkenlerin yer alması sağlanmıştır. Bunun yanında özellikle çoklu doğrusal regresyon modeli için değişkenlerin normal dağılım gösterip göstermediği de kontrol edilmiştir.

### 3.3.1. Çoklu doğrusal regresyon modeli

TBA analizi ile belirlenen bağımsız değişkenler kullanılarak hibrid girdili çoklu doğrusal regresyon modeli oluşturulmuştur. Sadece uydu görüntülerinden elde edilmiş farklı bantlara ait reflektans değerlerinin kullanıldığı regresyon modeli de oluşturulmuştur. Böylece hibrid girdili modelin performansının karşılaştırmalı olarak incelenmesi sağlanmıştır. Regresyon modelleri XLStat yardımıyla geliştirilmiştir. Çoklu doğrusal regresyon modellerinin yapısı aşağıda verildiği gibidir.

$$\text{Klorofil} - a (\mu\text{g} / L) = C + \sum_{i=1}^n P_i X_i \quad (4)$$

C = Denklem sabiti

P<sub>i</sub> = bağımsız değişken i için regresyon katsayısı

X<sub>i</sub> = bağımsız değişken i'nin değeri

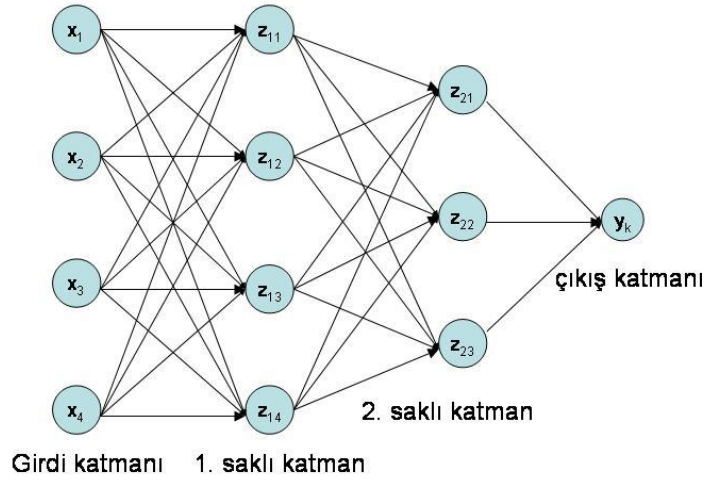
K<sub>i</sub> = bağımsız değişken X<sub>i</sub> için üst değer

n = bağımsız değişken sayısı

Oluşturulan modeller için C, P<sub>i</sub> ve K<sub>i</sub> değerleri XLStat tarafından belirlenmiştir. Bu aşamada tahmin edilen ve ölçülen klorofil-a konsantrasyonları arasındaki ortalama hata azaltılmaya çalışılırken, R<sup>2</sup> değeri maksimize edilmeye çalışılmıştır. XLStat programındaki kısıt nedeniyle regresyon modelleri maksimum 11 adet bağımsız parametre kullanılarak oluşturulabilmektedir.

### **3.3.2. YSA ile modelleme**

Klorofil-a, regresyon modellerinin yanısıra YSA ile de modellenmiştir. Bu amaçla MATLAB yazılımı kullanılmıştır. YSA modelinin temelinde beyindeki öğrenme mekanizması yer almaktadır. Yapay sinir ağı modeli iki veri seti arasında doğrusal olmayan bir ilişkiyi öğrenme mekanizmasını taklit eden bir algoritma yardımıyla kurulabilmektedir. Modelde iki adet ana yapı bulunmaktadır, bunlar işlem yapıları (nöronlar) ve ağırlıklı bağlantılardır. Şekil 10'da verilen örnekte gösterildiği gibi YSA yapısı dahilinde 3 adet katman bulunmaktadır. Bu katmanlar belirli sayıda nöronlardan oluşmakta olup, bir katmandaki nöron diğer bir katmandaki nörona ağırlıklı bağlantılar ile bağlıdır. YSA'daki katmanlardan ilki girdi katmanı olup, modelin bağımsız değişkenlerini içerir. İkinci katman saklı katmandır ve burada çeşitli fonksiyonlar yardımı ile doğrusal olmayan yapı modele kazandırılır. Son olarak üçüncü katman, tahmin edilecek bağımlı değişkenin değerinin hesaplandığı çıkış katmanıdır (Keiner, 1998). Bu yapı içinde modelleme 3 basamak içinde gerçekleşir. Bunlardan ilki, öğrenme basamağı olup, tahmin ve ölçüm değerleri arasındaki farkın azaltılmasına yönelik bir optimizasyon süreci ile girdi ve çıktı veri setleri arasındaki ilişkiye bağlı bir benzetim modeli oluşturulur. Bu, farklı geri besleme algoritmaları yardımıyla gerçekleşir. Geri besleme algoritması iki aşamalı çalışır. Bunlardan birincisi yayılma olarak adlandırılan aşama olup, girdi katmanından çıkış katmanına ulaşarak ilgili bağımlı değişken için tahmin değerleri hesaplanır. İkinci aşamada ise tahmin edilen değerler ile hedef (ölçülmüş) değerler arasındaki hata baz alınarak katmanlardaki nöronları birbirine bağlayan ağırlıklar güncellenir. Bu döngü en az hata elde edilinceye dek sürer. Öğrenme basamağının tamamlanmasından sonra test basamağına geçilir. Test sırasında modelin çıktı değişkenini bir ilişki oluşturarak mı yoksa ezberleyerek mi tahmin ettiği kontrol edilir. Son olarak doğrulama basamağında ayrı bir veri seti ile model sonuçları hesaplanır.



Şekil 10: İki saklı katmanlı bir yapay sinir ağı yapısına örnek

YSA modelleri sadece hibrid girdiler ile oluşturulmuş, sonuçlar regresyon modeli sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Veriler öncelikle  $[0,1]$  aralığında normalize edilerek YSA modeline girilmiştir. Veri seti öğrenme, test ve doğrulama için üç bölüme ayrıldıktan sonra Moral (2002) tarafından geliştirilmiş olan ve MATLAB altında çalışan otomatik YSA mimarisi (saklı katman sayısı, saklı katmanlardaki nöron sayıları, öğrenme algoritması, vd.) oluşturma yazılımı kullanılarak klorofil-a modelleri geliştirilmiştir. Verilerin üç gruba ayrılmasında şu yöntem izlenmiştir. Öncelikle veri seti örnekleme noktası numaralarına göre sıraya dizilmiştir. Sonrasında tüm tek sayılı veriler öğrenme setinde kullanılmak üzere seçilmiştir. Test veri seti için  $2+4n$  ( $n=0,1,2,\dots$ ) numaralı örnekleme noktaları, doğrulama veri seti için ise  $4+4n$  ( $n=0,1,2,\dots$ ) numaralı örnekleme noktaları kullanılmıştır. YSA modellerinin performansları ortalama karesel hata ve  $R^2$  değerleri ve diğer parametreler bakılarak değerlendirilmiştir. MATLAB YSA kodu  $R^2$  değerinin tüm veri seti için (öğrenme, test, doğrulama)  $0,8$ 'den büyük olduğu durumlarda modelleri ve sonuçları kaydedecek şekilde ayarlanmıştır. Farklı YSA mimarisine sahip ve yüksek tahmin performansına sahip birden çok YSA modeli oluşturmak mümkündür. Bu çalışmada en yüksek ve anlamlı ( $p$ -değeri bazında)  $R^2$  değerine ve en düşük karesel hataya sahip model YSA ile klorofil-a tahmini için önerilmiştir.

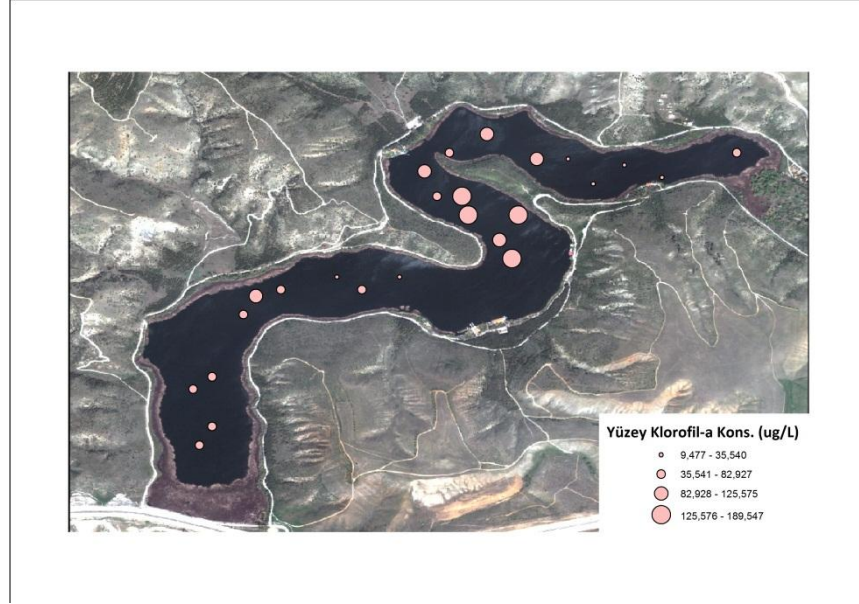


#### 4. BULGULAR VE DEĞERLENDİRMELER

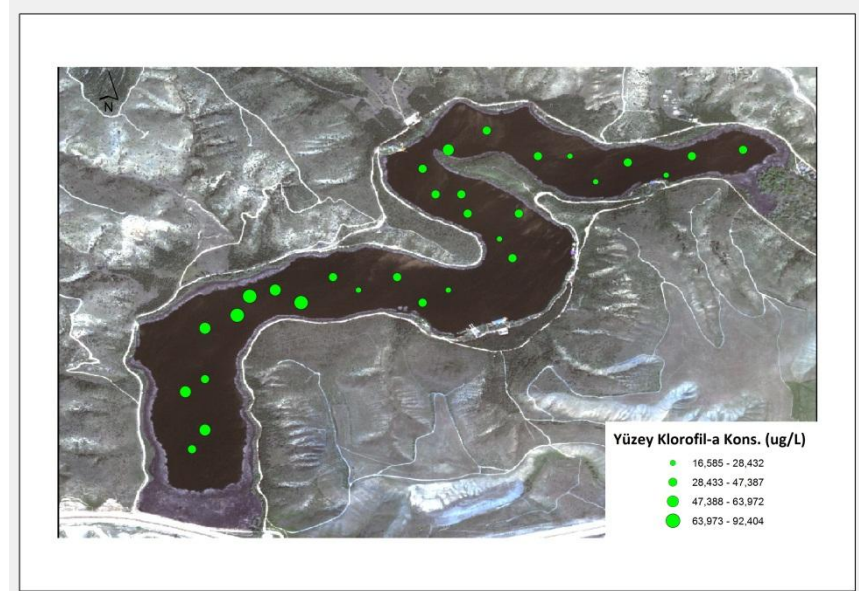
##### 4.1. Saha Ölçümleri ve Saha Verilerinin İstatistiksel Analizi

Su yüzeyi örneklerinden elde edilmiş olan klorofil-a konsantrasyonlarının mekansal dağılımları 29 Eylül 2010, 2 Mayıs 2010 ve 2 Ağustos 2010 tarihli saha çalışmaları için sırasıyla Şekil 11, Şekil 12, ve Şekil 13'te verilmiştir. Diğer parametrelerin mekansal dağılımları Ek-1'de verilmiştir. Birinci saha çalışması (Saha 1) incelendiğinde, parametre değerlerinde veya konsantrasyonlarında görülen yüksek değerlerin genellikle üç ayrı bölgede yoğunlaştığı görülmüştür. Bunlar gölün güney ucunda yer alan giriş bölgesi, orta kısmında yer alan boğaz bölgesi ve doğu ucunda yer alan çıkış bölgeleridir. Ölçülmüş olan parametrelerden iletkenlik, bulanıklık ve askıda katı madde konsantrasyonları bu dağılımı gösteren parametrelerdir. Yoğunlaşmanın klorofil-a (Şekil 11), Secchi disk derinliği, yüzey pH değeri ve su kolonu derinliği için ortada yer alan boğaz etrafında olduğu görülmüştür. Bu durumun göldeki akımlardan kaynakladığı söylenebilir. Su yatağındaki ani daralma sonucu partiküler maddelerin boğaz etrafında birikmesi söz konusu olabilmektedir. Gölü besleyen yeraltı sularının da katkılarıyla ara bölgelerde daha seyrek konsantrasyon görüldüğü düşünülmektedir. Bahsi geçen parametrelere ek olarak çözünmüş oksijen konsantrasyonu diğer parametrelere kıyasla daha geniş bir alanda daha homojen bir dağılıma sahiptir. İkinci saha çalışmasında (Saha 2) ölçülen parametrelerin mekansal dağılımı incelenecek olursa, ilk saha çalışmasından farklı olarak iletkenlik tüm gölde homojen bir dağılım göstermiştir. Tüm gölde homojene yakın dağılım gösteren diğer parametreler ise çözünmüş oksijen, bulanıklık, pH ve toplam askıda katı maddedir. Su sıcaklığı parametresine bakılacak olursa değerlerin giriş ve boğaz arasında kalan ara bölgede ve çıkış bölgesinde diğer bölgelere kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum çıkış bölgesindeki düşük su derinliğinden ve ara bölgede ise durgun koşullardan kaynaklanıyor olabilir. Bu çalışma dahilinde modellenmesi gerçekleştirilen klorofil-a ise göl girişinde diğer bölgelere kıyasla daha yüksek konsantrasyonlar göstermiştir (Şekil 12). Saha 2 ölçümleri öncesinde göle Mogan Gölü'nden yüksek miktarda su girişi olmuştur. Seyrelme sonucunda ilk saha çalışmasına kıyasla klorofil-a konsantrasyonlarında düşüş gözlenmiştir. Birinci saha çalışmasındaki klorofil-a konsantrasyonunun dağılımı ile benzer bir şekilde parçacıklar boğaz etrafında yoğunlaşmıştır. Üçüncü ve son saha çalışması (Saha 3) gözönüne alındığında ise, tüm parametrelerde ilk iki saha çalışması ile kıyaslandığında daha homojen bir dağılımın varlığı görülmektedir. Bu durumda bile bazı parametrelerde bölgesel yoğunluklarla karşılaşmıştır. Bu durum, o alandaki seyrelme ile açıklanabilir. Klorofil-a ise diğer saha çalışmalarından farklı olarak tüm göl genelinde homojen bir dağılım göstermiştir (Şekil 13). Klorofil-a

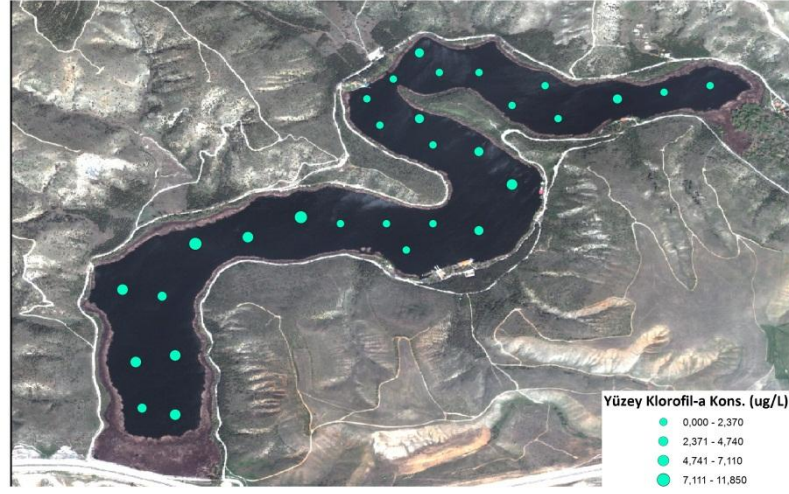
parametresinde görülen homojen dağılım aynı zamanda askıda katı madde konsantrasyonlarındaki dağılımla benzerlik göstermektedir.



Şekil 11: Su yüzeyinde klorofil-a konsantrasyonu dağılımı (29 Eylül 2009)



Şekil 12: Su yüzeyinde klorofil-a konsantrasyonu dağılımı (2 Mayıs 2010)



Şekil 13: Su yüzeyinde klorofil-a konsantrasyonu dağılımı (2 Ağustos 2010)

Uydu görüntüsü verileriyle saha ve laboratuvar çalışmaları sonucunda elde edilen verilerin istatistiksel özetleri Saha 1, Saha 2 ve Saha 3 için sırasıyla Tablo 8, Tablo 9 ve Tablo 10'da verilmiştir. Bu tablolardaki değerler (minimum, maksimum, ortalama, standart sapma ve dağılım katsayısı) XLStat programı yardımıyla elde edilmiştir. Tablo 8'deki değerlere bakıldığında bazı parametrelerde (klorofil-a, nem ve FAR oranı) diğer parametrelere göre daha fazla dağılım görülmüştür. Bu parametreler için dağılım katsayısı 0,4'ten daha fazladır. Buna rağmen tüm parametreler için dağılım katsayısı 1,0'den küçük olarak hesaplanmıştır. Bu da su kalitesi parametrelerinin mekansal değerleri arasında çok yüksek miktarda değişimin olmadığına işaret etmektedir. Korelasyon analizi, uydu görüntüsündeki bantlara ait reflektans değerleri arasında beklenildiği gibi %95'lik güvenilirlikte yüksek bir ilişki ( $r > 0,7$ ) göstermektedir. Buna ek olarak klorofil-a ve diğer parametreler arasında yüksek bir ilişkiye rastlanmamıştır. Klorofil-a ile en yüksek ilişki yüzey sıcaklığı ( $r=0,42$ ), çözünmüş oksijen ( $r=0,41$ ), pH ( $r=0,45$ ) ve derinlik ( $r=0,56$ ) ile görülmüştür. Bu sonuçlar, regrasyon modelinde bu parametrelerin klorofil-a konsantrasyonunu belirlemede çok belirgin bir etki göstermeyeceğine ve bu yüzden reflektans değerlerinin etkisini maskeleyeyeceğine işaret etmektedir ki bu da bu çalışmada istenen bir özelliktir.

