

**T.C
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**BAFRA OVASI SAĞ SAHİL TOPRAKLARININ SULAMA AÇISINDAN
BAZI FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİNDEKİ DEĞİŞİMİN
MODELLER İLE TAHMİNİ**

Sevda TAŞAN

DOKTORA TEZİ

**T.C
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**BAFRA OVASI SAĞ SAHİL TOPRAKLARININ SULAMA AÇISINDAN
BAZI FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİNDEKİ DEĞİŞİMİN
MODELLER İLE TAHMİNİ**

Sevda TAŞAN

TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA ANABİLİM DALI

**SAMSUN
2018**

Her hakkı saklıdır.

TEZ ONAYI

Sevda TAŞAN tarafından hazırlanan “Bafra Ovası Sağ Sahil Topraklarının Sulama Açısından Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerindeki Değişimin Modeller ile Tahmini” adlı tez çalışması 10/08/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı’nda **Doktora Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman

Prof. Dr. Yusuf DEMİR
Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Yusuf DEMİR
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı



Üye

Prof. Dr. Bilal CEMEK
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı



Üye

Prof. Dr. Sabit ERŞAHİN
Çankırı Karatekin Üniversitesi
Toprak İlmi ve Ekoloji Anabilim Dalı



Üye

Prof. Dr. Belgin ÇAKMAK
Ankara Üniversitesi
Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı



Üye

Prof. Dr. Öner ÇETİN
Dicle Üniversitesi
Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı



Yukarıdaki sonucu onaylarım. .../.../2018

.....

Prof. Dr. Bahtiyar ÖZTÜRK
Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.



10/08/2018

Sevda TAŞAN

ÖZET

Doktora Tezi

BAFRA OVASI SAĞ SAHİL TOPRAKLARININ SULAMA AÇISINDAN BAZI FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİNDEKİ DEĞİŞİMİN MODELLER İLE TAHMİNİ

Sevda TAŞAN

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Yusuf DEMİR

Bu çalışma Bafra ovası sağ sahilde bulunan yaklaşık 10000 ha'lık bir alanda yürütülmüştür. Çalışma süresi boyunca 5 farklı dönem ve 3 farklı arazi kullanım durumları için (çeltik, sebze ve mera) toprak örnekleme yapılmıştır. Alınan toprak örneklerinde bazı fiziksel ve kimyasal analizler yapılmıştır. Bunun yanında arazi koşullarında ölçülmesi ve laboratuvarında analizlerle belirlenmesi zaman alıcı ve masraflı olan toprak özelliklerinin tahmin edilmesinde yapay sinir ağları, pedotransfer fonksiyonları ve jeostatistik yöntemler kullanılmıştır. Yapay sinir ağları, pedotransfer fonksiyonlar ve jeostatistik yöntemlerin karşılaştırılmasında belirleme katsayısı, tahmin hatasının standart sapması ve ortalama mutlak hata parametreleri kullanılmıştır. Toprak özelliklerinin birbirleri ile olan ilişkilerini ve dönemsel değişimlerini belirlemek için korelasyon analizleri ve bağımlı örneklem t testi uygulanmıştır. Çalışma alanı topraklarının elektriksel iletkenlik değerleri 0.12 dS/m ile 6.31 dS/m arasında değişmiş ve mera alanlarının EC değerleri diğer alanlardan daha yüksek bulunmuştur. Tarımsal üretim yapılan alanlarda tuzluluk sorununun bulunmadığı belirlenmiştir. Çalışma alanı topraklarının ESP değerleri ise % 1.20 ile % 72.76 arasında değişmiştir. Çalışma alanının büyük bölümünde belirli düzeylerde sodiklik sorununun olduğu tespit edilmiştir. Jeostatistiksel değerlendirme sonucunda uzaysal bağımlılığın yapısal uzaklığı en uzun olan özelliklerin pH ve organik madde (31100 m ile), yapısal uzaklığı en kısa olan özelliğin ise CaCO_3 (650 m) olduğu belirlenmiştir. Çalışmada tarla kapasitesi ve solma noktasındaki nem içeriği ile Katyon değişim kapasitesi ve Değişebilir sodyum yüzdesi özelliklerinin tahmini için modeller kurulmuştur. YSA yönteminin toprak özelliklerinin tahmin edilmesinde jeostatistik yöntemler ve doğrusal regresyon yöntemlerine göre daha doğru sonuç verdiği belirlenmiştir. Çalışmada toprakların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin tahmin için oluşturulan modellerin performansları karşılaştırıldığında en iyi sonucu yapay sinir ağları ve bulanık yapay sinir ağları vermiştir. Ayrıca Levenberg-Marquardt algoritması diğer eğitim algoritmalarından daha iyi performans göstermiş ve çeşitli üyelik fonksiyonlarının bulanık sinir ağı yaklaşımının performansında önemli rol oynadığı belirlenmiştir.

Ağustos 2018, 346 sayfa

Anahtar kelimeler: Toprak tuzluluğu, değişebilir sodyum yüzdesi, jeostatistik, yapay sinir ağları, bulanık yapay sinir ağları

ABSTRACT

Doctoral Dissertation

ESTIMATION OF VARIATIONS IN SOME PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES IN TERMS OF IRRIGATION OF THE RIGHT COASTAL SOILS OF BAFRA PLAIN BY MODELS

Sevda TAŞAN

Ondokuz Mayıs University
Graduate School of Sciences
Department of Agricultural Structure and Irrigation

Supervisor: Prof. Dr. Yusuf DEMİR

This study was carried out on an approximately 10000 hectares area, on the right coastal of the Bafra plain. Soil samples were taken in 5 different sessions and at 3 different land uses (rice, vegetable and pasture) during the study period. Some physical and chemical properties of soils samples were analyzed. In addition, artificial neural networks, pedotransfer functions, and geostatistics were used in estimating soil characteristics, which are time consuming and costly to obtain. Coefficient of determination, root mean squared error, and mean absolute error were used for evaluation of the performance of the methods to predict the variables. Correlation analyzes and paired sample t-tests were applied to determine the relationship between soil properties and their seasonal changes. Electrical conductivity was ranged from 0.12 dS/m to 6.31 dS/m, and was greater in the pasture areas than other land uses. There was no salinity problem in agricultural production areas. Exhengeable sodium percentage was ranged from 1.20% to 72.76% in the study area. Soil sodicity occurred, in some degree, in the majority of the study soils. Longest geostatistical range occurred for pH followed by organic matter content (31100 m) and shortest one occurred for CaCO_3 content (650 m). Models were established for predicting cation exchange capacity, exhengeable sodium percentage, field capacity and wilting point moisture content in the study. When the performances of the models for prediction of the physical and chemical properties of the soil are compared in the study, artificial neural networks and fuzzy artificial neural networks were gave the best results. In addition, the Levenberg-Marquardt algorithm showed better performance than other training algorithms and it was determined that the various membership functions play an important role in the fuzzy neural network approach.

August 2018, 346 pages

Key words: Soil salinity, geostatistics, exhengeable sodium percentage, artificial neural networks, adaptive neuro fuzzy inference system

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu araştırma, Bafra ovası sağ sahilde sulamaya açılan ve sulamaların Derbent barajından ovaya kanaletler vasıtası ile dağıtıldığı farklı ürün yetiştiriciliklerinin yapıldığı bir alanda yürütülmüştür. Bu çalışmada farklı zaman ve mekânlardan elde edilen toprak özellikleri belirlenerek jeostatistiksel yöntemler ile gerçeği en iyi yansıtan alansal dağılım haritaları hazırlanmıştır. Bununla birlikte arazi koşullarında ölçülmesi ve laboratuvarda analizlerle elde edilmesi zor olan toprak özelliklerinin tahmininde yapay sinir ağları, bulanık yapay sinir ağları ve pedotransfer fonksiyonları gibi ileri düzey modelleme çalışmaları yapılarak ampirik eşitlikler geliştirilmiştir. Ayrıca elde edilen modellerden tahmin edilen verilerle gerçek verilerin karşılaştırması yapılmıştır.

Öncelikle doktora tez çalışmamın her aşamasında yardımlarını ve manevi desteğini hissettiğim tez danışmanım Prof. Dr. Yusuf DEMİR'e teşekkürlerimi sunarım. Tezin izlenmesi ve yürütülmesi konularında desteklerini esirgemeyen saygıdeğer hocalarım Prof. Dr. Bilal CEMEK ve Prof. Dr. Sabit ERŞAHİN'e, büro çalışmalarında ve teknik konularda yardımını gördüğüm Doç. Dr. Hakan ARSLAN hocama saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Arazi çalışmalarında beni yalnız bırakmayan eşim Dr. Mehmet TAŞAN başta olmak üzere, Ziraat Yüksek Mühendisi Murat BİROL'a, Ziraat Yüksek Mühendisi Aslıhan CANTÜRK'e, Yüksek lisans öğrencisi Büşra ÖZKAN'a, Bafra Altinkaya Sulama Birliğinde görev yapan Ziraat Mühendisi Serkan TEMİZEL'e, çalışmamın laboratuvar aşamasında desteklerini ve yardımlarını gördüğüm Dr. Elif ÖZTÜRK ve Dr. Betül BAYRAKLI'ya, laboratuvar konusunda teknik imkânlarından yararlandığım Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğüne teşekkürü borç bilirim.

Eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi destekleri her zaman yanımda hissettiğim annem ve babam Ümmü ve İbrahim SAFİ'ye ve TAŞAN ailesine tüm kalbimle teşekkür ve şükranlarımı sunarım.

Bu tez çalışması 116O715 numaralı “Farklı Bitkilerin Yetiştigi Toprakların Sulama ve Drenaj Açısından Önemli Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi ve Yapay Zeka Teknikleri ile Tahmini: Bafra Ovası Sağ Sahil Örneği” adlı TÜBİTAK-1001 Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Projelerini Destekleme Programı kapsamında TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

Ağustos 2018, SAMSUN

Sevda TAŞAN

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vi
ŞEKİLLER.....	vii
ÇİZELGELER.....	xii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	6
2.1. Farklı Arazi Kullanımlarının Toprak Özellikleri Üzerine Etkisine İlişkin Yapılmış Çalışmalar.....	6
2.2. Jeostatistikle İlgili Yapılmış Çalışmalar	8
2.3. Pedotransfer Fonksiyonlar ile İlgili Yapılmış Çalışmalar.....	14
3. MATERYAL VE YÖNTEM	27
3.1. Materyal	27
3.1.1. Araştırma alanının konumu.....	27
3.1.2. Araştırma alanın jeolojik durumu	28
3.1.3. Araştırma yerinin iklim özellikleri.....	28
3.1.4. Araştırma yerinin toprak özellikleri ve su kaynağı.....	31
3.1.5. Drenaj durumu	32
3.1.6. Tarımsal yapı ve üretim	32
3.1.7. Çalışmada kullanılan araç ve gereçler	33
3.1.8. Çalışmada kullanılan yazılımlar.....	35
3.2. Yöntem.....	35
3.2.1. Ön etüt ve büro çalışmaları	35
3.2.2. Arazi çalışmaları	36
3.2.3. Laboratuvar çalışmaları.....	36
3.2.4. Veri işleme ve modelleme çalışmaları	37
3.2.5. Yapay sinir ağları	38
3.2.5.1. İleri beslemeli geri yayımlı yapay sinir ağları (FFBP)	39
3.2.5.2. Yapay sinir ağı modellerinde kullanılan eğitim algoritmaları	41
3.2.5.2.1. Levenberg-Marquardt (LM) eğitim algoritması.....	41
3.2.5.2.2. Ölçeklenmiş eşlenik gradyan (SCG) eğitim algoritması.....	41
3.2.5.2.3. Bayesian Düzenlemesi (BR) eğitim algoritması	43
3.2.6. Bulanık yapay sinir ağları (ANFIS)	44
3.2.7. Jeostatistiksel yöntem	46
3.2.8. Çok değişkenli doğrusal regresyon yöntemi	48
3.2.9. İstatistiksel analiz ve değerlendirme	49
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	51
4.1. Toprak Özelliklerine İlişkin Bulgular	51
4.1.1. Çalışma alanı topraklarının fiziksel özellikleri	51
4.1.2. Çalışma alanı topraklarının kimyasal özellikleri	54
4.1.2.1. Çalışma alanı toprakların 2010 yılı sulama öncesi döneminde kimyasal özelliklerine ait bulgular	54
4.1.2.2. Çalışma alanı toprakların 2010 yılı sulama sonrası döneminde kimyasal özelliklerine ait bulgular	58

4.1.2.3. Çalışma alanı toprakların 2016 yılı sulama öncesi döneminde kimyasal özelliklerine ait bulgular	61
4.1.2.4. Çalışma alanı toprakların 2016 yılı sulama sonrası döneminde kimyasal özelliklerine ait bulgular	63
4.1.2.5. Çalışma alanı toprakların 2017 yılı sulama öncesi döneminde kimyasal özelliklerine ait bulgular	66
4.2. Arazi Kullanımı ve Toprak Özellikleri Arasındaki İlişkiler	69
4.3. Toprak Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Jeostatistiksel Değerlendirmesi	78
4.3.1. Çalışma alanı topraklarının fiziksel özelliklerinin jeostatistik değerlendirilmesi	79
4.3.2. Çalışma alanı topraklarının kimyasal özelliklerinin jeostatistiksel değerlendirilmesi	99
4.3.2.1. Sulama öncesi dönemde kimyasal özelliklerin haritalanması (Nisan-2010)	99
4.3.2.2. Sulama sonrası dönemde kimyasal özelliklerin haritalanması (Eylül-2010)	117
4.3.2.3. Sulama öncesi dönemde kimyasal özelliklerin haritalanması (Nisan-2016)	136
4.3.2.4. Sulama sonrası dönemde kimyasal özelliklerin haritalanması (Eylül-2016)	155
4.3.2.5. Sulama öncesi dönemde kimyasal özelliklerin haritalanması (Nisan-2017)	174
4.4. Toprak Özelliklerinin Mevsimsel Değişiminin Belirlenmesi	191
4.5. Toprakların Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin YSA, ANFIS ve Doğrusal Regresyon Modelleri ile Tahmin Edilmesi	195
4.5.1. Modelleme çalışmalarında kullanılan girdilerin belirlenmesi	195
4.5.2. Doğrusal regresyon modelleri ile toprak özelliklerinin tahmini	207
4.5.3. Yapay sinir ağları ile toprak özelliklerinin tahmin edilmesi	218
4.5.3.1. Toprakların bazı kimyasal özelliklerinin yapay sinir ağları ile tahmini	219
4.5.3.1.1. Yapay sinir ağları ile değişebilir sodyum yüzdesi'nin tahmini	219
4.5.3.1.2. Katyon değişim kapasitesinin yapay sinir ağları ile tahmini ..	239
4.5.3.2. Toprakların bazı fiziksel özelliklerinin yapay sinir ağları ile tahmini	247
4.5.3.2.1. Tarla kapasitesinin yapay sinir ağları ile tahmini	247
4.5.3.2.2. Solma noktasının yapay sinir ağları ile tahmini	264
4.5.4. Bulanık yapay sinir ağları (ANFIS) ile toprak özelliklerinin tahmin edilmesi	280
4.5.4.1. Toprakların kimyasal özelliklerinin ANFIS ile tahmin edilmesi....	280
4.5.4.1.1. Değişebilir sodyum yüzdesinin ANFIS ile tahmini	280
4.5.4.1.2. Katyon değişim kapasitesinin ANFIS ile tahmini	287
4.5.4.2. Toprakların fiziksel özelliklerinin ANFIS modeli ile tahmin edilmesi	288
4.5.4.2.1. Tarla kapasitesinin ANFIS ile tahmini	289
4.5.4.2.2. Solma noktasının ANFIS ile tahmini	295
4.5.5. Toprak özelliklerinin tahmini için oluşturulan Pedotransfer, Yapay sinir ağları ve Bulanık yapay sinir ağları modellerinin genel karşılaştırması	300
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	309
KAYNAKLAR	314
ÖZGEÇMİŞ	325

SİMGELER VE KISALTMALAR

SİMGELER

dS/m	desiSiemens-metre
meq	Miliekivalan
°C	Santigrat derece
Na	Sodyum
K	Potasyum
Ca	Kalsiyum
Mg	Magnezyum
R ²	Belirleme katsayısı
iw	Ağırlık

KISALTMALAR

ESP	Değişebilir sodyum yüzdesi
KDK	Katyon değişim kapasitesi
TK	Tarla kapasitesi
SN	Solma noktası
EC	Elektriksel iletkenlik
PTF	Pedotransfer fonksiyon
YSA	Yapay sinir ağları
FFBP	İleri beslemeli geri yayımlı yapay sinir ağları
ANFIS	Bulanık yapay sinir ağları
ÇDR	Çok değişkenli doğrusal regresyon
OK	Ordinary kriging
IDW	Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon Tekniği
RBF	Radyal Temel Fonksiyonlar
RMSE	Ortalama Hata Kareleri Toplamının Karekökü
MAE	Ortalama Mutlak Hata
RSS	Hata Kareler Toplamı
Co	Nugget
Co+C	Sill
Ao	Range
VK	Varyasyon katsayısı
LM	Levenberg-Marquard eğitim algoritması
SCG	Scaled Conjugate Gradient eğitim algoritması
BR	Bayesian Regularization eğitim algoritması
PCA	Temel bileşenler analizi
CBS	Coğrafi bilgi sistemleri

ŞEKİLLER

Şekil 3.1. Çalışma alanı konumu ve örnekleme noktaları.....	27
Şekil 3.2. Bafra ilçesi uzun yıllar sıcaklık ve yağışın mevsimsel dağılımı (1987-2017)	29
Şekil 3.3. Bozulmuş ve bozulmamış toprak örneklemesinde kullanılan bazı araçlar	33
Şekil 3.4. Yapay sinir ağlarının genel yapısı	39
Şekil 3.5. İleri beslemeli geri yayımlı yapay sinir ağı genel yapısı	40
Şekil 3.6. Temel ANFIS yapısı	44
Şekil 3.7. Semivariogram modelleri.....	48
Şekil 4.1. Toprakların fiziksel özelliklerinin arazi kullanım şekline göre dağılımı...	69
Şekil 4.2. Toprakların hacim ağırlıklarının (g/cm^3) arazi kullanım şekline göre dağılımı.....	70
Şekil 4.3. EC'nin arazi kullanım şekli ve toprak derinliğine göre değişimi	72
Şekil 4.4. pH'nın arazi kullanım şekli ve toprak derinliğine göre değişimi	73
Şekil 4.5. KDK'nın arazi kullanım şekli ve toprak derinliğine göre değişimi.....	74
Şekil 4.6. ESP'nin arazi kullanım şekli ve toprak derinliğine göre değişimi	75
Şekil 4.7. CaCO_3 içeriğinin arazi kullanım şekli ve toprak derinliğine göre değişimi	76
Şekil 4.8. Organik maddenin arazi kullanım şekli ve toprak derinliğine göre değişimi	77
Şekil 4.9. Toprak kum (%) içeriği için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafikleri	80
Şekil 4.10. Toprak kil (%) içeriği için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafikleri	81
Şekil 4.11. Toprak silt (%) içeriği için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafikleri	82
Şekil 4.12. Hacim ağırlığı (g/cm^3) için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafikleri	84
Şekil 4.13. Tarla kapasitesi (%) için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafikleri	85
Şekil 4.14. Solma noktası (%) için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafikleri	86
Şekil 4.15. Toprağın 0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm ve 90-120 cm derinliklerindeki kum (%) içeriği dağılım haritaları	91
Şekil 4.16. Toprağın 0-30 cm, 30-60 cm ve 60-90 cm derinliklerindeki kil (%) içeriği dağılım haritaları.....	93
Şekil 4.17. Toprağın 0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm ve 90-120 cm derinliklerindeki silt (%) içeriği dağılım haritaları	94
Şekil 4.18. Toprağın 0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm ve 90-120 cm derinliklerindeki hacim ağırlığı dağılım haritaları	95
Şekil 4.19. Toprağın 0-30 cm, 30-60 cm ve 60-90 cm derinliklerindeki TK (%) dağılım haritaları.....	97
Şekil 4.20. Toprağın 0-30 cm, 30-60 cm ve 60-90 cm derinliklerindeki SN (%) dağılım haritaları.....	98
Şekil 4.21. EC için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafikleri (Nisan-2010)	102
Şekil 4.22. pH için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafikleri (Nisan-2010)	103

Şekil 4.23. CaCO ₃ için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafikleri (Nisan-2010).....	104
Şekil 4.24. KDK için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafikleri (Nisan-2010).....	105
Şekil 4.25. ESP için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafikleri (Nisan-2010).....	106
Şekil 4.26. Organik madde için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafiği (Nisan-2010).....	107
Şekil 4.27. Nisan-2010 dönemi (a) 0-30 cm, (b) 30-60 cm, (c) 60-90 cm (d) 90-120 cm derinliklerindeki EC haritaları	109
Şekil 4.28. Nisan-2010 dönemi (a) 0-30 cm, (b) 30-60 cm, (c) 60-90 cm (d) 90-120 cm derinliklerindeki pH haritaları	110
Şekil 4.29. Nisan-2010 dönemi (a) 0-30 cm, (b) 30-60 cm, (c) 90-120 cm derinliklerindeki KDK haritaları	112
Şekil 4.30. Nisan-2010 dönemi (a) 0-30 cm, (b) 30-60 cm, (c) 60-90 cm (d) 90-120 cm derinliklerindeki ESP haritaları	114
Şekil 4.31. Nisan-2010 dönemi (a) 0-30 cm, (b) 30-60 cm, (c) 60-90 cm (d) 90-120 cm derinliklerindeki CaCO ₃ içeriğinin değişim haritaları.....	116
Şekil 4.32. Nisan-2010 dönemi 0-30 cm derinliğindeki organik madde içeriği haritası	117
Şekil 4.33. EC için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafikleri (Eylül-2010).....	121
Şekil 4.34. pH için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafikleri (Eylül-2010).....	122
Şekil 4.35. CaCO ₃ için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafikleri (Eylül-2010).....	123
Şekil 4.36. KDK için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafikleri (Eylül-2010).....	124
Şekil 4.37. ESP için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafikleri (Eylül-2010).....	125
Şekil 4.38. Organik madde için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafiği (Eylül-2010).....	126
Şekil 4.39. Eylül-2010 dönemi (a) 0-30 cm, (b) 30-60 cm, (c) 60-90 cm (d) 90-120 cm derinliklerindeki EC haritaları	128
Şekil 4.40. Eylül-2010 dönemi (a) 0-30 cm, (b) 30-60 cm, (c) 60-90 cm (d) 90-120 cm derinliklerindeki pH haritaları	130
Şekil 4.41. Eylül-2010 dönemi (a) 0-30 cm, (b) 30-60 cm, (c) 60-90 cm (d) 90-120 cm derinliklerindeki KDK haritaları	131
Şekil 4.42. Eylül-2010 dönemi (a) 0-30 cm, (b) 30-60 cm, (c) 60-90 cm (d) 90-120 cm derinliklerindeki ESP haritaları	133
Şekil 4.43. Eylül-2010 dönemi (a) 0-30 cm, (b) 30-60 cm, (c) 60-90 cm (d) 90-120 cm derinliklerindeki CaCO ₃ haritaları.....	134
Şekil 4.44. Eylül-2010 dönemi 0-30 cm derinliğindeki organik madde içeriği haritası	135
Şekil 4.45. EC için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafikleri (Nisan-2016).....	139
Şekil 4.46. pH için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafikleri (Nisan-2016).....	140
Şekil 4.47. CaCO ₃ için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafikleri (Nisan-2016).....	141

Şekil 4.48. KDK için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafikleri (Nisan-2016)	142
Şekil 4.49. ESP için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafikleri (Nisan-2016)	143
Şekil 4.50. Organik madde için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafiği (Nisan-2016)	144
Şekil 4.51. Nisan-2016 dönemi (a) 0-30 cm, (b) 30-60 cm, (c) 60-90 cm (d) 90-120 cm derinliklerindeki EC haritaları	147
Şekil 4.52. Nisan-2016 dönemi (a) 0-30 cm, (b) 30-60 cm, (c) 60-90 cm (d) 90-120 cm derinliklerindeki pH haritaları	149
Şekil 4.53. Nisan-2016 dönemi (a) 0-30 cm, (b) 30-60 cm, (c) 60-90 cm (d) 90-120 cm derinliklerindeki KDK haritaları	150
Şekil 4.54. Nisan-2016 dönemi (a) 0-30 cm, (b) 30-60 cm, (c) 60-90 cm (d) 90-120 cm derinliklerindeki ESP haritaları	151
Şekil 4.55. Nisan-2016 dönemi (a) 0-30 cm, (b) 30-60 cm, (c) 90-120 cm derinliklerindeki CaCO_3 haritaları	153
Şekil 4.56. Nisan-2016 dönemi 0-30 cm derinliğindeki organik madde içeriği haritası	154
Şekil 4.57. EC için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafiği (Eylül-2016).	158
Şekil 4.58. pH için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafiği (Eylül-2016).	159
Şekil 4.59. CaCO_3 (%) için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafiği (Eylül-2016)	160
Şekil 4.60. KDK için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafiği (Eylül-2016)	161
Şekil 4.61. ESP için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafiği (Eylül-2016)	162
Şekil 4.62. Organik madde için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafiği (Eylül-2016)	163
Şekil 4.63. Eylül 2016 dönemi (a) 0-30 cm, (b) 30-60 cm, (c) 60-90 cm (d) 90-120 cm derinliklerindeki EC haritaları	166
Şekil 4.64. Eylül 2016 dönemi (a) 0-30 cm, (b) 30-60 cm, (c) 60-90 cm (d) 90-120 cm derinliklerindeki pH haritaları	167
Şekil 4.65. Eylül 2016 dönemi (a) 0-30 cm, (b) 30-60 cm, (c) 60-90 cm (d) 90-120 cm derinliklerindeki KDK haritaları	170
Şekil 4.66. Eylül 2016 dönemi (a) 0-30 cm, (b) 30-60 cm, (c) 60-90 cm (d) 90-120 cm derinliklerindeki ESP haritaları	171
Şekil 4.67. Eylül 2016 dönemi (a) 0-30 cm, (b) 30-60 cm, (c) 60-90 cm (d) 90-120 cm derinliklerindeki CaCO_3 haritaları	172
Şekil 4.68. Eylül-2016 dönemi 0-30 cm derinliğindeki organik madde içeriği haritası	173
Şekil 4.69. EC için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafikleri (Nisan-2017)	177
Şekil 4.70. pH için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafikleri (Nisan-2017)	178
Şekil 4.71. CaCO_3 için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafikleri (Nisan-2017)	179
Şekil 4.72. KDK için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafikleri (Nisan-2017)	180
Şekil 4.73. ESP için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafikleri (Nisan-2017)	181