Tablo 8: Saha 1 verilerinin istatistiki analizi

Değişken	n	Minimum	Maksimum	Ortalama	Std. Sapma	Dağılım Katsayısı
R <sub>YakınKızılÖtesi</sub> (-)	25	0,010	0,022	0,017	0,004	0,24
R <sub>Kırmızı</sub> (-)	25	0,030	0,052	0,042	0,006	0,14
R <sub>Yeşil</sub> (-)	25	0,070	0,099	0,083	0,010	0,12
R <sub>Mavi</sub> (-)	25	0,025	0,046	0,037	0,006	0,16
Ortalama Sıcaklık (°C)	25	17,773	20,383	19,161	0,844	0,00
Yüzey Sıcaklık (°C)	25	17,138	21,353	19,348	0,965	0,00
Yüz. İletkenlik (ms/cm)	25	1,733	3,336	3,226	0,347	0,00
Ortalama Çözünmüş Oksijen (mg/L)	25	5,439	9,638	7,220	1,106	0,15
Yüzey Çözünmüş Oksijen (mg/L)	25	2,868	12,073	8,362	2,347	0,28
Ortalama pH (-)	25	8,928	9,039	8,983	0,031	0,00
Yüzey pH (-)	25	8,960	9,250	9,062	0,063	0,00
Ortalama Bulanıklık (NTU)	25	4,046	17,757	9,958	3,077	0,31
Yüzey Bulanıklık (NTU)	25	3,775	11,000	7,337	1,910	0,26
Klorofil-a (0) (µg/L)	25	9,477	189,547	78,946	49,928	0,63
Askıda Katı Madde (0) (mg/L)	25	7,333	22,667	13,560	3,752	0,28
Askıda Katı Madde (0,5) (mg/L)	25	7,333	24,667	13,093	4,074	0,31
Secchi Derinliği (m)	25	0,470	0,650	0,562	0,055	0,10
Su Derinliği (m)	25	1,780	4,150	3,360	0,570	0,00
Rüzgar Hızı (m/s)	25	0,040	3,140	1,357	0,651	0,00
Nem (%)	25	21,600	79,200	43,610	18,807	0,43
FAR 0/0,5 (-)	25	5,716	64,699	15,749	13,549	0,86

Tablo 9: Saha 2 verilerinin istatistiki analizi

Değişken	n	Minimum	Maksimum	Ortalama	Std, Sapma	Dağılım Katsayısı
R <sub>YakınKızılÖtesi</sub> (-)	30	0,001	0,036	0,017	0,007	0,41
R <sub>Kırmızı</sub> (-)	30	0,007	0,033	0,018	0,006	0,33
R <sub>Yeşil</sub> (-)	30	0,004	0,032	0,015	0,006	0,40
R <sub>Mavi</sub> (-)	30	0,002	0,023	0,013	0,006	0,46
Ortalama Sıcaklık (°C)	30	14,161	16,650	15,121	0,665	0,00
Yüzey Sıcaklık (°C)	30	16,050	19,523	18,117	0,827	0,00
Yüz, İletkenlik (ms/cm)	30	2,872	3,140	3,026	0,048	0,00
Ortalama Çözünmüş Oksijen (mg/L)	30	10,702	14,011	12,503	0,904	0,00
Yüzey Çözünmüş Oksijen (mg/L)	30	12,148	16,298	14,172	1,195	0,08
Ortalama pH (-)	30	8,225	8,611	8,532	0,074	0,00
Yüzey pH (-)	30	8,298	8,735	8,645	0,077	0,00
Ortalama Bulanıklık (NTU)	30	0,894	5,694	2,015	1,090	0,54
Yüzey Bulanıklık (NTU)	30	0,650	5,675	1,363	0,852	0,00
Klorofil-a (0) (µg/L)	30	16,585	92,404	43,438	16,998	0,39
Askıda Katı Madde (0) (mg/L)	30	6,000	14,000	11,317	1,812	0,16
Askıda Katı Madde (0,5) (mg/L)	30	5,000	15,000	11,467	2,474	0,22
Secchi Derinliği (m)	30	0,500	0,700	0,602	0,053	0,09
Su Derinliği (m)	30	2,750	5,700	4,717	0,689	0,00
Rüzgar Hızı (m/s)	30	0,000	4,200	1,620	0,965	0,00
Nem (%)	30	11,300	25,400	18,387	3,344	0,18
FAR 0/0,5 (-)	30	3,449	9,713	5,049	1,407	0,28

Tablo 10: Saha 3 verilerinin istatistiki analizi

Değişken	n	Minimum	Maksimum	Ortalama	Std, Sapma	Dağılım Katsayısı
R <sub>YakınKızılÖtesi</sub> (-)	30	0,011	0,133	0,028	0,027	0,96
R <sub>Kırmızı</sub> (-)	30	0,023	0,236	0,050	0,048	0,96
R <sub>Yeşil</sub> (-)	30	0,010	0,143	0,031	0,030	0,97
R <sub>Mavi</sub> (-)	30	0,025	0,145	0,044	0,026	0,59
Ortalama Sıcaklık (°C)	30	20,892	25,345	22,762	1,256	0,06
Yüzey Sıcaklık (°C)	30	26,660	28,843	27,753	0,684	0,00
Yüz, İletkenlik (ms/cm)	30	2,219	3,477	3,377	0,220	0,00
Ortalama Çözünmüş Oksijen (mg/L)	30	2,606	8,537	5,231	1,527	0,29
Yüzey Çözünmüş Oksijen (mg/L)	30	7,570	14,218	10,842	1,897	0,17
Ortalama pH (-)	30	8,145	10,011	8,363	0,320	0,00
Yüzey pH (-)	30	8,440	8,758	8,559	0,088	0,01
Ortalama Bulanıklık (NTU)	30	6,649	33,842	12,083	5,256	0,43
Yüzey Bulanıklık (NTU)	30	0,675	4,600	1,493	0,771	0,00
Klorofil-a (0) (µg/L)	30	0,000	11,847	3,949	3,069	0,78
Askıda Katı Madde (0) (mg/L)	30	1,000	3,000	1,920	0,560	0,00
Askıda Katı Madde (0,5) (mg/L)	30	1,200	3,000	1,880	0,381	0,00
Secchi Derinliği (m)	30	1,200	2,500	1,825	0,356	0,00
Su Derinliği (m)	30	3,000	5,750	4,748	0,758	0,00
Rüzgar Hızı (m/s)	30	0,000	3,800	1,903	0,940	0,00
Nem (%)	30	11,900	57,400	25,147	12,939	0,51
FAR 0/0,5 (-)	30	3,113	27,139	5,819	4,874	0,84

Saha 2 için elde edilen veriler incelendiğinde (Tablo 9) ve değişkenlerin değerleri ilk saha ile karşılaştırıldığında, Eymir Gölü'ndeki ani su artışının göl üzerinde önemli bir etki yarattığı görülmektedir. Ortalama su derinliğine bakılacak olursa ilk saha çalışmasında 3,4 m olan su derinliği, Saha 2'de 4,7 m'ye yükselmiştir. Saha 2 veri setinde klorofil-a ve bulanıklık parametreleri, diğer parametrelere kıyasla daha yüksek bir dağılım göstermiştir. Ayrıca Saha

1 sonuçlarında olduğu gibi tüm parametreler için dağılım katsayıları 1,0'den küçük olarak hesaplanmıştır. %95 güvenirlilikte korelasyon matrisi incelendiğinde bantlar arasında pozitif yönde yüksek ilişki görülmüştür. Klorofil-a ve diğer parametreler arasında önemli bir ilişki bulunmamasına rağmen en yüksek ilişki ortalama çözünmüş oksijen konsantrasyonu ( $r=-0,25$ ), 0.5 m derinlikteki AKM ( $r=-0,23$ ) ve nem ( $r=-0,41$ ) ile görülmüştür.

Tablo 10'da Saha 3 için verilen değerler yaz koşullarını temsil etmektedir. Üç saha çalışması incelendiğinde, Saha 3 en düşük çözünmüş oksijen ve klorofil-a konsantrasyonlarına sahiptir. Ayrıca, su sıcaklığı ve Secchi disk derinliği de diğer çalışmalara kıyasla en yüksek değerlere sahiptirler. Üçüncü saha çalışması için ortalama bulanıklık, klorofil-a, nem ve FAR oranları diğer parametrelere kıyasla daha yüksek mekansal dağılıma sahiptirler. Korelasyon analizi %95 güvenirlilikte klorofil-a ve diğer parametreler arasında önemli bir ilişki bulunmadığını göstermektedir. Klorofil-a ile en yüksek korelasyon nem ( $r=0,50$ ), yüzey sıcaklığı ( $r=-0,59$ ), yüzey bulanıklığı ( $r=0,56$ ), Secchi disk derinliği ( $r=-0,59$ ) ve FAR oranı ( $r=0,51$ ) arasında görülmektedir.

#### **4.2. Klorofil-a ve Reflektans Değerleri Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi ve Literatürdeki Modellerin Uygulanması**

Saha örneklerindeki klorofil-a konsantrasyonları ile reflektans değerleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Reflektans değerleri literatürdeki örneklerine benzer şekilde üstsel, logaritmik ve farklı oranlar şeklinde ifade edilmiş, bu değerler ile klorofil-a konsantrasyonları arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Aşağıda verilen Tablo 11 ve Tablo 12 ilgili sonuçları göstermektedir. Tablolarda görülebileceği gibi klorofil-a ile bant reflektans değerleri arasındaki ilişkiler güçlü değildir. Tablo 12'deki bant oranlarının kullanılması da sonuçları önemli ölçüde iyileştirmemiştir. Bu sonuçlar, gölde reflektans değerlerini etkileyen diğer faktörlerin olabileceğine işaret etmektedir. Aslında bu da sığ göllerde sıklıkla rastlanan ve uzaktan algılanmış verinin klorofil-a tayinindeki performansını düşüren nedenlerden biridir. Bununla birlikte, görüntünün çekilmesi ve saha çalışmaları arasındaki zaman farkı da sonuçları etkilemiş olabilir. Ayrıca her ne kadar güçlü ilişki bulunamamış olsa da, farklı saha koşulları için elde edilen değerlerin farklı olduğu da görülmektedir. Bu göldeki koşulların çok büyük değişiklik göstermesinden kaynaklanmaktadır. Öyleki, Saha 1, Saha 2 ve Saha 3 için ortalama su derinlikleri sırasıyla 3,36 m, 4,72 m ve 4,75 m'dir. Ortalama AKM

konsantrasyonları sırasıyla 13, 11 ve 2 mg/L, Secchi disk derinliği ise sırasıyla 0,56, 0,60 ve 1,83 m olarak ölçülmüştür. Ortalama klorofil-a konsantrasyonları ise 78,95, 43,44 ve 3,95 µg/L olarak belirlenmiştir. Ortalama klorofil-a konsantrasyonlarındaki düşüş, klorofil-a ve reflektans değerleri arasındaki ilişkinin daha düşük seviyelere inmesine sebep olmuştur.

Tablo 11: Klorofil-a konsantrasyonları ile farklı ifade edilmiş bant reflektans değerleri arasındaki korelasyon katsayıları (r)

Reflektans ifadesi	Saha	Yakın Kırmızı Ötesi Bant	Kırmızı Bant	Yeşil Bant	Mavi Bant
Reflektans	Saha 1	0,2150	0,0035	0,1476	-0,0718
	Saha 2	-0,1169	-0,0635	0,1166	0,0004
	Saha 3	0,1780	0,1632	0,1737	0,1971
1/reflektans	Saha 1	-0,2129	-0,0260	-0,1782	0,0749
	Saha 2	0,0472	0,0224	-0,1976	0,0244
	Saha 3	-0,0420	-0,1235	-0,1402	-0,1794
$e^{\text{reflektans}}$	Saha 1	0,2150	0,0029	0,1463	-0,0718
	Saha 2	-0,1166	-0,0637	0,1159	0,0005
	Saha 3	0,1810	0,1621	0,1763	0,1985
$1/e^{\text{reflektans}}$	Saha 1	-0,2150	-0,0040	-0,1488	0,0718
	Saha 2	0,1171	0,0633	-0,1173	-0,0003
	Saha 3	-0,1749	-0,1639	-0,1710	-0,1957
$\ln(\text{reflektans})$	Saha 1	0,2136	0,0159	0,1630	-0,0730
	Saha 2	-0,0978	-0,0460	0,1627	-0,0169
	Saha 3	0,1041	0,1474	0,1418	0,1832
$1/\ln(\text{reflektans})$	Saha 1	-0,2144	-0,0081	-0,1507	0,0723
	Saha 2	0,1118	0,0553	-0,1417	0,0091
	Saha 3	-0,1533	-0,1593	-0,1643	-0,1948



Tablo 12: Bant oranlarının klorofil-a konsantrasyonları ile ilişkisi (r)

Saha	B1/B2	B1/B3	B1/B4	B2/B1	B2/B3	B2/B4
Saha 1	-0,3632	-0,1322	-0,3288	0,3545	0,3427	-0,1899
Saha 2	-0,2222	0,0681	0,0441	0,1430	0,3549	0,1321
Saha 3	-0,0727	-0,0088	0,0781	0,0695	0,0459	0,1408
Saha	B3/B1	B3/B2	B3/B4	B4/B1	B4/B2	B4/B3
Saha 1	0,1385	-0,3542	-0,3040	0,3369	0,1833	0,3179
Saha 2	0,0368	-0,3114	0,0481	-0,1324	-0,3381	-0,1442
Saha 3	0,0495	0,0325	0,0505	0,0334	-0,1578	-0,0274

B1: mavi bant, B2: yeşil bant, B3: kırmızı bant, B4: yakın kızıl ötesi bant

Bu proje kapsamında yapılacak olan modelleme çalışmalarına geçilmeden önce, literatürde sığ göller için verilmiş olan ve bu çalışmada kullanılan bant aralıkları için uygun modeller kullanılarak, Saha 1, Saha 2 ve Saha 3'deki klorofil-a konsantrasyonlarının tahmin edilme performansları test edilmiştir. İlgili denklemler, referanslar ve modellerin Eymir Gölü için performansları Tablo 13'te özetlenmiştir. İlgili modellerin bu çalışmadaki verilere uygulanmasında denklemin yapısı sabit kalmış olup, katsayılar Microsoft Excel Solver kullanılarak optimizasyon yoluyla tekrar hesaplanmıştır. Böylece literatürdeki modeller Eymir veri setine en uygun hale getirilmiştir. Ancak bu durumda bile  $R^2$  %95'lik güvenilirlik sınırı içinde 0,3 değerini aşmamaktadır. En iyi sonuç Zhang (2005) tarafından önerilen denklem ile elde edilmiştir. Tablo 13'teki sonuçlara bakılacak olursa, Saha 1 için elde edilen değerlerin Saha 2 ve Saha 3'e göre daha iyidir. Bu da Saha 1'deki klorofil-a konsantrasyonlarının daha yüksek olması ile açıklanabilir.

Tablo 13: Literatürdeki modellerin Eymir Gölü'ne uygulanması (OKH: ortalama karesel hata)

Denklem	Saha 1		Saha 2		Saha 3		Referans
	R <sup>2</sup>	OKH	R <sup>2</sup>	OKH	R <sup>2</sup>	OKH	
$Klorofil - a = a - b * (Bant 2) - c * [Bant 3/Bant1]^d$	0,065	47,31	0,032	16,44	0,101	2,86	Baruah v.d., 2001
$Klorofil - a = a^{C_0+C_1*\log\frac{R(448)}{R(551)}+C_2\left[\log\frac{R(448)}{R(551)}\right]^2+C_3*\left[\log\frac{R(448)}{R(551)}\right]^3}$	0,317	40,43	0,051	16,28	0,112	2,84	Cauwer v.d., 2004
$Klorofil - a = a * \left(\frac{R(520) + R(565)}{R(490)}\right)^b$	0,213	43,42	0,028	16,47	0,103	2,86	Tanaka v.d., 2000
$Klorofil - a = a - b * R(488) - c * R(748) - d \left(\frac{R(667)}{R(551)}\right) + e \left(\frac{R(678)}{R(531)}\right)$	0,296	41,04	0,150	15,41	0,196	2,71	Zhang, 2005
$\ln(Klorofil - a) = a - b * (Bant 1/Bant 3)$	0,042	47,88	0,005	16,67	0,003	3,01	Allan v.d., 2007
$Klorofil - a = k * (Bant 3 * Bant 4) + b$	0,007	48,76	0,007	16,71	0,000	3,02	Guan v.d., 2009
$Klorofil - a = k * (Bant 3 * Bant 4/\ln Bant 1) + b$	0,014	48,59	0,005	16,71	0,003	3,01	
$Klorofil - a = k * (Bant 3 * Bant 4/\ln(Bant 1 + Bant 2)) + b$	0,010	48,66	0,004	16,71	0,001	3,02	
$Klorofil - a = k * (Bant 3 */Bant 4) + b$	0,030	48,18	0,002	16,69	0,027	2,98	
$Klorofil - a = k * ((Bant 4 - Bant 3)/(Bant 4 + Bant 3)) + b$	0,001	48,28	0,013	16,60	0,044	2,95	
$Klorofil - a = k * (Bant 4/Bant 1) + b$	0,078	46,98	0,018	16,57	0,087	2,88	
$Klorofil - a = k * (Bant 1/Bant 2) + b$	0,219	43,23	0,049	16,29	0,078	2,90	
$Klorofil - a = k * \ln(Bant 1/Bant 2) + b$	0,221	43,16	0,038	16,39	0,097	2,87	

Tüm sonuçlar için p değerleri 0.05'ten küçüktür.

### 4.3. TBA Sonuçları

Saha 1 için TBA 25 ölçüm noktası için uygulanmıştır. 5 ölçüm noktası, hatalı değerlerin varlığından dolayı elenmiştir. Bunun yanında aralarında yüksek bağıntı bulunan parametrelerin sadece birisi TBA ve modelleme çalışmalarında göz önünde bulundurulmuştur. Tablo 14'te görülebileceği gibi ilk sahada 6 temel bileşen sistemdeki değişimlerin %82'sini açıklamaktadır. Ancak, bu bileşenler altında yer alan tüm parametreler klorofil-a modellemesi için TBA'ya göre yeterli öneme sahip değildir. Önemli olan parametrelerin seçiminde faktör yükleri baz alınmıştır. Buna göre faktör yükleri 0,6'dan büyük olan parametreler önemli kabul edilmiş (Kline, 1994) ve modeldeki bağımsız parametreler olarak seçilmiştir (klorofil-a dışındaki parametreler). Seçilen parametrelerin listesi Saha 1 için Tablo 14'te verilmiştir. Aynı şekilde TBA sonuçları Saha 2 ve Saha 3 için sırasıyla Tablo 15 ve Tablo 16'da verilmiştir.

Tablo 14: Temel bileşenler ve yüksek faktör yüküne sahip parametreler (Saha 1)

Faktör no	1	2	3	4	5	6
Öz değer	6,904	4,038	2,125	1,538	1,401	1,137
Varyans %	32,877	19,230	10,117	7,325	6,673	5,413
Toplam varyans %	32,877	52,107	62,224	69,549	76,221	81,635
Parametreler	$R_{Yeşil}$	Su derinliği				
	Ortalama sıcaklık	Yüzey klorofil-a				
	$R_{Kırmızı}$	Rüzgar hızı				
	$R_{YKÖ}$	Ortalama bulanıklık				
	$R_{Mavi}$	Yüzey iletkenlik				
	Nem					
	Yüzey sıcaklık					
	AKM (0,5 m)					
	Ortalama pH					

Tablo 15: Temel bileşenler ve yüksek faktör yüküne sahip parametreler (Saha 2)

Faktör no	1	2	3	4	5	6	7
Öz değer	4,756	3,031	2,480	2,199	1,709	1,304	1,292
Varyans %	22,650	14,435	11,810	10,473	8,139	6,209	6,151
Toplam varyans%	22,650	37,085	48,895	59,368	67,506	73,715	79,866
Parametreler	R <sub>YKÖ</sub>	Yüzey çöz. oksijen	Ortalama pH	Ortalama sıcaklık	Yüzey klorofil-a		
	R <sub>Yeşil</sub>	Su derinliği	Yüzey pH		Nem		
	R <sub>Kırmızı</sub>	Ortalama bulanıklık					
	R <sub>Mavi</sub>						

Tablo 16: Temel bileşenler ve yüksek faktör yüküne sahip parametreler (Saha 3)

Faktör no	1	2	3	4	5	6
Öz değer	6,397	3,728	2,666	1,625	1,572	1,230
Varyans %	30,461	17,755	12,695	7,736	7,487	5,859
Toplam Varyans %	30,461	48,216	60,911	68,647	76,133	81,922
Parametreler	Nem	FAR 0m/0,5m	Yüzey ÇO		Ortalama pH	Rüzgar Hızı
	Yüzey Bulanıklık	Yüzey İletkenlik	Yüzey pH			
	Ortalama ÇO					
	R <sub>Kırmızı</sub>					
	Yüzey Klorofil-a					
	R <sub>Mavi</sub>					
	R <sub>Yeşil</sub>					
	R <sub>YKÖ</sub>					
	Secchi Derin.					
	Yüz. Sıcaklığı					

İkinci saha çalışması için temel bileşenler incelendiğinde (Tablo 15), ilk 7 faktörün sistemdeki değişimin %80'ini açıklayabildiği görülmektedir. Ancak, 6. ve 7. temel bileşenlerde yüksek faktör yüküne sahip olan parametre yoktur. Saha 3 için gerçekleştirilen TBA, ilk 6 temel bileşenin sistemdeki değişimin %82'sini açıklayabildiğini göstermiştir (Tablo 16). Sahalar için elde edilen TBA sonuçları irdelendiğinde farklı sahalarda farklı parametrelerin daha önemli hale gelebildiği ancak reflektans değerlerinin tüm sahalarda ilk temel bileşen içinde yer aldığı sonucuna varılmıştır. Bu sonuçlardan sonra TBA tüm veriler için (Saha 1+ Saha 2+ Saha 3) de tekrarlanmıştır. Bu analizde her parametre için 85 adet veri kullanılmış olup analiz sonucunda ilk 5 faktörün sistemin %80'nin tanımladığı görülmüştür. Sonuçlar aşağıda yer alan tabloda verilmiştir. TBA'ya göre tüm veriler birlikte değerlendirildiğinde reflektans değerleri ilk temel bileşende yer almamaktadır. Bu, 3 farklı saha çalışmasındaki koşullarının çok farklı olmasından dolayı diğer parametrelerdeki değişimlerin de önemli hale gelmesinden kaynaklanmaktadır. Ancak, reflektans değerleri yine de önemli parametreler olarak diğer temel bileşenlerde ortaya çıkmaktadır.

Tablo 17: Temel bileşenler ve yüksek faktör yüküne sahip parametreler (bütün sahalardan toplam verileri)

Faktör no	1	2	3	4	5
Öz değer	7,067	5,533	1,888	1,336	1,001
Varyans %	33,650	26,348	8,988	6,363	4,769
Toplam varyans %	33,650	59,999	68,987	75,350	80,118
Parametreler	Yüzey Sıcaklığı	R <sub>Yeşil</sub>	R <sub>YKÖ</sub>	Yüzey pH	Rüzgar Hızı
	Secchi Derinliği	Yüzey Bulanıklık		Yüzey İletkenlik	
	Ortalama Sıcaklık	Nem			
	Yüzey Klorofil-a	R <sub>Mavi</sub>			
	Ortalama ÇO	Yüzey ÇO			
	AKM (0.5 m)	Su Derinliği			
	Yüzey AKM				

#### 4.4. Klorofil'a nın reflektans girdileri ve hibrid girdilerle modellenmesi

Modelleme çalışmaları daha önce de belirtildiği gibi sadece reflektans değerleri ve hibrid girdiler olmak üzere iki farklı girdi durumu için gerçekleştirilmiştir. Saha 1, Saha 2, ve Saha 3 için ayrı ayrı çoklu doğrusal regrasyon ve YSA modelleri oluşturulmuş, bu modellerin diğer sahalar için performansları test edilmiştir. Ayrıca modeller tüm saha verilerinin toplandığı birleşik veri seti için de geliştirilmiştir. Modellerin bağımsız değişkenleri TBA analizi doğrultusunda seçilmiştir. Ancak, TBA'da önemli parametre olarak görünmelerine rağmen XLStat'taki maksimum bağımsız değişken kısıtına ve ortalama 5 saatlik saha ölçümleri sırasında zamana bağlı olarak anlık değişebilen bazı parametreler elimine edilmiştir. Rüzgar hızı bunlara örnektir.

##### 4.4.1. Saha 1 için modeller

###### 4.4.1.1. Regrasyon modelleri

Saha 1 için farklı model girdileriyle elde edilen regrasyon modelleri hibrid girdiler için Denklem 5 (hibrid model), sadece reflektans değerleri girdisi için Denklem 6'da (reflektans modeli) verilmiştir.

$$\begin{aligned} \text{Klorofil} - a (\mu\text{g/L}) = & 669.1558 + 3918.4151 * \text{Yakın Kızıl Ötesi Yansıma} - 14692.3873 * \\ & \text{Kırmızı Yansıma} + 11052.6384 * \text{Yeşil Yansıma} - 11290.8232 * \text{Mavi Yansıma} - 30.9592 * \\ & \text{Ortalama Su Sıcaklığı} + 45.0155 * \text{Yüzey Su Sıcaklığı} - 109.9762 * \text{Ortalama pH} + 3.2581 * \\ & \text{Ortalama Bulanıklık} + 3.5664 * 0.5 \text{ m Derinlikte AKM} + 15.2970 * \text{Su Derinliği} + 0.9482 * \\ & \text{Nem} \end{aligned} \quad (5)$$

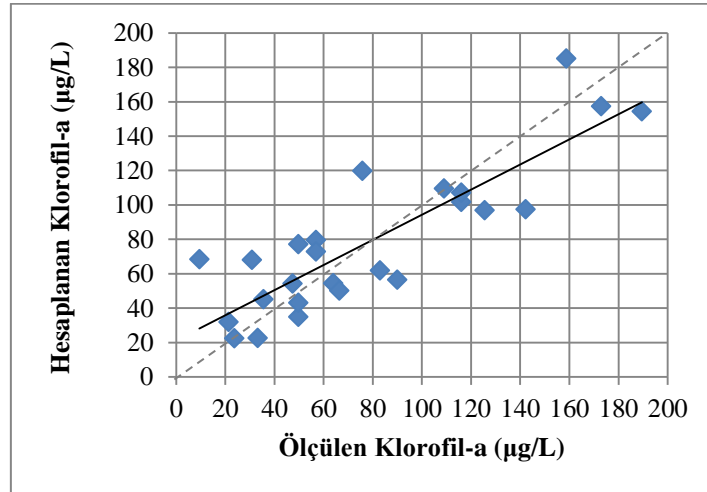
$$\begin{aligned} \text{Klorofil} - a - a (\mu\text{g/L}) = & 10.4385 + 205.0708 * \text{Yakın Kızılötesi Yansıma} - 11774.7265 * \\ & \text{Kırmızı Yansıma} + 11028.3898 * \text{Yeşil Yansıma} - 9617.8901 * \text{Mavi Yansıma} \end{aligned} \quad (6)$$

Yukarıdaki modeller ile elde edilen sonuçların gerçek ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması sonucunda elde edilen sonuçlar Tablo 18'de verilmiştir. Sonuçlardan da görülebileceği gibi hibrid model klorofil-a'nın modellemesinde daha iyi sonuç vermiştir. Hibrid model için hesaplanmış olan R<sup>2</sup> değeri 0,73'dür. Bu değer regrasyon modeli için elde edilen değerden önemli ölçüde yüksek olsa da, hala gelişmeye ihtiyaç göstermektedir. Her iki model için

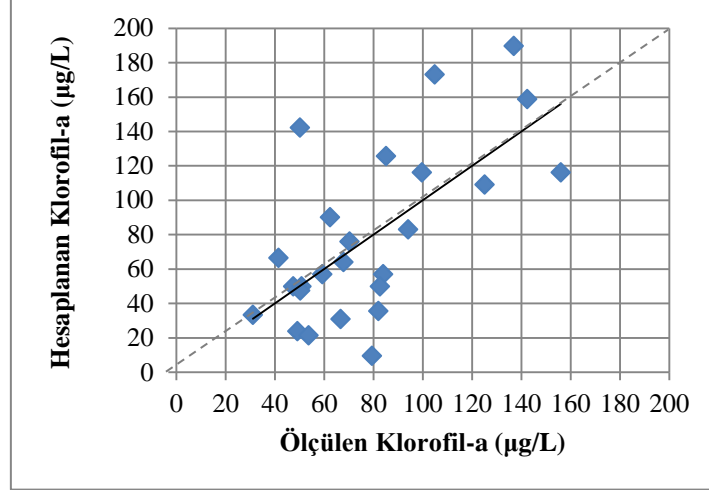
hesaplanan ve ölçülmüş olan klorofil-a konsantrasyonları Şekiller 14 ve 15'te gösterilmiştir. Denklemler 5 ve 6'daki tüm katsayılar (çarpanlar) için t değerleri hesaplanmış olup, t değerlerinin tümü için p değerlerinin 0,05'ten küçük olmadığı görülmüştür. Parametreler arasında bağıl ilişki olmadığından böyle bir durumun düşük sayıdaki veriden kaynaklandığı düşünülebilir. Buna rağmen TBA analizinde yüksek faktör yüküne sahip olan parametreler regrasyon modelinde değişken olarak kabul edilmiştir. Ancak, daha farklı parametre kombinasyonları ilerideki çalışmalarda incelenebilir.

Tablo 18: Saha 1: Farklı girdili regrasyon modellerinin karşılaştırılması

		Hibrid Model	Reflektans Modeli
Saha 1	Bağımsız Parametre Sayısı	11	4
	Ölçüm Sayısı	25	25
	Belirleme Katsayısı	0,731	0,443
	Korelasyon Katsayısı	0,885	0,666
	p-Değeri	1,595 E-30	2,705 E-82
	Ortalama Karesel Hata	25,4	36,5



Şekil 14: Hibrid regrasyon modeliyle elde edilen ve ölçülmüş olan klorofil-a konsantrasyonlarının karşılaştırılması (Saha 1)



Şekil 15: Reflektans regrasyon modeliyle elde edilen ve ölçülmüş olan klorofil-a konsantrasyonlarının karşılaştırılması (Saha 1)

Saha 1 için geliştirilen regrasyon modelleri Saha 2 ve Saha 3'e uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 19'da özetlenmiştir. Görülebileceği gibi Saha 1 için elde edilen modeller, Saha 2 ve Saha 3 için geçersiz durumdadır. Bu durum her üç saha çalışmasının yapılmış olduğu zamanlarda 2010 yılına özel olarak oluşan çok farklı koşulların bulunmasından kaynaklanabilir. Bu farklı koşullar reflektans değerlerine etki eden diğer faktörlerde de önemli değişikliklere sebep olmuştur. Daha önce de belirtildiği gibi su derinliği, Secchi derinliği, bulanıklık ve ortalama klorofil-a değerlerinde üç saha karşılaştırıldığında önemli farklar görülmektedir. İlk saha çalışmasında yaklaşık 79 µg/L olarak ölçülen ortalama klorofil-a konsantrasyonu, ikinci ve üçüncü saha çalışmalarında yaklaşık 43 ve 4 µg/L'ye düşmüştür. Bunun yanında, besin dengesi ve su derinliğine bağlı olarak alg türlerinde de değişimler olması söz konusudur. Bu çalışmada gölde bu tür bir araştırma yapılmamıştır. Her üç saha için gölde farklı dengeler olduğundan farklı değişkenler TBA analizinde de görülebileceği gibi etkili olmuştur. Bu nedenlerle elde edilen modeller kendi koşulları içinde geçerli olmaktadır. Dolayısıyla her üç saha çok farklı durumları içerdiğinden 2010 yılındaki verilerle tüm koşullarda kabul edilebilir performanslar elde edilmesi beklenmemektedir.



Tablo 19: Saha 1 için elde edilen regrasyon modellerinin Saha 2 ve Saha 3'e uygulanması

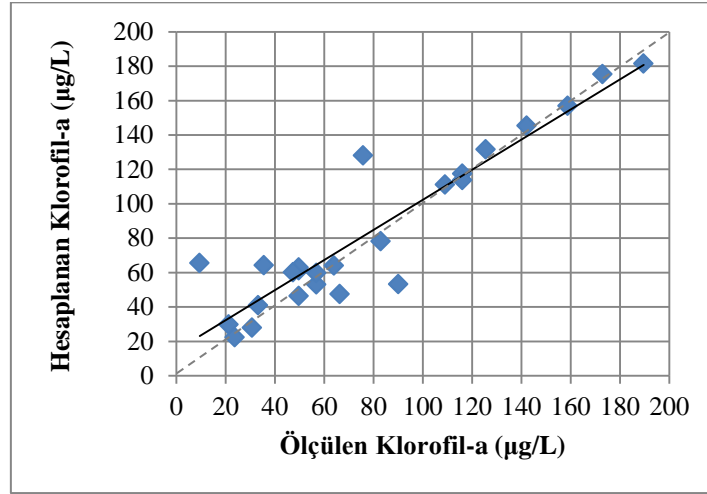
		Hibrid Model	Reflektans modeli
Saha 2	Bağımsız Parametre Sayısı	11	4
	Ölçüm Sayısı	30	30
	Belirleme Katsayısı	0,001	0,037
	Korelasyon Katsayısı	0,038	0,193
	p-Değeri	N/A	N/A
	Ortalama Karesel Hata	687	213
Saha 3	Bağımsız Parametre Sayısı	11	4
	Ölçüm Sayısı	30	30
	Belirleme Katsayısı	0,036	0,025
	İlişki Katsayısı	-0,189	-0,159
	p-Değeri	N/A	N/A
	Ortalama Karesel Hata	1230	839

#### 4.4.1.2. YSA modeli

Saha 1 için hibrid girdi kullanılarak oluşturulan en iyi YSA modelinde 2 saklı katman bulunup, her katmanda 7 adet nöron bulunmaktadır. Geri besleme algoritmasında en iyi sonuç esnek geri besleme algoritması ile elde edilmiştir. Model sonuçları Tablo 20'de, klorofil-a tahmin ve ölçüm sonuçlarının karşılaştırması ise Şekil 16'da verilmiştir. Görülebileceği gibi YSA'nın tahmin performansı regrasyon modeline göre daha iyidir. p değerleri 0,05'ten küçüktür. Bu nedenle YSA model sonuçlarının istatistiki olarak geçerli olduğu söylenebilir. Hibrid girdili modeller ortalama karesel hatalar bazında karşılaştırıldığında, YSA ile elde edilen hatanın doğrusal regrasyona göre %25 daha düşük olduğu sonucuna varılmıştır. Son olarak f değerleri incelendiğinde, iki hibrid girdili model için de f değerlerinin 0,05'ten küçük olduğu görülmüştür. YSA ile elde edilen f değeri doğrusal regrasyon için olandan daha küçük olduğundan, YSA modelinin sistemi daha iyi tanımlayabildiği söylenebilir. Saha 1 için elde edilen YSA modelinin ikinci ve üçüncü sahalara uygulanması MATLAB programındaki limitasyonlardan dolayı mümkün olmamıştır.