Şekil 4.74. Organik madde için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafiği (Nisan-2017).....	182
Şekil 4.75. Nisan 2017 dönemi (a) 0-30 cm, (b) 30-60 cm, (c) 60-90 cm (d) 90-120 cm derinliklerindeki EC haritaları	184
Şekil 4.76. Nisan 2017 dönemi (a) 0-30 cm, (b) 30-60 cm, (c) 60-90 cm (d) 90-120 cm derinliklerindeki pH haritaları	185
Şekil 4.77. Nisan 2017 dönemi (a) 0-30 cm, (b) 30-60 cm, (c) 60-90 cm (d) 90-120 cm derinliklerindeki KDK haritaları	187
Şekil 4.78. Nisan 2017 dönemi (a) 0-30 cm, (b) 30-60 cm, (c) 60-90 cm (d) 90-120 cm derinliklerindeki CaCO ₃ haritaları.....	188
Şekil 4.79. Nisan 2017 dönemi (a) 0-30 cm, (b) 30-60 cm, (c) 60-90 cm (d) 90-120 cm derinliklerindeki ESP haritaları	189
Şekil 4.80. Nisan 2017 dönemi 0-30 cm derinliğindeki organik madde içeriği haritası	190
Şekil 4.81. Doğrusal regresyon modeli ile ESP'nin tahmininde en iyi performans kriterleri gösteren ÇDR1'in karşılaştırılması (2016-Nisan).....	215
Şekil 4.82. Doğrusal regresyon modeli ile KDK'nın tahmininde en iyi performans kriterleri gösteren ÇDR5'in karşılaştırılması (tüm veri seti).....	216
Şekil 4.83. Doğrusal regresyon modeli ile TK (%)'nin tahmininde en iyi performans kriterleri gösteren ÇDR7'nin karşılaştırılması (2016-Nisan).....	216
Şekil 4.84. Doğrusal regresyon modeli ile SN (%)'nin tahmininde en iyi performans kriterleri gösteren ÇDR13'ün karşılaştırılması (2016-Nisan)	217
Şekil 4.85. Çok katmanlı yapay sinir ağında (2-4-1) ağ yapısı diyagramı.....	220
Şekil 4.86. Çok katmanlı yapay sinir ağında (3-5-1) ağ yapısı diyagramı.....	220
Şekil 4.87. Çok katmanlı yapay sinir ağında (4-5-1) ağ yapısı diyagramı.....	220
Şekil 4.88. LM eğitim algoritması (4-7-1) ağ yapısında tahmin edilen ESP ile ölçülen ESP değerlerinin karşılaştırılması (YSA4-tüm veri seti)	237
Şekil 4.89. SCG eğitim algoritması (2-5-7-1) ağ yapısında tahmin edilen ESP ile ölçülen ESP değerlerinin karşılaştırılması (YSA1-tüm veri seti).....	237
Şekil 4.90. BR eğitim algoritması (4-6-1) ağ yapısında tahmin edilen ESP ile ölçülen ESP değerlerinin karşılaştırılması (YSA4-tüm veri seti)	238
Şekil 4.91. KDK'nın tahmini için çok katmanlı yapay sinir ağında (3-7-1) ağ yapısı diyagramı.....	239
Şekil 4.92. LM eğitim algoritması (3-7-1) ağ yapısında tahmin edilen KDK (meq/100g) ile ölçülen KDK (meq/100g) değerlerinin karşılaştırılması (YSA5-tüm veri seti)	244
Şekil 4.93. SCG eğitim algoritması (3-5-7-1) ağ yapısında tahmin edilen KDK (meq/100g) ile ölçülen KDK (meq/100g) değerlerinin karşılaştırılması (YSA5-tüm veri seti)	245
Şekil 4.94. BR eğitim algoritması (3-7-1) ağ yapısında tahmin edilen KDK (meq/100g) ile ölçülen KDK (meq/100g) değerlerinin karşılaştırılması (YSA5-tüm veri seti)	245
Şekil 4.95. TK tahmini için çok katmanlı (2-4-1) ağ yapısı diyagramı	247
Şekil 4.96. TK tahmini için çok katmanlı (3-5-1) ağ yapısı diyagramı	248
Şekil 4.97. TK tahmini için çok katmanlı (4-5-1) ağ yapısı diyagramı	248
Şekil 4.98. LM eğitim algoritması (4-7-1) ağ yapısında tahmin edilen TK (%) ile ölçülen TK (%) değerlerinin karşılaştırılması (YSA9-tüm veri seti)	261
Şekil 4.99. SCG eğitim algoritması (4-8-1) ağ yapısında tahmin edilen TK (%) ile ölçülen TK (%) değerlerinin karşılaştırılması (YSA9-tüm veri seti)	262

Şekil 4.100. BR eğitim algoritması (4-7-1) ağ yapısında tahmin edilen TK (%) ile ölçülen TK (%) değerlerinin karşılaştırılması (YSA9-tüm veri seti)	262
Şekil 4. 101. SN tahmini için çok katmanlı (2-4-1) ağ yapısı diyagramı	264
Şekil 4.102. SN tahmini için çok katmanlı (3-5-1) ağ yapısı diyagramı	264
Şekil 4.103. SN tahmini için çok katmanlı (4-5-1) ağ yapısı diyagramı	265
Şekil 4.104. LM eğitim algoritması (2-5-1) ağ yapısında tahmin edilen SN (%) ile ölçülen SN (%) değerlerinin karşılaştırılması (YSA13-2016Nisan)	277
Şekil 4.105. SCG eğitim algoritması (4-5-7-1) ağ yapısında tahmin edilen SN (%) ile ölçülen SN (%) değerlerinin karşılaştırılması (YSA15-2016Nisan)	278
Şekil 4.106. BR eğitim algoritması (4-5-1) ağ yapısında tahmin edilen SN (%) ile ölçülen SN (%) değerlerinin karşılaştırılması (YSA15-2016Nisan)	278
Şekil 4.107. Bulanık yapay sinir ağları ile ESP tahmininde en iyi performans kriterleri gösteren ANFIS3'ün karşılaştırılması (2016-Nisan)	283
Şekil 4.108. Bulanık yapay sinir ağları ile ESP tahmininde en iyi performans kriterleri gösteren ANFIS4'ün karşılaştırılması (Tüm veri)	285
Şekil 4.109. Bulanık yapay sinir ağları ile ESP'nin tahmininde ANFIS4 için kullanılan üyelik fonksiyonları ve kuralları	286
Şekil 4.110. ESP'nin bulanık yapay sinir ağları ile tahmini için oluşturulan model yapısı (ANFIS4)	286
Şekil 4.111. Bulanık yapay sinir ağları ile KDK tahmininde en iyi performans kriterleri gösteren ANFIS5'in karşılaştırılması (Tüm veri)	288
Şekil 4.112. Bulanık yapay sinir ağları ile TK (%) tahmininde en iyi performans kriterleri gösteren ANFIS7'nin karşılaştırılması (2016-Nisan)	292
Şekil 4.113. Bulanık yapay sinir ağları ile TK (%) tahmininde en iyi performans kriterleri gösteren ANFIS9'un karşılaştırılması (tüm veri seti)	293
Şekil 4.114. Bulanık yapay sinir ağları ile SN (%) tahmininde en iyi performans kriterleri gösteren Model14'ün karşılaştırılması (2016-Nisan)	298
Şekil 4.115. Bulanık yapay sinir ağları ile SN (%) tahmininde en iyi performans kriterleri gösteren ANFIS16'nın karşılaştırılması (tüm veri seti)	300
Şekil 4.116. Test veri seti için en uygun YSA modeli (YSA4) ile ölçülen ve tahmin edilen ESP değerlerinin karşılaştırılması	302
Şekil 4.117. Test veri seti için en uygun YSA modeli (YSA 5) ile ölçülen ve tahmin edilen KDK değerlerinin karşılaştırılması	304
Şekil 4.118. Test veri seti için en uygun YSA modeli (YSA9) ile ölçülen ve tahmin edilen TK (%) değerlerinin karşılaştırılması	307
Şekil 4.119. Test veri seti için en uygun YSA modeli (YSA15) ile ölçülen ve tahmin edilen solma noktası değerlerinin karşılaştırılması	308

ÇİZELGELER

Çizelge 3.1. Bafra ilçesine ait bazı iklim parametreleri	30
Çizelge 3.2. Toprakların fiziksel ve kimyasal analizlerinde kullanılan cihazlar	34
Çizelge 4.1. Çalışma alanı topraklarının fiziksel özelliklerine ait tanımlayıcı istatistikler.....	51
Çizelge 4.2. Çalışma alanı toprakların 2010 yılı sulama öncesi döneminde kimyasal özelliklerine ait temel tanımlayıcı istatistikleri.....	55
Çizelge 4.3. Çalışma alanı toprakların 2010 yılı sulama sonrası döneminde kimyasal özelliklerine ait temel tanımlayıcı istatistikleri.....	59
Çizelge 4.4. Çalışma alanı toprakların 2016 yılı sulama öncesi döneminde kimyasal özelliklerine ait temel tanımlayıcı istatistikleri.....	62
Çizelge 4.5. Çalışma alanı toprakların 2016 yılı sulama sonrası döneminde kimyasal özelliklerine ait temel tanımlayıcı istatistikleri.....	64
Çizelge 4.6. Çalışma alanı toprakların 2017 yılı sulama öncesi döneminde kimyasal özelliklerine ait temel tanımlayıcı istatistikleri.....	66
Çizelge 4.7. Toprağın fiziksel özellikleri için yapılan izotropik semivariogram analizi sonucu elde edilen modeller ve bileşenleri	79
Çizelge 4.8. Toprakların fiziksel özelliklerinin ölçülen ve tahmin edilen değerlerine ait tanımlayıcı istatistik sonuçları	90
Çizelge 4.9. Toprakların kimyasal özelliklerine ait izotropik semivariogram bileşenleri (Nisan-2010)	99
Çizelge 4.10. Toprakların kimyasal özelliklerinin ölçülen ve tahmin edilen değerlerine ait tanımlayıcı istatistik sonuçları (Nisan-2010).....	107
Çizelge 4.11. Toprakların kimyasal özelliklerine ait izotropik semivariogram bileşenleri (Eylül-2010)	118
Çizelge 4.12. Toprakların kimyasal özelliklerinin ölçülen ve tahmin edilen değerlerine ait tanımlayıcı istatistik sonuçları (Eylül-2010).....	127
Çizelge 4.13. Toprakların kimyasal özelliklerine ait izotropik semivariogram bileşenleri (Nisan-2016)	136
Çizelge 4.14. Toprakların kimyasal özelliklerinin ölçülen ve tahmin edilen değerlerine ait tanımlayıcı istatistik sonuçları (Nisan-2016).....	145
Çizelge 4.15. Toprakların kimyasal özelliklerine ait izotropik semivariogram bileşenleri (Eylül-2016)	155
Çizelge 4.16. Toprakların kimyasal özelliklerinin ölçülen ve tahmin edilen değerlerine ait tanımlayıcı istatistik sonuçları (Eylül-2016).....	164
Çizelge 4.17. Toprakların kimyasal özelliklerine ait izotropik semivariogram bileşenleri (Nisan-2017)	174
Çizelge 4.18. Toprakların kimyasal özelliklerinin ölçülen ve tahmin edilen değerlerine ait tanımlayıcı istatistik sonuçları (Nisan-2017).....	183
Çizelge 4.19. Nisan 2010 ve Nisan 2016 dönemi toprak özelliklerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler ve t testi sonuçları	191
Çizelge 4.20. Nisan 2016 ve Eylül 2016 dönemi toprak özelliklerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler ve t testi sonuçları	192
Çizelge 4.21. Eylül 2016 ve Nisan 2017 dönemi toprak özelliklerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler ve t testi sonuçları	194
Çizelge 4.22. Nisan-2016 dönemi toprak özellikleri arasındaki korelasyon	197
Çizelge 4.23. Eylül-2016 dönemi toprak özellikleri arasındaki korelasyon	198
Çizelge 4.24. Nisan- 2017 dönemi toprak özellikleri arasındaki korelasyon	199

Çizelge 4.25. Tüm veriler (3 dönem) için toprak özellikleri arasındaki korelasyon	200
Çizelge 4.26. Döndürülmüş faktör yapısı matrisi	202
Çizelge 4.27. 0-30 cm toprak derinliği için döndürülmüş faktör yapısı matrisi	202
Çizelge 4.28. Nisan 2016 dönemine ait modellerde kullanılan veri setleri için tanımlayıcı istatistikler.....	203
Çizelge 4.29. Nisan-2016 dönemine ait organik madde kullanılan modeller için tanımlayıcı istatistikler.....	204
Çizelge 4.30. Nisan-2016 dönemine ait hacim ağırlığı kullanılan modeller için tanımlayıcı istatistikler.....	204
Çizelge 4.31. Tüm veriler kullanılarak oluşturulan veri setleri için tanımlayıcı istatistikler.....	205
Çizelge 4.32. Tüm veriler için organik madde kullanılan modellerin tanımlayıcı istatistikler.....	206
Çizelge 4.33. Toprak özelliklerinin tahmini için oluşturulan doğrusal regresyon modellerinin matematiksel ifadeleri (Nisan-2016 dönemi verileri) ...	208
Çizelge 4.34. Oluşturulan pedotransfer fonksiyonlar için istatistiksel kriterler (Nisan-2016)	209
Çizelge 4.35. Doğrusal regresyon modellerinin performans değerlendirmesi (Nisan-2016)	210
Çizelge 4.36. Toprak özelliklerinin tahmini için oluşturulan doğrusal regresyon modellerinin matematiksel ifadeleri (3 dönem verileri)	212
Çizelge 4.37. Oluşturulan pedotransfer fonksiyonlar için istatistiksel kriterler (3 dönem verileri).....	213
Çizelge 4.38. Doğrusal regresyon modellerinin performans değerlendirmesi (üç dönem verileri).....	214
Çizelge 4.39. YSA modellerinin gelişimi için kullanılan değişkenler.....	218
Çizelge 4.40. LM eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda ESP'nin tahmini için geliştirilen YSA modellerinin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (Nisan2016)	222
Çizelge 4.41. SCG eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda ESP'nin tahmini için geliştirilen YSA modellerinin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (Nisan 2016)	224
Çizelge 4.42. BR eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda ESP'nin tahmini için geliştirilen YSA modellerinin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (Nisan-2016)	226
Çizelge 4.43. Levenberg-Marquardt (LM) eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda ESP'nin tahmini için geliştirilen YSA modellerinin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (tüm veri seti)	229
Çizelge 4.43. (devamı)Levenberg-Marquardt (LM) eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda ESP'nin tahmini için geliştirilen YSA modellerinin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (tüm veri seti)	230
Çizelge 4.44. Scaled Conjugate Gradient (SCG) eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda ESP'nin tahmini için geliştirilen YSA modellerinin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (tüm veri seti)	232

Çizelge 4.44. (devamı) Scaled Conjugate Gradient (SCG) eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda ESP'nin tahmini için geliştirilen YSA modellerinin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (tüm veri seti).....	233
Çizelge 4.45. Bayesian Regularization (BR) eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda ESP'nin tahmini için geliştirilen YSA modellerinin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (Tüm veri seti).....	234
Çizelge 4.45. (devamı) Bayesian Regularization (BR) eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda ESP'nin tahmini için geliştirilen YSA modellerinin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (Tüm veri seti).....	235
Çizelge 4.46. Değişebilir sodyum yüzdesinin tahmini için oluşturulan modellerin istatistiksel analiz sonuçları	236
Çizelge 4.47. Girdi katmanı ile gizli katman ve gizli katman ile çıktı katmanı arasındaki ağırlık ve bias değerleri (YSA4 modeli (4-7-1) LM algoritması için)	238
Çizelge 4.48. Levenberg-Marquardt (LM) eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda KDK'nın tahmini için geliştirilen YSA modellerinin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (tüm veri seti)	240
Çizelge 4.49. Scaled Conjugate Gradient (SCG) eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda KDK'nın tahmini için geliştirilen YSA modellerinin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (tüm veri seti)	241
Çizelge 4.50. Bayesian Regularization (BR) eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda KDK'nın tahmini için geliştirilen YSA modellerinin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (tüm veri seti)	242
Çizelge 4.51. Katyon değişim kapasitesinin tahmini için oluşturulan modellerin istatistiksel analiz sonuçları	244
Çizelge 4.52. Girdi katmanı ile gizli katman ve gizli katman ile çıktı katmanı arasındaki ağırlık ve bias değerleri (YSA5 modeli (3-7-1) LM algoritması için)	246
Çizelge 4.53. LM eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda Tarla kapasitesinin tahmini için geliştirilen YSA modellerinin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (Nisan-2016)	251
Çizelge 4.53. (devamı) LM eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda Tarla kapasitesinin tahmini için geliştirilen YSA modellerinin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (Nisan-2016).....	252
Çizelge 4.54. SCG eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda Tarla kapasitesinin tahmini için geliştirilen YSA modellerinin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (Nisan-2016)	253
Çizelge 4.54. (devamı) SCG eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda Tarla kapasitesinin tahmini için geliştirilen YSA modellerinin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (Nisan-2016).....	254

Çizelge 4.55. BR eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda Tarla kapasitesinin tahmini için geliştirilen YSA modellerinin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (Nisan-2016)	255
Çizelge 4.55 (devamı) BR eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda Tarla kapasitesinin tahmini için geliştirilen YSA modellerinin eğitim ve test veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (Nisan-2016).....	256
Çizelge 4.56. Levenberg-Marquardt (LM) eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda tarla kapasitesinin tahmini için geliştirilen YSA modellerinin eğitim ve test veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (tüm veri seti)	258
Çizelge 4.57. Scaled Conjugate Gradient (SCG) eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda Tarla kapasitesinin tahmini için geliştirilen YSA modellerinin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (tüm veri seti).....	259
Çizelge 4.58. Bayesian Regularization (BR) eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda Tarla kapasitesinin tahmini için geliştirilen YSA modellerinin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (tüm veri seti).....	260
Çizelge 4.59. Tarla kapasitesinin tahmini için oluşturulan modellerin istatistiksel analiz sonuçları	261
Çizelge 4.60. Girdi katmanı ile gizli katman ve gizli katman ile çıktı katmanı arasındaki ağırlık ve bias değerleri (YSA9 modeli (4-7-1) LM algoritması için)	263
Çizelge 4.61. LM eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda Solma noktasının tahmini için geliştirilen YSA modellerinin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (Nisan-2016)	266
Çizelge 4.61. (devamı) LM eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda Solma noktasının tahmini için geliştirilen YSA modellerinin eğitim ve test veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (Nisan-2016).....	267
Çizelge 4.62. SCG eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda Solma noktasının tahmini için geliştirilen YSA modellerinin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (Nisan-2016)	268
Çizelge 4.62 (devamı) SCG eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda Solma noktasının tahmini için geliştirilen YSA modellerinin eğitim ve test veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (Nisan-2016).....	269
Çizelge 4.63. BR eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda Solma noktasının tahmini için geliştirilen YSA modellerinin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (Nisan-2016)	270
Çizelge 4.63 (devamı) BR eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda Solma noktasının tahmini için geliştirilen YSA modellerinin eğitim ve test veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (Nisan-2016).....	271

Çizelge 4.64. Levenberg-Marquardt (LM) eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda Solma noktasının tahmini için geliştirilen YSA modellerinin eğitim ve test veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (tüm veri seti)	274
Çizelge 4.65. Scaled Conjugate Gradient (SCG) eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda Solma noktasının tahmini için geliştirilen YSA modellerinin eğitim ve test veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (tüm veri seti)	275
Çizelge 4.66. Bayesian Regularization (BR) eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda Solma noktasının tahmini için geliştirilen YSA modellerinin eğitim ve test veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (tüm veri seti)	276
Çizelge 4.67. Solma noktasının tahmini için oluşturulan modellerin istatistiksel analiz sonuçları.....	277
Çizelge 4.68. Girdi katmanı ile gizli katman ve gizli katman ile çıktı katmanı arasındaki ağırlık ve bias değerleri (YSA15 modeli (4-5-1) BR algoritması için)	279
Çizelge 4.69. Bulanık yapay sinir ağları (ANFIS) kullanılarak farklı üyelik fonksiyon ve sayıları ile ESP'nin tahmini için geliştirilen modellerin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (Nisan-2016).....	282
Çizelge 4.70. Bulanık yapay sinir ağları (ANFIS) kullanılarak farklı üyelik fonksiyon ve sayıları ile ESP'nin tahmini için geliştirilen modellerin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (tüm veri seti).....	284
Çizelge 4.71. Bulanık yapay sinir ağları (ANFIS) kullanılarak farklı üyelik fonksiyon ve sayıları ile KDK'nın tahmini için geliştirilen modellerin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (tüm veri seti).....	287
Çizelge 4.72. Tarla kapasitesinin modellenmesinde kullanılan girdi verileri	289
Çizelge 4.73. Bulanık yapay sinir ağları (ANFIS) kullanılarak farklı üyelik fonksiyon ve sayıları ile TK'nın tahmini için geliştirilen modellerin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (Nisan-2016).....	290
Çizelge 4.73. (devamı) Bulanık yapay sinir ağları (ANFIS) kullanılarak farklı üyelik fonksiyon ve sayıları ile TK'nın tahmini için geliştirilen modellerin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (Nisan-2016).....	291
Çizelge 4.74. Bulanık yapay sinir ağları (ANFIS) kullanılarak farklı üyelik fonksiyon ve sayıları ile TK'nın tahmini için geliştirilen modellerin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (tüm veri seti).....	294
Çizelge 4.75. Solma noktasının modellenmesinde kullanılan girdi verileri	295
Çizelge 4.76. Bulanık yapay sinir ağları (ANFIS) kullanılarak farklı üyelik fonksiyon ve sayıları ile SN'nin tahmini için geliştirilen modellerin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (Nisan-2016).....	296
Çizelge 4.76. (devamı) Bulanık yapay sinir ağları (ANFIS) kullanılarak farklı üyelik fonksiyon ve sayıları ile SN'nin tahmini için geliştirilen modellerin	

eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (Nisan-2016).....	297
Çizelge 4.77. Bulanık yapay sinir ağları (ANFIS) kullanılarak farklı üyelik fonksiyon ve sayıları ile SN'nin tahmini için geliştirilen modellerin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (tüm veri seti).....	299
Çizelge 4.78. Toprakların kimyasal özelliklerinin tahmini için geliştirilen pedotransfer, YSA ve ANFIS modellerinin performans değerlendirmesi	301
Çizelge 4.79. Toprakların fiziksel özelliklerinin tahmini için geliştirilen pedotransfer, YSA ve ANFIS modellerinin performans değerlendirmesi.....	305



1. GİRİŞ

Su ve toprak, tarımsal üretim için gerekli olan iki vazgeçilemez sınırlı kaynaktır. Günümüz koşulları için düşünüldüğünde hem ekstansif hem de intansif üreticilikte suyun ve toprağın sürdürülebilir, bilinçli ve planlı bir şekilde yönetimi gerekliliği doğmaktadır. Bunun yanında su ve toprak kaynakları ülkeler için enerji, ham madde ve ekosistemler için gerekli olan temel bir ihtiyaçtır. Mevcut durumda sahip olunan su ve toprak kaynaklarının kalitesi bozulmadan dengeli ve üretimde de sosyo-ekonomik bir biçimde ayarlanması ve yönetilmesi gerekmektedir. Bu nedenledir ki son zamanlarda su ve topraklar entegre havza yönetimine dahil edilmiştir.

Diğer yandan günümüze insanoğlunun en önemli sorunlarından biri tarımsal üretime bağlı olarak küresel çevre değişimidir. Çünkü yiyecek ve gıda üretim zincirinin bir parçası olan tarımsal faaliyetler çoğu zaman tarımsal çevre ve ekosistemi olumsuz etkilemektedir. Bu olumsuz etkilerden bazıları, tarım ortamlarının istikrarsız yönetimi ve tarımsal çevrede olan bozulmalardır. Bu bozulma bazı ülkelerde çok hızlı gerçekleştiğinden gelecekte birçok ülkede sürdürülebilir tarımın devam edemeyeceği belirtilmektedir. Tarımsal alanlardaki bu çevresel bozulmanın büyük bir kısmını ele alan toprak tuzlulaşması, ekosistemlerdeki biyolojik fonksiyonları olumsuz yönde etkilemekte, toprak ve su kaynaklarının bozulmasına neden olmaktadır (Abd-Elwahed, 2005).

Bu bağlamda Türkiye'nin yüz ölçümü 78 milyon hektar olup, bu alanın yaklaşık üçte birini oluşturan 28 milyon hektarı tarım yapılan arazidir. Yapılan etütlere göre; mevcut su potansiyeli ile teknik ve ekonomik olarak sulanabilecek arazi miktarı 8.5 milyon hektar olarak hesaplanmış ve bu alan içerisinde 5.9 milyon ha'lık alan sulamaya açılmıştır (Anonim, 2018). Türkiye'nin yeraltı ve yerüstü su kaynakları toplamı ise 112 milyar m³ olup, bunun 98 milyar m³'ü yerüstü, 14 milyar m³'ü ise yeraltı su kaynağıdır. Bu kaynakların 44 milyar m³'ü evsel ve endüstriyel amaçla, yaklaşık % 73'ü ise tarımsal faaliyetler için kullanılmaktadır (Anonim, 2018).

Su ve toprak kaynaklarının dengeli bir biçimde yönetilebilmesi için toprak etüt ve haritalama çalışmaları ile mevcut kaynakların izlenmesi ve değerlendirilmesi gerekmektedir. Toprak etüt ve haritalama kapsamından Türkiye’de ilk kapsamlı ve detaylı çalışma 1960’lı yıllarda Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü (KHGM) çatısı altında bulunan mülga Toprak ve Su Kaynakları birimlerince yapılmıştır (Dinç vd, 2005). Yapılan bu çalışmalar 1966-1971 yıllarında gerçekleştirilmiş olup küçük ölçekli ön etüt haritaları olarak hazırlanmıştır. İlerleyen yıllarda toprak sınıflandırmasındaki değişimlere bağlı olarak KHGM tarafından 1973-1984 yılları arasında yapmış olduğu birçok rapor arazi kullanımının planlanması ve bunlara bağlı olan problemlerin çözümünde Devlet Planlama Teşkilatına (DPT) faydalar sağlamıştır. Bununla birlikte farklı yönetsel nedenlerden dolayı arazi kalitesi ve arazi kullanımı arasında beklenen uyumsuzluğa yol açarak, arazi kaynaklarının olumsuz etkilenmesine ve arazi bozulmalarına yol açmıştır (Dinç vd, 2005).

Yapılan çalışmaların birçoğu arazi kullanımı ve bozunumu üzerine olması ve yenilenen toprak taksonomi ve toprak etüt yöntemlerine göre tekrar tekrar yapılandırılmaya gidilmiştir. Fakat bu ve buna benzer çalışmalarda gibi sulama uygulamalarının toprakların tuzluluğu ile sulama ve drenaj açısından gerekli parametrelerin analizlerle belirlenerek karar vericilere ulaştırılması konusu çok fazla çalışılmamıştır. Ayrıca Akbaş ve Yıldız (2004) tarafından bildirildiği üzere ülkemizde KHGM’ce belirli bölgeler eski toprak sınıflama yöntemi doğrultusunda hazırlanmış toprak haritaları sınırlı veri kaynağı olup bunlarında güncellenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu haritalardan belli başlı toprak özelliklerinden toprak derinliği, eğim, erozyon derecesi, drenaj, tuzluluk, alkalilik, taşlılık, kayalılık, arazi kullanım kabiliyet sınıfı, alt sınıfı ve arazi kullanım durumu bilgileri sağlanabilmesine rağmen bunların da Türkiye geneli için alansal olarak ülkenin tamamı hakkında bilgiler bulunmamaktadır.

Franzmeier (1977)’e göre toprak özelliklerinin ortaya konulmasında dört ana amaç bulunmaktadır. Bunlar, toprak bilimcilerin toprakların özelliklerinin haritalandırılmasına yardımcı olmak, toprakları doğru bir biçimde sınıflandırma ve toprak özelliklerine ait verileri ortaya koymak, toprak oluşum süreçlerini daha iyi anlamak, toprak etüdünün yararlılığını artırarak verilerin hazırlanmasına yardımcı olmaktır. Son yıllarda toprakların özellikleri’nin belirlenerek ortaya konulmasında Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yaygın olarak kullanılmaktadır.

Tarımsal alanlarda kullanılan CBS, toprağın izlenmesi ve yönetilmesi hususlarında önem arz etmektedir. CBS sistemlerinin kullanım alanı ve avantajlarını sırlamak gerekirse; Coğrafi bilgi sistemi, coğrafi olarak referans verilen her tür bilgiyi yakalamak, yönetmek, analiz etmek ve görüntülemek için donanım, yazılım ve verileri birleştirir. CBS, karmaşık analitik işlevler gerçekleştirebilir ve sonuçları görsel olarak harita, tablo veya grafik olarak sunabilir ve karar vericilerin sorunları eylemden önce ve sonra en iyi görmelerini sağlar. CBS, çiftçilere üretimi artırmaya, maliyetleri düşürmeye ve arazilerini daha verimli bir şekilde yönetmelerine yardımcı olarak dünyadaki tarımsal üretimde giderek artan bir rol oynamaktadır (Parthasarathy, 2010).

Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanılarak haritaların hazırlanmasında jeoistatistik yöntem ve modellerin irdelenmesi, hazırlanan veri seti ile harita görsellerinin daha doğru, anlaşılır ve güvenilir bir biçimde yorumlanmasına vesile olacaktır. Jeostatistiğin genel tanımını Journel (1989)'a göre veri analizi ve mekânsal süreklilik modellemesi, Clayton (2002)'a göre ise sonraki tahmin ve simülasyon için kullanılacak mekânsal korelasyonun kantitatif ölçümü olarak tanımlamışlardır. Klasik istatistikte belirli bir alan içinde örneklenen noktaların özellikleri örnekler arası mesafeye göre bağımsız olduğu varsayımına göre hareket etmektedir ki bu uzaysal bağıllığı göz ardı edeceğinden elde edilen sonuçlar tatmin edici olmamaktadır. Jeostatistik ise bir popülasyonun tüm örneklerinin normal olarak dağılmış ve birbirinden bağımsız olduğunu varsayan bir nüfus dağılım modeline bağlı değildir ve bu özelliği ile klasik istatistikten ayrılmaktadır (Mulla and McBratney, 2000; Zhang, 2011).