Tablo 20: Saha 1: Hibrid girdili YSA modelinin sonuçları

	Hibrid Model				
	Tüm Veri	Öğrenme	Test	Doğrulama	
Saha 1	Bağımsız Parametre Sayısı	11			
	Ölçüm Sayısı	25	13	6	6
	Belirleme Katsayısı	0.857	0.990	0.731	0.729
	Korelasyon Katsayısı	0.926	0.995	0.855	0.854
	p-Değeri	2.750 E-16	6.710 E-01	1.660 E-08	1.160 E-14
	Ortalama Karesel Hata	18.711	6.246	20.575	31.973



Şekil 16: Hibrid girdili YSA modeli tahminleri ile ölçülmüş klorofil-a konsantrasyonlarının karşılaştırılması (Saha 1)

#### 4.4.2. Saha 2 için Modeller

##### 4.4.2.1. Regrasyon modelleri

Saha 2 için elde edilen hibrid girdili ve sadece reflektans değerleri girdili doğrusal regrasyon modelleri sırasıyla Denklem 7 ve Denklem 8'de verilmiştir.

$$\begin{aligned} \text{Klorofil} - a (\mu\text{g}/\text{L}) = & 234.6159 - 2171.0666 * \text{Yakın Kızıl Ötesi Yansıma} - 1528.1382 * \\ & \text{Kırmızı Yansıma} + 3311.7563 * \text{Yeşil Yansıma} + 436.4498 * \text{Mavi Yansıma} - 7.1966 * \\ & \text{Ortalama Sıcaklık} - 6.9197 * \text{Yüzey Çözünmüş Oksijen Konsantrasyonu} - 81.7467 * \\ & \text{Ortalama pH} + 95.3195 * \text{Yüzey pH} - 3.7155 * \text{Ortalama Bulanıklık} - 6.5683 * \\ & \text{Su Derinliği} - 3.4352 * \text{Nem} \end{aligned}$$

(7)

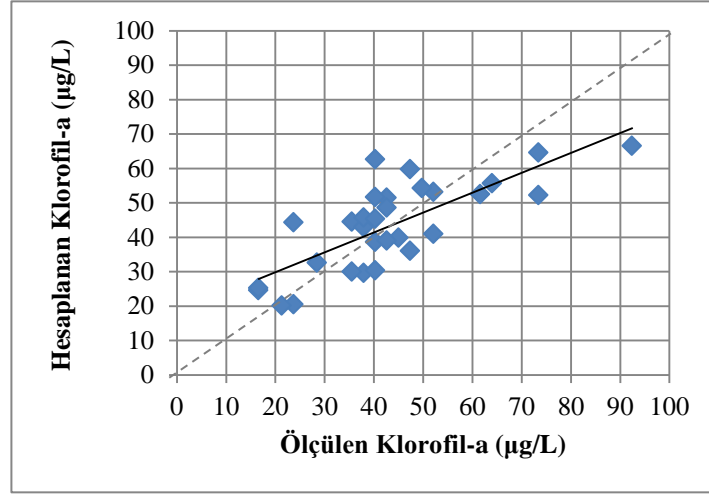
$$\begin{aligned} \text{Klorofil} - a (\mu\text{g}/\text{L}) = & 51.6594 - 1235.8235 * \text{Yakın Kızıl Ötesi Yansıma} - 1680.2041 * \\ & \text{Kırmızı Yansıma} + 3002.0316 * \text{Yeşil Yansıma} - 184.9398 * \text{Mavi Yansıma} \end{aligned}$$

(8)

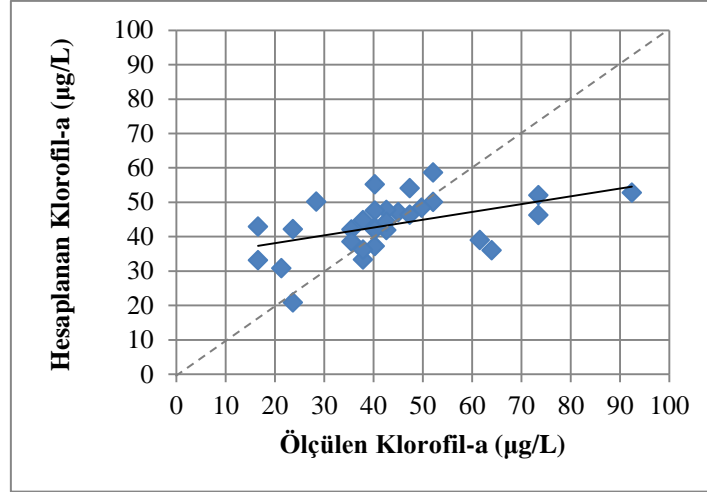
Yukarıda yer alan denklemlerin istatistiki sonuçları aşağıda yer alan tabloda verilmiştir. Tahmin edilen ve ölçülen klorofil-a konsantrasyonlarının karşılaştırması ise hibrid ve reflektans girdili modeller için sırasıyla Şekil 17 ve Şekil 18'de gösterilmiştir. Sonuçlardan da görülebileceği gibi hibrid girdi klorofil-a'nın modellemesinde daha iyi sonuç vermiştir. Ancak her iki girdi seti için elde edilen korelasyon katsayıları ve belirleme katsayıları Saha 1 için elde edilen değerlerden daha düşüktür. Bu noktada belirtmek gerekir ki ortalama klorofil-a konsantrasyonu ikinci sahada birinci sahadan küçüktür. Denklem 7 ve Denklem 8'deki katsayılar için t değerleri hesaplanmış olup, t değerleri için tüm p değerlerinin 0,05'ten küçük olmadığı görülmüştür. Bağımsız değişkenler arasında bağıl ilişki olmadığından bu durumun kullanılan değişken sayısına göre düşük olabilecek veri sayısından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ancak modellerde kullanılan bağımsız parametrelerin TBA analizi çerçevesinde belirlenmiş olmasından dolayı bu olumsuzluk gözardı edilmiştir.

Tablo 21: Saha 2: Farklı girdili regrasyon modellerinin karşılaştırılması

		Hibrid Model	Reflektans modeli
Saha 2	Bağımsız Parametre Sayısı	11	4
	Ölçüm Sayısı	30	30
	Belirleme Katsayısı	0,577	0,227
	Korelasyon Katsayısı	0,760	0,476
	p-Değeri	1,089 E-05	1,736 E-17
	Ortalama Karesel Hata	10,9	14,7



Şekil 17: Hibrid regrasyon modeliyle elde edilen ve ölçülmüş olan klorofil-a konsantrasyonlarının karşılaştırılması (Saha 2)



Şekil 18: Reflektans regrasyon modeliyle elde edilen ve ölçülmüş olan klorofil-a konsantrasyonlarının karşılaştırılması (Saha 2)

Saha 2 için elde edilen regrasyon modellerinin Saha 2 ve Saha 3 için performansları Tablo 22'de özetlenmiştir. Saha 1'de olduğu gibi Saha 1 için üretilen modeller diğer saha koşullarında geçersiz olmuştur. Bunların olası nedenleri daha önce Saha 1 için tartışıldığından Saha 2 için ayrıca tartışılmamıştır.

Tablo 22: Saha 2 için elde edilen regrasyon modellerinin Saha 1 ve Saha 3'e uygulanması

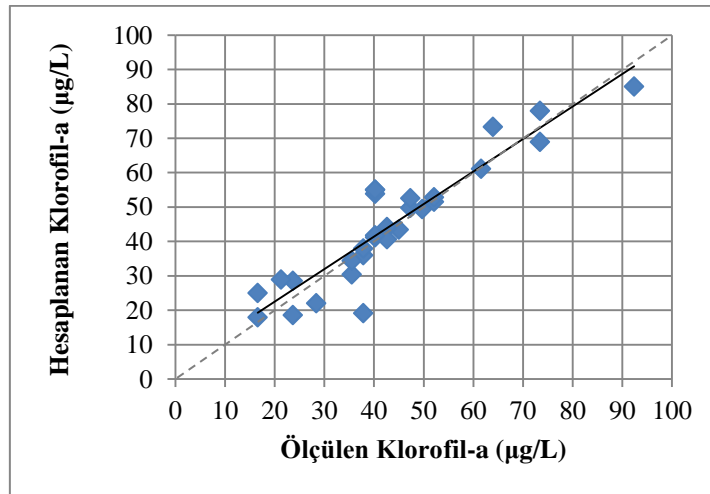
		Hibrid Model	Reflektans modeli
Saha 1	Bağımsız Parametre Sayısı	11	4
	Ölçüm Sayısı	25	25
	Belirleme Katsayısı	0,014	0,003
	Korelasyon Katsayısı	0,119	0,057
	p-Değeri	1,171 E-271	0
	Ortalama Karesel Hata	100	134
Saha 3	Bağımsız Parametre Sayısı	11	4
	Ölçüm Sayısı	30	30
	Belirleme Katsayısı	0,226	0,005
	Korelasyon Katsayısı	-0,475	-0,070
	p-Değeri	N/A	8,819 E-16
	Ortalama Karesel Hata	165	67,4

#### 4.4.2.2. YSA modeli

Hibrid girdi kullanılarak Saha 2 için de YSA modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan YSA modelinde 2 saklı katman bulunup her katmanda 7 nöron bulunmaktadır. Denenmiş olan geri besleme algoritmaları arasında en iyi sonuç Powell-Beale birleşik eğitim geri besleme algoritması ile elde edilmiştir. Model sonuçları Tablo 23 ve Şekil 19'da verilmiştir.

Tablo 23: Saha 2: Hibrid girdili YSA modelinin sonuçları

	Hibrid Model				
	Tüm Veri	Öğrenme	Test	Doğrulama	
Saha 2	Bağımsız Parametre Sayısı	11			
	Ölçüm Sayısı	30	15	8	7
	Belirleme Katsayısı	0,884	0,987	0,818	0,839
	Korelasyon Katsayısı	0,919	0,994	0,905	0,916
	p-Değeri	4,403 E-02	9,987 E-01	7,710 E-04	3,122 E-02
	Ortalama Karesel Hata	6,953	2,875	9,237	9,589



Şekil 19: Hibrid girdili YSA modeli tahminleri ile ölçülmüş klorofil-a konsantrasyonlarının karşılaştırılması (Saha 2)

Hesaplanan p değerleri incelendiğinde hepsinin 0,05'ten küçük olduğu görülmüştür. Bu nedenle model sonuçlarının istatistiki olarak geçerli olduğu söylenebilmektedir. Ortalama karesel hatalar incelendiğinde ise YSA ile elde edilen hatanın doğrusal regrasyona göre %37 daha düşük olduğu söylenebilir. f değerleri incelendiğinde, f değerlerinin 0,05'ten küçük

olduğu ve YSA için elde edilen f değerinin doğrusal regrasyon modeli için elde edilenden daha küçük olduğu görülmüştür. Bu da hibrid girdili YSA modelinin yine hibrid girdili regrasyon modelinden daha iyi şekilde klorofil-a'yı modelleyebildiğini göstermektedir.

#### **4.4.3. Saha 3 için Modeller**

##### **4.4.3.1. Regrasyon modelleri**

Saha 3 için elde edilen hibrid girdili ve sadece reflektans değeri girdili regrasyon modelleri sırasıyla Denklem 9 ve Denklem 10'da verilmiştir.

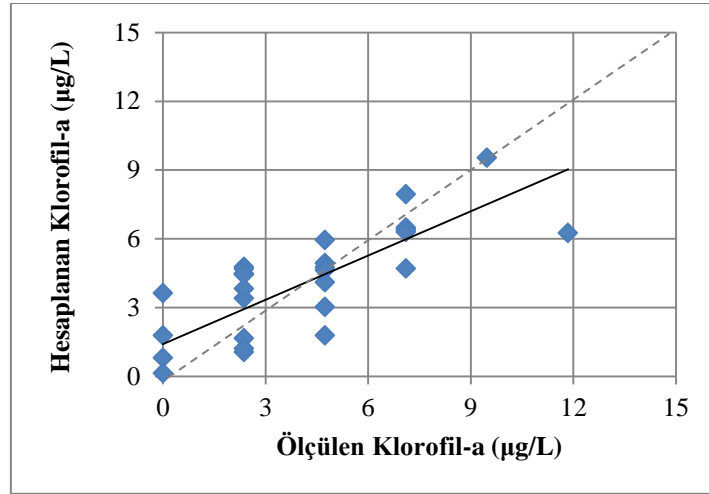
$$\begin{aligned} \text{Klorofil} - a \text{ } (\mu\text{g/L}) = & 78.2098 + 56.5244 * \text{Yakın Kızıl Ötesi Yansıma} - 8.0619 * \\ & \text{Kırmızı Yansıma} - 171.6369 * \text{Yeşil Yansıma} + 157.3755 * \text{Mavi Yansıma} - 2.6602 * \\ & \text{Yüzey Su Sıcaklığı} + 0.4944 * \text{Yüzey Çözünmüş Oksijen Konsantrasyonu} - 0.7716 * \\ & \text{Yüzey pH} - 0.1713 * \text{Yüzey Bulanıklık} - 0.7028 * \text{Secchi Derinliği} - 0.0265 * \text{Nem} + \\ & 1.6043 * 10^{-2} * \text{FAR } 0\text{m}/0.5\text{m} \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \text{Klorofil} - a \text{ } (\mu\text{g/L}) = & 0.5904 + 11.3980 * \text{Yakın Kızıl Ötesi Yansıma} + 3.9362 * \text{Kırmızı Yansıma} - 132.4445 * \\ & \text{Yeşil Yansıma} + 158.2747 * \text{Mavi Yansıma} \end{aligned} \quad (10)$$

Tablo 24 ve Şekiller 20 ile 21, yukarıda verilen regrasyon modellerinin performanslarını özetlemektedir. Sonuçlardan görülebileceği gibi hibrid girdi, klorofil-a'nın modellenmesinde yine daha iyi sonuç vermiştir. Saha 3, farklı saha koşulları içinde en düşük klorofil-a konsantrasyonlarına sahip sahadır. Üçüncü saha çalışmasında klorofil-a konsantrasyonları sadece 6 farklı değer almıştır. Bu durum laboratuardaki spektrofotometrik ölçümlerin hassasiyetinden de kaynaklanmaktadır. Yapılan ölçümlerde soğurma değerleri 0,000 ve 0,005 arasında değişmiştir ve bu durum tekrarlayan klorofil-a konsantrasyonlarına yol açmıştır. Sadece reflektans değerlerini kullanarak oluşturulan doğrusal regrasyon modelinde çok düşük bir R<sup>2</sup> değeri elde edilmiştir. Buna ek olarak diğer parametrelerin eklenmesiyle oluşan hibrid modelde R<sup>2</sup> değerinin reflektans modeline göre önemli ölçüde arttığı görülmüştür. Yukarıda verilen modeller içinde yer alan katsayılar için t değerleri hesaplanmış olup, t değerleri veri azlığına bağlı olarak 0,05'ten büyük olmuştur.

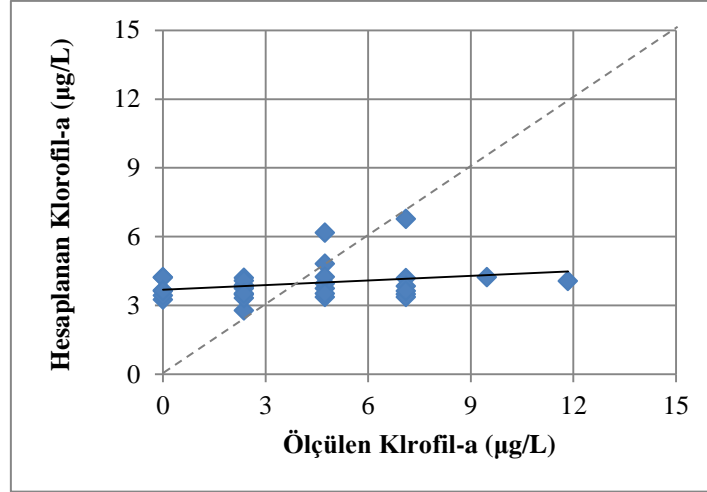
Tablo 24: Saha 3: Farklı girdili regresyon modellerinin karşılaştırılması

		Hibrid Model	Reflektans modeli
		Bağımsız Parametre Sayısı	11
Saha 3	Ölçüm Sayısı	30	30
	Belirleme Katsayısı	0,664	0,068
	Korelasyon Katsayısı	0,802	0,261
	p-Değeri	5,671 E-01	1,039 E-04
	Ortalama Karesel Hata	1,80	2,91



Şekil 20: Hibrid regresyon modeliyle elde edilen ve ölçülmüş olan klorofil-a konsantrasyonlarının karşılaştırılması (Saha 3)





Şekil 21: Reflektans regrasyon modeliyle elde edilen ve ölçülmüş olan klorofil-a konsantrasyonlarının karşılaştırılması (Saha 3)

Saha 3 için geliştirilen modeller birinci ve ikinci sahalara uygulanmıştır. Fakat Tablo 25'te görülebileceği gibi iyi sonuçlar elde edilmemiştir. Bu durum gölde görülen önemli değişikliklerle açıklanabilir.

Tablo 25: Saha 3 için elde edilen regrasyon modellerinin Saha 1 ve Saha 2'ye uygulanması

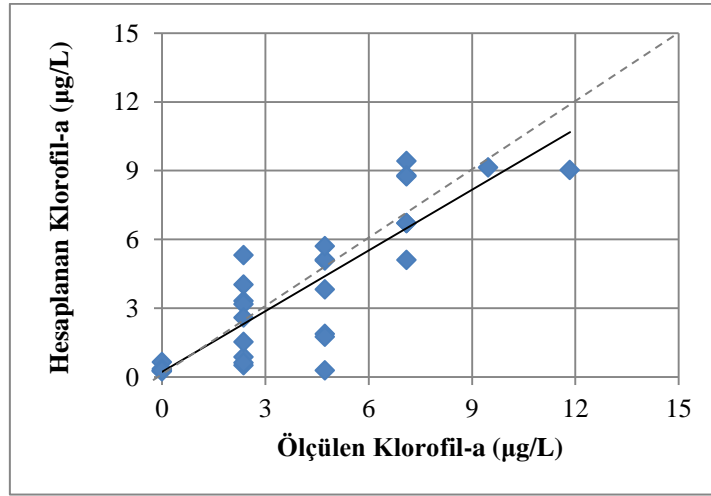
		Hibrid Model	Reflektans modeli
Saha 1	Bağımsız Parametre Sayısı	11	4
	Ölçüm Sayısı	25	25
	Belirleme Katsayısı	0,054	0,105
	Korelasyon Katsayısı	-0,231	-0,324
	p-Değeri	0	N/A
	Ortalama Karesel Hata	82,3	96,6
Saha 2	Bağımsız Parametre Sayısı	11	4
	Ölçüm Sayısı	30	30
	Belirleme Katsayısı	0,006	0,040
	Korelasyon Katsayısı	0,078	-0,199
	p-Değeri	2,002 E-84	0
	Ortalama Karesel Hata	21,7	45,8

#### 4.4.3.2. YSA modeli

Saha 3 için elde edilen YSA modeli 2 saklı katman içermektedir. Her saklı katmanda 8 nöron yer almaktadır. En iyi model performansı Fletcher-Powell birleşik geri besleme algoritması ile elde edilmiştir. Model sonuçları Tablo 26 ve Şekil 22'de verilmiştir.

Tablo 26: Saha 3: Hibrid girdili YSA modelinin sonuçları

		Hybrid Model			
		Tüm Veri	Öğrenme	Test	Doğrulama
Saha 3	Bağımsız Parametre Sayısı	11			
	Ölçüm Sayısı	30	15	7	8
	Belirleme Katsayısı	0,726	0,922	0,609	0,495
	Korelasyon Katsayısı	0,852	0,960	0,780	0,704
	p-Değeri	3,221 E-01	9,800 E-01	9,247 E-03	2,082 E-01
	Ortalama Karesel Hata	1,689	1,103	2,519	1,692



Şekil 22: Hibrid girdili YSA modeli tahminleri ile ölçülmüş klorofil-a konsantrasyonlarının karşılaştırılması (Saha 3)

p değeri incelendiğinde 0,00'a yakın bir değer elde edilmesi, model performansının rastlantısal olmadığını kuvvetli şekilde göstermektedir. Ortalama karesel hatalar incelendiğinde YSA modelindeki hata doğrusal regrasyona göre %6 daha düşük olmuştur. f değerleri incelendiğinde ise YSA için f değerinin regrasyon modeline kıyasla daha düşük

olduğu belirlenmiştir. Bu da YSA modelinin regresyon modeline göre daha performanslı olduğuna işaret etmektedir.

#### **4.4.4. Birleşik Veri Seti İçin Modeller**

##### **4.4.4.1. Regresyon Modelleri**

Farklı sahalarda için elde edilen regresyon modellerinin diğer sahalara uygulanmasında başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bunun üzerine tüm saha verileri birleştirilerek bir veri seti oluşturulmuş ve modeller tüm veriler kullanılarak oluşturulmuştur. Bağımsız değişkenler olarak ise TBA'dan elde edilen parametreler kullanılmıştır. Hibrid girdi ve sadece reflektans değerleri ile elde edilen modeller sırasıyla Denklem 11 ve Denklem 12'de verilmiştir.

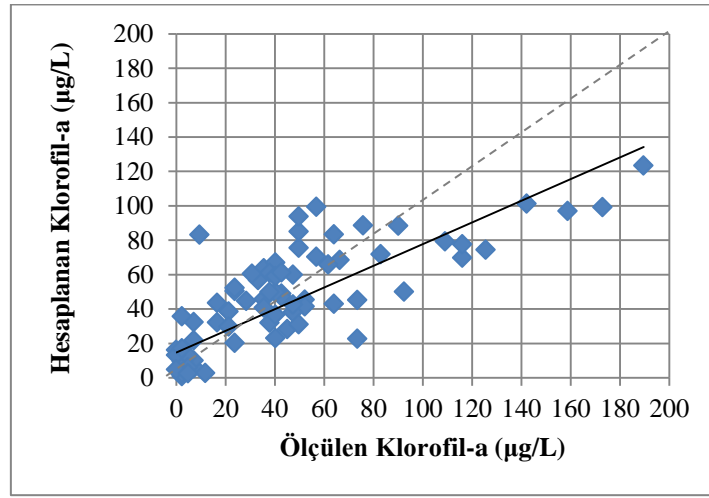
$$\begin{aligned} \text{Klorofil} - a (\mu\text{g/L}) = & 12.1139 + 523.9834 * \text{Yakın Kızıl Ötesi Yansıma} + 1758.3758 * \\ & \text{Yeşil Yansıma} - 2575.5769 * \text{Mavi Yansıma} - 0.6193 * \text{Yüzey Su Sıcaklığı} - 2.5167 * \\ & \text{Ortalama Çözünmüş Oksijen Konsantrasyonu} + 4.7740 * \\ & \text{Yüzey Çözünmüş Oksijen Konsantrasyonu} + 0.0553 * \text{Yüzey Bulanıklık} - 2.9515 * \\ & \text{Yüzey AKM} + 1.8951 * 0.5 \text{ m AKM} + 2.2507 * \text{Secchi Disk Derinliği} + 2.7703 * \text{Su Derinliği} \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \text{Klorofil} - a (\mu\text{g/L}) = & 40.6360 + 503.5351 * \text{Yakın Kızıl Ötesi Yansıma} + 3.4571 * \\ & \text{Kırmızı Yansıma} + 1252.0397 * \text{Yeşil Yansıma} - 2028.7702 * \text{Mavi Yansıma} \end{aligned} \quad (12)$$

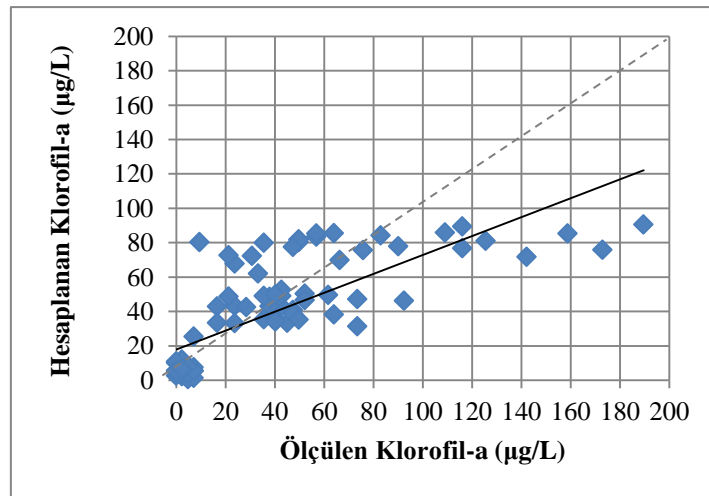
Yukarıda yer alan denklemlerin istatistiksel sonuçları aşağıda yer alan tabloda gösterilmiştir. Model performansları ayrıca Şekiller 23 ve 24'te gösterilmiştir. Sonuçlardan görülebileceği gibi hibrid girdili regresyon modeli yine sadece reflektans değerlerinin kullanıldığı modele göre daha iyi sonuç vermiştir. Denklemler 11 ve 12 ile verilen modeller Saha 1, Saha 2 ve Saha 3'e uygulanmıştır. Sonuçlar Tablo 28'de verilmiştir. Her iki model içinde en iyi sonuç Saha 1 için elde edilmiştir. Bu saha klorofil-a değerlerinin en yüksek olduğu sahadır. Bu da uzaktan algılanmış verilerin klorofil-a değerlerinin yüksek olduğu durumlarda sistemi daha iyi modelleyebildiğine işaret etmektedir. Düşük konsantrasyonlarda ise reflektans diğer etkilere bağlı olarak değişmekte, bu yüzden klorofil-a'nın belirlenmesinde sorunlar ortaya çıkmaktadır.

Tablo 27: Birleşik veri seti için farklı girdili regrasyon modellerinin karşılaştırılması

Birleşik veri seti		Hibrid Model	Reflektans modeli
		Bağımsız Parametre Sayısı	11
Ölçüm Sayısı	85	85	
Belirleme Katsayısı	0,630	0,550	
Korelasyon Katsayısı	0,794	0,742	
p-Değeri	1,789 E-102	5,392 E-94	
Ortalama Karesel Hata	25,2	27,783	



Şekil 23: Birleşik veri için hibrid regrasyon modeliyle elde edilen ve ölçülmüş olan klorofil-a konsantrasyonlarının karşılaştırılması



Şekil 24: Birleşik veri için reflektans regrasyon modeliyle elde edilen ve ölçülmüş olan klorofil-a konsantrasyonlarının karşılaştırılması

Tablo 28: Birleşik veriyle elde edilen regrasyon modellerinin farklı sahalara uygulanması

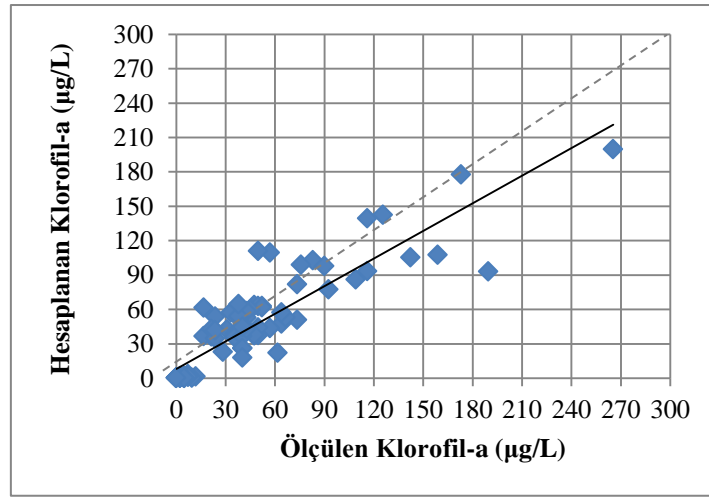
		Hibrid Model	Reflektans modeli
Saha 1	Bağımsız Parametre Sayısı	11	4
	Ölçüm Sayısı	25	25
	Belirleme Katsayısı	0,464	0,153
	Korelasyon Katsayısı	0,681	0,391
	p-Değeri	1,915 E-78	1,940 E-129
	Ortalama Karesel Hata	38,9	46,691
Saha 2	Bağımsız Parametre Sayısı	11	4
	Ölçüm Sayısı	30	30
	Belirleme Katsayısı	0,015	0,006
	Korelasyon Katsayısı	0,124	0,076
	p-Değeri	2,256 E-48	4,991 E-32
	Ortalama Karesel Hata	19,4	17,418
Saha 3	Bağımsız Parametre Sayısı	11	4
	Ölçüm Sayısı	30	30
	Belirleme Katsayısı	0,001	0,037
	Korelasyon Katsayısı	-0,030	-0,193
	p-Değeri	N/A	N/A
	Ortalama Karesel Hata	12,7	8,181

#### 4.4.4.2. YSA modeli

Birleşik veri ile oluşturulan hibrid girdili YSA modelinin oluşturulması için öğrenme veri seti her sahadan 12'şer veri ile oluşturulmuştur. Test aşaması için her sahadan 3'er ve doğrulama aşaması için birinci sahadan 10 ikinci ve üçüncü sahadan 15'er veri seçilmiştir. Oluşturulan YSA modelindeki 2 saklı katmanda 7'şer nöron bulunmaktadır. Geri besleme algoritması olarak da Powell-Beale birleşik eğitim geri besleme algoritması en iyi sonucu göstermiştir. Model sonuçları aşağıda yer alan tablo ve şekilde gösterilmiştir.

Tablo 29: Birleşik veri için hibrid girdili YSA modelinin sonuçları

		Hibrid Model			
		Tüm Veri	Öğrenme	Test	Doğrulama
Birleşik veri seti	Bağımsız Parametre Sayısı	11			
	Ölçüm Sayısı	85	36	9	40
	Belirleme Katsayısı	0,798	0,835	0,651	0,846
	Korelasyon Katsayısı	0,893	0,914	0,807	0,920
	p-Değeri	2,225 E-168	3,208 E-84	2,494 E-30	1,027 E-60
	Ortalama Karesel Hata	11,472	18,201	36,133	19,832



Şekil 25: Birleşik veri için YSA modeli tahminleri ile ölçülmüş klorofil-a konsantrasyonlarının karşılaştırılması

p değerleri incelendiğinde, hepsinin 0,05'ten küçük olduğu görülmektedir. Bu nedenle YSA modelinin sonuçları istatistiki olarak geçelidir. Ortalama karesel hatalar incelendiğinde ise YSA modelindeki hatanın doğrusal regrasyon modeline göre %6 daha düşük olduğu söylenebilir. Son olarak f değerleri incelendiğinde YSA ile elde edilen f değeri, doğrusal regrasyona kıyasla daha küçük olduğundan, YSA modelinin sistemi daha iyi tanımlayabildiği söylenebilir.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Elde edilen sonuçlar genel ortalama klorofil-a konsantrasyonunun daha yüksek olduğu Saha 1 için sonuçların tüm modeller için daha iyi olduğunu göstermektedir. Ortalama konsantrasyon düştükçe modellerin tahmin kapasitesinin de düştüğü gözlenmiştir. Birinci ve ikinci saha çalışmalarındaki klorofil-a konsantrasyonuna bakılacak olursa üçüncü sahaya göre daha yüksek bir dağılım görülmektedir. Üçüncü saha çalışmasında ölçülen klorofil-a konsantrasyonlarında sadece 6 farklı değer ile ifade edilmiştir. Bu durum üçüncü sahadan elde edilen modellerdeki düşük tahmin kapasitesini açıklamaktadır. Öyleki aynı düşük konsantrasyon için farklı reflektans değerleri modellerin tahmin performansını düşürmektedir. Ancak saha çalışmaları ve uydu görüntüsünün çekildiği tarihler arasında 10 güne varan bir gecikme söz konusudur. Bu durum sonuçları etkileyebilir. Ancak, 2010 yılında Eymir Gölü'nde yaşanan olağan dışı olayların modellerin performansını önemli ölçüde etkilediği için, bir saha koşulu için elde edilen modellerin diğer saha koşullarını modellemekten uzak hale getirdiği düşünülmektedir.

Elde edilen sonuçlar reflektans değerlerini etkileyebilecek parametrelerin reflektans değerleri ile birlikte kullanılmasının model tahmin performansını arttırabileceğini göstermiştir. Bu, özellikle sığ göllerdeki uzaktan algılama ile klorofil-a belirleme çalışmalarında göz önünde bulundurulabilir. Böylece, uzaktan algılanmış veri ile izleme yapmak daha performanslı hale gelebilir. Daha doğru sonuçların elde edilebileceği modellerin oluşması ise mekansal klorofil-a dağılımların çıkarılmasına yardımcı olabilir.

Bu çalışmada YSA modellerinin literatürde reflektans değerleriyle klorofil-a'yı belirlemek için sıklıkla kullanılan doğrusal regrasyon modellerine kıyasla daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Ancak hibrid girdilerde daha farklı parametrelerin kullanılması, reflektans değerlerinin farklı biçimlerde ifade edilmesi (bant oranları gibi) klorofil-a tahmin performansını daha da arttırabilir. Bunlar ilerideki çalışmalarda test edilecektir.

## 6. KAYNAKLAR

- ABDI H., ve Lynne J. W., Principle Component Analysis. Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics In Press. doi:10.1002/wics.101, (2010)
- ALTINBİLEK D., Kutoğlu Y., Soyupak S., Yazıcıgil H., Usul N., Doyuran V., Göğüş M., Gökçay C.F., Günyaktı A., Özsan E., Sürücü G., Merzi N., Gölbaşı Mogan- Eymir Gölleri için su kaynakları ve çevre yönetim planı projesi. *Teknik Rapor. No. 93-03-03-04-01*, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, (1995)
- ANKARA, Türkiye Havadurumu: Weather Underground. (n.d.). Welcome to Weather Underground: Weather Underground, <http://www.wunderground.com/cgi-bin/findweather/getForecast?query=ankara&wuSelect=WEATHER>, Erişim Tarihi: August 19, 2010
- BARRETT E.C., ve Curtis L.F., *Introduction to Environmental Remote Sensing*, Chapman and Hall, Inc., Singapore, (1992)
- BEKLİOĞLU M., Ince O., ve Tuzun I., Restoration of Eutrophic Lake Eymir, Turkey, by biomanipulation undertaken after a major external nutrient control I. *Hydrobiologia* 489: 93-105, (2003)
- BEKLİOĞLU M., Benthic-planktivorous fish-induced low water quality of Lake Eymir before biomanipulation. *Turkish journal of zoology*, 24(3), 315, (2000)
- BEKLİOĞLU M., Akkas S. B., Ozcan E. H., Bezirci G., ve Togan I., Effects of 4-nonylphenol, fish predation and food availability on survival and life history traits of *Daphnia magna* straus. *Ecotoxicology* (London, England), (2010)
- BRIVIO P.A., Giardino C., ve Zilioli E., Validation of satellite data for quality assurance in lake monitoring applications, *Science of the Total Environment*, 268, 3-13, (2001)
- BRICAUD A., Bosc E., ve Antoine D., Algal biomass and sea surface temperature in the Mediterranean Basin Intercomparison of data from various satellite sensors, and implications for primary production estimates. *Remote Sensing of Environment* 81, no. 2-3 (Ağustos), 163-178, (2002)
- BUTTNER K., M., Gyomrei, A., Kote, Z., ve Szabo, G., Satellite remote sensing of inland waters: Lake Balaton and Reservoir Kiskore. *Acta Astronomica*, 15, 305-311, (1987)
- CANNIZZARO J., ve Carder K., Estimating chlorophyll a concentrations from remote-sensing reflectance in optically shallow waters. *Remote Sensing of Environment*, 101, no. 1, 13-24, (2006)



- CAUWER V. D., Kevin R., Youngje P., Bouchra N., ve Michael K... Optical remote sensing in support of eutrophication monitoring in the southern north sea. *EARSeL eProceedings*, no. 3, 208-221, (2004)
- CUI T., Zhang J., Sun L., ve Zhao W., Neural network model for chlorophyll-a concentration retrieval in the Bohai sea, no. Nisan, (2008)
- DALL'OLMO G., ve Gitelson A. A., Effect of bio-optical parameter variability and uncertainties in reflectance measurements on the remote estimation of chlorophyll-a concentration in turbid productive waters: Modeling results. *Applied Optics*, 45: 3577–3592, (2006)
- DEMİRCİ G., Aslan, M., Elahdab, T., ve Aksoy, A., Eymir Gölü'ndeki Su Kalitesinin İzlenmesi ve Değerlendirilmesi. *Proceedings of 6th National Environmental Engineering Congress* (pp. 72-76). Istanbul: CMO, (2005)
- DIGITALGLOBE | DigitalGlobe: *QuickBird Satellite* - 60cm Resolution. (n.d.). DigitalGlobe | An Imagery and Information Company, 2010, from <http://www.digitalglobe.com/index.php/85/QuickBird>, Erişilme: 8 Aralık 2010
- DIGITALGLOBE | DigitalGlobe: *Worldview-2 Satellite* - 46cm Resolution. (n.d.). DigitalGlobe | An Imagery and Information Company. from <http://www.digitalglobe.com/index.php/88/WorldView-2>, Erişilme: 20 December 2010
- DİKER Z., A Hydrobiological and ecological study in Lake Eymir, Yüksek Lisans Tezi, METU, Ankara, (1992)
- DUAN H., Zhang Y., Zhang B., Song K., Wang Z., Liu D. ve Li F'Estimation of chlorophyll-a concentration and trophic states for inland lakes in Northeast China from Landsat TM data and field spectral measurements, *International Journal of Remote Sensing*, 29, 3, 767 — 786, (2008)
- EKERCİN S., Water Quality Retrievals from High Resolution Ikonos Multispectral Imagery: A Case Study in Istanbul, Turkey, *Water Air and Soil Pollution*, 183, 239–251, (2007)
- ELAHDAB T., Investigation of algae distribution in Eymir Lake using site measurements and remotely sensed data, Yüksek Lisans Tezi, METU, Ankara, (2006)
- GEORGE D.G., The airborne remote sensing of phytoplankton chlorophyll in the lakes and tarns of the English Lake District. *International Journal of Remote Sensing*, 18, 1961-1975, (1997)
- GIARDINO C., ve PEPE, M., Detecting chlorophyll, secchi disc depth and surface temperature in sub-alpine lake using Landsat imagery, *The Science of the Environment*, 268, 19-29. (2001)