Yeryüzü bilimi verilerinin çoğu genellikle bu varsayımları karşılamamaktadır, çünkü bu veriler büyük ölçüde çarpık olabilir veya uzaysal korelasyona sahip olabilir (yani, birbirine yakın konumlardan gelen veri değerleri, birbirine daha yakın olma eğilimindedir). Jeostatistik, bir dizi örnek verisinin istatistiksel dağılımını inceleyen klasik istatistiklerle karşılaştırıldığında, hem örnek verilerinin istatistiksel dağılımını hem de örnek veriler arasındaki mekânsal korelasyonu içermektedir. Bu farklılık nedeniyle, birçok yersel veriler ya da örnekler jeostatistiksel yöntemler kullanılarak daha etkili bir şekilde açıklanabilmektedir (Zhang, 2011).

Yapay sinir ağı (YSA), biyolojik sinir ağlarının yapı ve işlevlerine dayanan bir hesaplama modeli olup temel olarak çok sayıda bağlantılı işlem elemanının (girdi-çıkış) bir problemi çözmek adına beraberce çalışan ve doğrusal olmayan istatistiksel veri modelleme araçları olarak kabul edilir (Baykal ve Beyan, 2004). Yapay bir sinir ağı (YSA), kural tabanlı olmadığından, diğer bilgisayar zeka biçimlerinden farklılık göstermektedir. Herhangi bir YSA, bir dizi girdi ve çıkış arasındaki ilişkiyi tanımak ve genelleştirmek için eğitilmiştir. Bu öğrenme, uzman bir sistemde olduğu gibi kural tabanlı değildir. Geri yayılım dahil olmak üzere çoğu YSA'lar, giriş, gizli ve çıkış olmak üzere en az üç katmana sahiptir. Katmanların her biri, bir sonraki katmana tamamen bağlı bir dizi nöron, basit işlem birimi oluşturur. Her bir ara bağlantının, sistemin bilgisi olan bir bağlantılı ağırlık veya mukavemeti vardır ve veri setleri girdi ve çıkış arasında sürekli bir biçimde hesaplamalar yapmaktadır. YSA bilgiyi bir öğrenme süreci aracılığıyla ağlar (ya da ağ mimarisi) tarafından elde edilmesi ve sinaptik ağırlıklar olarak bilinen nöronlar arası bağlantılar bilgiyi saklamak için kullanılması bakımından insan biyolojisine benzetilmektedir (Easson, 1996).

YSA günümüzde tarımsal alanda verim tahmini, veri işleme ve madenciliğinde, uzaktan algılama uygulamalarında, CBS'ne entegre olarak verilerin haritalandırılmasında, parametre tahminleri vb. gibi birçok alanda yoğun bir biçimde kullanılmaktadır. Yapay sinir ağlarının mimarileri girdi katmanı, çıkış katmanı ve gizli katman durumuna göre değişebildiği gibi, öğrenim algoritması ve verilerin akış yönüne göre de sınıflandırılmaktadır. Genel olarak YSA mimarileri tek katmanlı ileri beslemeli mimari, çok katmanlı ileri beslemeli mimariler, tekrarlayan veya geri bildirim mimarisi ve mesh mimarileri gibi sınıflandırılabilir (Da Silva vd, 2017).

Bu çalışmanın YSA ile ilgili olan kısmında araziden yapılan toprak örneklemeleri ile laboratuvara getirilerek fiziksel ve kimyasal analizlere hazırlanan topraklardan analizler sonucu elde edilen veriler kullanarak belirlenmesi zor ve pahalı parametrelere ilişkin tahminler yapılmıştır.

Ayrıca parametre tahmininde pedotransfer fonksiyonlardan (PTF) çok değişkenli doğrusal regresyon (ÇDR) modelleri de veri setlerine uygulanarak arazi veya laboratuvar koşullarında belirlenmesi zor olan fiziksel ve kimyasal toprak özelliklerini tahmin etmede kullanılmıştır. ÇDR modellerinin temeli çoğu YSA modellerinde olduğu gibi en düşük kareler yöntemine dayanmaktadır. Diğer bir değişle

model, gözlemlenen ve tahmin edilen değerlerin farklarının karelerinin toplamının en aza indirileceği şekilde tahmin yapmaktadır (Kashi vd, 2014).

Çalışma kapsamında modellere girecek girdi değişkenlerinin belirlenmesinde tanımlayıcı istatistiklerin yanında korelasyon analizi, temel bileşenler analizi gibi ileri istatistikler de kullanılmıştır. Model performans değerlendirmelerinde ise belirleme katsayısı (R^2), Tahmin Hatasının Standart Sapması (RMSE) ve Ortalama Mutlak Hata (MAE) kullanılmıştır (Goovaerts, 1998; Keshavarzi vd, 2016; Zhao vd, 2009).

Yapılan bu tez çalışmasının ana amacı Bafra ovasında sulama uygulamalarının toprak özellikleri üzerine olası etkilerinin belirlenmesinde jeoistatistiksel analizler ve yapay zeka (yapay sinir ağları, bulanık yapay sinir ağları) tekniklerinin kullanılma olanaklarının araziden elde edilen veriler yardımıyla ortaya konulmasıdır. Ayrıca bu çalışmanın temel ve alt amaçları; 1) Çalışma alanı topraklarının sulama açısından önemli bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerinin zamansal ve alansal değişimlerini jeoistatistik yöntemler kullanarak belirlemek, 2) Çiftçi koşullarında yapılan sulamanın toprak özelliklerine olası etkilerini araştırmak ve bir sezonda sulama dönemi öncesi ve sonrasındaki değişimi belirlemek, 3) Çalışma alanındaki toprakların fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerine farklı arazi kullanımlarının (çeltik, sebze ve mera) etkilerini ortaya koymak, 4) Belirlenmesi kolay olan toprak özelliklerinden, elde edilmesi pahalı ve zaman alıcı olan diğer toprak özelliklerinin tahmin edilmesinde pedotransfer fonksiyonların (doğrusal regresyon, yapay sinir ağları, bulanık yapay sinir ağları) kullanılabilirliğini belirlemek, 5) Bafra ovası sağ sahil topraklarında sulama ve drenaj açısından problem oluşturabilecek alanları tespit etmek ve problemlerin azaltılmasına yönelik öneriler sunmaktır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

2.1. Farklı Arazi Kullanımlarının Toprak Özellikleri Üzerine Etkisine İlişkin Yapılmış Çalışmalar

Filgueira vd (1999)'da, Arjantin'de T1 (20 yıldır işlenmeyen), T2 (aralıklı olarak işlenen), T3 (birkaç yıl çeltik ve 1 yıl yulaf yetiştirilen), T4 (15 yıldır işlenmeyen, 2 yıl yulaf yetiştirilen ve 2 yıl nadasa bırakılan), T5 (14 yıldır işlenmeyen, 1 yıl yulaf, 3 yıl mısır yetiştirilen), T6 (15 yıldır işlenmeyen, 3 yıl mısır yetiştirilen), T7 (dönüşümlü olarak 1 yıl mısır, 1 yıl çeltik yetiştirilen, 1 yıl nadas altındaki) olmak üzere farklı yönetim altındaki yedi farklı bölgedeki topraklardan örnekler alarak, hacim ağırlığı, agregat büyüklüğünü belirlemişlerdir. Uygulamalar arasındaki değişkenliklerin fraktal boyutundan kaynaklandığı görülerek, en düşük fraktal boyut uzun süre işlenmeyen topraklarda bulunurken, en büyük fraktal boyut ise çeltik tarımı yapılan alanlarda tespit edilmiştir.

Materechera ve Mkhabela (2001), Güneydoğu Swaziland'da toprak kullanımı ve amenajman uygulamalarının toprak özellikleri üzerine etkisini araştırmışlardır. Bu çalışma nadasa bırakılan, işlenmeyen ve 12 yıl mısır tarımı yapılan arazi olmak üzere üç farklı agroekosistemdeki arazilerde yürütülmüştür. Araştırma sonucunda, mikroagregat oranının mısır tarımı yapılan arazide %26.4, nadas altındaki arazide %10.1, işlenmeyen arazide %6.9 olduğu belirlenmiştir. Agregat stabilitesinin ise mısır tarımı yapılan arazide %17, nadas altındaki arazide %2.5, işlenmeyen arazide %3.2 olduğu bulunmuştur. Ayrıca işlenmeyen arazide hacim ağırlığının daha düşük; nem içeriği, yarayışlı su kapasitesi, toplam azot, yarayışlı fosfor, değişebilir potasyum, kalsiyum, magnezyum ve çinkonun daha yüksek olduğu saptanmıştır.

Göl vd (2004), Çankırı-Eldivan yöresinde farklı arazi kullanım türleri (tarım, orman, mera) ve bakının toprağın fiziksel özellikleri üzerine etkisini araştırmışlardır. Bu etkiyi belirlemek üzere Çankırı-Eldivan yöresinde doğal orman, dikim ormanı (plantasyon), mera ve tarım arazisi olarak değerlendirilen ve iki farklı bakıda açılan 21 adet toprak profilinden alınan 79 adet toprak örneği üzerinde bazı fiziksel ve kimyasal analizler yapılmıştır. Elde edilen bulgular, hidrolik iletkenliğin arazi kullanım türüne göre, tarla kapasitesinin ise bakıya göre önemli düzeyde değiştiğini ortaya koymuştur.

Öztekin ve Erşahin (2006)'da farklı yönetim uygulamalarına tabi tutulan işlenen ve hemen bitişikte işlenmeyen arazilerdeki toprakların doymuş hidrolik iletkenlik (Ks) değerlerinin değişimini araştırdıkları çalışmada, 0.5 m grid aralıklarda toplamda 36 adet bozulmamış toprak örnekleri alınmış ve laboratuvarında sabit ve değişken seviyeli permeametre ile Ks değerleri ölçmüşlerdir. Sonuçlar, işlenen alanların Ks değerlerinin değişkenliğinin (varyans=10.3), işlenmeyen alanlara göre 2.5 kat daha yüksek olduğunu (varyans=2.5) göstermiştir. Ayrıca işlenen örnek lokasyonları ve her bir ekili yerin sıraları arasında da Ks değerlerinde önemli farklılıklar bulunmuştur. Araştırmacılar bu iki işlenmiş lokasyonda meydana gelen büyük değişimlerin, çalışma alanında heterojen hacim ağırlığının toprak işleme ve trafikten kaynaklanan sıkışmaya bağlanabileceğini bildirmişlerdir.

Gill, (2012) farklı toprak yönetim uygulamaları altındaki toprakların hidrolik özelliklerinin zamansal değişimini belirlediği tez çalışmasında, toprağın fiziksel ve hidrolik özelliklerinin belirlenmesi için bozulmamış toprak örnekleri, buğdayın yetiştirme sezonu ortasında ve mısırın hasat mevsiminde sulama öncesi ve sonrasında toplanmıştır. Buğday ekili alanlar zaman zaman yağmur almış, mısırdaki ise toprak işlenmesini ağır muson yağmurları izlemiş ve toprakların sıkışmasına neden olmuştur. Dolayısıyla ıslanma ve kuruma döngüsünden ziyade yağmurların etkisi iki bitki arasındaki toprağın fiziksel ve hidrolik özelliklerindeki farklılıkların en başta sorumlu olmuştur. Hacimsel su içeriğinin (θ_v) farklı olmasının toprak işleme tipine, sulama tekniğine ve ürün mevsimine bağlı olduğu görülmüştür. Toprağın hidrolik özelliklerinin su kaynaklarının etkin kullanımı için uygun toprak işleme ve sulama kombinasyonu ile birlikte optimize edilebileceği sonucuna varılmıştır.

Liao vd, (2015) Çin'de üç farklı arazi kullanım türünün (mera, ormanlık alan ve tarım arazisi) toprak pH sı, CaCO_3 , katyon değişim kapasitesi, organik madde içeriği, toplam azot, toplam fosfor, toplam potasyum, yarıyışlı azot, yarıyışlı fosfor, yarıyışlı potasyum ve mikro element düzeyleri de dahil toprak kalite değişkenlerini araştırmışlardır. Farklı arazi kullanım türleri toprak kalitesi, toprak kalite endeksi ile değerlendirilmiştir. Araştırma sonuçları farklı arazi kullanım türlerinin toprak verimliliğinde önemli farklılıklar gösterdiğini ve çalışma alanı topraklarında ciddi derecede mikroelement eksikliği olduğunu göstermiştir. Ayrıca, farklı arazi kullanım türlerinin toprak kalite indeksi; mera (%73.2)>, ormanlık alan (%62.2)> ve tarım arazisi (%27.1) şeklinde sıralanmıştır.

2.2. Jeostatistikle İlgili Yapılmış Çalışmalar

Son yıllarda, toprak bilimcileri toprak özelliklerinin uzaysal dağılımı ve mevsimsel değişimlerini incelemek için, jeostatistiksel yöntemleri sıklıkla kullanmaktadırlar. Başkan (2004) Gölbaşı topraklarının mühendislik özelliklerinin incelenmesinde jeostatistik yöntemlerden yararlanmışır. Çalışma sonucunda, Akdeniz iklim tipine sahip yüksek alanlarda, mera ve orman alanlarının yok edilerek tarım alanlarına dönüştürülmesinin toprak özellikleri üzerine etkileri ile ilgili önemli bilgilerin elde edileceği ve yapılacak benzer çalışmalara kaynak teşkil edebileceğini bildirmiştir.

Corwin ve Lesch (2005) özellikle kurak bölgelerde ve tarımsal sulama ile birlikte yüksek taban suyunun bulunması koşullarında toprakların elektriksel iletkenliklerinin (EC) ölçülmesinin ve takip edilmesinin önem arz ettiğini bildirmişlerdir. Çalışmalarında buna ek olarak toprak EC'sinin toprağın çözünabilir tuz içeriği, kil içeriği ve minerolojisi, toprak su içeriği, hacim ağırlığı, organik madde (OM), toprak sıcaklığı gibi toprağın fiziko-kimyasal özelliklerinden etkilendiğini belirtmişlerdir. Sonuç olarak toprakların EC'sinin haritalanmasında toprakların edafik (toprakla ilgili olan) özelliklerinden toprak kil içeriği, toprak su içeriği, toprak kum içeriği ve organik madde içeriğinin kullanılmasını önermişlerdir.

Cemek vd, (2007) Bafra ovası sağ sahilde değişebilir sodyum yüzdesi (ESP), elektriksel iletkenlik (EC), toprak pH'sı, kation değişim kapasitesi (KDK) ve hidrolik iletkenlik (Ks) özelliklerinin alansal dağılımını incelemişlerdir. Çalışmada 60 farklı noktadan ve dört derinlikten (0-30, 30-60, 60-90 ve 90-120 cm) aldıkları toprak örneklerinde pH, EC, ESP ve Ks'nin derinlikle birlikte arttığı KDK'nın ise azaldığını belirlemişlerdir. Ayrıca yapılan jeostatistiksel değerlendirmede toprak özelliklerinin ortadan güçlüye kadar değişen oranlarda uzaysal bağımlılık gösterdiği belirlenmiştir. ESP ve pH'nın dört derinliğin üçünde orta derecede, EC bir derinlikte orta bağımlılık sergilerken, KDK tüm derinliklerde orta derecede uzaysal bağımlılık göstermiştir. EC, KDK ve ESP kısa mesafelerde önemli ölçüde değişkenlik göstermiştir. Tüm jeostatistiksel aralık değerleri 1230 m'den daha büyük bulunmuş olup, toprak özelliklerinin güçlü mekânsal bağımlılığının, yer altı suyu seviyesi, drenaj, sulama sistemleri ve mikrotopografi gibi dışsal faktörlerden etkilendiği sonucuna varmışlardır.

Akbarzadeh ve Mehrjardi, (2010) yaptıkları çalışmada, İran'ın Yazd şehrinin Khezerbad bölgesindeki topraklarda jeostatistik yöntemler kullanarak kum, silt, kil, sodyum adsorbsiyon oranı, doyumluk yüzdesi ve tuzluluğun alansal dağılımını tahmin etmeyi amaçlamışlardır. Çalışma sonuçlarına göre; kriging ve Co-kriging yöntemlerinin, toprak özelliklerinin tahmini için Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon Tekniği'nden (IDW) daha iyi olduğunu belirlemişlerdir. Buna ek olarak, doyumluk yüzdesi ve toprak tekstürü Kriging yöntemi ile daha iyi tahmin edilmiş olup toprak tuzluluğu ve sodyum adsorbsiyon oranının ise co-kriging yöntemi ile daha iyi belirlendiğini ortaya koymuşlardır.

Bhunia vd, (2016) toprak organik karbon içeriğinin uzaysal dağılımlarını farklı enterpolasyon teknikleri ile araştırmışlar ve sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Bu amaçla Medinipur ve Batı Bengal bölgelerinden üç farklı derinlikten (0-20, 20-40 ve 40-100 cm) ve rastgele olacak şekilde tarım arazisi, çayır-mera, ormanlık alan, makilik ve nadas arazilerinden olmak üzere 98 farklı noktadan toprak örnekleme yapmışlardır. Toprak organik karbon içeriklerinin uzaysal dağılımının oluşturulmasında Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon Tekniği (IDW), yerel polinom enterpolasyonu (LPI), Radyal Temel Fonksiyonlar (RBF), ordinary kriging (OK) ve ampirik Bayesian kriging (EBK) metodları kullanılmıştır. Enterpolasyon yöntemlerinin performansları ise ortalama hata kareleri karekökü (RMSE) ve belirleme katsayısı (R^2)'na göre değerlendirmişlerdir. Çalışma sonucunda toprakların organik karbonunun dağılımında en düşük RMSE ve en yüksek R^2 değerlerini OK yönteminin verdiğini belirtmişlerdir.

Rosemary vd, (2017) yapmış oldukları çalışmalarında bazı Alfisollerde toprak özelliklerinin uzaysal değişkenliğini araştırmışlardır. Sri Lanka bölgesinde yürütülen çalışmada üç farklı arazi kullanımı olan (çeltik, sebze ve tarım yapılmayan) alanlardan 58 adet 0-30 cm derinliğinden örneklemeler yapılmıştır. Toprak örneklerinde pH, EC, organik karbon (OC), katyon değişim kapasitesi (KDK) ve tekstür özellikleri analiz edilmiştir. Çalışmada en düşük varyasyon katsayısı (CV) kum için 9, en yüksek varyasyon katsayısı ise EC için %76 olarak belirlenmiştir. Bunlara ek olarak özelliklerin ve özellikler arası ilişkilerin belirlenmesi için semivariogram ve çapraz variogramlar da hazırlanarak alansal dağılım haritaları ordinary kriging (OK) metoduna göre hazırlanmıştır. Çalışma sonucunda her bir özelliğin farklı ölçek ve güçte dağılımlar gösterdiği ve farklı arazi kullanımlarının araştırılan toprak özellikleri

için (zellikle EC için) alansal dağılımlarında değişkenliklere neden olduğu bildirilmiştir.

Shit vd, (2016)'ne göre toprakların özelliklerinin alansal dağılım ve değişiminin bilinmesi tarımsal ve çevresel ekosisteminin srdrelebilir ve doğru bir şekilde modellenmesinde önem taşıtmaktadır. Bengal bölgesinde 32 farklı toprak örneğinde pH, EC, fosfor, potasyum ve organik karbon özelliklerini analiz ettikleri çalışmalarında toprak özelliklerinin doğrudan alansal dağılım haritalarının hazırlanmasında OK yöntemini kullanmışlardır. Topraktaki EC, pH ve organik karbonun mekânsal dağılımı, iklim, ana materyal, topoğrafya, toprak özellikleri ve diğer doğal faktörler gibi yapısal faktörlerden etkilendiğini ve her beş toprak zelliliğinin de semivariogramlarının üstel (eksponansiyel) eğri ile daha iyi sonuçlar verdiğini bulmuşlardır. Çalışmada jeoistatistiksel modellerin performansının değerlendirilmesinde RMSE ve R^2 katsayılarından yararlanılmıştır. Belirleme katsayıları (R^2) toprak özelliklerine göre 0.39-0.61 arasında değişirken RMSE değerleri ise 0.365-0.858 arasında değişmiştir.

Medvedev, (2011) yapmış olduğu çalışmasında pullukla işlenen arazilerde toprakların fiziksel özellikleri ve alansal dağılımlarını araştırmıştır. Çalışmada tarla kapasitesi, hacim ağırlığı, toprak strüktür büyüklüğü, toprak sertliği gibi birçok özellik irdelemiştir. rnekerin hacim ağırlığı $1.08-1.60 \text{ gr/cm}^3$, sertlik değerleri $11-65 \text{ kgf/cm}^2$, 0.25 mm 'den büyük toprak rnekerinin yüzdesi % 53-71 arasında, tarla kapasitesi değerleri ise % 12.2-34.0 aralıklarında değişim göstermiştir. Hazırlanan alansal dağılım haritalarında çalışılan toprakların özelliklerindeki değişimleri bazı kriterler bazında değerlendirildiği çalışmada humifikasyon-minerilizasyon sonucunda toprak verimliliğinde azalmaların olması, mikrobiyolojik ve biyokimyasal aktivitelerin azalması ile alt pulluk tabakalarında abiyolizasyonun oluşmasına, katı ve akışkan özellikteki yüzey topraklarında kayıpların oluşması, erozyonun genişlemesi ve su ile birlikte alt toprak katmanlarının ve suların kirlenmesi gibi sonuçlara bağlı olduğunu bildirmiştir.

Bogunovic vd, (2017) organik yetiştiricilik yapılan arazilerden 100 m grid aralıklarında ve 30 cm derinlikten yüzey topraklarından rneker almışlardır. rnekerde pH, EC, organik madde (OM), yarıyışlı fosfor ve potasyum miktarları analiz edilmiştir. Çalışmada toprak özelliklerinin mekânsal değişimlerini ve ordinary kriging ile co-kriging metotlarının değerlendirilmesini amaçlamışlardır. Co-Kriging

metodunda ikincil değişken ise denizden olan uzaklık (DFS) ve nehir kanalından olan uzaklık (DFC) alınmıştır. Sonuç olarak EC'nin alansal değişkenliğinin yüksek, pH'nın ise düşük olduğu belirlenmiştir. EC, pH, OM, ve yarayışlı potasyum arasında yüksek oranda pozitif korelasyon belirlenirken, bütün bu özellikler yarayışlı fosfor ile negatif ve önemli derecede ilişkiler göstermiştir. Bunlara ek olarak bütün özelliklerde Co-Kriging metodunun daha doğru tahminler ve sonuçlar verdiği belirlenmiştir (RMSE=0.0672-65.2050). OM, yarayışlı fosfor ve potasyum için üstel, pH için küresel ve EC için ise gausiyan semivariogram modelleri önerilmiştir.

Iqbal vd, (2005), alüviyal topraklarda yaptıkları çalışmalarında toprakların hacim ağırlığı, kum içeriği, kil içeriği, doymuş hidrolik iletkenlik ve hacimsel su içeriği (7 farklı potansiyelde -1, -10, -33, -67, -100, -500 ve -1500 kPa) ile bazı verim ve fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Üç farklı derinlikte (yüzey, yüzey altı ve derin) toprakların hacim ağırlığı 0.80-1.49 g/cm³, hidrolik iletkenlikler 0.03-283.75 cm/d, kum içerikleri %0.27-%91.36, kil içerikleri %0.63-%53.30, silt içerikleri %7.38-%97.15, OM içerikleri %0.30-%1.84, tarla kapasitesi değerleri %10.37-%56.80 ve solma noktası değerleri ise %4.41-%43.75 aralıklarında değişim gösterdiği bulunmuştur. Sonuçlara göre kum, kil, silt, hidrolik iletkenlik ve hacim ağırlığı üstel, tarla kapasitesi ve solma noktası değerleri ise küresel semivariogram modellerinde daha doğru sonuçlar verdiği bildirilmiştir. Yüzey altı kum içeriği, yüzey altı tarla kapasitesi ve yüzey toprakların solma noktası güçlü uzaysal bağımlılık gösterirken, diğer tüm derinliklerdeki toprak özellikleri orta derecede uzaysal bağımlılık göstermiştir.

López-Granados vd, (2002) bildirdiğine göre İspanya'nın iki farklı bölgesinden hektara 14 ve 8 adet örnek gelecek şekilde toplamda sırasıyla 84 ve 80 adet toprak örneği almışlardır. Örnekleri kışlık ürünlerin gübrelemesinden hemen önce ve 0-0.01 m ve 0.25-0.35 m derinliklerinden toplamışlardır. Çalışma da tekstür, pH, OM, fosfor, potasyum, amonyum, nitrat ve nitrit gibi toprak özellikleri analiz edilmiş ve en uygun semivariogramları belirlenerek haritaları hazırlanmıştır. Sonuçta özelliklere göre mekânsal değişkenliklerin dereceleri orta ve güçlü olarak belirlenirken, semivariogramlarda ise üstel ve küresel modeller ön plana çıkmıştır. Modellere ilişkin korelasyon katsayıları (r) derinlikler bazında tekstürde 0.31-0.77, pH'da 0.55-0.63, OM'de 0.63-0.77, fosforda 0.31-0.89, potasyumda 0.00-0.31, nitratda 0.45-0.63, nitritde 0.71-0.77 ve amonyumda 0.36-0.37 arasında değerler almıştır.

Tripathi vd, (2015) sahilde bulunan tarım arazilerinde tuzluluğun etkisini araştırdıkları çalışmalarında EC, pH, toprak organik karbon içeriği, yarayışlı azot, yarayışlı fosfor ve yarayışlı potasyum için en uygun teorik semivariogramları belirlemişler ve daha sonra bu semivariogramlara ilişkin parametreleri kullanarak ordinary kriging (OK) metodu ile toprak özelliklerinin alansal dağılım haritalarını hazırlamışlardır. Çalışmada EC değerlerinin 0.80-17.90 dS/m arasında, pH'nın 5.22-6.31 arasında, toprak organik karbon değerlerinin %0.2-0.9 arasında değiştiği belirlenmiştir. İstatistiksel değerlendirmelere göre EC ile organik karbon ve yarayışlı azot arasında % 1 önem derecesinde (-0.745** ve -0.944**) ve negatif yönde korelasyon, yarayışlı fosfor ve yarayışlı potasyum arasında %1 önem derecesinde (0.618** ve 0.844**) pozitif yönde korelasyonlar belirlenirken, pH ile EC arasında ilişkilerin istatistiksel açıdan önemli oranda olmadığı belirlenmiştir. Parametrelere göre EC için gausiyan, pH için üstel, toprak organik karbon için dairesel, yarayışlı azot ve potasyum için küresel ve yarayışlı fosfor için K-Bessel modellerinin en uyumlu sonuçlar verdiğini bildirmişlerdir. Toprak özellikleri için bağımlılık dereceleri pH için düşük, EC, organik karbon ve yarayışlı azot için güçlü diğer özellikler içinse orta derecede olduğu belirlenmiştir. Ayrıca aralık değerleri (range) 2220.1 m ile 4300 m arasında değişim göstermiştir.

Wani vd, (2017) yapmış oldukları çalışmalarında 358 farklı toprak örneğinde fiziksel ve kimyasal özelliklerin uzaysal dağılımını araştırmışlardır. Toprak özellikleri olarak pH, elektriksel iletkenlik, organik karbon, yarayışlı fosfor, azot ve potasyum ile kükürt, kalsiyum, magnezyum ve sodyum gibi değişkenler analiz edilmiştir. Veri normalleşmesinden sonra, toprak özelliklerini tanımlamak için klasik istatistiksel analiz kullanılmış ve toprak özelliklerinin uzaysal korelasyonunu göstermek için jeostatistiksel analiz kullanılmıştır. Enterpolasyon teknikleri kullanılarak bu özelliklerin uzaysal dağılım haritaları hazırlanmıştır. Sonuçlar, kalsiyum ve fosforun sırasıyla güçlü ve zayıf mekânsal bağımlılığa sahip olduğunu göstermiştir. Toprak özelliklerinden pH 0.92-8.21, EC 0.11-0.62 dS/m ve organik karbon ise %0.20-%3.00 arasında değişmiştir. Çalışmada belirlenen semivariogramlarsa pH, azot, potasyum, magnezyum ve sodyum için üstel, EC, fosfor ve kükürt için küresel, organik karbon ve kalsiyum için gausiyan olarak gerçekleşmiştir. Uzaysal bağımlılık seviyesi ise fosfor ve potasyum için zayıf, kalsiyum için güçlü olarak belirlenirken diğer özellikler için

orta seviyede bulunmuştur. Ayrıca özelliklere ait aralık (range) değerleri 378-82660 m arasında olduğu tespit edilmiştir.