- GITELSON A. A., Yacobi Y. Z., Schalles J. F., Rundquist D. C., Han L., Stark R., ve Etzion D., Remote estimation of phytoplankton density in productive waters, *Archive Hydrobiological Special Issues. Advances in Limnology*, 55, 121–136, (2000)
- GONS H. J., Optical teledetection of chlorophyll a in turbid inland waters. *Environmental Science and Technology*, 33, 1127–1132, (1999)
- GOODIN D., Han L., Fraser R., Rundquist D. ve Stebbins W., Analysis of suspended solids in water using remotely sensed high resolution derivative spectra, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 59, 505–510, (1993)
- HAMILTON K., Davis, O., Rea W.J., Pilorz, H., ve Carder, L., Estimating chlorophyll content and bathymetry of Lake Tahoe using AVIRIS data. *Remote sensing of the Environment*, 44:217-230, 1993.
- HAN L., Spectral reflectance with varying suspended sediment concentrations in clear and algal-laden waters, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 63: 701-705, (1997)
- KARAKOÇ G., Erkoç F. U. ve Katircioğlu H., Water quality and impacts of pollution sources for Eymir and Mogan Lakes (Turkey). *Environment international* 29, no. 1 (Nisan): 21-7, (2003)
- KARUL C., Soyupak S., Çilesiz A. F., Akbay N., ve Germen E., Case studies on the use of neural networks in eutrophication modeling. *Ecological Modelling* 134, no. 2-3 (Ekim): 145-152, (2000)
- KEINER L., A Neural Network Model for Estimating Sea Surface Chlorophyll and Sediments from Thematic Mapper Imagery. *Remote Sensing of Environment* 66, no. 2 (November): 153-165, (1998)
- KISHINO M, a Tanaka, ve J Ishizaka., Retrieval of Chlorophyll-a, suspended solids, and colored dissolved organic matter in Tokyo Bay using ASTER data, *Remote Sensing of Environment* 99, no. 1-2, 66-74, (2005)
- KLINE P., *An Easy Guide to Factor Analysis*. London: Routledge. (1994)
- LE C., Li Y., Zha Y., Sun D., Huang C., Lu H., A four-band semi-analytical model for estimating chlorophyll a in highly turbid lakes: The case of Taihu Lake, China, *Remote Sensing of Environment*, 113, 1175–1182, (2009)
- LEE Z.P., ve Carder K.L., Absorption spectrum of phytoplankton pigments derived from hyperspectral remote-sensing reflectance, *Remote Sensing of Environment*, 89, 361–368, (2004)
- LIN Q., Zhang Y., Nie Y., ve Guan N., Detection of harmful algal blooms over the Gulf of Bohai Sea in China at visible and near infrared (NIR) wavelengths of remote sensing. *Journal of Electromagnetic Waves and Applications* 17, no. 6, 861-871, (2003)

- MULUK C. B., ve Beklioglu M., Absence of typical diel vertical migration in Daphnia: varying role of water clarity, food, and dissolved oxygen in Lake Eymir, Turkey. *Hydrobiologia* 537, no. 1-3 (Mart): 125-133, (2005)
- NELSON S.A.C., Soranno P.A., Cheruvilil K.S., Batzli S., ve Skole D., Regional assessment of lake water clarity using satellite remote sensing, *Journal of Limnology*, 62, 27-32, (2003)
- OSTLUND C., Flink P., Strombeck N., Pierson D. ve Lindell T., Mapping of the water quality of Lake Erken, Sweden, from Imaging Spectrometry and Landsat Thematic Mapper, *Science and the Total Environment*, 268, 139–154, (2001)
- PANDA S. S., Vijay G., ve Indrajeet C., Artificial Neural Networks Application in Lake Water Quality Estimation Using Satellite Imagery. *Journal of Environmental Informatics* 4, no. 2 (Aralık), 65-74, (2004)
- SHEVYRNOGOV P., ve SİDKO A.F., Ground truth methods as a part of space mapping of inland water, *Phytoplankton Dynamics and Advanced Space Research*, 22, 705-708, (1988)
- SUDHEER K.P., Indrajeet C., ve Vijay G., Lake Water Quality Assessment From Landsat Thematic Mapper Data Using Neural Network: an Approach To Optimal Band Combination Selection 1. *Journal of the American Water Resources Association* 42, no. 6 (Aralık), 1683-1695, (2006)
- TAN C. O., ve Orta Doğu Teknik Üniversitesi (Ankara, Türkiye), The roles of hydrology and nutrients in alternative equilibria of two shallow lakes of anatolia, Lake Eymir and Lake Mogan: Using monitoring and modeling approaches, Ankara, (2002)
- TAN C, and M Beklioglu., Catastrophic-like shifts in shallow Turkish lakes: a modeling approach. *Ecological Modelling*, 183, no. 4: 425-434, (2005)
- THIEMANN S., ve Kaufmann, H., Determination of chlorophyll content and trophic state of lakes using field spectrometer and Irs-1c satellite data in the Mecklenburg Lake District, Germany. *Remote Sensing of the Environment*, 73, 227-235, (2000)
- WANG T., Chih-Hung T., Li C., ve Yu-Chu T.,. Applying Artificial Neural Networks and Remote Sensing to Estimate Chlorophyll-a Concentration in Water Body. *2008 Second International Symposium on Intelligent Information Technology Application*: 540-544, (2008)
- YAĞBASAN Ö., ve Yazicigil H., Sustainable management of Mogan and Eymir Lakes in Central Turkey. *Environmental Geology* 56, no. 6: 1029-1040, (2008)
- YENİLMEZ F., Keskin F., ve Aksoy A., Water quality trend analysis in Lake Eymir, Ankara. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* (May). doi:10.1016/j.pce.2010.05.005. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1474706510001002>. (2010)

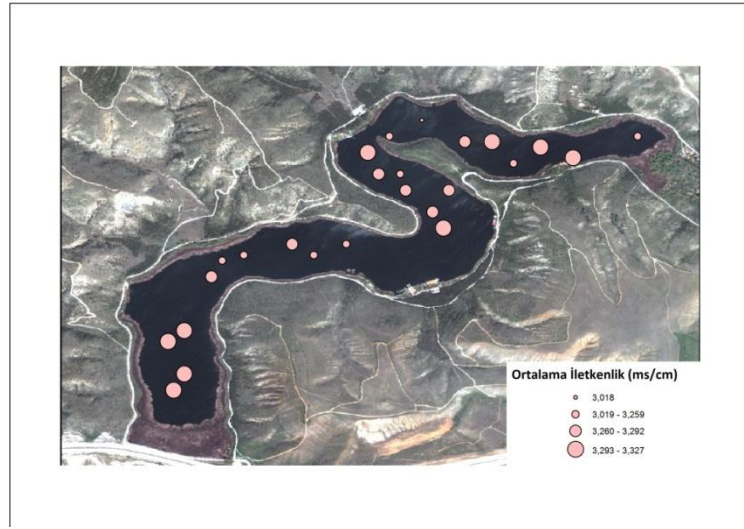
ZIMBA P.V. ve Gitelson A., Remote estimation of chlorophyll concentration in hyper-eutrophic aquatic systems: model tuning and accuracy optimization, *Aquaculture*, 256, 272–286, (2006)

ZHANG Y., Jouni P., Sampsa K., ve Martti H., Application of an empirical neural network to surface water quality estimation in the Gulf of Finland using combined optical data and microwave data. *Remote Sensing of Environment*, 81, 327 – 336, (2002)

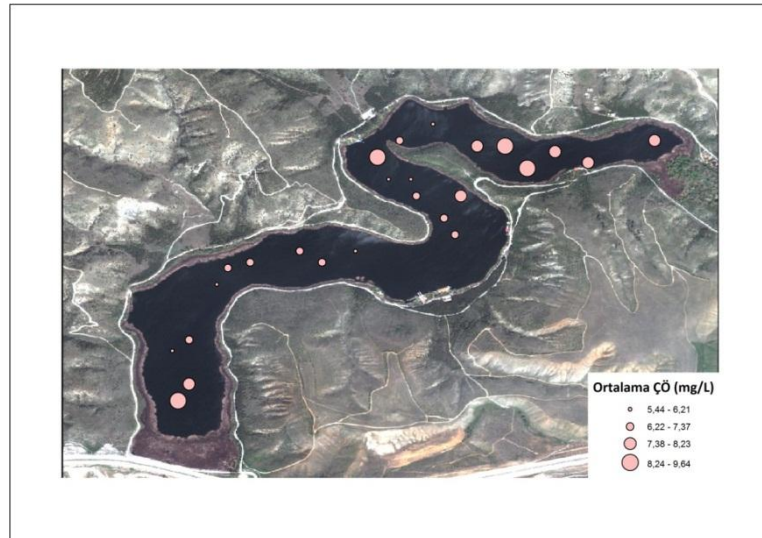
## EK-1

### SAHA ÖLÇÜM DEĞERLERİNİN DAĞILIMLARI

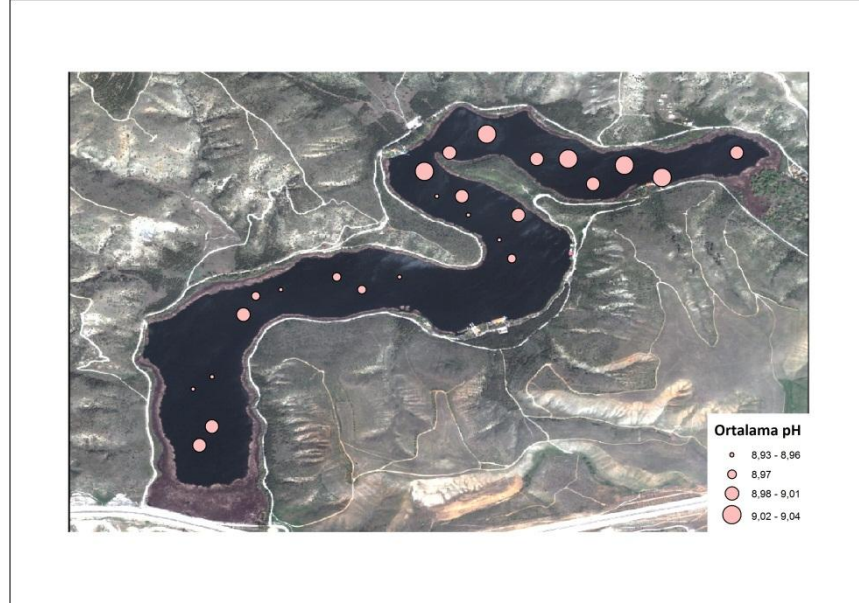
29 Eylül 2010 tarihinde yapılan saha çalışmalarından elde edilen parametre ölçüm değerlerinin ölçüm noktalarına göre dağılımları Şekil 1-1 ile Şekil 1-12 arasında verilmiştir. 2 Mayıs 2010 tarihindeki dağılımlar Şekil 1-13 ile Şekil 1-24 arasında, 2 Ağustos 2010 tarihindeki dağılımlar ise Şekil 1-25 ile Şekil 1-36 arasında gösterilmiştir.



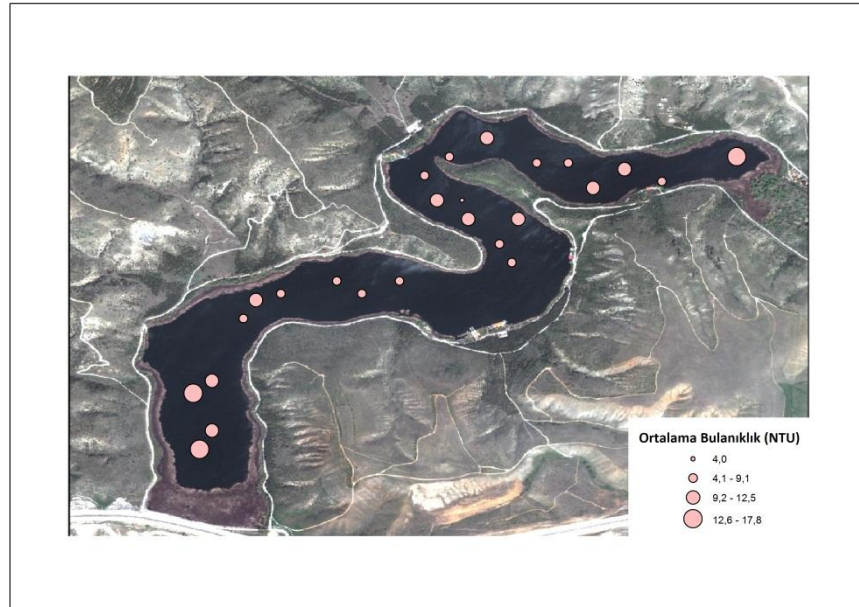
Şekil1-1: Su kolonunda ortalama iletkenlik dağılımı (29 Eylül 2009)



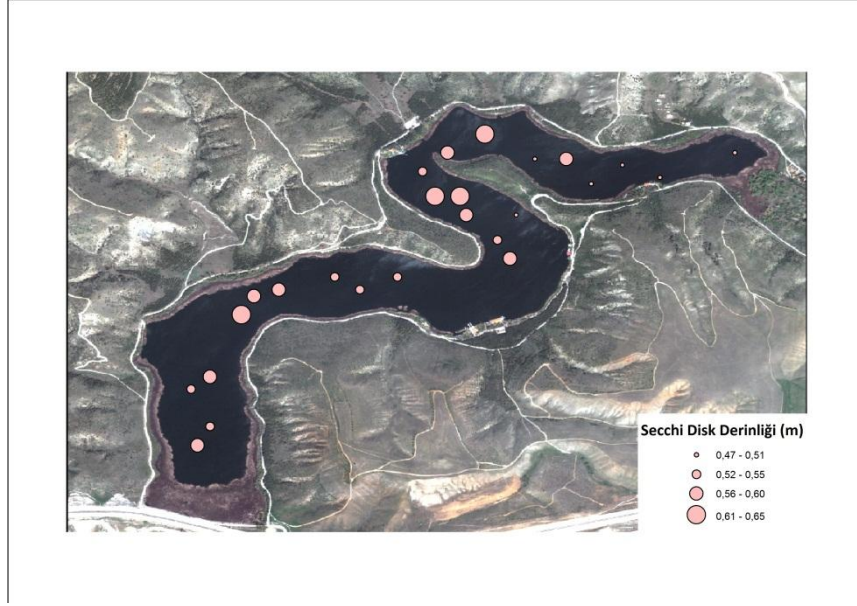
Şekil1-2: Su kolonunda ortalama çözünmüş oksijen konsantrasyonu dağılımı (29 Eylül 2009)



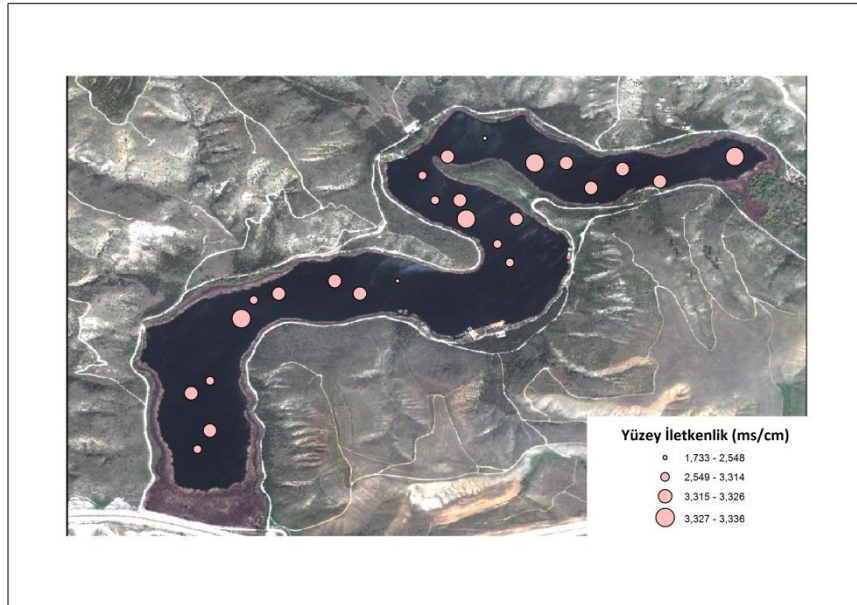
Şekil1-3: Su kolonunda ortalama pH dağılımı (29 Eylül 2009)



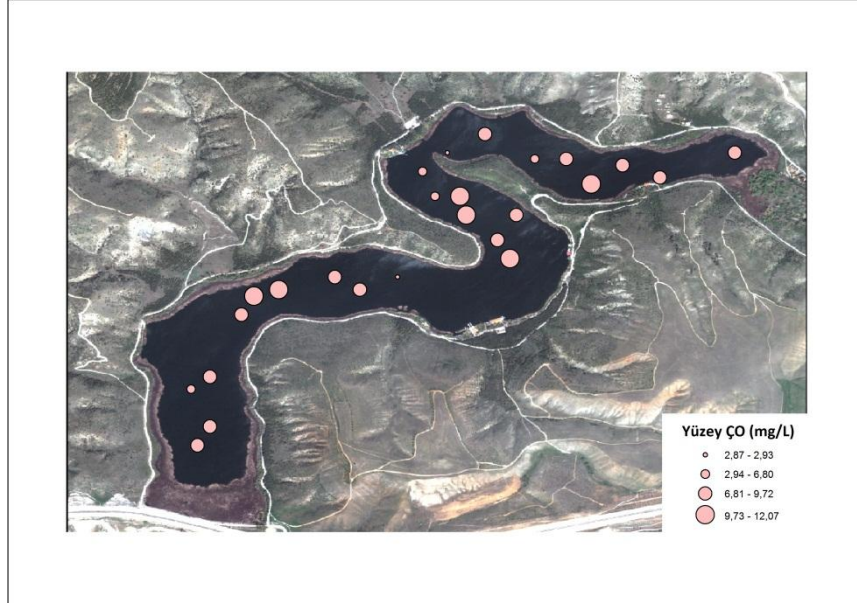
Şekil1-4: Su kolonunda ortalama bulanıklık dağılımı (29 Eylül 2009)



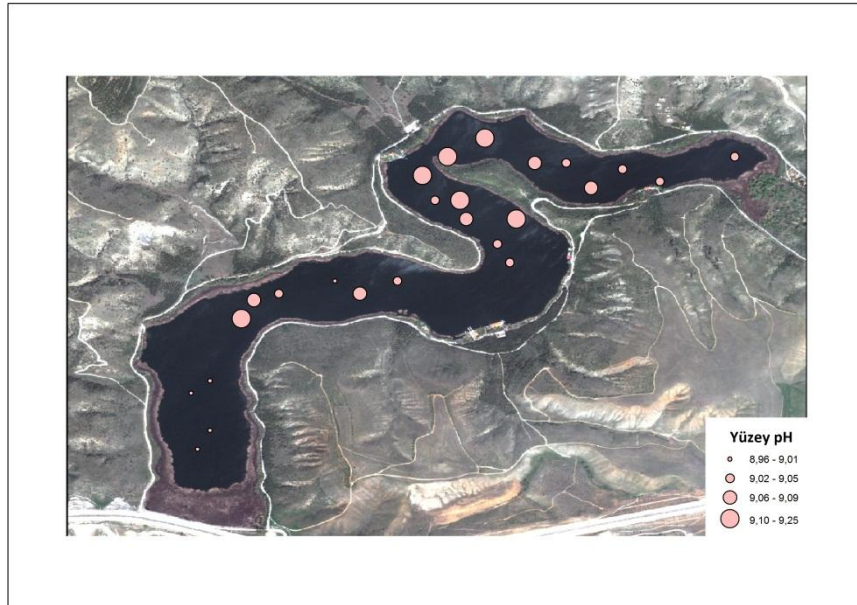
Şekil1-5: Secchi disk derinliği dağılımı (29 Eylül 2009)



Şekil1-6: Su yüzeyinde iletkenlik dağılımı (29 Eylül 2009)

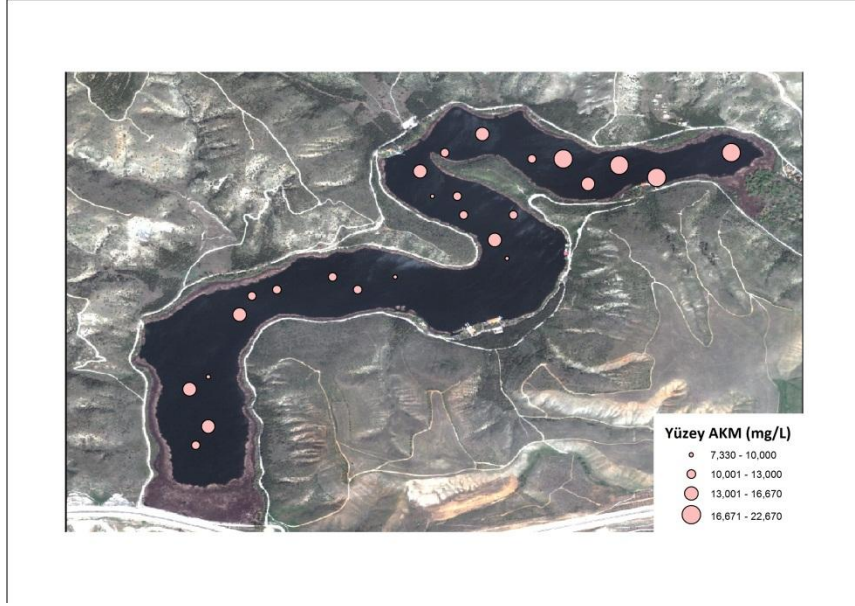


Şekil1-7: Su yüzeyinde çözülmüş oksijen konsantrasyonu dağılımı (29 Eylül 2009)

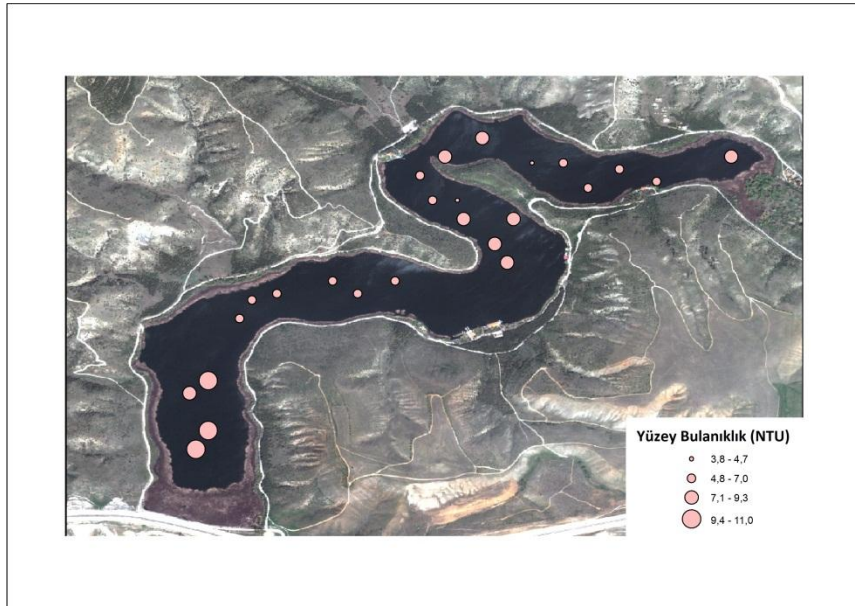


Şekil1-8: Su yüzeyinde pH dağılımı (29 Eylül 2009)

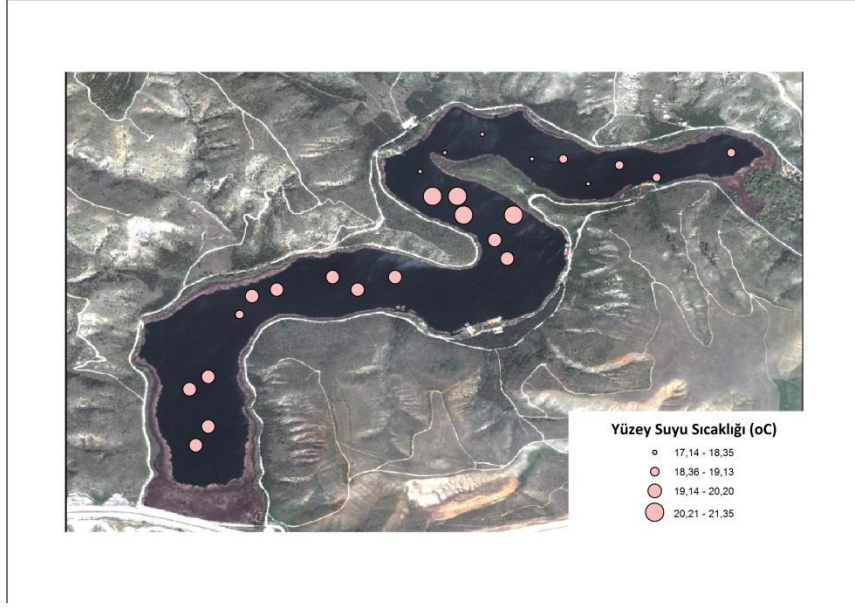




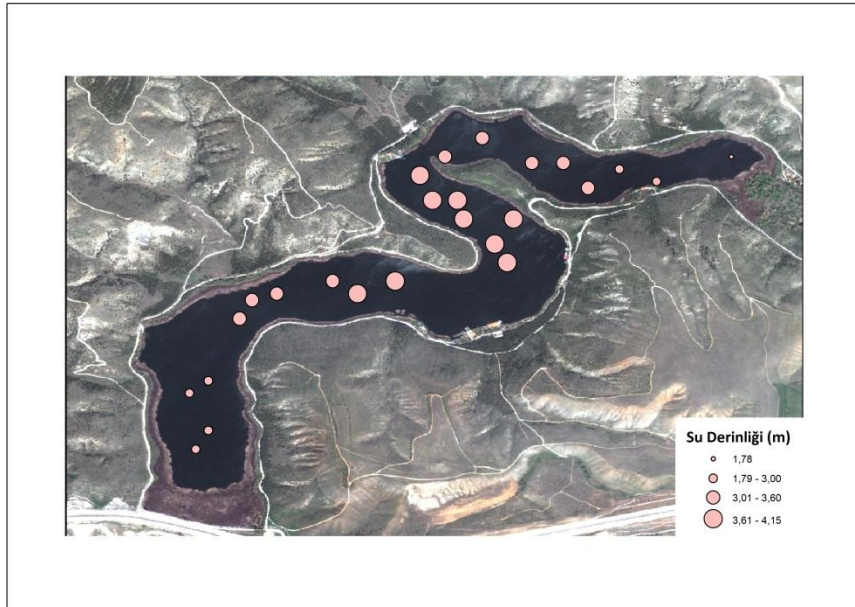
Şekil1-9: Su yüzeyinde toplam askıda katı madde konsantrasyonu dağılımı (29 Eylül 2009)



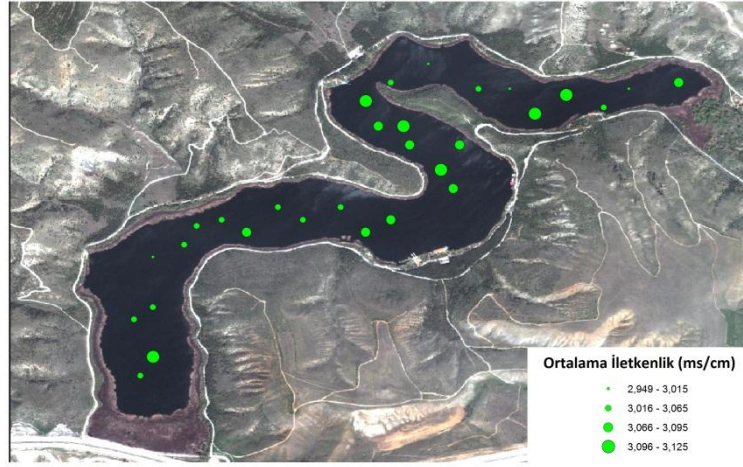
Şekil1-10: Su yüzeyinde bulanıklık dağılımı (29 Eylül 2009)



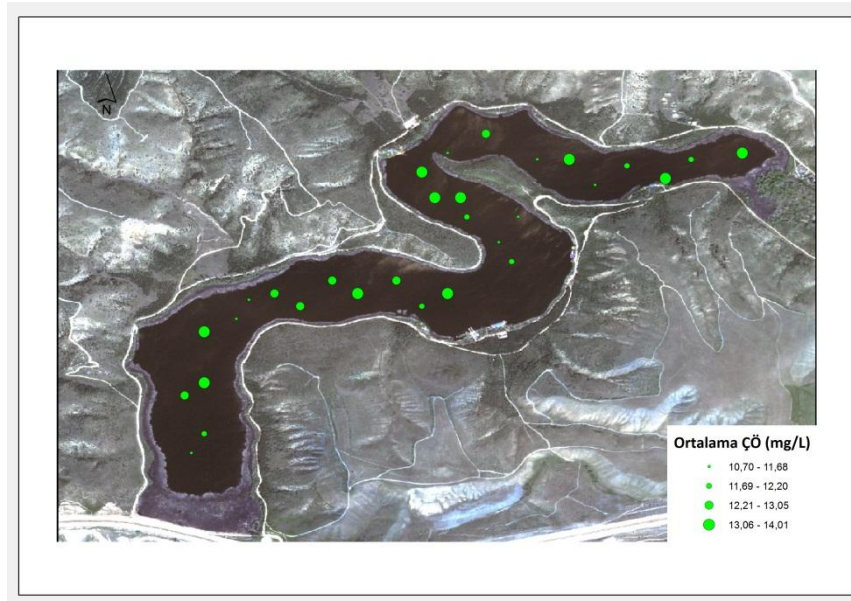
Şekil1-11: Su yüzeyinde sıcaklık dağılımı (29 Eylül 2009)



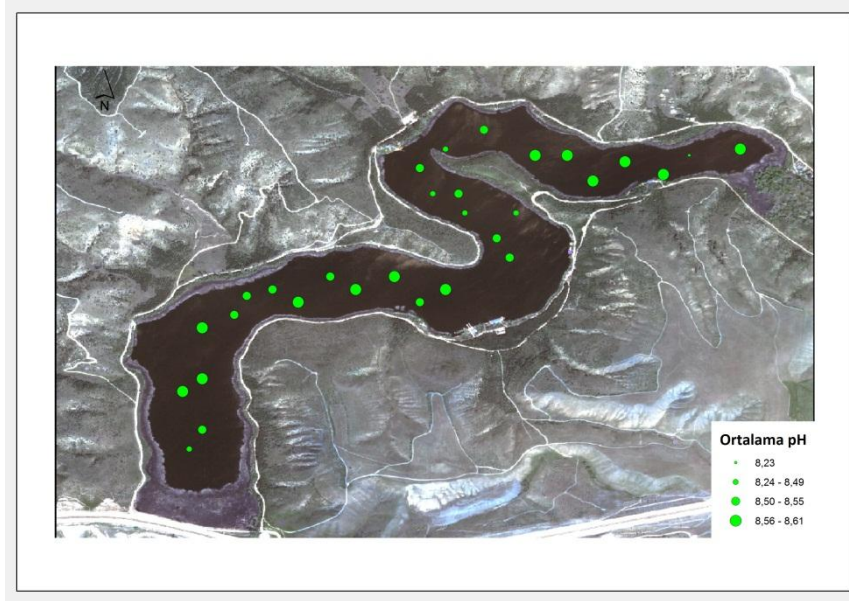
Şekil1-12: Su derinliği dağılımı (29 Eylül 2009)



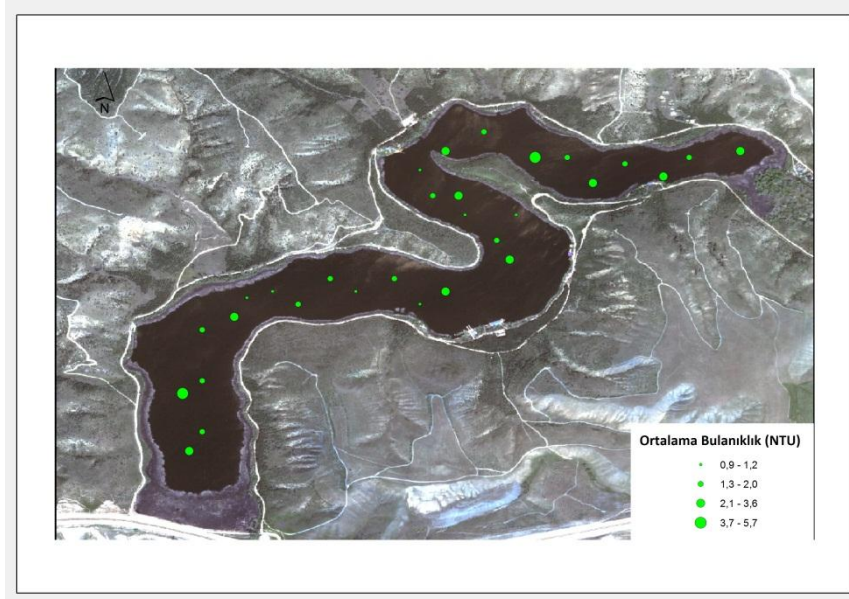
Şekil1-13: Su kolonunda ortalama iletkenlik dağılımı (2 Mayıs 2010)



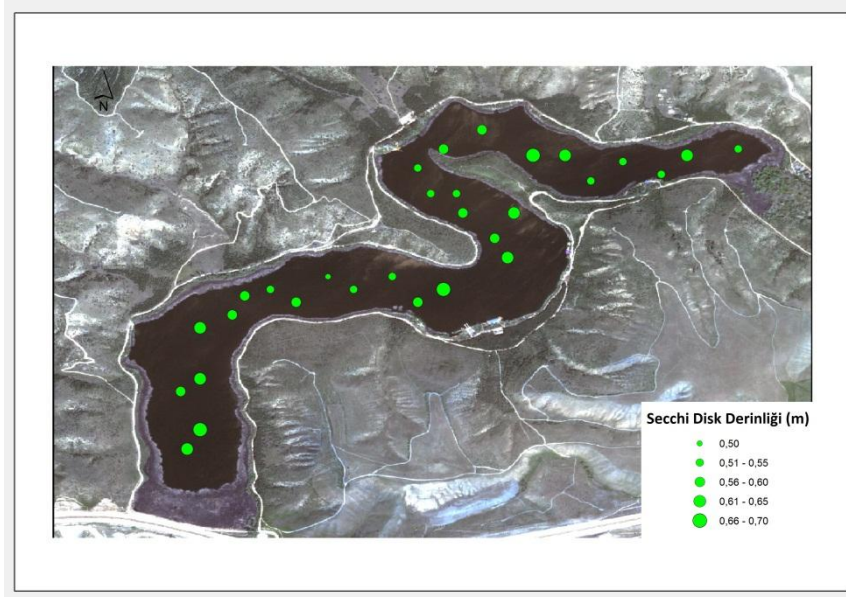
Şekil1-14: Su kolonunda ortalama çözülmüş oksijen konsantrasyonu dağılımı (2 Mayıs 2010)



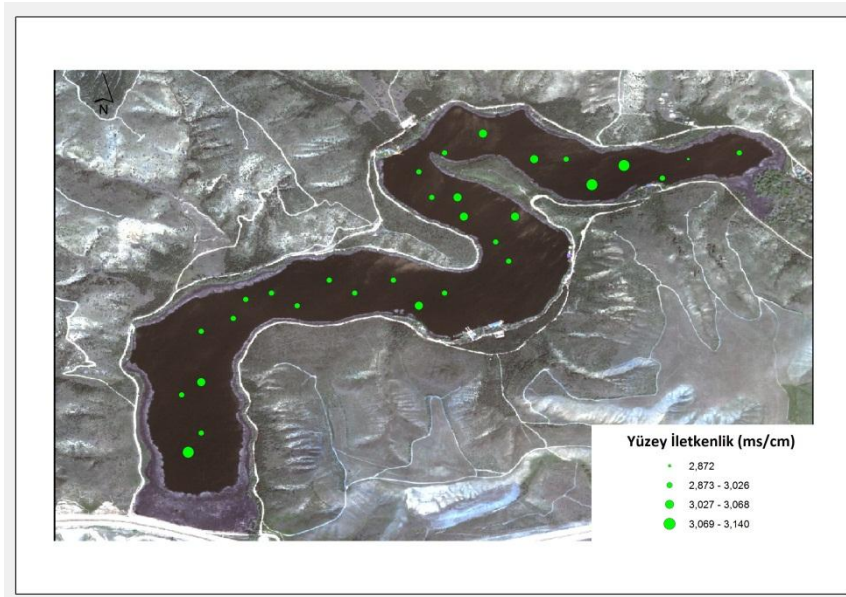
Şekil1-15: Su kolonunda ortalama pH dağılımı (2 Mayıs 2010)