Jeoistatistik çalışmalarda değişkenlerin mekânsal bağımlılığını belirlemede nugget/sill oranından yararlanılmaktadır. Eğer bu oran %25'den küçük ise bağımlılık güçlü, %25-75 arasında ise orta derecede ve %75'den büyükse zayıf kabul edilir (Cambardella vd, 1994).

Qiang vd, (2011) yapmış oldukları çalışmalarında tütün yetiştiriciliği yapılan arazilerdeki topraklarda bulunan mikro element miktarlarının mekânsal değişim durumlarını araştırmışlardır. Dağılım haritaları OK yöntemine göre değerlendirilmiş olup, 7 mikro element de (B, Zn, Cu, Fe, Mn, Cl, Mo) log normal dağılımlar göstermiştir. Örneklerin varyasyon katsayısı ise (CV) %54-93.08 arasında değişmiştir. Çalışmada jeoistatistiksel değerlendirmeye geçmeden önce CV değerlerinin +3 ile -3 arasında olması göz önünde bulundurulmuş ve bu değerler dışında kalan değerler istisnai olarak kabul edilmiş ve istisnai olan değerler yerine en düşük ve en yüksek değerler kullanılmıştır. Bu durumu tanımlamada ise tanımlayıcı istatistik ve Kolmogorov-Smirnov testlerinden yararlanılmıştır. Çalışmanın bir diğer sonucu ise örneklerle ait semivariogram modellerinde Zn küresel modelde en iyi tahmin sonuçları verirken diğer elementlerde ise üstel model ön plana çıkmıştır. Uzaysal bağımlılığın (Nugget/Sill) B için düşük, Zn, Cu, Fe, Mn, Cl, Mo için orta seviyede olduğu belirlenmiştir. Ayrıca çalışma da her bir elementin alansal dağılım haritaları ve mikro element sınıf aralıklarına göre alansal dağılım oranları da yüzde olarak hesaplanmıştır.

Bernard ve Boguslaw, (2002) Polonya topraklarında tekstür bileşenlerinin (kum, kil, silt) uzaysal değişimi ve dağılımı ile semivariogram ve fraktal analizler ile tekstürleri horizonlar bazında karakterize etmek ve karşılaştırmak amacı ile yaptıkları çalışmada incelenen topraklarda kum içeriğinin horizondan bağımsız olarak % 74-79, silt içeriğinin % 13.6-16.3 ve kil içeriğinin ise % 4.9-12.5 aralıklarında olduğunu belirlemişlerdir. Araştırmanın sonucunda en yüksek varyasyon katsayısının kil için A horizonunda olduğu ve bu durumun derinlikle birlikte % 117 olan değer % 101'e düştüğü, silt ve kum içeriklerindeki varyasyon katsayılarının da derinlikle arttığı, bu değerlerin silt ve kum için sırası ile % 67'den % 87'ye, % 17'den % 30'a yükseldiğini bildirmişlerdir.

Sağlam vd, (2011)'ne göre Amasya Gökhöyük devlet çiftliğinde bulunan alüvyal ve kolüvyal topraklarda kriging yöntemi kullanarak toprak tekstürü, organik madde, hacim ağırlığı, doymuş hidrolik iletkenlik ve kullanılabilir su içeriği haritalarını hazırlamışlardır. İncelenen alüvyal topraklarda kil, hacim ağırlığı ve organik madde içeriği yüksek iken hidrolik iletkenlik ve kullanılabilir su içeriği düşük, kolüvyal topraklarda ise hidrolik iletkenlik, organik madde, kullanılabilir su içeriklerinin düşük, hacim ağırlığının ise yüksek değerlere sahip olduğu belirlenmiştir. Çalışma sonucunda üssel, gaussiyen ve küresel modeller ön plana çıkarken, hidrolik iletkenlik orta, diğer değişkenlerin ise güçlü uzaysal bağımlılık gösterdiği belirlenmiştir. Range değerleri ise hem toprak özelliği hem de toprak tipine göre farklılıklar göstermiştir.

2.3. Pedotransfer Fonksiyonlar ile İlgili Yapılmış Çalışmalar

Toprağın tarla kapasitesi (TK) ve devamlı solma noktası (SN) özellikleri birçok biyofizik modellerinde önemli tahmin parametrelerindendir. TK ve SN'deki nem içeriğinin doğrudan ölçülmesi zaman alıcı ve pahalıdır. Literatürde birçok çalışma TK ve SN ile tekstür, hacim ağırlığı ve organik madde içeriği gibi düzenli olarak ölçülen toprak özellikleri arasındaki ilişkiyi saptamak amacıyla yapılmıştır (Rab vd, 2011). Bu ilişkiler pedotransfer fonksiyonları (PTF) olarak adlandırılmaktadır (Bouma, 1989). Genellikle TK ve SN'deki nem içeriğini tahmin etmek için kullanılan PTF'ler (i) PTF'nin sınıflandırılması (ii) çok değişkenli doğrusal regresyon (iii) genişletilmiş doğrusal olmayan regresyon ve (iv) yapay sinir ağları (YSA) olmak üzere dört çeşittir. Geçmişte, PTF'ler genellikle doğrusal veya doğrusal olmayan regresyon denklemleri ile ifade edilmekteydi. Ancak son zamanlarda, uygulamada YSA'da kullanılmaya başlamıştır (Li vd, 2007). Son araştırma bulguları YSA yönteminin diğer yöntemlere göre TK ve SN'deki su içeriğini daha yüksek doğrulukla tahmin edebildiğini ortaya koymuştur (Jafarnejadi vd, 2012; Keshavarzi vd, 2011; Lakzian vd, 2010). Regresyon PTF'leri yerine YSA tekniği kullanmanın bir avantajı, girdi ve çıktı verilerini ilişkilendiren olası bir model yapısı gerektiriyor olmasıdır. İlave olarak (Minasny ve McBratney (2002)'de, YSA'nın avantajlarından birinin girdi ve çıktı verileri ile ilgili olan varsayım ilişkilerine ihtiyacının olmadığını bildirmişlerdir. YSA toprak davranışını modellemek için temelde farklı bir yaklaşım sunmaktadır. Najafi ve Givi, (2006) YSA ve PTF metotlarını kullanarak toprağın hacim ağırlığını tahmin

etmişlerdir. Sonuçta YSA'nın regresyon tabanlı PTF metoduna göre toprağın hacim ağırlığını daha iyi tahmin ettiği sonucuna varmışlardır.

Jain ve Kumar, (2006) YSA tekniğinin infiltrasyon denkleminin kalibrasyonu amacıyla başarılı bir şekilde kullanılabileceğini göstermişlerdir. Aynı zamanda YSA'nın verinin sınırlı olması durumlarında iyi bir performans yeteneğine sahip olduğunu bildirmişlerdir.

Keshavarzi vd, (2015) çalışmalarında İran'ın Qazvin ili topraklarının fosfor içeriklerini yapay sinir ağları kullanarak tahmin etmişlerdir. Çalışmanın amacına yönelik arazi etütleri yapılmış ve bu etütlerde sayısal yükseklik modeli (DEM), bitki örtüsü ve topografya gibi ek bilgiler de modellemede kullanılmıştır. Pedotransfer fonksiyonlarını geliştirmek için, verilerin doğrusallığı kontrol edilmiş ve korelasyon analizleri yapılmıştır. Verilerin %80'i eğitim %20'si ise test için kullanılmıştır. Çalışmanın modelleme kısmında toprak analizlerinden yararlanılan fosfor, tekstür, organik karbon, kation değişim kapasitesi, topografik bileşenler olarak eğim, bakı, yükseklik ve uydu görüntülerinden ise Normalize edilmiş vejetasyon indeksi (NDVI) gibi bileşenler kullanılmıştır. Sonuçta P içeriklerini tahmin etmede 3-6-1 ağ yapısı, Levenberg-Marquardt (LM) öğrenim algoritması, sigmoid aktivasyon fonksiyonu içeren YSA modeli en iyi tahminleri veren model olduğu belirlenmiş ve bu modelde RMSE=1.65 ve $R^2=0.68$ olarak hesaplanmıştır.

Saffari vd, (2009)'da yaptıkları çalışmalarında toprakların bazı kimyasal özelliklerini tahmin etmede tek gizli katman ve çoklu gizli katman içeren YSA modellerini test etmişlerdir. Çalışma alanından 100 farklı nokta ve 0-30 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde EC, Ca, K ve Mg içeriklerini analizle belirlemişlerdir. YSA modelinin geliştirilmesinde deneme yanılma yolu ile (1-20) adet gizli sinir sayısı belirlenmiş ve izin verilebilir hata göz önünde bulundurularak iterasyon sayısının ise 2500'ü aşmasına izin verilmemiştir. Modellerin performans değerlendirme kriterleri olarak MAE, RMSE ve R^2 değerleri alınmıştır. Sonuç olarak Ca için ileri beslemeli geri yayımlı model için 2-4-1 ve 2-6-20-1, K için 2-4-7-1 ve 2-20-1, Mg için 2-4-7-1 ve 2-16-1, EC için 2-20-1 ve 2-4-5-1 yapılarının en iyi ve uygulanabilir sonuçlar verdiğini belirlemişlerdir.

Olorunfemi vd, (2016) yapmış oldukları çalışma ile temel toprak özellikleri olarak değerlendirdikleri kum, kil, silt, pH, toprak organik karbonu (OC), toprak

organik maddesi (OM) özelliklerini kullanarak toprakların KDK ve su tutma kapasitelerini (TSTK) modellemeye çalışmışlardır. Araştırma bulgularına göre KDK ile pH, OC, OM, TSTK ve kil içeriği yüksek oranda pozitif korelasyonlar (sırası ile 0.441**, 0.580**, 0.572**, 0.580** ve 0.356*), TSTK ise kum içeriği ile istatistiksel açıdan önemli derecede negatif korelasyon (-0.517**) göstermiştir. KDK'nın tahmin edilmesinde kullanılan yöntem olan pedotransfer fonksiyonları ise korelasyon analizi sonucu OC, kil ve pH değişkenlerini içeren ampirik eşitlikler geliştirilmiş ve KDK'yı en iyi şekilde tahmin eden formül $KDK = -13.93 + 2.645 \cdot pH + 0.0446 \cdot \text{Kil} (\%) + 2.267 \cdot \text{OC} (\%)$ olarak önerilmiştir (R=0.711, RMSE=1.39, MAE=1.16). Su tutma kapasitesi içinde pedotransfer fonksiyonu kum, kil ve OC bileşenlerinden seçilerek modellenmiştir. Toprakların su tutma kapasitesini en iyi şekilde tahmin eden ampirik eşitlik ise $TSTK (\%) = 36.0 - 0.215 \cdot \text{Kum} (\%) + 0.113 \cdot \text{Kil} (\%) + 10.36 \cdot \text{OC} (\%)$ şeklinde belirlenmiştir (R=0.691, RMSE=6.08, MAE=4.60).

Sarmadian ve Taghizadeh Mehrjardi, (2008) tarafından İran'ın Gorgan bölgesinde yapılan çalışmada toprakların bazı özelliklerinin modellenmesinde YSA ve çok değişkenli doğrusal regresyon (ÇDR) yöntemlerini kullanmışlardır. Çalışmanın diğer bir amacı ise KDK, tarla kapasitesi (TK) ve solma noktası (SN) gibi özelliklerin analizlerle belirlemenin zor ve pahalı olması anılan özelliklerin tahmin edilmesini önemli kılması nedeni ile de yürütülmüştür. Çalışmanın amacına yönelik 125 (32 farklı horizontandan) farklı toprak örneğinde tekstür, organik karbon, tarla kapasitesi, solma noktası, saturasyon yüzdesi (SY), hacim ağırlığı (HA) ve KDK, kimyasal analiz ve ölçümlerle belirlenmiştir. Sonuçta, gizli katmandaki iki nöronlu yapay sinir ağının, tüm toprak özelliklerinin (KDK, TK ve SN) tahmininde, çalışmanın amacı ile aynı doğrultuda olan çok değişkenli regresyondan daha iyi performans gösterdiği belirlenmiştir. Bununla birlikte PTF ile elde edilen bulgulara göre $KDK = 1.91 + 0.318 \cdot \text{Kil} + 3.96 \cdot \text{organik karbon}$, $TK = -47.8 + 0.68 \cdot \text{Clay} + 0.651 \cdot \text{Silt} + 0.657 \cdot \text{Kum} + 0.297 \cdot \text{SY} + 0.184 \cdot \text{Organik Karbon} - 1.96 \cdot \text{HA}$, $SN = -8.5 + 0.116 \cdot \text{Kil} + 0.029 \cdot \text{Silt} + 0.023 \cdot \text{Kum} + 0.252 \cdot \text{SY} + 0.14 \cdot \text{Organik Karbon} + 3.58 \cdot \text{HA}$ eşitliklerinin KDK, TK ve SN özelliklerini sırası ile 0.78, 0.75 ve 0.66 belirleme katsayısı ile tahmin edilebileceğini bildirmişlerdir.

Zhao vd, (2009) çalışmalarında girdi olarak iri taneli kil ve kum, harita verileri ile DEM haritalarından elde edilmiş toprak arazi faktörü, sediment iletim oranı, dikey eğim konumu ve yüksek çözünürlüklü toprak haritası gibi girdiler kullanarak yapay

sinir ağırları yöntemleri ile kil, kum ve silt tahmin haritalarını oluşturmayı amaçlamışlardır. YSA modellerinde eğitim algoritması olarak Levenberg-Marquardt (LM) ve esnek geri yayılım (RBP) algoritmaları ve modeller altı girdili, 5-40 arasında değişen (5'er 5'er) ara (gizli) katman ve iki çıktıdan (kil ve kum) oluşturulmuştur. Sonuçlar eğitim ve doğrulama veri setlerine göre gizli katmandaki nöron sayısının 25'den büyük olduğunu ve iterasyon sayısının da (çalışma için denenen iterasyon <250 olması istenmektedir) 100 olabileceği göstermiş, en iyi sonuçların LM algoritması kullanılarak 6-25-2 ağ yapısında elde edildiğini bildirmişlerdir.

Motaghian ve Mohammadi, (2011), çalışmalarında doymuş koşullardaki hidrolik iletkenliğin (Ks) alansal değişimini tahmin etmek amacıyla aşamalı regresyon (SR), ordinary kriging (OK), harici etkili kriging (KED), local ortalaması değişen kriging (SKLM), regresyon kriging (REG), basit yapay sinir ağırları (BYSA) ve yapay sinir ağı kombinasyonlu kriging (YSAK) yöntemlerini karşılaştırmışlardır. Ordinary kriging haricinde kalan yöntemlere ikincil bir alansal veri gereksinimi olduğundan bu amaçla yükseklik, eğim derecesi, eğim açısı, profil eğriliği ve kontür eğriliği gibi verilerde kullanılmıştır. Çalışma sonucunda en iyi tahmin modelinin YSAK modelleri olduğu, aşamalı regresyon kriging gibi ikincil veri isteyen modeller için yükseklik veya kontür eğriliği gibi değerlerin kullanılması önerilmiştir. Modellerin performansları RMSE ve MAE indislerine göre yapılmış MAE ve RMSE değerleri sırası ile 0.365-0.402, 0.462-0.520 arasında değişmiştir.

Merdun vd, (2006) yapmış oldukları çalışmalarında toprakların su tutma kapasitesi ve doymuş koşullardaki hidrolik iletkenlik katsayılarını tahmin etmede yapay sinir ağırları (YSA) ve pedotransfer fonksiyonları (PTF) karşılaştırmışlardır. YSA ve PTF modelleri için girdi olarak parçacık büyüklüğü, hacim ağırlığı ve por büyüklüğü gibi değişkenler girdi olarak belirlenmiştir. PTF modelinin doğrulamasında 195 adet toprak örneği 65/130 olarak bölünmüş ve gruplar arasında istatistiksel farklılıklar bulunmamıştır ($P>0.05$). Regresyon modelleri (nokta ve parametrik) hidrolik iletkenliği tahmin etmede YSA'ya göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Model performans kriterlerinde ise R^2 ve RMSE göz önünde bulundurulmuştur. R^2 ve RMSE değerleri PTF için sırası ile 0.637-0.979 ve 0.013-0.938, YSA için 0.44-0.952 ve 0.020-3.511 olarak hesaplanmıştır.

Zou vd, (2010) 2001-2006 yılları arasında sabit olarak çiftçiler tarafından 1 g/L tuz içeren yeraltı suları ile sulanan arazilerde yürütülen çalışmalarında YSA ve Zaman

serileri (ZS) modelleri kullanarak toprakların tuzluluk ve su içeriklerini tahmin etmeye çalışmışlardır. Yüzeyden 10, 20, 45 ve 70 cm toprak derinliklerinden örnekleme alınmış, toprak su içerikleri ise 20, 40 ve 60 cm derinliklerden nötron prop cihazı ile yapılmıştır. Elde edilen veriler eğitim ve test olarak bölünürken eğitim algoritması olarak geri beslemeli sinir ağı (BPNN) kullanılmıştır. YSA modelinin performansının artırılması amacı ile de duyarlılık analizi yapılarak hatalar en aza indirilmeye çalışılmıştır. Orijinal toprak su içeriği ve toprak EC'leri sabit zaman serileri elde etmek için dönüştürüldükten sonra frekans analizleri ile birlikte toprak su içeriği ve EC'si otoregresif entegre hareketli ortalama (ARIMA) modeli ile tahmin edilmiştir. Araştırmacılar YSA modellerinin ZS modellerine göre EC ve toprak su içeriğini tahmin etmede daha iyi sonuçlar verdiğini, belirleme katsayılarının ise sırayla 0.8987 ve 0.8867 olarak hesaplandığını bildirmişlerdir.

Siddiqui vd, (2015) yaptıkları çalışmada toprakların elektriksel direnci ile çeşitli zemin özellikleri (nem içeriği (%), sürtünme açısı ve plastisite indeksi) arasında anlamlı bir ilişki kurmak için regresyon ve YSA modellerini karşılaştırmışlardır. YSA modellerinde çok katmanlı ileri beslemeli ağ (MLFF; 20 katman), Levenberg-Marquardt (LM; 10 katman) eğitim algoritması ve ölçeklenmiş eşlenik gradyan (SCG; 10 katman) modellerini test etmişlerdir. Bu amaçla toprak nem içeriği (SWC), sürtünme açısı (FA), plastisite indeksi (PI) ve elektriksel direnç (ER) özellikleri kullanılmıştır. YSA modellerinde girdi olarak ER çıktı ise PI, FA ve SWC olarak belirlenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre farklı tekstür biçimlerinde YSA ve regresyon modelleri farklı performanslar vermiştir. Bütün toprak tipleri ele alındığında SWC parametresi için YSA'da belirleme katsayısı 0.299 regresyonda ise 0.259, silt içerikli topraklar ele alındığında YSA 0.213 ve regresyon modeli ise 0.081 belirleme katsayısı vermiştir. Kum içerikli örneklerde bu durum sırası ile 0.37 ve 0.33 olarak belirlenmiştir. PI parametresinde tüm toprak, silt içerikli toprak ve kumlu topraklar için belirleme katsayıları YSA ve regresyon modelleri için sırası ile 0.22-0.37 ve 0.00-0.12 arasında hesaplanmıştır. Sürtünme açısı içinde benzer sonuçların hesaplandığı çalışmada (YSA için 0.21-0.56, RM için 0.00-0.16 arasında değişen belirleme katsayıları) hem farklı gruptaki toprak tekstürü hem de tüm örnekler için elde edilen sonuçlara göre YSA modellerinin regresyon modellerine göre daha iyi sonuçlar verdiği bildirilmiştir.

Akramkhanov ve Vlek, (2012), yapmış oldukları çalışmalarında YSA modelleri kullanarak kolay ve ekonomik olarak elde edilebilen parametrelere (arazi indeksleri, uzaktan algılama verileri, drenlere olan uzaklık ve uzun vadeli yeraltı suyu gözlem verileri) dayalı toprak tuzluluğunu alansal dağılımını belirlemeye çalışmışlardır. Çalışmada 441 adet örnek için veri seti eğitim, çapraz doğrulama ve test olmak üzere üç alt gruba ayrılmıştır. Bu üç alt gruptan eğitim seti ağın eğitimi için kullanılırken çapraz doğrulama seti ise YSA'nın aşırı yüklenmesini önlemek adına kullanılmış ve MSE değerlerinin artmaya başlamasında hesaplamalar ya da eğitim durdurulmuştur. Ayrıca test veri setinin ise çıktı kümesinde belli olmayan noktaların hesabında kullanılarak karşılaştırma yapmakta kullanıldığını bildirmişlerdir. Girdi parametrelerinin arazi indeksi (eğim, bakı, yöney vs.), sayısal yükseklik modelinden yükseklikler (DEM), Landsat 7 uydusundan vejetasyon indeksleri, yeraltı suyu gözlem kuyularından su tablası yükseklikleri kullanılmıştır. Çıktı olarak ise örnekleme noktalarında ölçülen toprak EC'si kullanılmıştır. YSA sonuçlarına göre toprakların EC değerlerini tahmin etmede eğitim, çapraz doğrulama ve test verileri için belirleme katsayıları (R^2) sırasıyla 0.82, 0.85 ve 0.83 olarak belirlenmiştir. Çalışmada ek olarak toprak tuzluluğu için araziye ait verilere göre kritik eşik değerleri belirlenmiştir ki bunlar 0.7, 0.8 ve 0.9 dS/m'dir. Belirlenen bu eşik tuzluluk değerlerine göre haritalar hazırlanmış ve kritik eşik değerlerinin aşağıda ya da yukarıda olmasına göre tahminlerin hassasiyetinin % 70-90 arasında değişeceğini öngörmüşlerdir.

Guo vd, (2013), Organik maddenin (OM) toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini etkileyen önemli bir toprak özelliği olduğunu bildirdikleri çalışmalarında OM'yi tahmin etmede YSA ve çok değişkenli doğrusal regresyon (ÇDR) kullanmışlar ve bu iki yöntemi karşılaştırmışlardır. Girdi verisi olarak topografik özelliklerden topografik ıslaklık indeksi (TWI), göreceli pozisyon indeksi (RPI), eğim uzunluğu (SL) ve yüksekliği (ELE) kullanmışlardır. Çalışmada 0-20 cm derinlikten toplanan 265 örneğin 36'sı çeltik, 18'i orman, 195'i tarım arazisi ve 16'sı ise terk edilmiş alanlardan seçilmiştir. YSA modellerinde girdi olarak 1, 2, 3 ve 4 girdiyle birlikte 2, 4, 6, 8 ve 10 adet ağ (düğüm) kullanılmıştır. Seçilen arazi değişkenleri arasında, TWI, RPI ve SL'nin kombinasyonu, OM'nin alansal dağılımını tahmin etmek için geliştirilen YSA modeli için en iyi girdi olarak kabul edildiği çalışma da TWI'nin OM oluşumuna etki eden önemli faktör olduğu, ayrıca RPI parametresinin de OM'yi tahmin etmede önem arz ettiği bildirilmiştir. Diğer yandan

ise yüksekliğin OM'yi tahmin etmede YSA modellerinde gereksinimin olmadığına karar verilmiştir. Benzer sonuçlar ÇDR için yinelenildiği çalışmada ÇDR ve YSA modelleri için gözlenen ve tahmin edilen modeller için belirleme katsayıları 0.82 ve 0.87 olarak belirlenmiştir. Bu bulgulara ek olarak ÇDR ve YSA modelleri için OM'nin hesaplanan aralık dışında olması durumu için (ekstrapolasyon durumu) belirleme katsayıları ise 0.64 ve 0.69 olarak belirlenmiştir.

Kashi vd, (2014), İran'ın Semnan bölgesinde yürüttükleri çalışmalarında toprakların KDK ve infiltrasyon değerlerini tahmin ettikleri çalışmalarında çok değişkenli doğrusal regresyon modelleri (ÇDR), Yapay sinir ağları (YSA) ve bulanık yapay sinir ağları (ANFIS) yöntemlerini karşılaştırmışlardır. Modeller için girdi verileri olarak elektriksel iletkenlik (EC), toprak tekstürü, kireç yüzdesi, sodyum adsorpsiyon oranı (SAR) ve hacim ağırlığını kullanmışlar ve bu modellerin performansını değerlendirmek içinse, tahmin hatasının standart sapması (RMSE), Ortalama Mutlak Hata (MAE), Ortalama Hata (ME) ve belirleme katsayısı (R^2) gibi istatistiksel parametreler kullanılmıştır. ÇDR sonucunda $\text{Infiltrasyon} = -39.26 + 11.4 * (\text{HA}) - 0.27 * (\text{SAR}) + 0.043 * (\text{Kireç}) + 0.267 * (\text{Kum}) + 0.257 * (\text{Silt}) + 0.238 * (\text{Kil}) - 0.057 * (\text{EC})$ ve $\text{KDK} = 18.87 - 6.16 * (\text{HA}) - 0.019 * (\text{SAR}) - 0.07 * (\text{Kireç}) + 0.016 * (\text{Kum}) + 0.026 * (\text{Silt}) + 0.076 * (\text{Kil}) - 0.038 * (\text{EC})$ eşitlikleri ile infiltrasyon ve KDK'nın tahmin edilebileceği bildirilmiştir ($R^2 = 0.87$ ve 0.80). YSA modellerinde Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP) ve Radyal Tabanlı Fonksiyon (RBF) kullanılırken bu modellerde sigmoid, gaussiyen, hiperbolik tanjant ve hiperbolik sekant transfer fonksiyonları kullanılmıştır. YSA-MLP modelinin infiltrasyon ve KDK'yı tahmin etmede 0.97 ve 0.89 belirleme katsayıları ile ÇDR, YSA-RBF ve ANFIS modellerine göre daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

Mohanty vd, (2015) Hindistan'da 721 farklı noktadan alınan topraklarının tarla kapasitesi ve daimi solma noktası özelliklerini YSA modellerinden yararlanılarak geliştirilen PTF yöntemleri ile tahmin etmeye çalışmışlardır. TK ve SN değerlerini tahmin etmede toprakların kum, kil, silt ve hacim ağırlığı değerlerinden yararlanılmıştır. Bu tür çalışmalarda transfer fonksiyonlarının log-sigmoid, tan-sigmoid veya lineer olabileceği bildirilmekle birlikte, çalışmada çıktı katmanında tan-sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır. Araştırma topraklarının kil içerikleri %1.66-74.80 arasında, hacim ağırlıkları ise $1.25-1.84 \text{ g/cm}^3$ arasında değişmiştir. TK ve SN değişkenleri kil ile yüksek korelasyon göstermiştir ($r=0.90$ ve $r=0.82$). Diğer

değişkenlerden hacim ağırlığı ve kum içerikleri arasında da pozitif korelasyon ($r=0.63$) ve hacim ağırlığı ile silt ve kil arasında negatif korelasyon ($r=-0.45$, $r=-0.55$) belirlenmiştir. Hesaplamalar sonucunda 4-6-2 ağ yapısı TK ve SN belirlemede en iyi sonuçları vermiştir (Test verilerine göre TK için $R^2=0.90$, $RMSE=3.78$, SN için $R^2=0.76$, $RMSE=4.36$). Çalışmada gizli katmandaki nöron sayısını >6 olması durumunda ise model etkinliğinin azaldığına dikkat çekilmiştir. Sonuç olarak gizli katmanlara bağlı TK ve SN değişkenlerini tahmin etmede;

$$TK = 22.30 - 6.52GizliKatman1\_1 - 4.66GizliKatman1\_2 + 3.53GizliKatman1\_3 - 21.50GizliKatman1\_4 + 5.90GizliKatman1\_5 + 10.21GizliKatman1\_6$$

$$SN = 11.45 - 5.91GizliKatman1\_1 - 6.17GizliKatman1\_2 - 3.89GizliKatman1\_3 - 9.65GizliKatman1\_4 + 6.22GizliKatman1\_5 + 7.02GizliKatman1\_6$$

eşitliklerini ve ek olarak kum, kil, silt ve hacim ağırlığına bağlı gizli katman eşitliklerinin kullanılabileceği önerilmiştir.

Jafarzadeh vd, (2016)'da toprakların KDK değerlerini tahmin etmede kullanılan destek vektör makinesi (SVM) ve YSA modellerini karşılaştırmışlardır. Çalışmada 80 farklı toprak profilinden 380 adet toprak örneği toplanmış, KDK'yı belirlemek amacıyla kullanılan modellerde ise girdi olarak kil, silt, kum, jips ve organik madde kullanılmıştır. YSA modellerinde log-sigmoid $\left(\varphi_x = \frac{1}{1+e^{-x}}\right)$ dönüşüm yapılırken, ileri beslemeli çok katmanlı sinir ağı (MLP) yapısı ile birlikte eğitim algoritması geri beslemeli modeller (BP) seçilmiştir. SVM modellerinde ise ağırlık ve bias değerlerine göre hesaplama yapan $f(x) = w\phi(x) + b$ denklemine göre tahmin hesaplamaları yapılmış ve Kernel fonksiyonu olarak da RBF seçilmiştir $(K(x, x_i) = \exp\left(-\frac{x-x_i^2}{\sigma^2}\right))$. Bulgulara göre KDK ile kil, silt, OM pozitif korelasyon ($r=0.62$, $r=0.37$, $r=0.59$, $P<0.05$), kum ve jips ise negatif korelasyon ($r=-0.59$, $r=-0.17$, $P<0.05$) göstermiştir. Optimum gizli katmanın belirlenmesinde ise deneme yanılma yöntemi kullanılmıştır. YSA modeli olarak 4-13-1 modeli ön palan çıkarken, SVM modellerindeki (C , ϵ , σ) katsayıları sırayla 4.68, 0.79 ve 2.36 olarak belirlenmiştir. YSA modellerinin etkinlik katsayısı (E) önerilen modelde test ve eğitim için 0.723-0.846 korelasyon katsayısı 0.86-0.92, ve $RMSE$ değerleri 1.803 ve 2.731 Cmol/Kg olarak belirlenmiştir. SVM modelinde ise test ve eğitim için korelasyon katsayıları 0.896-0.849, E katsayısı 0.79-0.80 ve $RMSE$ değerleri ise 2.04-2.8 Cmol/Kg olarak bulunmuştur.

Sedaghat vd, (2016), simektitçe zengin topraklarda doymuş hidrolik iletkenliği (K_s) tahmin etmede YSA modelleri kullanmışlardır. K_s parametresinin tahmininde parçacık ve mikro agrega özelliklerinin kullanabilirliğinin sınındığı çalışmada 260 adet bozulmuş ve bozulmamış toprak örneği toplanmıştır. Parçacık ve mikro agrega boyut dağılımlarının fraktal parametreleri Bird ve Perrier fraktal modeli ile değerlendirilmiştir. PTF'ler, mevcut toprak verileri ve fraktal parametreler kullanılarak K_s 'yi tahmin etmek için YSA modelleri ile geliştirilmiştir. 260 örneğin % 50'si test % 50'si ise eğitim olarak rastgele olarak belirlenmiş, YSA modellerinden ise MLP ve RBF kullanılmıştır. PTF'lerin seçiminde 75 tane geliştirilen YSA modelinden en başarılı 25 tanesi seçilerek model üretme aşamasına geçilmiştir. Modellerde girdi olarak tekstür (kum, kil, silt), hacim ağırlığı (HA), parçacık dağılımının fraktal parametreleri (α_p , L_p), parçacık dağılımının fraktal boyutu (D_p), mikro agrega dağılımının fraktal parametreleri (α_a , L_a), mikro agrega dağılımının fraktal boyutu (D_a), parçacık çapının geometrik ortalaması (d_g) ve parçacık çapının standart sapması (S_g) çıktı olarak da K_s alınmıştır. Sonuç olarak seçilen 5 PTF'de gizli nöron sayısı 3-27 arasında değişirken, çıktı ve gizli katman transfer fonksiyonları ise tanh, lojistik, üstel, sine, gausiyan ve özdeşlik türleri olarak belirlenmiştir. K_s ile fraktal parametrelerden D_p , α_p , L_p ile arasında önemli ilişkiler olduğu, öte yandan D_a , α_a , L_a ile K_s arasında korelasyonlar bulunmamasına rağmen K_s 'yi tahmin etmede önem arz ettiğini bildirmişlerdir. Bunlara ek olarak K_s ile HA arasında pozitif, kil içeriği arasında negatif ve % 1 ve % 5 önem seviyesinde (sırası ile 0.14*, -0.24**) korelasyonların olduğu belirlenmiştir.

Seyedmohammadi vd, (2016)'da katyon değişim kapasitesini (KDK) uygun bir model ile belirlemeye yönelik yaptıkları çalışmalarında çalışma alanından 171 adet (120 farklı horizondan) toprak örneği toplamışlar ve topraklarda fiziksel ve kimyasal analizlerle tekstür bileşenleri, pH, organik karbon (OC), kalsiyum karbonat özelliklerini belirlemişlerdir. Elde edilen veriler ile pedotransfer fonksiyonlarını elde etmede kullanılan çok değişkenli doğrusal regresyon (ÇDR), doğrusal olmayan regresyon (NLR), bulanık yapay sinir ağları (ANFIS) ve yapay sinir ağları (YSA) modellerinin karşılaştırması yapılmıştır. Çalışma verileri 10 farklı KDK tabakasına ayrılmış ve % 25'i test ve geri kalan % 75'i ise kalibrasyon ve toprak özelliklerinin istatistiksel özellikleri için düzenlenmiştir. Bulgulara göre KDK ile organik karbon ($r=0.62^{**}$), kil ($r=0.82^{**}$), silt ($r=0.21^*$), kum ($r=-0.53^{**}$) ve pH ($r=0.21^*$) arasında

istatistiksel açıdan önemli düzeyde korelasyonlar bulunmuştur. Araştırmacılar KDK'yı tahmin etmede ÇDR veya NLR modelleri kullanılması istenmesi durumunda $KDK=4.263+0.455Kil+1.097OC$ ve $KDK=0.55+0.64Kil^{0.97}+0.55OC^{1.26}$ eşitliklerinin 0.77 ve 0.79 belirleme katsayıları ile kolayca tahminler yapılabileceğini önermişlerdir. YSA modelinin optimizasyonunda gizli katmana karşılık RMSE değerleri grafiklerinden yararlanılmış ve gizli katmandaki nöron sayısı 7 olarak belirlenmiştir. ANFIS modellerinde ise giriş verileri sınıflandırmak amacı ile kullanılan grid bölme veya çıkarmalı bulanık kümeleme yöntemlerinden grid bölme yöntemi alınmış ve üyelik fonksiyonu olarak ise doğrusal ile Psigmoid fonksiyonları kullanılmış, iterasyon sayısının da 40 (en az hataya göre) olmasına karar verilmiştir. Çalışmanın yapay zekaya ilişkin bulgularına göre ise ANFIS modeli için belirleme katsayısı 0.82 ve YSA (2-7-1) için 0.96 olarak belirlenmiştir. Modellere ait (ÇDR, NLR, ANFIS, YSA için) RMSE değerleri sırası ile 1.593, 1.364, 1.184 ve 0.314 olarak hesaplanmıştır.

Keshavarzi vd, (2016) tarafından değişebilir sodyum yüzdesinin (ESP) belirlenmesinde yapay zeka tabanlı YSA ve ANFIS modellerinin karşılaştırılmasının yapıldığı bir çalışmada toprak örneklerinde EC, pH ve kil içerikleri ile ESP değerleri belirlenmiştir. Toprak özellikleri ile ESP arasında ilişkilerin durumu da incelenen çalışmada eğitim verilerinde EC ve kil içeriği arasında pozitif ($r=0.825^{**}$ ve 0.267^{**}) pH arasında ($r=-0.309$) negatif benzer şekilde test verilerinde de EC ve kil içeriği arasında pozitif ($r=0.836^{**}$ ve 0.275^{**}) pH arasında ($r=-0.302$) negatif korelasyonlar tespit edilmiştir. ESP'ye etki eden özellikler belirlendikten sonra 3 girdili olarak ve gizli katmandaki nöron sayısı deneme yanılma yöntemi ile belirlenerek modeller oluşturulmuştur. Çalışmanın YSA kısmında Levenberg-Marquard (LM) eğitim algoritması, transfer fonksiyonu olarak da tansig ve purelin seçilmiş ayrıca gizli katman sayısının literatürle destekli olarak girdi sayısının logaritması ile girdi sayısının 2 katından 1 fazla olan sayıdan düşük aralıkta olması gerektiğinin ($\log(n) < \text{gizli katman sayısı} < 2n+1$) genel itibarı ile önerilmekte olduğunu bildirmişlerdir. ANFIS modelinde ise hibrit algoritmada en düşük kareler metodu ve geri yayımlı degrade alçalma yöntemi ile gausiyan üyelik fonksiyonun doğrulama ve optimize etmede kullanılmış, çıktı parametresi ise doğrusal olarak hesaplanmıştır. Bu yöntemde iterasyon sayıları 500'den 0'a doğru gidilerek hata toleransı ve iterasyon sayısı belirlenmiştir. Eğitim ve test sonuçlarına göre her iki model için test sonuçları

değerlendirmeye alınmış ve YSA (MLP) için belirleme katsayısı $R^2=0.84$, $MSE=\%5.36$, ANFIS için $R^2=0.89$, $MSE=\%5.09$ olarak bulunmuştur.

Minasny vd, (2011) yapmış oldukları çalışmalarında toprak pH'sını tahmin etmede YSA modellerinden yararlanmışlardır. pH'nın belirlenmesinde toprak ekstraktı (suda) ve $CaCl_2$ çözeltisinde direk pH metre ile ölçülmüş benzer ölçümlerde EC için yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar daha önce toplanan toprak veri setleri ile kalibre edildikten sonra regresyon ve YSA modelleri geliştirilmiştir. Buna göre 1:5 sulandırma faktörü için doğrusal olarak;

$$pH_{1:5w}=0.67+1.01pH_{1:5Ca}-0.116\ln(EC_{1:5w}) \text{ ve üstel olarak;}$$

$$pH_{1:5w}=7.0+1.37(-6.61+15.68/(1+\exp[1.55-1.96pH_{1:5Ca}+0.024\ln(EC_{1:5w})]))$$

eşitliklerinin $R^2=0.92$ doğrulukta kullanılabileceğini önermişlerdir.

Yao vd, (2015) tarafından yapılan çalışmada Ks'i belirlemek amacıyla tuzluluk etkisi olan çamur arazilerden toplanan toprak örneklerinde kum, kil, silt, HA, toplam gözeneklilik (Tpor), etkin gözeneklilik (Epor), doymun toprak su içeriği, TK, SN, EC, SAR, OM, toplam azot, yarayışlı, yarayışlı fosfat, yarayışlı potasyum ve Ks olmak üzere 9 fiziksel 7 kimyasal olmak üzere toplamda 16 toprak özelliği için analizler ve hesaplamalar ile belirlenmiştir. Toplanan 124 toprağın 84'ü eğitim, 40'ı ise doğrulama için kullanılmıştır. PTF ve YSA modeller oluşturulmadan önce çalışma veri setlerinde tanımlayıcı istatistik ve korelasyon analizleri yapılmıştır. Çalışma bulgularına göre Ks'ye kum içeriği, HA, TK, SN, EC, SAR negatif yönde etki ederken ($P<0.01$), Tpor, Epor, doymun toprak su içeriği, OM ve toplam azot miktarları pozitif yönde ($P<0.05$ ve $P<0.01$) etki ettiği ve istatistiksel açıdan önemli derecede ilişkilerin varlığı belirlenmiştir. PTF model sonucuna göre $Ks=172.116Epor+1.274OM-0.113Azot-20.581$ eşitliği ile doymun koşullardaki hidrolik iletkenlik değerinin ($R^2=0.52-0.63$) tahmin edilebileceğini belirtmişlerdir.

Fashi (2016) yaptığı çalışmada bulanık yapay sinir ağları yöntemi kullanarak İran'ın bazı taşkın alanlarındaki toprakların doymunluk yüzdesini tahmin etmeye çalışmıştır. Girdi olarak tekstür, hacim ağırlığı ve orta gözeneklilik (0.2-30 lm) değişkenleri pedotransfer fonksiyonlar geliştirmek için kullanılmıştır. Ayrıca çeşitli üyelik fonksiyonlarının (gausyan, üçgen, gbell) doymunluk yüzdesi tahmini üzerine etkisi araştırılmıştır. Sonuçlar üyelik fonksiyon tipinin ANFIS yaklaşımının performansında önemli bir rol oynadığını göstermiştir. Gausiyan üyelik

fonksiyonunun doygunluk yüzdesi tahmininde diğer üyelik fonksiyonlarına göre daha üstün bulunmuştur. Doygun haldeki toprak su içeriğinin ANFIS tabanlı PTF'lerini geliştirmek için hacim ağırlığını girdi değişkeni olarak kullanmanın modelin doğruluğunu iyileştirmediği ve gözlenen farkın istatistiksel olarak anlamlı olmadığı sonucuna varılmıştır. Elde edilen sonuçlara dayanarak, ANFIS modelinin, doygunluk yüzdesinin tahmininde uygulanabileceği ve özellikle en iyi üyelik fonksiyonlarının seçilmesi için önerilen yaklaşımın daha fazla bilgiye ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir. Bu nedenle, daha etkin PTF girdilerine ek olarak en iyi üyelik fonksiyonunu seçildiğinde iyi bir performans elde edilebileceğini bildirmiştir. Çalışmadan çıkarılan bir diğer sonuç ise özellikle ince ve orta bünyeli tekstür sınıfları için ANFIS yaklaşımının daha fazla uygulanmasına ihtiyaç olduğudur.

Tiwari vd, (2017) toprağın infiltrasyonunu tahmin etmek için bulanık yapay sinir ağları yaklaşımının potansiyelini araştırmış ve performanslarını Kostiakov ve SCS modelleriyle karşılaştırmışlardır. N.I.T Kurukshetra laboratuvarında 413 veri için deneyler yapılmıştır. 289 adet veri rasgele seçilerek eğitim, geri kalan 124 veri ise test amacıyla kullanılmıştır. Girdi olarak zaman, kum oranı ve uçucu kül, kum oranı-pirinç kabuğu külü, emme başlığı, hacim ağırlığı ve nem içeriği kullanılmıştır. Çalışmada üç farklı üyelik fonksiyonu (üçgen, çan ve gausiyan) kullanılmıştır. Sonuçlar karşılaştırıldığında gausiyan üyelik fonksiyonunun diğerlerinden daha iyi tahmin verdiği ve infiltrasyonun modellenmesinde başarılı bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir.

Toprakların doygunluk yüzdesi hidrolojik çalışmalarda önemli bir indekstir. Aali vd, (2009) toprakların doygunluk yüzdesini tahmin etmek için yapay sinir ağları, çok değişkenli regresyon ve bulanık yapay sinir ağları yöntemlerini karşılaştırmışlardır. Uygulanan yöntemleri geliştirmek için kil, silt, kum ve organik karbon değerlerini, modellerin yeterliliğini değerlendirmek içinse RMSE ve R^2 değerlerini kullanmışlardır. ANFIS yöntemi diğer yöntemlere göre daha üstün bulunmuştur. Çalışmada ANFIS modelinin toprakların doygunluk yüzdesini tahmin etmek için kullanılabileceği önerilmiştir.

Keshavarzi vd, (2017) toprağın katyon değişim kapasitesini tahmin etmek için toprak verileri ve uzaktan algılanan verileri kullanarak ANFIS tabanlı eksiltici kümeleme algoritmasını kullanmışlardır. KDK'ni en çok etkileyen ve en az etkileyen değişkenleri belirlemek için duyarlılık analizi yapılmıştır. Kil, organik karbon ve Band

3 girdilerine dayalı olarak KDK değişkenini tahmin etmek için regresyon ve ANFIS modelleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, ANFIS modelinin (veri varyasyonlarının yaklaşık %81'ini açıklayarak) regresyon modelinden daha üstün olduğunu doğrulamıştır. Mevcut araştırmanın sonuçları, ANFIS modelinin, güvenilirlik ve tekrarlanabilirlik garantisi ile kolayca ölçülebilir değişkenler kullanılarak KDK'ni tahmin etme yeteneğine sahip olduğunu göstermiştir.

Uzaktan algılama yaklaşımları bir dereceye kadar toprak özelliklerinin hızlı değerlendirilmesine ve geniş alanların alansal olarak izlenmesine yönelik çözümler sunmaktadır (Ben-Dor vd, 2002; Das vd, 2015). Ahmed ve Iqbal (2014) Pakistan'da yüzey toprağının özelliklerinin alansal değişimini incelemek için uzaktan algılama ve CBS kullanmışlardır. Bu amaçla yaklaşık 170 tane yüzey toprağından (0-30 cm) toprak örneği alınmış, tekstür ve organik madde analizleri yapılmıştır. Yüzeysel değişkenleri Landsat 5TM uydusunun spektral verileri ile ilişkilendirmek için çok değişkenli doğrusal regresyon (ÇDR) analiz tekniğı kullanmışlardır. ÇDR sonuçları band 4 ve band 6 ile silt ($R^2=0.72$) ve kil ($R^2=0.51$)'in ($P<0.05$) düzeyinde anlamlı ilişkiler gösterdiğini, organik maddenin ise en iyi band 1, 6 ve 7'den elde edilen veriler kullanılarak modellendiğini ($R^2=0.55$) göstermiştir. Sonuçlar uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemlerinin daha geniş bir alanda toprak tekstürü ve organik maddenin iyi derecede haritalanması için başarıyla kullanılabileceğini göstermiştir.

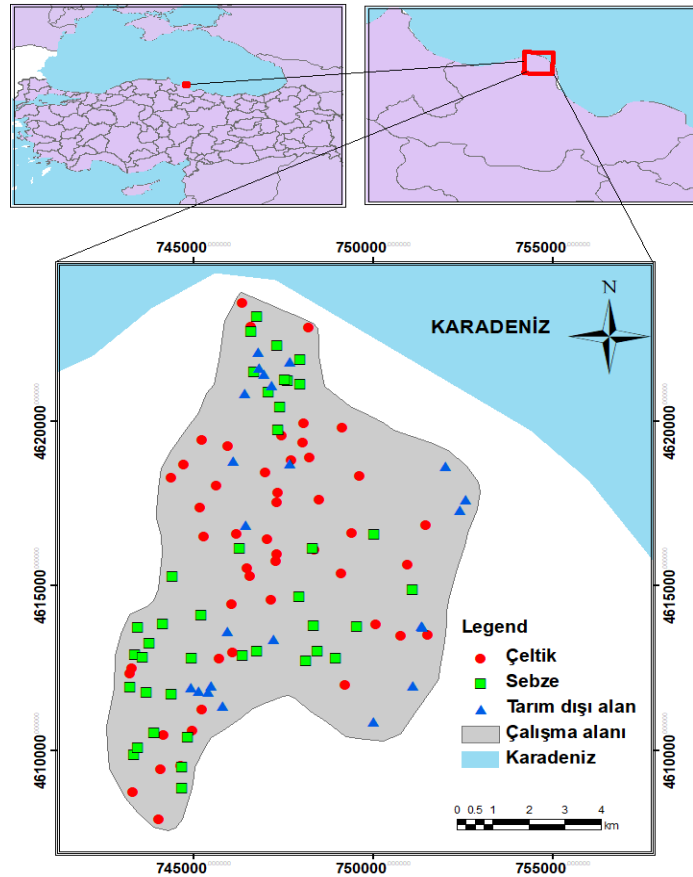
Arslan vd, (2014) TK, SN, kil, kum ve silt gibi sulama için önemli bazı toprak özelliklerini tahmin etmek için hiperspektral yansıma verilerini kullanmışlardır. Bu amaçla 305 adet toprak örneğinin TK ve SN belirlenmiş ve 145 adet toprak örneğinin kil, kum ve silt içerikleri tespit edilmiştir. Çalışmada hiperspektral verilerden toprak özelliklerinin belirlenmesinde iki farklı istatistiksel yaklaşım kullanılmıştır. Bu tekniklerden çok değişkenli regresyon, seçilen dalga boyları ve tüm toprak özellikleri için en iyi korelasyonu ($P<0.01$) sağlamıştır. İkinci yöntem olarak kısmi en küçük kare regresyon (PLSR) yapılmıştır. TK ve SN'nin tahmininde işlenmemiş yansıma verileri daha iyi bir sonuç verirken, kil, kum ve silt içeriğinin tahmininde birinci dereceden türevleri alınan veriler daha iyi tahmin sonucu vermiştir. Sonuç olarak, çalışmada incelenen her iki yöntemin de spektral yansıma verileri kullanılarak toprak özelliklerinin tahmin edilmesinde hızlı ve ucuz bir yol sunduğunu bildirmişlerdir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Araştırma alanının konumu

Çalışma alanı 41° 10' - 41° 45' kuzey elemleri ve 35° 30' - 36° 15' doğu boylamları arasında kalmaktadır. Batı sınırını Kızılırmak, doğu sınırını kuş cenneti ve kuzey sınırını ise Karadeniz oluşturmaktadır. Çalışma alanının büyüklüğü yaklaşık 10000 ha olup Samsun il merkezine yaklaşık 45 km uzaklıkta ve Alaçam ile 19 Mayıs ilçeleri arasında bulunan Bafra ovasının sağ sahilinde yer almaktadır (Şekil 3.1). Çalışma alanında en uzun mesafe doğu – batı yönünde 60 km ve kuzey – güney yönünde ise 32 km'dir. Güneyi Orta Karadeniz bölümünün başlıca dağ sıralarını teşkil eden Canik sıra dağlarının uzantıları ile sınırlanmıştır.



Şekil 3.1. Çalışma alanı konumu ve örnekleme noktaları

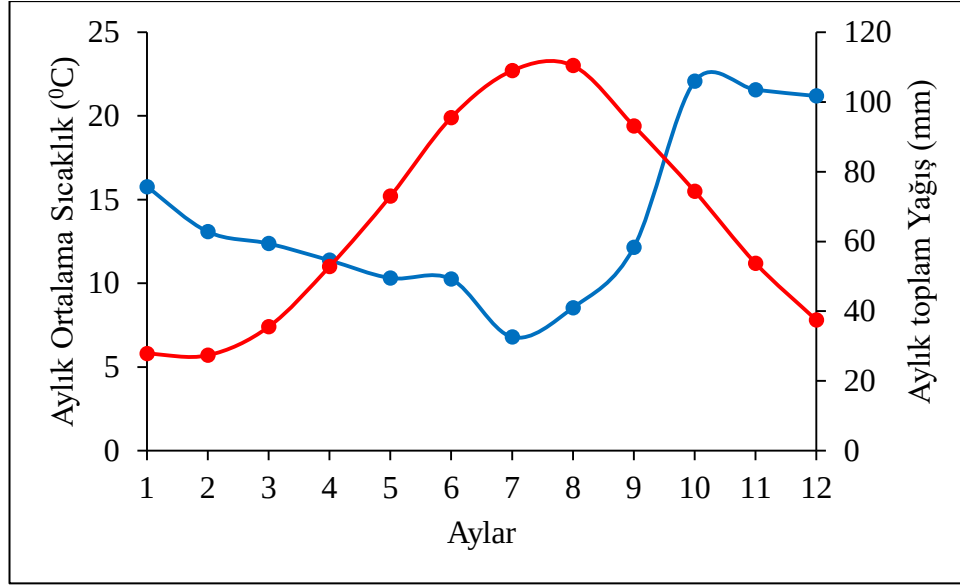
3.1.2. Araştırma alanın jeolojik durumu

Bafra ovası Kızılırmak havzası sınırları içerisinde yer almaktadır. Havza kapsamında değişik yaşlı tortulların yanı sıra, yer yer püskürük ve başkalaşmış kayaçlarda görülmektedir. Tortullar arasında kireçtaşı, kil ve marnlar yer almaktadır. Havzanın kuzeyinde yer alan Bafra ve yakın çevresinde geniş alanlar kaplayan Neosen ince ve kalın kil, marn, kum, çakıl, kireçtaşı tabakaları yer almaktadır. Bu materyaller arasında jips ve tuz oluşumları da bulunabilmektedir. Bafra ovasında ince kalın şeritler halinde akarsu boylarında 4. zaman aluviyal toprak sedimentlerine ve yer yer eski aluviyal alanlara da rastlanmaktadır (Anonim, 1974).

3.1.3. Araştırma yerinin iklim özellikleri

Çalışma alanında iklim özellikleri olarak tipik ılıman Karadeniz bölgesi iklimi görülmektedir. Bayrak, (1997)'nin bildirdiğine göre farklı kuraklık indisi (Erinç, Grow, De Marthone, Thornwaite) değerlendirmeleri sonucunda sulama açısından Haziran ayı kuraklık mevsimi olarak tanımlanmıştır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) Türkiye Meteorolojik Veri Arşiv Sistemi (TÜMAS) uzun yıllar verilerine göre ortalama en düşük sıcaklık 5.7 °C ile Şubat, ortalama en yüksek sıcaklık 23.0 °C ile Ağustos aylarında görülmektedir. Bafra ilçesinde bağıl nem değerleri yıl içerisinde ortalama olarak % 72.4-79.4 arasında değişmektedir (Çizelge 3.1). Yıllık toplam yağış değerleri uzun yıllar göz önüne alındığında 794.2 mm/yıl olarak gerçekleşmektedir Çizelge 3.1'e göre 2010, 2016 ve 2017 yıllarında ortalama sıcaklıklara göre en yüksek sıcaklığa sahip olan Ağustos ayı uzun yıllar ortalaması olan 23.0 °C'nin üzerinde (yıl sırası ile 25.7, 24.4 ve 24.3 °C) değerler göstermiştir.

Bafra ilçesi için uzun yıllar iklim verilerine göre aylık ortalama sıcaklık ile aylık toplam yağışın mevsimlik değişimi Şekil 3.2'de verilmiştir. Şekil 3.2 incelendiğinde Nisan ve Eylül ayları arasında yağışların oldukça düşük değerlerde (32.6-58.3 mm) olduğu, aynı dönem içerisinde sıcaklıkların artış eğilimi gösterdiği ve 15.2-23.0 °C arasında ortalama değerler ölçüldüğü görülmektedir. Bu bilgiler doğrultusundan çalışma alanı için Nisan ve Eylül ayları hem sıcaklık hem de yağış değerleri için kritik dönem olduğunu söylemek yanlış olmayacaktır.



Şekil 3.2. Bafra ilçesi uzun yıllar sıcaklık ve yağışın mevsimsel dağılımı (1987-2017)

Çizelge 3.1. Bafra ilçesine ait bazı iklim parametreleri

Yıl	İklim parametresi	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
2010	En yüksek sic. (°C)	19.7	24.2	21.7	24.1	33.1	34.4	30.5	34.6	32.5	29.8	26.5	24.8
	En düşük sic. (°C)	-6.1	1.5	-0.2	4.8	5.7	15.3	17.4	16.8	14.7	6.4	6.8	2.8
	Ortalama sic. (°C)	8.0	9.1	7.6	11.5	17.2	21.6	24.2	25.7	21.1	14.8	16.4	11.8
	Bağıl nem (%)	75.4	81.1	85.2	85.4	77.0	82.0	82.5	75.1	82.4	83.8	62.8	71.5
	Rüzgâr hızı (m/s)	3.1	2.9	2.5	2.4	2.2	2.1	1.9	2.0	2.5	2.0	3.2	3.6
	Yağış (mm)	91.5	36.6	91.2	70.1	16.4	110.3	106.1	18.2	47.5	185.1	7.5	137.4
2016	En yüksek sic. (°C)	17.9	24.4	27.9	31.3	29.6	31.0	30.1	32.1	32.5	28.2	27.4	14.2
	En düşük sic. (°C)	-5.7	1.0	1.2	2.7	7.4	10.7	16.2	16.1	10.7	7.1	2.3	-2.4
	Ortalama sic. (°C)	5.3	9.8	9.7	13.6	15.8	21.5	23.3	24.4	19.8	14.3	11.2	3.9
	Bağıl nem (%)	79.3	76.2	82.3	81.5	83.2	79.1	75.9	76.8	73.6	86.5	71.6	83.1
	Rüzgâr hızı (m/s)	3.2	3.0	2.2	2.5	2.1	1.7	1.9	1.7	1.9	1.2	1.9	2.9
	Yağış (mm)	108.1	29.0	64.2	53.0	164.1	20.2	53.0	24.7	74.3	35.2	83.4	173.6
2017	En yüksek sic. (°C)	18.7	22.2	23.8	24.8	28.3	32.4	31.6	31.6	35.3	31.9	24.7	21.4
	En düşük sic. (°C)	-5.9	-3.8	2.3	3.0	8.3	12.7	15.7	14.9	13.2	8.0	3.1	2.8
	Ortalama sic. (°C)	4.3	6.0	9.1	9.9	15.0	20.3	23.5	24.3	21.3	15.4	11.8	10.6
	Bağıl nem (%)	76.5	72.8	78.6	85.8	87.6	84.7	73.8	75.3	75.2	72.1	74.2	65.9
	Rüzgâr hızı (m/s)	2.9	2.9	2.2	2.2	1.9	1.8	2.0	2.1	2.0	1.9	2.8	3.8
	Yağış (mm)	61.0	36.6	56.6	63.0	53.8	44.0	0.0	37.8	17.0	21.2	53.4	124.2
Uzun yıllar (1987-2017)	En yüksek sic. (°C)	22.2	24.2	30.0	34.8	34.5	36.1	38.4	35.7	34.0	36.0	27.6	24.8
	En düşük sic. (°C)	-6.8	-7.9	-7.5	-2.0	3.0	2.0	9.4	1.0	6.8	4.1	-3.8	-4.3
	Ortalama sic. (°C)	5.8	5.7	7.4	11.0	15.2	19.9	22.7	23.0	19.4	15.5	11.2	7.8
	Bağıl nem (%)	73.0	74.5	77.3	79.4	78.6	75.2	73.2	74.3	76.4	78.3	73.5	72.4
	Rüzgâr hızı (m/s)	3.3	2.8	2.4	2.2	1.8	1.7	1.9	1.7	1.5	1.6	2.2	3.1
	Yağış (mm)	75.7	62.8	59.4	54.6	49.5	49.2	32.6	41.0	58.3	105.9	103.5	101.7

* Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Tümas Sistemi.