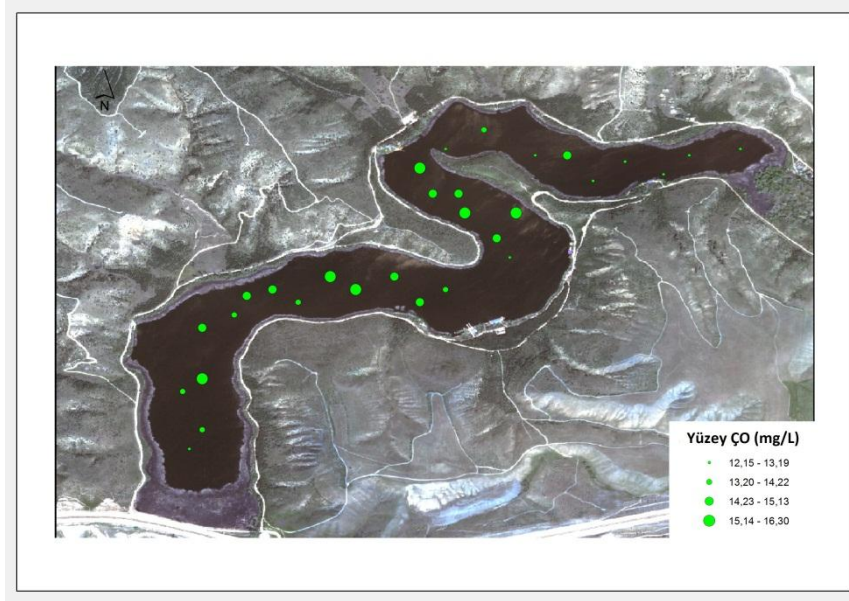
Şekil1-16: Su kolonunda ortalama bulanıklık dağılımı (2 Mayıs 2010)



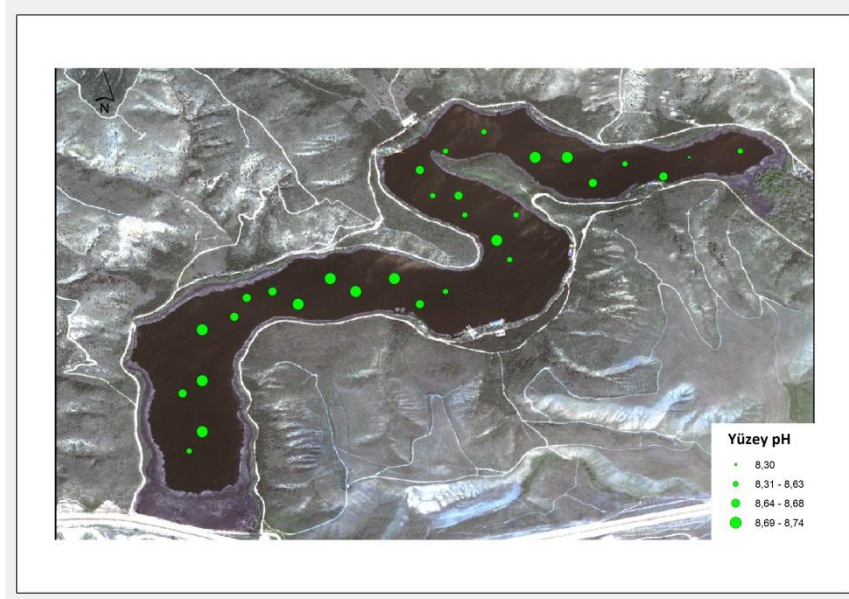
Şekil1-17: Secchi disk derinliği dağılımlı (2 Mayıs 2010)



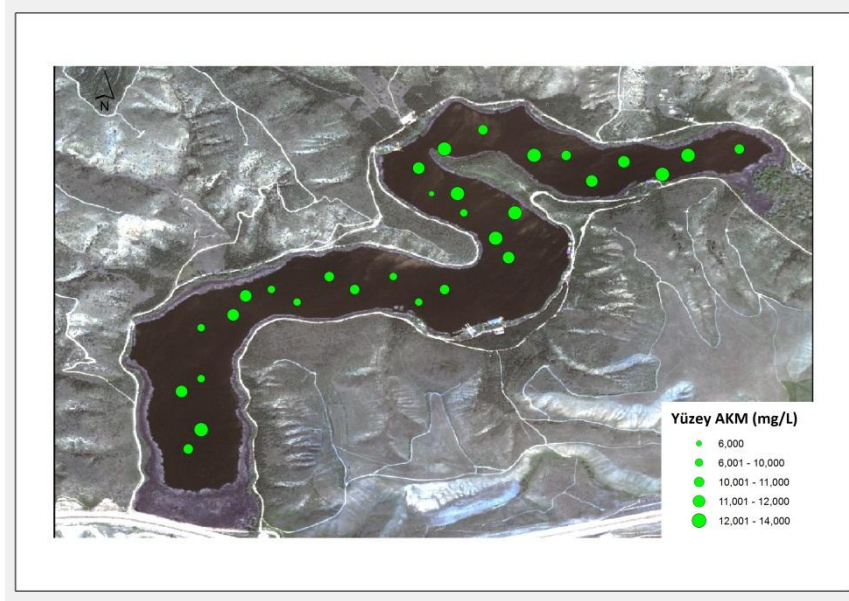
Şekil1-18: Su yüzeyinde iletkenlik dağılımlı (2 Mayıs 2010)



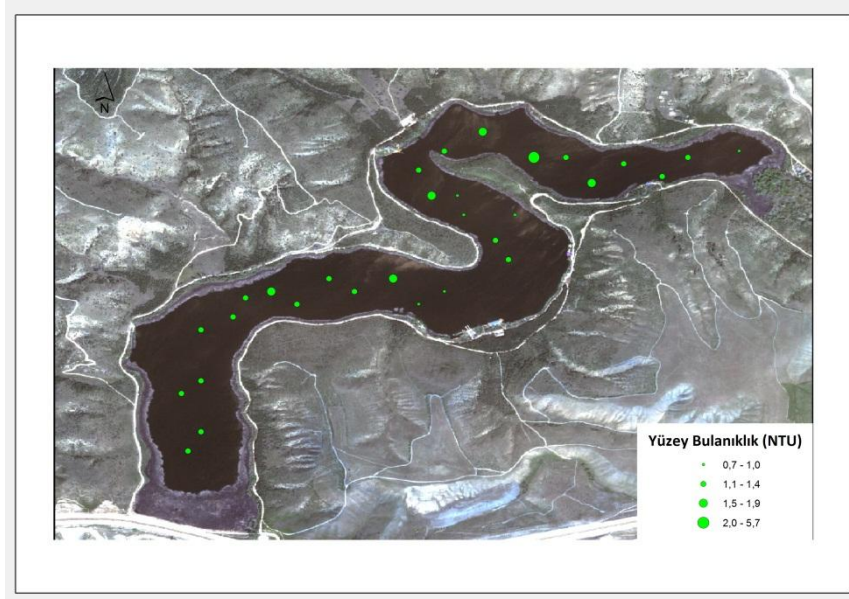
Şekil1-19: Su yüzeyinde çözülmüş oksijen konsantrasyonu dağılımı (2 Mayıs 2010)



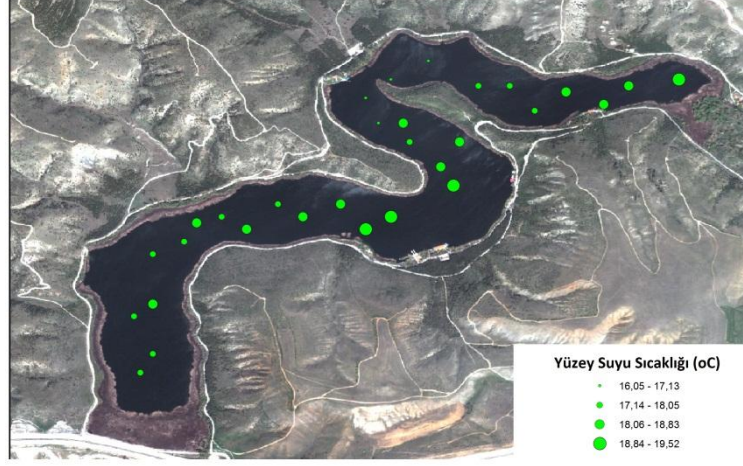
Şekil1-20: Su yüzeyinde pH dağılımı (2 Mayıs 2010)



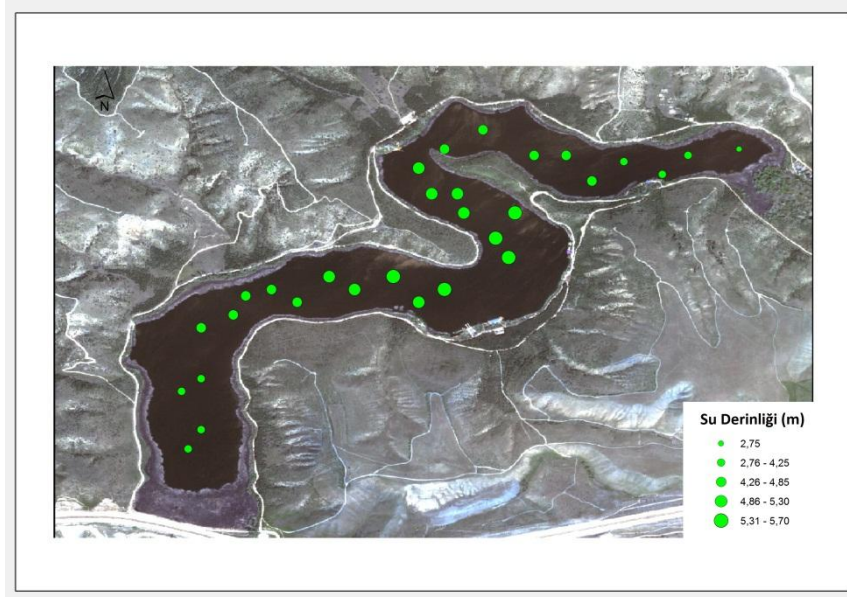
Şekil1-21: Su yüzeyinde toplam askıda katı madde konsantrasyonu dağılımı (2 Mayıs 2010)



Şekil1-22: Su yüzeyinde bulanıklık dağılımı (2 Mayıs 2010)

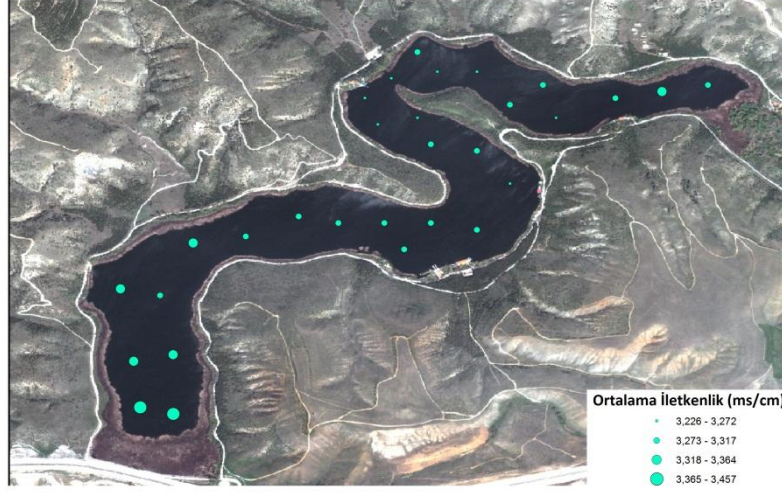


Şekil1-23: Su yüzeyinde sıcaklık dağılımı (2 Mayıs 2010)



Şekil1-24: Su derinliği dağılımı (2 Mayıs 2010)





Şekil1-25: Su kolonunda ortalama iletkenlik dağılımı (2 Ağustos 2010)



Şekil1-26: Su kolonunda ortalama çözülmüş oksijen konsantrasyonu dağılımı (2 Ağustos 2010)



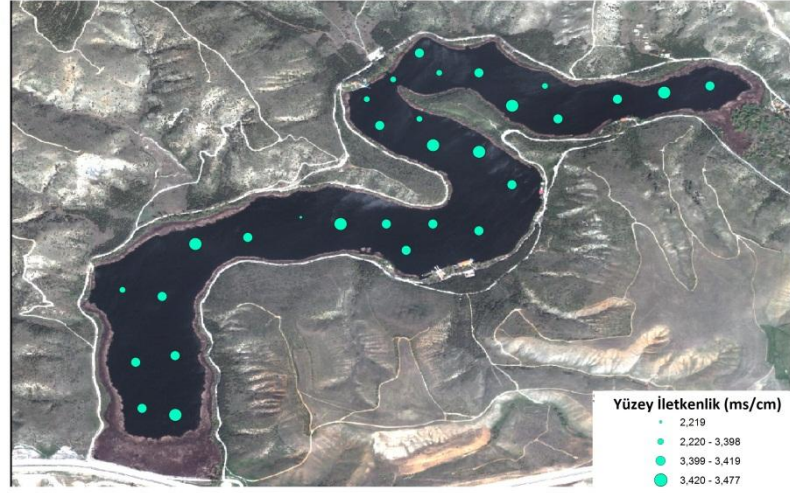
Şekil1-27: Su kolonunda ortalama pH dağılımı (2 Ağustos 2010)



Şekil1-28: Su kolonunda ortalama bulanıklık dağılımı (2 Ağustos 2010)



Şekil1-29: Secchi disk derinliği dağılımları (2 Ağustos 2010)



Şekil1-30: Su yüzeyinde iletkenlik dağılımları (2 Ağustos 2010)



Şekil1-31: Su yüzeyinde çözülmüş oksijen konsantrasyonu dağılımı (2 Ağustos 2010)



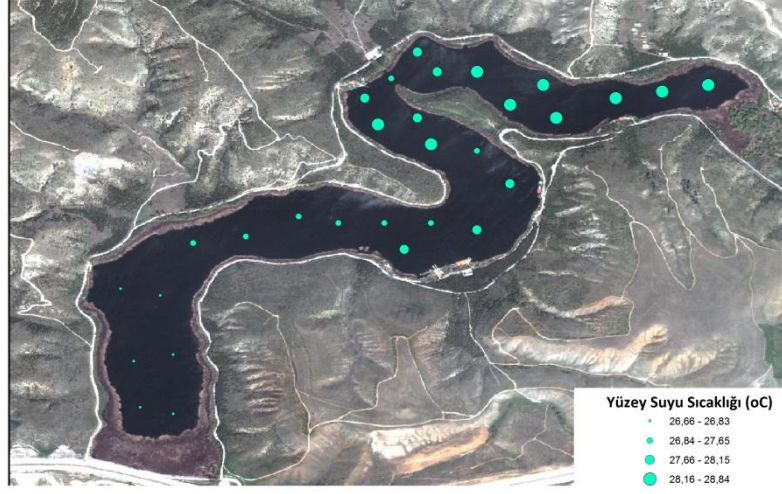
Şekil1-32: Su yüzeyinde pH dağılımı (2 Ağustos 2010)



Şekil1-33: Su yüzeyinde toplam askıda katı madde konsantrasyonu dağılımı (2 Ağustos 2010)



Şekil1-34: Su yüzeyinde bulanıklık dağılımı (2 Ağustos 2010)



Şekil1-35: Su yüzeyinde sıcaklık dağılımı (2 Ağustos 2010)



Şekil1-36

Şekil1-36: Su derinliği dağılımı (2 Ağustos 2010)

**TÜBİTAK**  
**PROJE ÖZET BİLGİ FORMU**

<b>Proje No:</b> 109Y201
<b>Proje Başlığı:</b> Eymir Gölü'ndeki klorofil-a'nın mekansal dağılımının belirlenmesi için uzaktan algılanmış reflektans ve sahada ölçülmüş parametre değerlerini hibrid girdi olarak kullanan model geliştirilmesi
<b>Proje Yürütücüsü ve Araştırmacılar:</b> Doç. Dr. Ayşegül Aksoy, Araş. Gör. Onur Yüzügüllü
<b>Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi:</b> Çevre Mühendisliği Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, 06531 Ankara
<b>Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi:</b> BAP Koordinatörlüğü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, 06531 Ankara
<b>Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri:</b> 01/12/2009 – 01/12/2010
<b>Öz (en çok 70 kelime)</b> <p>Bu projede, klorofil-a tahmin model performansını arttırmak için hibrid girdili doğrusal regrasyon ve yapay sinir ağları modelleri oluşturulmuştur. Klorofil-a konsantrasyonunun belirlenmesi için uygulanmış olan modellerde reflektans değerlerine ek olarak, reflektans değerlerini değiştirebilecek saha parametreleri de girdi olarak eklenmiştir. Hibrid girdili modeller sadece reflektans değerlerini kullanan modellere göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Ancak modellerin performansı sahadaki klorofil-a konsantrasyonlarına da bağlıdır. Elde edilen modeller farklı saha koşullarında klorofil-a konsantrasyonlarını hesaplayamamıştır. Ancak bu durumun 2010 yılında Eymir Gölü'ndeki özel koşullara da bağlı olduğu düşünülmektedir.</p>
<b>Anahtar Kelimeler:</b> Eymir Gölü, doğrusal regrasyon modeli, yapay sinir ağları, uzaktan algılama, klorofil-a
<b><a href="#">Fikri Ürün Bildirim Formu</a> Sunuldu mu?</b> Evet <input type="checkbox"/> <b>Gerekli Değil</b> X Fikri Ürün Bildirim Formu'nun tesliminden sonra 3 ay içerisinde patent başvurusu yapılmalıdır.
<b>Projeden Yapılan Yayınlar:</b> <p>Yuzugullu O., Aksoy A., "Determination of Secchi Disc Depths in Lake Eymir Using Remotely Sensed Data", Proceedings of GEOMED (International Geography Symposium Mediterranean Environment), Elsevier-PROCEDIA, 2010, basımda.</p> <p>Yuzugullu O., Aksoy A., "Eymir Gölü'nde klorofil-a konsantrasyonu dağılımının uzaktan algılama ile belirlenmesi", JEOUZAL (Ulusal Jolojik Uzaktan Algılama Sempozyumu) Özetler Kitabı, basımda, 2010.</p>