3.1.4. Araştırma yerinin toprak özellikleri ve su kaynağı

Bafra ovası toprakları Kızılırmak'ın getirdiği genç alüvyonlar tarafından oluşturulmuştur. Bu toprakların oluşumunda Kızılırmak'ın yanında bölgede bulunan Dereköy, Muşta, Engiz, Karaköy, Ambarcıoğlu, Bedeş, Taşkelik ve Uluçay gibi yan derelerin getirmiş olduğu sedimentler de katkıda bulunmuştur. Bu topraklar 2 m kotu altında ve sediment taşınımı sonucunda oluşan genetik horizonlarından oluşum gösterdiklerinden dolayı azonal toprak özelliği göstermektedirler. Arazi toprakları alüviyal oluşum süreçlerinin yanında büyük ölçüde kuvaterner toprak özellikleri göstermektedir (Anonim, 1974). Çalışma alanı Bafra ilçe Merkezinden ovaya açıldığı noktadan başlayıp sahile kadar olan bölümleri içermektedir. Araştırma alanında toprak derinliği 1.5 m den fazladır. Topraklar ağır bünyeliden hafif bünyeliye kadar değişken olup geçirgenlikleri normaldir. Biriktikleri yerlerde drenaj, havalanma ve kök işleme durumlarına bağlı olarak genellikle granüle ve blok yapılar oluşturmuşlardır. Alt katmanları yapısızdır. Genel olarak 20 m derinliğe kadar bir aküfer mevcut olup bariyer tabakası bunun altında yer almıştır (Anonim, 2003).

Bafra ovasının başlıca su kaynağı Kızılırmak nehridir. Kızılırmak nehri Derbent köyü mevkisinden ovaya girmekte ve ovayı iki parçaya ayırarak denize dökülmektedir. Sulama sistemi kanalet ağırlıklı klasik sulamadır. Kullanılan sulama yöntemi ekimi yapılan bitkiye göre değişiklik göstermekle birlikte çoğunlukla tava sulama yöntemidir. Hazneci ve Kızılaslan (2017)'de Bafra ovasında yaptıkları çalışmada çeltik sulamasında tava sulama yönteminin tercih edildiğini, silaj mısır, fiğ, yonca, kapyra biber, beyaz lahana, kara lahana, pırasa ve turp sulamasında yağmurlama sulama yönteminin tercih edildiğini, domates bitkisinin sulanmasında ise sadece damla sulama yönteminin kullanıldığını ve kavun, karpuz ve tütünde ise hem yağmurlama hem de damla sulama yöntemlerinin tercih edildiklerini bildirmişlerdir. Toplam sulama alanı 47727 ha olan Bafra ovası sulama projesinin yapımına 1993 yılında başlanmıştır. Projenin su kaynağı Kızılırmak nehri üzerinde yapılmış olan Derbent barajıdır. Proje Bafra Ovası Sağ Sahil ve Sol Sahil Sulamaları olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Sağ Sahil Sulaması inşasına 1993 yılında başlanmış, 2014 yılı itibarı ile sulama projesi tamamlanmış ve tüm alan sulamaya açılmıştır.

3.1.5. Drenaj durumu

Bafra Ovası Sağ Sahil Sulama Şebekesinde proje kapsamında Koşuköy, Hacılar, Çorak, Badut, Boytar, Kuşaklama ve Bakırpınar ana drenaj kanalları açılmıştır. Ayrıca bu kanallara bağlı 300 km uzunluğunda tersiyer ve sekonder drenaj kanalları bulunmaktadır. Ovada bulunan 7 adet drenaj kanalı 10000 ha lık sulama alanının drenajını sağlamaktadır (Arslan ve Yıldırım, 2011). Bafra ovası suları genel itibarı ile Kızılırmak ya da bölgede bulunan açık drenaj kanalları vasıtası ile toplanarak denize veya Kızılırmak'a bağlanarak tahliye edilmektedir. Burada düze yakın olan ova zamanla Kızılırmak yatağının aşınma ve sediment taşınımı ile kot farkının açılması sonucunda drenaj daha iyi hale gelmiştir. Irmak boyunca ise drenaj yetersizliği ya da bozuk drenaj koşulları görülmektedir.

3.1.6. Tarımsal yapı ve üretim

Bafra ovasındaki tarım alanlarında son yıllarda bitki desende büyük değişimler olmaktadır. Genelde ovada çeltik başta olmak üzere biber, karpuz, kavun, domates, pırasa, lahana, buğday ve mısır yetiştirilmektedir. Ürün yetiştirilen alanlarda ürün çeşidi açısından sürekli değişim oluşmaktadır. Bu çalışma kapsamında örnek alınacak noktalar belirlenirken 4-5 yıldır sürekli olarak aynı çeşit ürünlerin yetiştirildiği yerlerden örnek alınmasına önem verilmiştir. Bafra ovası genelinde çeltik üretimi alansal olarak %50-60'ı bulmaktadır. Bunun yanı sıra ilçede tarımsal üretime bağlı çok sayıda çeltik, un, bakliyat ve salça vb gibi bitkisel ürün işleme fabrikaları bulunmaktadır. Bunlara ek olarak Samsun ili arazi varlığının %40'ı tarımsal faaliyetler için kullanılmaktadır ve büyüklüğü 376128 ha olup bunun 67787 ha Bafra ilçesine aittir ve 47727 ha kadarı sulanabilmektedir.

3.1.7. Çalışmada kullanılan araç ve gereçler

Çalışmanın ana materyalini ve konusunu oluşturan toprakların hem bozulmuş hem de bozulmamış olarak örnekleme yapılmıştır. Bu amaçla bozulmuş toprakların alınmasında Auger hole tipi genel burgu kullanılmıştır. Bozulmamış toprakların alınmasında ise 5 cm çapta ve 5.1 cm yüksekliğe sahip (hacmi $\cong 100 \text{ cm}^3$) bozulmamış toprak örneği alma halkalarından (ring) yararlanılmıştır. (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Bozulmuş ve bozulmamış toprak örneklemesinde kullanılan bazı araçlar

Çalışmanın toprak örneklemesinden sonraki aşama olan toprakların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin laboratuvarında analizleri yapılması aşamasında ise Çizelge 3.2’de verilen araç ve cihazlar kullanılmıştır.

Çizelge 3.2. Toprakların fiziksel ve kimyasal analizlerinde kullanılan cihazlar

Cihazın adı	Kullanım amacı	Görseli
EC ve pH metre	Toprak ekstraktlarında elektriksel iletkenlik ve pH okuma	
Etüv	Toprak örneklerinin kurutulması ve nem tayini	
Basıncılı membran	Tarla kapasitesi ve solma noktası tayini	
Elek seti	Toprakların analize hazırlanması	
Otomatik büret ve pipet	Kimyasal analizlerde kullanılmak üzere	
Bouyoucos silindiri, mekanik karıştırıcı, termometre ve hidrometre	Tekstür analizinde	
Schiebler kalsimetresi	CaCO ₃ tayininde	

3.1.8. Çalışmada kullanılan yazılımlar

Çalışmadan elde edilen verilerin işlenmesinde ve değerlendirilmesinde birçok yazılımdan faydalanılmıştır. Bu kapsamda ofis programları, jeoistatistiksel değerlendirmede GS+ 10.0, harita hazırlığı ve jeoistatistik hesaplamalarda ArcGIS 10.0, örnek noktaları ve ön etüt çalışmalarında Google Earth Pro, yapay sinir ağları ve bulanık yapay sinir ağları ile veri değerlendirme ve modellemede MATLAB ve verilerin istatistiksel olarak hazırlanarak hesaplanmasında SPSS 21.0 paket programları kullanılmıştır.

3.2. Yöntem

Çalışma esas olarak dört bölümden oluşmaktadır. Bunlar; ön etüt ve büro çalışmaları, arazi çalışmaları, laboratuvar çalışmaları ile veri işleme ve modelleme çalışmalarıdır.

3.2.1. Ön etüt ve büro çalışmaları

Çalışmada Bafra ovasında çiftçi koşullarında yapılan sulamanın toprak özelliklerine olası etkilerinin araştırılması amacıyla araziden sulama dönemi öncesi ve sonrasında 3 farklı arazi kullanımı (mera, çeltik ve sebze tarımının yapıldığı alanlar) göz önünde bulundurularak noktalardan toprak örnekleri alınmasına karar verilmiştir. Toprak örneği alınacak noktaların belirlenmesinde çalışma alanına yakın bir bölümde Cemek vd, (2007) tarafından yapılan çalışma esas alınmıştır. Çalışmada örneklerin etki mesafesinin en fazla 1230 m olması gerektiğini bildirmişlerdir. Bu çalışma yaklaşık 10000 ha'lık bir alanda yürütülmüş ve örnek sayısının 66 olması gerektiği belirlenmiştir. Çalışma alanından 2010 yılı sulama öncesi alınan 90 ve sulama sonrası alınan 50 adet nokta için toprak örneklerinden mevcut durumunu belirlemek adına yararlanılmıştır. Çalışmanın 2016 yılı sulama öncesi ve sonrası ile 2017 yılı sulama öncesi dönemde ise çalışmanın hassasiyetini artırmak için örnek sayısı arttırılarak 112 noktadan yapılmasına karar verilmiştir.

3.2.2. Arazi çalışmaları

Çalışma alanında sulama uygulamalarının toprak özellikleri üzerine etkilerinin belirlenmesi, alansal ve zamansal değişimlerin araştırılması amacıyla sulama öncesi ve sonrası dönemlerde toprak örnekleme yapılmıştır. Bu alanda öncelikle 2010 yılında sulama öncesi ve sonrası dönemde sırası ile 90 ve 50 noktadan toprak örnekleme yapılmıştır. Zamansal değişimleri araştırmak için daha sonra 2016 ve 2017 yıllarında da 112 noktadan ve dört farklı derinlikten (0-30, 30-60, 60-90, 90-120 cm) toprak örnekleri alınmıştır. Ayrıca toprakların hacim ağırlıklarını belirlemek amacı ile çalışma alanını ve farklı arazi kullanımları temsil edecek şekilde 30 adet 2 m derinliğinde profil açılarak bozulmamış toprak örnekleri alınmıştır. Bozulmuş toprakların alınmasında burgu, bozulmamış topraklar için ise profillerden (0-30, 30-60, 60-90, 90-120 cm) bozulmamış toprak örneği alma seti yardımı ile örnekleme yapılmıştır (Blake and Hartge, 1986).

3.2.3. Laboratuvar çalışmaları

Çalışma kapsamında alınan bozulmuş ve bozulmamış toprak örneklerinde toprakların sulama ve drenaj açısından önemli bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri analiz edilmiştir.

Tarla kapasitesi: Seramik levhalar üzerine yerleştirilen suyla doymuş bozulmuş toprak örnekleri üzerine 1/3 atm'lik basınç uygulaması ile belirlenmiştir (Richards, 1954).

Solma noktası: Seramik levhalar üzerine yerleştirilen suyla doymuş bozulmuş toprak örnekleri üzerine 15 atm'lik basınç uygulaması ile belirlenmiştir (Richards, 1954).

Tekstür: Hidrometre yöntemi kullanılarak belirlenmiştir (Bouyoucos, 1951).

Toprak hacim ağırlığı: Bozulmamış toprak örneklerinde Blake and Hartge (1986)'nin önerdiği şekilde belirlenmiştir.

Toprak reaksiyonu (pH): Toprakların pH değerleri 1:2.5 toprak-su süspansiyonunda cam elektrotlu pH-metre ile ölçülmüştür (Gee and Bauder 1986).

Elektriksel iletkenlik (EC): Toprakların elektriksel iletkenlik değerleri, 1:2.5 oranında hazırlanan toprak-su süspansiyonunda ve saturasyon çamurunda elektriksel kondaktivite aleti ile belirlenmiştir (Richards, 1954).

Değişebilir katyonlar: Değişebilir Na, K, Ca ve Mg miktarları Richards (1954), tarafından bildirildiği şekilde toprak örnekleri 1.0 N Amonyum Asetat (pH=7) ile ekstrakte edilmiştir. Ekstrakta Na ve K, fleymfotometrik yöntemle, Ca ve Mg ise EDTA ile titrimetrik olarak belirlenmiştir.

CaCO₃: Toprakların CaCO₃ miktarı, “Scheibler Kalsimetresi” ile % olarak belirlenmiştir (Kacar, 1994).

Organik madde: “Walkley-Black” yöntemiyle belirlenmiş ve % olarak ifade edilmiştir (Kacar, 1994).

Değişebilir sodyum yüzdesi (ESP) değerleri ve katyon değişim kapasitesi (KDK) ise Robbins, (1984)’de verilen eşitlik 3.1 ve 3.2’den yararlanılmıştır.

$$ESP = \frac{Na}{Ca+Mg+Na+K} \times 100 \quad (3.1)$$

$$KDK = Na + K + Ca + Mg \quad (3.2)$$

Eşitlikteki iyonlar meq/100g cinsinden alınmaktadır.

3.2.4. Veri işleme ve modelleme çalışmaları

Çalışmada araziden alınan toprak örneklerinde laboratuvarda yapılan fiziksel-kimyasal analizler sonucunda elde edilen verilerin modelleme ve haritalama çalışmalarında kullanılmadan önce bazı dönüşüm ve hesaplamalar yapılmıştır. Yapay sinir ağları modellerinde kullanılan sayısal verilerin eğitiminin daha verimli hale getirilmesi amacı ile verilerin normalizasyonu yapılmış ve eşitlik 3.3’de verildiği gibi hesaplanmıştır. Buradaki eşitlik minimum ve maksimum kuralına göre işleyen normalizasyon yöntemidir.

$$X' = \frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (3.3)$$

X' =normalize edilmiş veri,

X_i =girdi değerini,

X_{min} =girdi seti içindeki en küçük değer

X_{max} = girdi seti içindeki en büyük değeri belirtmektedir.

Jeoistatistiksel yöntemler verilerin normal dağılım gösterdiği durumlarda daha doğru sonuçlar vermektedir. Bu nedenle çalışma kapsamında öncelikle verilerin normal dağılıma uygun olup olmadıkları belirlenmiştir. Haritalamalarda verilerin dönüştürülmesinde çarpıklık katsayısının normalden ne kadar saptığına göre karar

verilmiştir. Webster (2001) toprak verilerinde normal dağılımla ilgili en ciddi ayrılma göstergesinin çarpıklık değeri olduğu ifade etmiştir. Eğer çarpıklık değeri 0.5'den küçük ise veri normal dağılım göstermiş ve herhangi bir dönüşüm yapılmamıştır. Çarpıklık değeri > 0.5 ve ≤ 1.0 ise bu durumda karekök alınarak veriler normal dağılıma dönüştürülmüş ve eğer çarpıklık değeri >1.0 ise bu durumda da log-normal dönüşüm uygulanmıştır.

3.2.5. Yapay sinir ağları

Çalışmanın yapay zekâ kısmında arazi çalışmaları ile toplanan toprakların laboratuvarda fiziksel ve kimyasal analizler sonucunda elde edilen özelliklerinin YSA yöntemleri ile işlenerek arazi ve laboratuvar koşullarında elde edilmesi ekonomik ve işgücü açısından kısıtlı ya da zor olan değişkenlere ilişkin parametrelerin tahmininde kullanılmıştır. Bu bağlamda yapay sinir ağları insanların sinir ağları gibi özellikler gösteren ve belirli performans özelliklerine sahip olan bir bilgi işlem sistemleri olarak tanımlanmaktadır. YSA'ların geliştirilmesi insan sinir biyolojisi ve insanın kavrama yeteneğinin matematiksel modelleme özellikleri ile birlikte bazı temel varsayımlar üzerine kurulmuştur. Bu temel varsayımları bilgi işleme sürecinin nöron denilen ve çok sayıda bulunan küçük yapılarda gerçekleştiği, sinyallerin (veri) bütün girdi ve çıktı bağlantılarından geçtiği, her bağlantı linki tipik bir sinir ağında iletilen sinyali çarpan bir ilişkili ağırlığa sahiptir ve her nöron çıkış sinyalini belirlemek için ağ girişine (ağırlıklı giriş sinyallerinin toplamı) bir aktivasyon fonksiyonuna (genellikle doğrusal olmayan) uyguladığı biçiminde özetlemek mümkündür (Fausett, 1994). Şekil 3.4'de ve eşitlik 3.4'te genel bir YSA yapısı ile genel YSA eşitliği verilmiştir. YSA ağı mimari denen ve nöronlar arası bağlantı ve bağlantılar arasındaki ağırlıklara göre metodunun (eğitimi ya da öğrenim algoritması) belirlenmesi ve aktivasyon fonksiyonuna göre karakterize edilmektedir.

$$in_i = \sum_j W_{ji} a_j + b \quad (3.4)$$

a_j : j birimindeki aktivasyon değeri

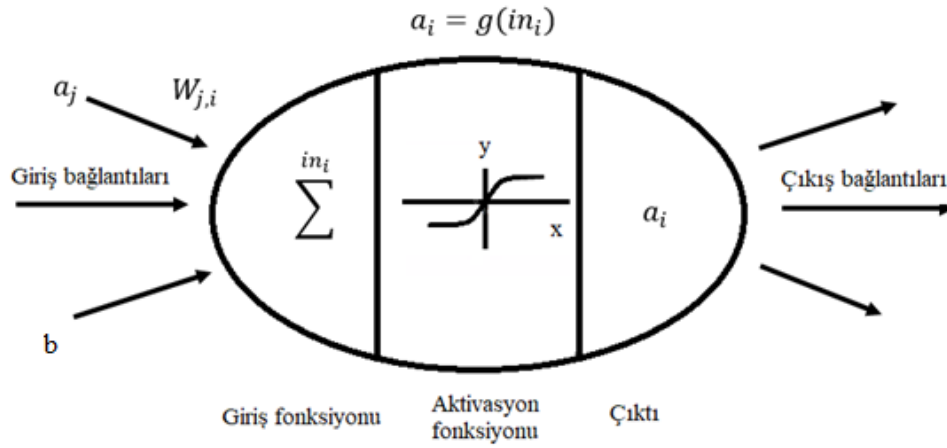
$W_{j,i}$: j biriminden i birimine kadar bağlantılardaki ağırlıklar

in_i : i birimine kadar olan girdilerin ağırlıklı toplamı

a_i : i birimindeki aktivasyon değeri

g : aktivasyon fonksiyonu

b : bias (sapma) değeri

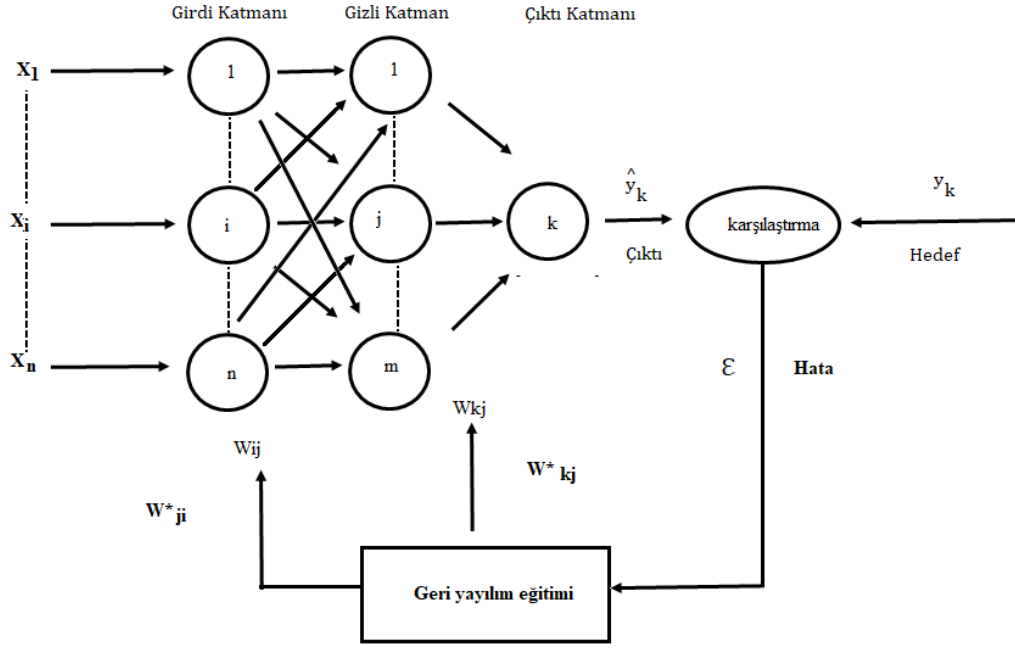


Şekil 3.4. Yapay sinir ağlarının genel yapısı

Bu çalışma kapsamında girdi verilerinden yararlanarak (kum, kil, silt vb.) çıktı parametrelerinin (tarla kapasitesi, solma noktası vb.) tahmin edilmesinde ileri beslemeli geri yayımlı YSA mimarisi kullanılmıştır. Eğitim algoritması olarak da Levenberg-Marquardt (LM), Ölçeklenmiş Eşlenik Gradyan (SCG) ve Bayesian Düzenlemesi (BR) modelleri kullanılmıştır. Arazi ve laboratuvarından elde edilen ham veriler YSA modellerine girdi olarak %70'i eğitim, %20 test ve %10 doğrulama amaçlı kullanılmıştır.

3.2.5.1. İleri beslemeli geri yayımlı yapay sinir ağları (FFBP)

Günümüzde en çok desen tanıma, görüntü işleme, otomasyon ve kontrol gibi pek çok alanda kullanım olanağına sahip olan FFBP'ler genel yapı olarak giriş katmanı, gizli katman ve çıktı katmanlarından oluşmaktadır. Toplamda kullanılan katman sayısı uygulama türüne göre değişim göstermektedir. İleri beslemeli geri yayımlı yapay sinir ağı, bir geri yayılma eğitimi algoritmasıyla eğitilmektedir. Geri yayılma eğitimi algoritması, hata sinyalini elde etmek için eğitim çıktısını hedeften (istenen cevap) çıkarır. Ardından, hatayı azaltmak için girişteki ve gizli katmanlardaki ağırlıkları ve önyargıları ayarlamak için geri döner. FFBP'lere ait genel yapısı Şekil 3.5'de verildiği gibidir.



Şekil 3.5. İleri beslemeli geri yayımlı yapay sinir ağı genel yapısı

Şekil 3.5’de verilen ileri beslemeli geri yayımlı yapay sinir ağı yapısının çıktı değeri ise eşitlik 3.5’de verildiği gibi hesaplanabilir (Albaradeya vd, 2011).

$$\hat{y}_k = f_0\left(\sum_{j=1}^M W_{kj} \cdot f_h\left(\sum_{i=1}^N W_{ji} + W_{j0}\right) + W_{k0}\right) \quad (3.5)$$

Burada; W_{ji} gizli katmanda, giriş katmanı ve j’inci nöronunu gizleyen gizli katmandaki bir ağırlığı, W_{j0} j’inci gizli nöronun hata (bias) değeri, f_h gizli nöronun aktivasyonu, W_{kj} çıkış katmanında gizli katmandaki j’inci nöronunu ve k’ıncı nöronunu bağlayan çıkış katmanı, W_{k0} k’ıncı çıkış nöronunun sapmasını (biasını) ve f_0 çıkış nöronunun aktivasyon fonksiyonunu ifade eder. Ağırlıklar, ağı gerçek cevabını ($\hat{y}_k$) istenen cevaba (y_k) yaklaştırmak için geri dönerek hesaplamalar arasındaki hatayı en aza indirmeye çalışır bu amaçla geriye yayılım yapar. Geri yayılma eğitim sürecinin amacı, ağı kare hatalarının toplamını en aza indirmek için ağı ağırlıklarını ayarlamaktır ve eşitlik 3.6’daki gibi hesaplanır.

$$E(n) = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^K [y_k(n) - \hat{y}_k(n)]^2 \quad (3.6)$$

İleri beslemeli geri yayımlı yapay sinir ağı modelinde her bir veri ya da sinyale bağlı ağırlıklara sahiptir. Bir alıcı gizli düğüme (Net_j) giden net integral gelen sinyaller giriş sinyallerinin ağırlıklı toplamıdır. Xi’inci terime denk gelen ağırlık W_{ij} olduğunda ve eşik değeri (TH_j) ile gösterildiğinde net integral sinyalleri (Net_j) eşitlik 3.7’deki

gibi belirlenmektedir. Daha sonra hesaplanan bu net sinyale bağlı olarak transfer fonksiyonu ile düzeltilerek çıktı (O_j) değerleri eşitlik 3.8'deki gibi hesaplanmaktadır (Albaradeya vd, 2011; Najjar and Zhang, 2000).

$$Net_j = \sum_{i=1}^n \bar{X}_i * W_{ij} + TH_j \quad (3.7)$$

$$O_j = f(Net_j) = \frac{1}{1+e^{-Net_j}} \quad (3.8)$$

3.2.5.2. Yapay sinir ağı modellerinde kullanılan eğitim algoritmaları

3.2.5.2.1. Levenberg-Marquardt (LM) eğitim algoritması

LM algoritması doğrusal olmayan en küçük kareler problemlerini çözmek için standart bir teknik olarak kabul edilmektedir. Dik iniş (steepest descent) veya gradyan iniş (gradient descent) ve Gausiyan-Newton yönteminin bir kombinasyonu olarak modifiye edilmiştir. LM birçok çözüm kümesine göre adapte edildiğinden bu çözüm kümelerinin istenilen biçimde sonuca ulaştırmasında güvenli bir şekilde kullanılabilir. LM algoritmasının güncel hali eşitlik 3.9'da verildiği gibidir. Bu eşitlikte w ağırlık vektörü, I birim matris, μ kombinasyon sayısı, P eğitim örnek sayısı, M çıkış sayısı, N ağırlık sayısı, J ($P \times M \times N$) boyutundaki Jacobian matrisi, e ($P \times M \times 1$) boyutundaki hata vektörünü temsil etmektedir. μ ayarlanabilir bir parametre olup çok düşük olması durumunda eşitlik dik iniş gibi çok büyük olması durumunda ise Gausiyan-Newton metodu gibi çalışmaktadır (Çavuşlu vd, 2012; Cömert ve Kocamaz, 2017).

$$\Delta w = (J^T J + \mu I)^{-1} J^T e \quad (3.9)$$

Ayrıca bu eşitlikte $J^T J$ terimi Hessian matrisini, $J^T e$ terimi ise gradyanı temsil etmektedir (Anonymous, 2018b; Marquardt, 1963).

3.2.5.2.2. Ölçeklenmiş eşlenik gradyan (SCG) eğitim algoritması

SCG algoritması diğer bazı metotlardaki gibi minimum ya da maksimum değerleri hesaplamak adına hat aramak yerine vektörel boyut ve yön aramaktadır. Bu arama yönü ve boyutunu belirlemede ise ikinci mertebeden gelen bilgiler ile hesaplanmaktadır. Bununla birlikte ağıdaki ağırlıklar vektör gösterimi ile ifade edilir. Bir ağırlık vektörü, gerçek öklid uzayındaki (N) bir vektördür, burada N , ağıdaki

ağırlıklar ve sapmaların (bias) sayısıdır ve ağırlık vektörü eşitlik 3.10'daki gibi hesaplanır.

$$w = (... , w_{ij}^{(1)}, w_{1+l,j}^{(1)}, w_{N_l,j}^{(1)}, \theta_{ij}^{(1+l)}, w_{ij+1}^{(1)}, w_{i+l,j+1}^{(1)}, ...) \quad (3.10)$$

Burada $w_{ij}^{(1)}$ katman numarası l'deki birim numarası l'den l+1 katman numaralı j numaralı birimdir. N_l l katmanındaki birim sayısı ve $\theta_{ij}^{(1+l)}$ ise j katmanındaki l+1 katman numarasındaki sapma (bias) değeridir. SCG yönteminde küresel hata fonksiyonunun YSA'da bulunan bias ve ağırlık değerlerine bağlı olduğu varsayımı vardır ve simgesi $E'(w)$ 'dir. Geri yayılım metotlarında hata ya da istenen hesaplamalarda geriye dönük kontrol olduğundan burada $E'(w)$ terimi de dönüşde hesaplanan hatayı temsil etmektedir. Öğrenilecek olan desen sayısının, Hinton'a göre makul olan ağırlıkların sayısı ile orantılı olduğu varsayılarak, hata vektör değerleri en düşük hata kareler yöntemine göre eşitlik 3.11'deki hali almaktadır ve burada N ağırlık ve bias vektörleri sayısıdır. Burada P, eğitim sırasında ağırlık sunulan modellerin sayısıdır ve E_p , model p ile ilişkili hatadır.

$$E'(w) = (... , \sum_{p=1}^P dw_{ij} dE_p, \sum_{p=1}^P dw_{i+l,j} dE_p, ... \sum_{p=1}^P dw_{ij}^{(l)} dE_p, \sum_{p=1}^P d\theta_{ij}^{(l+1)} dE_p, \sum_{p=1}^P dw_{i+l,j+1} dE_p, ... \quad (3.11)$$

Bu tanımlamalara ek olarak modele girecek, çıkacak, üretilecek ya da bölünecek ağırlık faktörleri aşadaki (eşitlik 3.12, 3.13, 3.14, 3.15) gibi hesaplanarak modele dahil edilir.

$$w + y = (w^1 + y^1, ..., w^i + y^i, ..., w^N + y^N)^T \quad (3.12)$$

$$w - y = (w^1 - y^1, ..., w^i - y^i, ..., w^N - y^N)^T \quad (3.13)$$

$$w^T y = \sum_{j=1}^N w^j y^j \quad (3.14)$$

$$\frac{w}{\sigma} = \sum_{j=1}^N \frac{w^j}{\sigma} \quad (3.15)$$

Ağırlık uzunluğu terimi ve hesaplanacak hata fonksiyonu değeri eşitlik 3.16 ve 3.17'deki hali almaktadır. SCG algoritmasının oluşabilmesinde eşitlik 3.10-3.17 arasında anlatılan terimleri hata ve optimizasyon hesaplamaları Möller, (1993)'de verildiği gibi adım adım optimizasyon ve iterasyon uygulamaları ile sonuçlar hesaplanarak çıktı olarak ifade edilir.

$$|w| = [\sum_{j=1}^N (w^j)^2]^{1/2} \quad (3.16)$$

$$E(w + y) = E(w) + E'(w)^T y + \frac{1}{2} E''(w)^T y + \dots \quad (3.17)$$

3.2.5.2.3. Bayesian Düzenlemesi (BR) eğitim algoritması

YSA'lar için Bayesian düzenlemesi, ağ parametrelerinin olasılıksal yorumuna dayanmaktadır. Yani, bir hata fonksiyonunu en aza indirerek optimal ağırlık setinin seçildiği geleneksel ağ eğitiminin aksine, BR yaklaşımı ağ ağırlıklarının bir olasılık dağılımını içerir. Sonuç olarak, ağı tahminleri de olasılık dağılımıdır. Bu yöntemde de en düşük hata kareleri yöntemine göre hataları ve sapmaları göz önünde bulundurarak hesaplamalar değerlendirilmektedir. E_D ağı toplam ortalama hata karesi, D eğitim setinin girdi ve çıktı çiftini, M ağıdaki katman sayısı, katmandaki birim sayısı ve her bir birim için aktivasyon fonksiyonunu belirtmektedir (Kayri, 2016).

$$F = E_D(D|w, M) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (\hat{t} - t_i)^2 \quad (3.18)$$

BR modelinde terimlerin en düşük hata karelerine ağırlıkların hata kareleride eklenerek model ile daha düzgün ve keskin hesaplamalar yapılacağı bildirilmektedir ve genel eşitlik 3.19'daki hali almaktadır. Eşitlikte α ve β fonksiyonların hesaplaması için gerekli olan hiper parametreyi, $F = E_w(D|w, M)$ YSA'ya ait ağırlıkları kareleri toplamıdır ve $(E_w = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^n w_j^2)$ şeklinde ifade edilmektedir. Son terim $(E_w = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^n w_j^2)$, ağırlıkça kaymayı ve α ise kayma oranının hızı olarak bilinir ve eğer $\alpha \ll \beta$ sonra eğitim algoritması hataları daha küçük yapacaktır ki asıl istenen durum da budur (Kayri, 2016).

$$F = \beta E_D(D|w, M) + \alpha E_w(D|w, M) \quad (3.19)$$

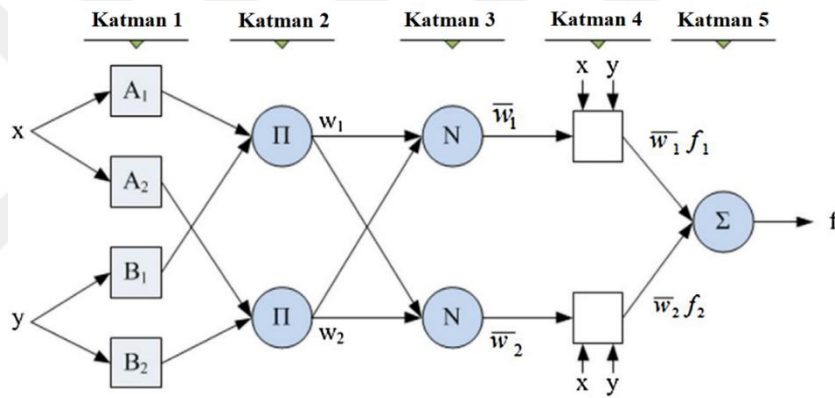
Hedeflenen çıktıya ait Gaussian yöntemi ile pürüzlülüğü giderildikten sonra genel BR eşitliği 3.20'de verilmiştir.

$$P(w|D, \alpha, \beta, M) = \frac{P(D|w, \beta, M).P(w|\alpha, M)}{P(D|\alpha, \beta, M)} \quad (3.20)$$

$P(w | \alpha, M)$, herhangi bir veri toplanmadan önce ağırlık bilgisini ifade eder, $P(D | w, \beta, M)$, meydana gelme olasılığı olan ve ağ ağırlıklarını veren bir olasılık fonksiyonudur. Bu eşitlik BR çerçevesinde, optimal ağırlıklar en üst seviyeye çıkarılır ve gelecek olasılık $P(w | D, \alpha, \beta, M)$. w 'nin artçı olasılığını maksimize etmek için düzenli amaç fonksiyonunu en aza indirmeye eşit olması gerekmektedir (Kayri, 2016).

3.2.6. Bulanık yapay sinir ağları (ANFIS)

Yapay sinir ağlarının öğrenme ve en uygununu bulma yeteneği ile bulanık mantığın insan gibi karar verebilme ve uzman bilgisi sağlama özellikleri birleşerek bulanık-sinir hibrid sistemleri ortaya çıkmıştır (Şenol, 2010). Bu sistemler arasında en yaygın kullanılan modellerden biri Jang (1993) tarafından geliştirilen ANFIS bulanık çıkarım modelidir. Nöro-bulanık sistemlerin klasik yöntemi, modelin eğitilmesi için bulanık sistemin parametrelerin belirlenmesinde hibrit öğrenme algoritması kullanan Sugeno tipi bulanık çıkarım sistemidir (Dahmardeh vd, 2017). ANFIS modeli, bulanık mantık ve yapay sinir ağı modeli ile ortaya çıkan ve beş katmandan oluşan yapıya sahip bir modeldir. Önceki bulanık kümeleri ve parametreleri hesaplamak için, bölüme ve üyelik fonksiyon türüne dayalı en küçük kareler tahmin yöntemi kullanılır. ANFIS modelinin temel yapısı Şekil 3.6’da verilmiştir.



Şekil 3.6. Temel ANFIS yapısı

Katman 1: Bu katman üyelik fonksiyonları kullanılarak farklı periyotlardaki girdi düğümlerinin üyelik derecelerinin belirlendiği katmandır. Üyelik fonksiyonları, genel olarak daha genel durumları içeren yamuk, üçgen, sigmoid, gausiyan ve çan biçimli fonksiyonlar da dahil olmak üzere farklı türlere sahiptir. Her bir düğüm çıkışı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$O_{1,i} = \mu_{A_i}(x) \quad i=1, 2 \quad (3.21)$$

$$O_{1,i} = \mu_{B_{i-2}}(y) \quad i=3, 4 \quad (3.22)$$

Burada x (veya y) i'inci düğümdeki girdidir ve A_i ise bu düğümle ilişkili dilsel bir etikettir. Bu nedenle $O_{1,i}$ A_i 'nin üyelik fonksiyonudur. Bu çalışmada, eşitlik (3.23)'de verilen genelleştirilmiş çan tipi üyelik fonksiyonu kullanılarak, düğüm çıkışı

$O_{1,i}$ hesaplanmıştır. Burada, a_i , b_i , c_i bulanık çıkarım sisteminin lineer olmayan giriş parametreleridir.

$$\mu_A(x) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x - c_i}{a_i} \right|^{2b}} \quad (3.23)$$

Katman 2: Bu katmandaki her bir düğüm, Sugeno bulanık çıkarım sistemine göre oluşturulan kuralları ve sayısını ifade etmektedir. Her bir kural düğümünün çıktısı 1. katmandan gelen üyelik derecelerinin çarpımıdır (Eşitlik 3.24). II olarak gösterilen bu katmandaki her bir düğüm gelen sinyaller ile çarpılır ve çarpım sonucu gönderilir.

$$O_{2,i} = w_i = (\mu_{Ai}(x) \times (\mu_{Bi}(y))) \quad i=1, 2., \quad (3.24)$$

Burada her düğüm, kuralın ateşleme gücünü temsil eder ve w_1 , w_2 bir sonraki katmanın ağırlık fonsiyonlarıdır.

Katman 3: Bu katmanda düğümler kuralların ağırlıklarını normalleştirir. Katman 3'ün çıkışı eşitlik 3.25'deki gibi hesaplanır.

$$O_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2} \quad i= 1, 2., \quad (3.25)$$

Katman 4: 4. Katman, bu katmanda elde edilen kurallar ve kurallar katmanı olarak isimlendirilir. Bu katmanın düğümleri düğüm fonksiyonları ile uyumludur. Bu katmanındaki her bir düğümde verilen bir kuralın ağırlıklandırılmış sonuç değerleri hesaplanmaktadır. 4. Katmanın çıkışı (O_4) eşitlik 3.26'daki gibi hesaplanır.

$$O_{4,i} = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x + q_i y + r_i) \quad (3.26)$$

Burada $\bar{w}_i$, katman 3'ün çıktısını gösterir, p_i , q_i , r_i bulanık çıkarım sisteminin çıkış parametreleridir.

Katman 5: Bu katman çıkış katmanı olarak isimlendirilir ve ANFIS'in genel çıkışı hesaplanarak durulaştırma işlemi ile bulanık değerden kesin değere dönüştürülür (Eşitlik 3.27).

$$O_{5,i} = \sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i} \quad (3.27)$$

3.2.7. Jeostatistiksel yöntem

Çalışmanın jeostatistik kısmında araziden örneklenen ve laboratuvarda fiziksel-kimyasal analizlerle elde edilen toprak özelliklerine ait verilen alansal dağılım haritalarının hazırlanmasında ordinary kriging (OK) metodu kullanılmıştır. OK metodundan ise en iyi tahmini belirlemek amacı ile farklı variogramlardan yararlanılmıştır. Bunlar; dogrusal, üstel, küresel ve gausiyan modellerini içermektedir.

OK metodu diğer kriging metodlarında olduğu gibi genel kriging tahminleyici eşitliğini kullanmaktadır (Eşitlik 3.28) ve bazı küçük düzenlemelerle diğer kriginglerden ayrılmaktadır (Li and Heap, 2008). Kriglemede mantık tahmin edilmek istenen noktaların hesaplanmasında çevrede bulunan komşu noktaların değerleri kullanarak tahminler yapmayı esas alır.

$$\hat{Z}(x_0) - \mu = \sum_{i=1}^n \lambda_i [Z(x_i) - \mu(x_0)] \quad (3.28)$$

Eşitlikte;

μ =bilinen sabit ortalama, (tüm alan üzerinde sabit olduğu ve verilerin ortalaması olarak hesaplandığı varsayılır).

λ_i =kriging ağırlığı,

n = tahmin yapmak için kullanılan örneklenen nokta sayısı,

$\mu(x_0)$ = arama penceresindeki (uzay) örneklerin ortalaması,

$\hat{Z}(x_0)$ = Z değişkeninin tahmin edilen değeri

$Z(x_i)$ = Z değişkeninin i noktasındaki ölçülen değeridir.

OK metodu 3.28'de bulunan bölgesel ortalama terimini $\mu(x_0)$ tüm verinin ortalama değeri ile (μ) değiştirir ve $\sum_{i=1}^n \lambda_i$ terimini 1 olarak hesaplama sabitlemeye zorlar ve OK metodu tahminler yapmada eşitlik 3.29'daki ve semivaryansları hesaplamada 3.30'daki genel eşitlikleri kullanır (Li ve Heap, 2008; (Webster and Oliver, 2001)).

$$\hat{z}(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(x_i) \quad (3.29)$$

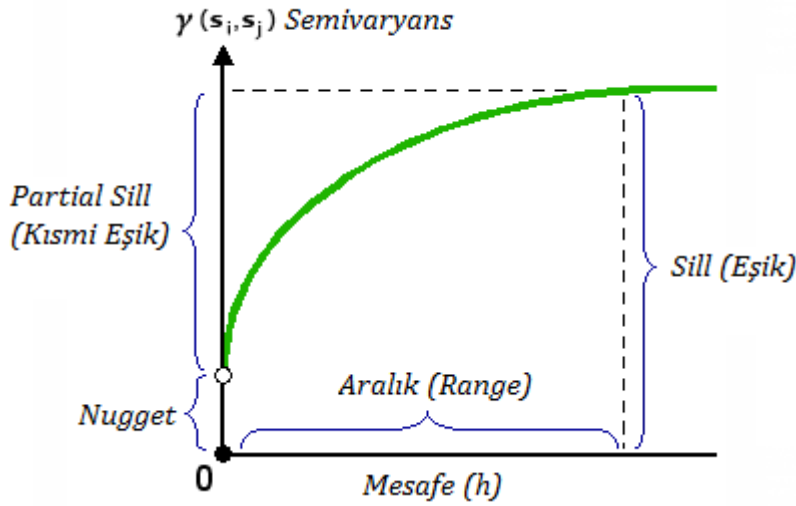
Eşitlikte $\hat{z}$, x_0 noktasında tahmin edilen değeri, λ_i kriging ağırlığını, z , x_i noktasında gözlemlenen gerçek veriyi ifade eder.

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n ((z(x_i) - z(x_i + h))^2 \quad (3.30)$$

Eşitlik 3.30'daki n ifadesi h mesafesi ile ayrılmış örnek nokta çiftlerinin sayısıdır.

OK metotlarında variogramlar nugget, üstel, küresel, gaussiyan, doğrusal ve güç gibi modeller içerebilmekle birlikte bir veya daha fazla basit modelin iç içe toplamı şeklinde de olabilmektedir (Burrough vd, 2015; Webster and Oliver, 2001). Bu çalışmada alansal dağılımların belirlenmesinde doğrusal, üstel, küresel ve gaussiyan modelleri kullanılmıştır.

Bu variogram modellerini açıklamaya geçmeden önce aralık (range), sill (eşik) ve nugget terimlerinin açıklanması daha yararlı olacaktır. Elde edilen ham verilerin semivaryanslara göre değişimleri çizildikten sonra doğrusal, üstel, küresel vs. modeller kullanılarak eğri uydurma yöntemi ile model seçimi yapılır. Bu noktadan sonra modelleri tanımlamak için aralık (range), sill (eşik) ve nugget değerlerinden yararlanılır. Bu kapsamda anılan terimlere ait genel bir çizim Şekil 3.6'da verilmiştir (Anonymous, 2018a).



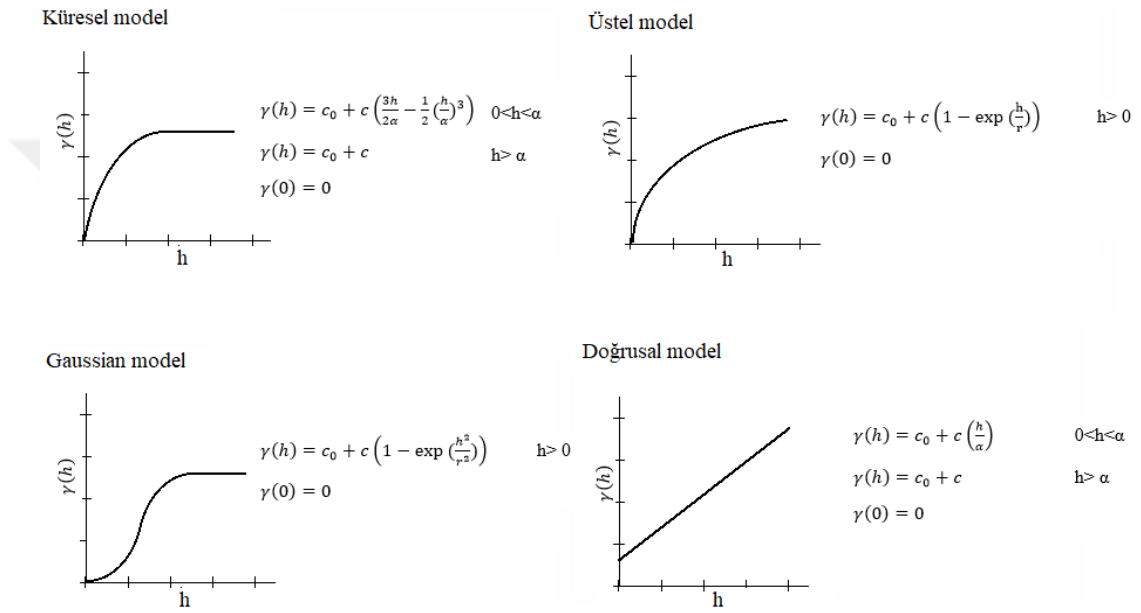
Şekil 3.6. Aralık, Eşik ve Nugget bileşenlerinin genel gösterimi

Modelin ilk kez düzleştiği kısım Sill, modelin y eksenini kestiği nokta nugget, modelin ilk kez düzleşerek uzamaya başladığı noktanın orijine olan uzaklığı range olarak tanımlanmaktadır (Anonymous, 2018c).

Bu çalışmada kullanılan modellere değinilecek olursa küresel model, variogram modellemede kullanılan en yaygın modellerden biridir. Mekansal bağımlılığın eşik ve aralık olarak düzleştiği modifiye ikinci dereceden bir denklemdir. Üstel model, mekansal değişkenliğin kademeli olarak eşiğe ulaşmasıyla küresel modeli andırır. İki örnek nokta arasındaki ilişki kademeli olarak azalırken, sonsuz mekânsal bağımlılıktan uzaklaşır. Gaussiyan fonksiyonu normal bir olasılık dağılım eğrisi kullanır. Bu tip

model, ilerlemenin y eksenine yükselmesi nedeniyle fenomenlerin (olguların) kısa mesafelerde benzer olduğu durumlarda kullanışlıdır. Doğrusal modelde, uzaysal değişkenliğin mesafeyle doğrusal olarak arttığını ifade eder. Belli bir semivaryansa ve mesafe değişmesine bağlı olarak düzleşme içermeyen en basit model türüdür, yani kullanıcının eşiği (sill) ve aralığı (range) keyfi olarak seçmesi gerekir (Anonymous, 2018c).

Şekil 3.7’de semivariogram modellerine ilişkin genel şekil ve formülleri verilmiştir (Anonymous, 2018a).



Şekil 3.7. Semivariogram modelleri

3.2.8. Çok değişkenli doğrusal regresyon yöntemi

Bu çalışmada toprak özelliklerinin tahmininde yapay zeka uygulamalarının yanı sıra kullanılan diğer bir pedotransfer fonksiyon ise çok değişkenli doğrusal regresyon yöntemidir. PTF’ler birçok konuda kullanıldığı gibi toprak özelliklerinin analizlerle belirlenmesi zor ve ekonomik olmayan verilerin tahmininde son zamanlarda sıkça kullanılmaktadır. Bu bağlamda PTF’lerde girdi parametresi olarak kullanılacak özelliklerin seçilmesinde korelasyon analizinden yararlanılmış ve veri setleri YSA modellerinde olduğu gibi %70 eğitim ve %30 oranlarında test için bölünmüştür. Çok değişkenli doğrusal regresyon (ÇDR) yönteminde bağımlı ve bağımsız değişkenler bulunmaktadır ve bunların seçiminde YSA yönteminde olduğu gibi korelasyon analizlerinden yararlanılmıştır. Bu çalışmada birbirleri ile ilişkili olan parametreler

girdi (bağımsız değişken) ve çıktı (bağımlı değişken) olarak alınmıştır. Bunun yanında çok değişkenli doğrusal regresyon en küçük kareler yöntemine dayanmaktadır. Model, gözlemlenen ve tahmin edilen değerlerin farklılıklarının en aza indirgenmiş olduğu karelerin toplamına uydurmaya çalışmaktadır. ÇDR’de birçok varsayım vardır ve bu varsayımların gerçekleşme durumuna göre modellerden elde edilen sonuçlar daha tatmin edici olmaktadır. ÇDR modellerinin daha verimli çalışması veri setlerinin varyansına da bağlıdır yani düşük varyans yüksek performansa neden olmaktadır (Ghorbani vd, 2015; Kashi vd, 2014). ÇDR yönteminin genel eşitliği ise 3.31’de verilmiştir.

$$y(x) = a + \sum_{i=1}^n b_n x_n \quad (3.31)$$

Burada a , sabit sayı, b_n , x_n ‘inci değişkenin katsayısı, y tahmin edilmek istenen bağımlı değişken ve x bağımsız değişkeni ifade etmektedir.

3.2.9. İstatistiksel analiz ve değerlendirme

Çalışma süresince ve laboratuvar analizleri sonucunda elde edilen ham verilerden sayısal analizler yapabilmek adına bazı ön istatistiksel değerlendirmeler yapılmıştır. Bu amaçla hem temel bileşenler analizinden (PCA) hem de korelasyon analizlerinden (CA) yararlanarak modellerin oluşturulmasında kolaylıklar sağlanmıştır.

Temel bileşenler analizi kısaca tanımlanacak olursa; genel yapı itibarı ile bir boyut azaltma işlemidir. Bir takım veri dizisinde birbirleri ile ilişki olan değişkenler olduğu ve bu değişkenlerin varyansı çok düşük ise boyut küçültmek adına PCA kullanılabilmektedir (Şengöz ve Özdemir, 2016). PCA’ların temelde üç amacı bulunmaktadır. Bunlar; i) verilerin boyutunu azaltmak, ii) tahminler yapmak ve iii) veri setlerini analiz ederek diğer analizler için fikirler elde etmektir. Bu çalışmada hem verilerin boyutu azaltılmış hem de PCA sonucunda elde edilen sonuçlara göre faktör matrisleri oluşturularak modellemede kullanılabilecek değişkenlerin seçimi ve sınıflarına karar verilmiştir. Temel bileşenler analizlerinin yapılmasında Jonson ve Wichern, (1992), Kumar vd, (2012), Salehi ve Zahedi Amiri (2005)’de verilen esaslar dikkate alınmıştır.

Toprak özelliklerinin birbirleri ile olan ilişki ve ilişki yönlerini belirlemede korelasyon analizleri yapılmıştır. İlişkinin gücünün belirlenmesinde ise eşitlik 3.32’de verilen korelasyon katsayısı hesaplanmıştır (Chandra vd, 2016). Korelasyon katsayısı

her zaman -1 ile +1 arasında değişmektedir. Eğer x değişkeni arttığında y değişkeni de artıyorsa burada pozitif bir korelasyondan, eğer x değişkeni arttığında y değişkeni azalıyorsa burada negatif bir korelasyonun varlığından söz edilmektedir (Taylor, 1990).

$$r = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{(n \sum x^2 - (\sum x)^2)(n \sum y^2 - (\sum y)^2)}} \quad (3.32)$$

Model ve yöntemlerin karşılaştırılması ve en uygun modellerin belirlenmesinde belirleme katsayısı (R^2), tahmin hatasının standart sapması (RMSE) ve Ortalama Mutlak Hata (MAE) kullanılmıştır (Miháliková vd, 2015; Mousavi vd, 2011; Taşan, 2017). Belirleme katsayısı, RMSE ve MAE değerlerinin hesaplanmasında eşitlik 3.33-3.35 kullanılmıştır.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2} \quad (3.33)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}} \quad (3.34)$$

$$MAE = \frac{\sum |y_i - \hat{y}_i|}{n} \quad (3.35)$$

Eşitliklerde n örnek sayısı, y_i ve $\hat{y}_i$ sırası ile gözlemlenen ve tahmin edilen değerler, $\bar{y}_i$ ise örnek topluluğunun ortalamasıdır.

Bunlara ek olarak veri setlerinin istatistiksel değerlendirilmesinde tanımlayıcı istatistikler de yapılmıştır. Tanımlayıcı istatistiklerde parametrelere ait en küçük değer, en büyük değer, ortalama, standart sapma, varyasyon katsayısı, çarpıklık ve basıklık değerleri belirlenmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Toprak Özelliklerine İlişkin Bulgular

Çalışma alanında, sulamanın toprak özelliklerine olası etkilerini araştırmak ve bir sezonda sulama öncesi ve sonrası dönemdeki değişimi belirleyebilmek amacıyla 2010 ve 2016 yıllarında hem sulama öncesi hem de sulama sonrası dönemde ve 2017 yılında sadece sulama öncesi dönemde toprak örnekleri alınmıştır.

4.1.1. Çalışma alanı topraklarının fiziksel özellikleri

Çalışma alanına ait toprakların fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla 2016 yılı sulama öncesi dönemde 112 farklı noktadan 0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm ve 90-120 cm derinliklerden alınan toprak örnekleri kullanılmıştır. Her katmandaki örneklerin kum, kil ve silt içerikleri, hacim ağırlığı ve tarla kapasitesi ile solma noktası gibi sulama açısından önemli bazı fiziksel özellikler belirlenmiştir. Çalışma alanı topraklarının fiziksel özelliklerine ait tanımlayıcı istatistik analiz sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Çalışma alanı topraklarının fiziksel özelliklerine ait tanımlayıcı istatistikler

Özellik	Derinlik (cm)	Min.	Max.	AO	S.S	VK	Basıklık	Çarpıklık	Dağılım
Kum (%)	0-30	8.39	48.05	22.48	7.66	34.05	0.38	0.64	Karekök
	30-60	0.62	49.22	21.27	8.49	39.92	0.69	0.61	Karekök
	60-90	5.61	84.54	22.12	14.40	65.10	7.10	2.32	Log
	90-120	4.00	86.54	24.69	17.11	69.30	2.21	1.53	Log
Kil (%)	0-30	5.81	69.74	41.64	11.98	28.78	0.09	-0.25	Normal
	30-60	5.88	69.56	42.46	13.22	31.14	-0.40	-0.31	Normal
	60-90	5.67	67.62	40.79	15.50	37.99	-0.75	-0.32	Normal
	90-120	6.04	81.78	36.94	17.42	47.14	-0.80	0.09	Normal
Silt (%)	0-30	20.78	63.71	35.88	8.15	22.72	1.06	0.81	Karekök
	30-60	19.37	68.51	36.26	8.84	24.37	1.28	0.97	Karekök
	60-90	7.45	78.13	37.09	11.27	30.38	1.54	0.57	Karekök
	90-120	7.43	71.40	38.37	11.39	29.68	0.35	0.10	Normal
Hacim ağırlığı (g/cm ³)	0-30	1.07	1.63	1.33	0.13	9.88	-0.10	0.28	Normal
	30-60	1.18	1.61	1.40	0.11	7.61	-0.43	0.04	Normal
	60-90	1.24	1.56	1.40	0.09	6.46	-1.00	0.10	Normal
	90-120	1.11	1.63	1.41	0.12	8.73	0.77	-0.56	Karekök
TK (%)	0-30	21.01	57.72	37.68	7.05	18.70	-0.19	0.25	Normal
	30-60	18.75	50.18	36.78	6.57	17.87	-0.50	-0.04	Normal
	60-90	5.77	57.19	35.26	8.18	23.21	1.58	-0.68	Karekök
	90-120	5.74	59.75	32.94	8.68	26.34	0.85	-0.39	Normal
SN (%)	0-30	6.82	34.59	21.18	5.53	26.09	0.04	-0.23	Normal
	30-60	6.40	36.24	20.47	5.65	27.60	-0.10	-0.20	Normal
	60-90	2.64	42.66	18.94	6.91	36.51	0.37	-0.08	Normal
	90-120	2.65	35.17	16.59	6.95	41.90	-0.87	-0.11	Normal

Min: Minimum değer, Max: Maksimum değer, AO: Aritmetik ortalama, S.S: Standart sapma, VK: Varyasyon katsayısı (%), TK: Tarla kapasitesi, SN: Solma noktası

Çizelge 4.1 incelendiğinde çalışma alanı topraklarının kum içeriği 0-30 cm derinlikte %8.39 ile 48.05 arasında, 30-60 cm derinlikte %0.62 ile %49.22 arasında, 60-90 cm derinlikte %5.61-84.54 arasında ve 90-120 cm derinlikte ise %4.00 ile %86.54 arasında değişmiştir. Çalışma alanı topraklarının kum içeriği genel olarak derinlikle birlikte artış göstermiştir.

Toprakların kil içeriği 0-30 cm katmanında %5.81-%69.74 arasında, 30-60 cm toprak katmanında %5.88-%69.56 arasında, 60-90 cm katmanında %5.67-67.62 arasında ve 90-120 cm toprak katmanında ise %6.04 ile %81.78 arasında değişim göstermiştir. Çalışma alanı topraklarının ortalama kil miktarı derinlikle birlikte genel olarak azalmıştır.

Çalışma alanı topraklarının silt içeriği incelendiğinde 0-30 cm derinlikte %20.78 ile %63.71 arasında değiştiği, 30-60 cm derinlikte %19.37 ile %68.51 arasında, 60-90 cm derinlikte %7.45 ile %78.13 arasında değiştiği ve en alt katmanda ise %7.43 ile %71.40 arasında değişim gösterdiği görülmektedir. Derinlik arttıkça çalışma alanı topraklarının silt içeriğinin de arttığı belirlenmiştir.

Çalışma alanı topraklarının hacim ağırlıkları 1.07 ile 1.63 g/cm³ arasında değişmiştir. Yüzey katmandan alt katmanlara doğru sırasıyla ortalama hacim ağırlığı değerleri 1.33 g/cm³, 1.40 g/cm³, 1.40 g/cm³ ve 1.41 g/cm³ olarak belirlenmiştir. Genel olarak yüzeyden alt katmanlara doğru gidildikçe kum içeriğinin artışına bağlı olarak hacim ağırlığı artmıştır. Cass, (1999) bitki büyümesi için hacim ağırlığının sınır değerlerinin toprak tekstürüne bağlı olduğunu bildirmiştir. Kök sıkışmasının büyük ölçüde kısıtlanmış olduğu durumda bitki büyümesi için hacim ağırlığı değerlerinin kumlu tınlı toprakta 1.8 g/cm³, ince kumlu tınlı toprakta 1.7 g/cm³, tınlı ve killi tınlı toprakta 1.6 g/cm³ ve killi toprakta 1.4 g/cm³ olduğunu belirtmiştir.

Çalışma alanı topraklarının tarla kapasitesindeki nem içerikleri %5.74 ile %59.75 arasında, solma noktasındaki nem içerikleri ise %2.64 ile %42.66 arasında değişmiştir. Yüzeyden alt katmanlara doğru sırasıyla ortalama TK değerleri %37.68, %36.78, %35.26 ve %32.94 olarak bulunmuş ve derinlik arttıkça tarla kapasitesi azalmıştır. Solma noktası da benzer eğilim göstermiş ve 0-30 cm derinlikte %21.18, 30-60 cm derinlikte %20.47, 60-90 cm derinlikte %18.94 ve 90-120 cm derinlikte %16.59 olarak belirlenmiş, derinlik arttıkça solma noktası değerleri azalmıştır (Çizelge 4.1).

Varyasyon katsayısı veri farklılığının bir ölçüsüdür. Mulla ve Mc Bratney (2000) toprak özelliklerini varyasyon katsayılarına göre üç gruba ayırmışlardır. Varyasyon katsayısı 15'den küçük olanlar az değişken, 16-35 arası olanlar orta derecede değişken ve 36'dan büyük olanlar yüksek derecede değişken olarak sınıflandırılmıştır. Buna göre sadece 0-30 cm derinlikteki kum içeriği orta derecede değişkenlik göstermiş, diğer katmanlardaki kum içerikleri ise yüksek derecede değişkenlik göstermişlerdir. 0-30 cm ve 30-60 cm derinliklerindeki kil içeriği orta derecede değişkenlik gösterirken, 60-90 cm ve 90-120 cm derinliklerindeki kil içerikleri yüksek derecede değişkenlik göstermişlerdir. Çalışma alanı topraklarının silt içeriği ve tarla kapasitesi tüm derinliklerde orta derecede değişkenlik göstermiştir. Hacim ağırlığı tüm katmanlarda değişkenlik katsayısına göre düşük düzeyde değişkenlik göstermiştir. 0-30 cm ve 30-60 cm derinliklerindeki solma noktası orta derecede değişkenlik gösterirken, 60-90 cm ve 90-120 cm derinliklerindeki kil içerikleri yüksek derecede değişkenlik göstermişlerdir. Kum ve kil içeriğinin yüksek derecede değişkenlik göstermesi aluviyal ana materyalin çalışma alanında farklılık göstermesi ve çalışma alanının geniş olmasına bağlanabilir.

Toprak özelliklerine ait veri setlerinin normal dağılım göstermesi uygulanacak istatistiksel yöntemler açısından önemlidir. Veri setlerinin normal dağılıma uyumluluğunun göstergelerinden olan çarpıklık ve basıklık katsayıları Çizelge 4.1'de verilmiştir. Çizelgede verilen çarpıklık, verilerin normal dağılımı hakkında bilgi içermektedir. Çarpıklık değerlerine göre uygun dönüşümler yapılarak veriler normal dağılıma benzetilmektedir. Webster (2001)'de yapılan sınıflandırmaya göre çalışma alanı topraklarının fiziksel özelliklerinden kil içeriği ve SN değerleri tüm derinliklerde ve TK değeri 60-90 cm derinlik haricinde normal dağılım, kum içeriği 60-90 ve 90-120 cm derinlikte log-normal dağılım ve geriye kalan özelliklerde ise karekökleri alınarak normal benzeri bir dağılım elde edilmiştir.

4.1.2. Çalışma alanı topraklarının kimyasal özellikleri

Çalışma alanı topraklarının kimyasal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla çalışma alanından 2010 yılı sulama öncesi dönemde 90, sulama sonrası dönemde 50 noktadan, 2016 yılında sulama öncesi ve sonrası dönemde 112 noktadan ve 2017 yılı sulama öncesi dönemde 112 noktadan 4 farklı derinlikten toprak örnekleme yapılmıştır. Çalışma kapsamında tuzluluk ve sodiklik göstergelerinden olan EC, pH, ESP ve Na, K, Ca+Mg, KDK, CaCO₃ ve organik madde analizleri gerçekleştirilmiştir.

4.1.2.1. Çalışma alanı toprakların 2010 yılı sulama öncesi döneminde kimyasal özelliklerine ait bulgular

Çalışma alanından 2010 yılı sulama öncesi dönemde örnekleme yapılan 90 noktadan belirlenen yüzey ve yüzey altı topraklarının özelliklerine ait tanımlayıcı istatistik parametreleri Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çalışma alanında sulamadan önceki dönemde alınan topraklardaki tuzluluk durumları incelendiğinde 0-30 cm toprak katmanında EC değerlerinin 0.31 dS/m ile 4.30 dS/m arasında değişim gösterdiği ve ortalama 0.79 dS/m olduğu belirlenmiştir. 30-60 cm toprak katmanında EC değerleri 0.25 ile 2.28 dS/m arasında değişim göstermiş, ortalama olarak 0.65 dS/m olmuştur. 60-90 cm derinlikte ise EC değerleri 0.18 ile 3.25 dS/m arasında değişmiş ve ortalama EC değeri 0.64 dS/m olarak belirlenmiştir. En alt katmanda ise EC değerleri 0.16 ile 1.44 dS/m arasında değişmiş ve ortalama olarak 0.55 dS/m olmuştur. Üst katmanda tuzluluk değerleri yüksek bulunmuş, alt katmanlara doğru inildikçe tuzluluk değerleri azalmıştır (Çizelge 4.2). Taşan, (2017) özellikle toprakların EC değerlerinin sulama sonrası dönemlerde artış gösterdiğini, Alaçam bölgesinde yürüttükleri çalışma için toprakların elektriksel iletkenliklerinin çalışma süresince yapılan üç dönem içinde derinlikle birlikte azalma gösterdiğini bildirmiştir. Bunun sebebinin derinlikle birlikte kil fraksiyonlarının azalması ve kum ile silt fraksiyonlarına bağlı olarak alt katmanlarda EC’yi yükseltecek kimyasal özelliklerin azalması ve bu katmanlarda yıkama durumlarının daha yüksek olmasına bağlanabilir. Benzer şekilde FAO-57 numaralı bültende kil fraksiyonları ile EC arasında pozitif korelasyonların ($R^2=0.99$) olduğu ve kil içeriğinin artması ile EC’nin artacağı, azalması durumunda ise azalacağı bildirilmektedir (Rhoades and Chanduvi, 1999).

Çizelge 4.2. Çalışma alanı toprakların 2010 yılı sulama öncesi döneminde kimyasal özelliklerine ait temel tanımlayıcı istatistikleri

Özellik	Derinlik (cm)	Min.	Max.	AO	S.S	VK	Basıklık	Çarpıklık	Dağılım
EC	0-30	0.31	4.30	0.79	0.61	77.81	15.30	3.54	Log
	30-60	0.25	2.28	0.65	0.37	57.30	8.51	2.70	Log
	60-90	0.18	3.25	0.64	0.47	73.53	14.71	3.42	Log
	90-120	0.16	1.44	0.55	0.28	50.24	2.06	1.53	Log
pH	0-30	6.15	9.34	7.35	0.45	6.08	5.50	1.40	Log
	30-60	6.49	9.11	7.59	0.42	5.51	1.84	0.73	Karekök
	60-90	6.81	9.07	7.93	0.44	5.58	0.49	0.12	Normal
	90-120	6.94	9.23	8.03	0.42	5.28	1.27	0.40	Normal
Na	0-30	0.90	20.20	3.35	3.51	104.82	11.56	3.31	Log
	30-60	0.99	37.28	3.78	5.05	133.68	23.50	4.42	Log
	60-90	0.96	15.32	3.34	2.99	89.48	5.67	2.44	Log
	90-120	0.88	26.14	3.56	4.79	134.51	10.82	3.29	Log
K	0-30	0.13	1.87	0.54	0.33	60.11	4.66	1.95	Log
	30-60	0.08	4.02	0.47	0.47	100.62	34.89	5.07	Log
	60-90	0.05	2.11	0.43	0.38	88.11	6.21	2.36	Log
	90-120	0.07	2.30	0.62	0.48	77.27	4.15	1.94	Log
Ca+Mg	0-30	14.17	53.27	31.20	6.61	21.19	1.21	0.34	Normal
	30-60	17.23	45.03	28.77	6.45	22.40	-0.81	0.04	Normal
	60-90	16.23	63.13	29.34	8.22	28.01	2.09	1.05	Log
	90-120	12.50	49.90	30.52	7.46	24.43	0.18	0.28	Normal
KDK	0-30	17.89	56.01	35.09	7.33	20.90	0.59	0.41	Normal
	30-60	18.89	64.20	33.02	8.21	24.88	1.09	0.56	Karekök
	60-90	17.80	65.87	33.12	8.81	26.60	0.88	0.69	Karekök
	90-120	17.24	59.22	34.70	9.14	26.33	0.06	0.52	Karekök
ESP	0-30	2.07	49.16	9.19	8.20	89.24	11.91	3.31	Log
	30-60	3.07	58.07	10.38	9.30	89.58	10.17	3.01	Log
	60-90	3.09	36.92	9.90	7.71	77.83	4.92	2.35	Log
	90-120	2.66	47.72	9.29	9.64	103.78	8.40	3.01	Log
CaCO ₃	0-30	0.24	18.24	5.97	4.58	76.81	-0.72	0.50	Normal
	30-60	0.33	24.72	7.18	5.52	76.76	0.00	0.60	Karekök
	60-90	0.40	27.39	11.62	6.37	54.78	-0.39	-0.06	Normal
	90-120	0.40	31.20	12.32	6.19	50.24	0.51	0.02	Normal
OM	0-30	0.43	5.82	2.40	1.06	44.11	1.69	1.01	Log

Min: Minimum değer, Max: Maksimum değer, AO: Aritmetik ortalama, S.S: Standart sapma, VK: Varyasyon katsayısı (%), EC: Elektriksel iletkenlik (dS m⁻¹), KDK: Katyon değişim kapasitesi (meq 100g⁻¹), ESP: Değişebilir sodyum yüzdesi, OM: Organik madde (%)

Çalışmada araştırılan bir diğer özellik ise pH değeridir. pH, topraklarda sodikliğin artışına bağlı olarak yükselen ve bitki gelişimi açısından önemli olan bir özelliktir. Yapılan çalışmalarda bitki gelişimi açısından pH değerinin en uygun olduğu aralığın 6.5 ile 7.5 arasında olduğu belirlenmiştir. Çalışma alanındaki toprakların pH değerlerinin 6.15 ile 9.34 arasında değiştiği belirlenmiştir. 0-30 cm derinlikteki ortalama pH değeri 7.35, 30-60 cm derinlikteki ortalama pH değeri 7.59, 60-90 cm derinlikteki ortalama pH değeri 7.93 ve 90-120 cm derinlikteki ortalama pH değeri ise 8.03 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.2). Toprakların pH değerleri EC'nin tersine sodyum içeriğinin artışına paralel olarak derinlikle birlikte artış göstermiştir. Bafra ovasında yapılan bir çalışmada ise toprakların pH değerlerinin derinlikle birlikte 0-30,

30-60, 60-90 ve 90-120 cm için sırasıyla ortalama olarak 8.0, 8.2, 8.3 ve 8.4 olduğu belirlenmiştir (Cemek vd, 2007).

Çalışma alanındaki toprakların sodyum (Na) değerleri incelendiğinde 0-30 cm toprak katmanını için 0.90 ile 20.20 meq/100g arasında değiştiği ve ortalama değerin ise 3.35 meq/100g olduğu belirlenmiştir. 30-60 cm toprak katmanında ise 0.99 ile 37.28 meq/100g arasında değişmiş ve bu katmandaki ortalama değer 3.78 meq/100g olarak belirlenmiştir. 60-90 cm toprak katmanındaki Na değeri 0.96 ile 15.32 meq/100g arasında değişmiş ve ortalama değer ise 3.34 meq/100g olmuştur. 90-120 cm toprak katmanında ise 0.88 ile 26.14 meq/100g arasında değişim göstermiş ve 3.56 meq/100g ortalama değeri almıştır (Çizelge 4.2). Bütün katmanlar birlikte değerlendirildiğinde en yüksek Na içeriğine 30-60 cm toprak katmanında rastlanmıştır. Bunu sırasıyla 90-120 cm, 60-90 cm toprak katmanları izlemiş, en düşük Na içeriğine ise yüzey toprak katmanında rastlanmıştır.

Bu dönemde çalışma alanı topraklarının potasyum (K) içerikleri 0.05 ile 4.02 meq/100g arasında değişim göstermektedir (Çizelge 4.2). 0-30 cm toprak katmanında ortalama K içeriği 0.54 meq/100g, 30-60 cm toprak katmanında 0.47 meq/100g, 60-90 cm toprak katmanında 0.43 meq/100g ve 90-120 cm toprak katmanında ortalama K içeriği 0.62 meq/100g olarak bulunmuştur. K içeriğinin en fazla değişim gösterdiği katman 30-60 cm toprak katmanıdır. K içerikleri genel olarak derinlikle birlikte azalmış, en yüksek ortalama K içeriğine 90-120 cm toprak katmanında rastlanmıştır.

Çalışma alanında Ca+Mg değerleri 12.50 ile 63.13 meq/100g arasında değişmiştir. 0-30 cm derinlikte ortalama Ca+Mg içeriği 31.20 meq/100g, 30-60 cm derinlikte 28.77 meq/100g, 60-90 cm derinlikte 29.34 meq/100g ve 90-120 cm derinlikte 30.52 meq/100g olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.2). Ortalama olarak en yüksek Ca+Mg içeriğinin 0-30 cm katmanında olmasına rağmen genel olarak derinlik arttıkça Ca+Mg miktarının arttığı gözlenmiştir.

Çalışma alanı topraklarının katyon değişim kapasitesi (KDK) değerleri 17.24 ile 65.87 meq/100g arasında değişmiştir. (Çizelge 4.2). 0-30 cm toprak katmanında ortalama KDK değeri 35.09 meq/100g, 30-60 cm katmanında 33.02 meq/100g, 60-90 cm katmanında 33.12 meq/100g ve 90-120 cm toprak katmanında ise 34.70 meq/100g olarak bulunmuştur. Genel olarak yüzeyden alt katmanlara doğru inildikçe KDK değerinin azaldığı görülmektedir. Hazelton ve Murphy (2016)'e göre KDK 6.0

meq/100g'dan az olması çok düşük, 6.0-12.0 meq/100g arası düşük, 12.0-25.0 meq/100g aralığı orta, 25.0-40.0 meq/100g arası yüksek ve 40.0 meq/100g'dan fazla olması ise çok yüksek olarak tanımlanmıştır. Bu bilgilere göre çalışma alanı toprakları için her katmanında yüksek miktarda KDK belirlenmiştir. KDK'ya toprakların kil miktarı ve tipi, organik madde içeriği, toprak reaksiyonu (pH) vb. gibi birçok faktör etkilidir. Bunlara ek olarak topraktaki bitki besin elementinin varlığında KDK'yı pozitif yönde etkilemektedir. Bitki besin elementlerinden ise en çok değişken olanlarından ve KDK'ya etki eden element K ve Mg olduğu ve bu katyonların sürekli taşınımı ile KDK'nında değiştiği bildirilmektedir (Moore, 2001).

Çalışma alanındaki toprakların sulama öncesindeki ESP değerleri incelendiğinde 0-30 cm toprak katmanında 2.07 ile 49.16 arasında değişim gösterdiği ve ortalama değerin 9.19 olduğu belirlenmiştir. 30-60 cm toprak katmanında ise 3.07 ile 58.07 arasında değiştiği ve ortalama değerin 10.38 olduğu belirlenmiştir. 60-90 cm toprak katmanında ESP değeri 3.09 ile 36.92 arasında değişim göstermiş ve ortalama değer 9.90 olmuştur. 90-120 cm toprak katmanında ise 2.66 ile 47.72 arasında değişim göstermiş ve ortalama ESP değeri 9.29 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.2). Bütün katmanlar birlikte değerlendirildiğinde en düşük ESP değeri 0-30 cm katmanında, en yüksek ESP değeri ise 30-60 cm toprak katmanında bulunmuştur. Yüzeyden alt katmanlara doğru inildikçe sodiklik sorununda artış olduğu söylenebilir. Hindistan'ın Karnataka bölgesinde denize sınırı olan bir ovada yapılan çalışmada makro besin elementlerinin alansal dağılımının belirlenmesine yönelik araştırmalar yürütülmüştür. Çalışmada ayrıca ESP'de belirlenmiş ve ortalama olarak %0.87-%15.30 arasında değiştiğini bildirmiştir (Ravikumar and Somashekar, 2014).

Çalışma alanı topraklarının CaCO_3 içeriklerinin %0.24 ile %31.20 arasında değiştiği Çizelge 4.2'de görülmektedir. 0-30 cm toprak katmanında ortalama CaCO_3 % 5.97, 30-60 cm toprak katmanında %7.18, 60-90 cm toprak katmanında %11.62 ve 90-120 cm toprak katmanında ortalama %12.32 olarak bulunmuştur. CaCO_3 (%) içerikleri derinlik arttıkça artış göstermiştir. Taşova ve Akın (2013)'e göre CaCO_3 içeriğinin 1'den küçük olması çok az kireçli, 1-5 arasında olması az kireçli, 5-15 arasında olması orta kireçli, 15-25 arasında olması çok kireçli ve 25'den büyük olması çok fazla kireçli olarak sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırmaya göre çalışma alanı topraklarının orta kireçli sınıfta olduğu söylenebilir.

Çalışma alanı topraklarında analiz edilen bir diğer özellik de organik madde içeriğidir. Organik madde analizi sadece 0-30 cm toprak katmanında yapılmıştır. Çalışma alanı topraklarının organik madde içeriği %0.43 ile %5.82 arasında değişmiş, ortalama %2.40 olmuştur (Çizelge 4.2). Hazelton ve Murphy (2016)'da Hafif tekstürlü (kumlu-tınlı ve tınlı topraklarda) ve zayıf yapılandırılmış topraklarda organik madde içeriği, 0.7'den az ise çok çok az, 0.7-1 arasında ise çok az, 1-1.7 arasında ise az, 1.7-3 arasında ise orta, 3-5.15 arasında ise iyi, 5.15'den daha fazla ise çok iyi olarak sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırmaya göre 2010 yılı sulama öncesi dönemde analiz edilen toprakların organik madde içerikleri orta düzeyde bulunmuştur.

Çizelge 4.2'de görüldüğü gibi varyasyon katsayısı en düşük olan özellik tüm derinliklerde pH olmuştur. Na, ESP, EC, CaCO_3 , organik madde ve K'nın varyasyon katsayısı yüksek bulunmuştur. Toprak özelliklerinden sadece pH az değişkenlik göstermiş, Ca+Mg ve KDK özellikleri ise orta derecede değişkenlik göstermiştir. Diğer özellikler ise (Na, ESP, EC, CaCO_3 , organik madde ve K) yüksek derecede değişkenlik göstermiştir.

EC, Na ve ESP tüm derinliklerde çarpıklık değeri 1'in üzerinde bulunmuş ve log-normal dağılım göstermiştir. pH farklı derinliklerde farklı dağılım özelliği göstermiştir. KDK, 0-30 cm derinlikte normal dağılım göstermiş, diğer derinliklerde ise karekök-normal dönüşümü yapılmıştır. CaCO_3 içeriği 30-60 cm derinlikte karekök-normal dönüşümü yapılmış, diğer derinliklerde ise normal dağılım göstermiştir.

4.1.2.2. Çalışma alanı toprakların 2010 yılı sulama sonrası döneminde kimyasal özelliklerine ait bulgular

Çalışma alanından 2010 yılı sulama sonrası dönemde örnekleme yapılan noktalardan belirlenen farklı katmanlardaki topraklarının özelliklerine ait tanımlayıcı istatistik parametreleri Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Çalışma alanı toprakların 2010 yılı sulama sonrası döneminde kimyasal özelliklerine ait temel tanımlayıcı istatistikleri

Özellik	Derinlik (cm)	Min.	Max.	AO	S.S	VK	Basıklık	Çarpıklık	Dağılım
EC	0-30	0.20	1.92	0.69	0.29	42.60	7.00	2.11	Log
	30-60	0.18	1.38	0.61	0.26	42.40	1.44	1.15	Log
	60-90	0.17	1.64	0.57	0.26	46.18	5.02	1.75	Log
	90-120	0.15	1.56	0.57	0.30	52.21	2.80	1.47	Log
pH	0-30	6.64	8.14	7.48	0.44	5.86	-1.09	-0.20	Normal
	30-60	6.77	8.69	7.82	0.53	6.79	-0.91	-0.13	Normal
	60-90	6.75	9.40	8.15	0.55	6.79	-0.20	-0.07	Normal
	90-120	7.35	9.42	8.21	0.49	6.00	-0.35	0.61	Karekök
Na	0-30	0.97	11.19	2.76	1.76	63.93	12.69	3.11	Log
	30-60	0.82	8.47	2.83	1.74	61.55	2.38	1.65	Log
	60-90	0.87	14.86	3.01	2.55	84.70	9.77	2.76	Log
	90-120	0.89	17.65	3.37	3.30	98.17	8.09	2.65	Log
K	0-30	0.08	2.09	0.69	0.37	53.69	5.29	1.99	Log
	30-60	0.09	2.81	0.51	0.43	85.42	17.03	3.63	Log
	60-90	0.07	1.66	0.36	0.30	81.82	9.65	2.77	Log
	90-120	0.06	1.45	0.32	0.26	78.73	7.91	2.38	Log
Ca+Mg	0-30	23.73	73.97	45.00	14.79	32.87	-1.02	0.44	Normal
	30-60	20.60	71.40	40.64	14.23	35.02	-0.53	0.68	Karekök
	60-90	18.70	77.60	38.09	14.18	37.23	0.59	1.04	Log
	90-120	17.40	73.87	37.77	13.17	34.88	0.32	0.77	Karekök
KDK	0-30	26.38	78.16	48.44	15.18	31.33	-1.06	0.40	Normal
	30-60	22.56	74.75	43.98	14.52	33.01	-0.69	0.56	Karekök
	60-90	21.17	81.24	41.46	14.16	34.16	0.51	0.90	Karekök
	90-120	18.73	77.34	41.46	13.20	31.83	0.19	0.69	Karekök
ESP	0-30	2.49	25.11	5.94	3.80	63.91	15.61	3.40	Log
	30-60	2.01	16.47	6.78	3.82	56.34	0.08	0.97	Karekök
	60-90	2.10	33.29	7.74	6.14	79.30	5.74	2.11	Log
	90-120	2.25	42.05	8.47	7.89	93.12	6.39	2.33	Log
CaCO ₃	0-30	1.20	22.40	7.50	4.75	63.32	0.61	0.81	Karekök
	30-60	2.09	27.06	10.29	5.70	55.44	0.33	0.62	Karekök
	60-90	2.41	21.20	14.06	4.80	34.16	0.30	-0.86	Karekök
	90-120	6.10	30.19	16.52	5.11	30.90	0.18	0.52	Karekök
OM	0-30	0.40	3.73	1.82	0.68	37.23	0.87	0.69	Karekök

Min: Minimum değer, Max: Maksimum değer, AO: Aritmetik ortalama, S.S: Standart sapma, VK: Varyasyon katsayısı (%), EC: Elektriksel iletkenlik (dS m⁻¹), KDK: Katyon değişim kapasitesi (meq 100g⁻¹), ESP: Değişebilir sodyum yüzdesi, OM: Organik madde (%)

Çalışma alanında sulama sonrası dönemde alınan topraklardaki tuzluluk durumları incelendiğinde 0-30 cm toprak katmanında EC değerlerinin 0.20 dS/m ile 1.92 dS/m arasında değişim gösterdiği ve ortalama 0.69 dS/m olduğu belirlenmiştir. 30-60 cm toprak katmanında EC değerleri 0.18 ile 1.38 dS/m arasında değişim göstermiş, ortalama olarak 0.61 dS/m olmuştur. 60-90 cm derinlikte ise EC değerleri 0.17 ile 1.64 dS/m arasında değişmiş ve ortalama EC değeri 0.57 dS/m olarak belirlenmiştir. 90-120 cm toprak katmanında ise EC değerleri 0.15 ile 1.56 dS/m arasında değişmiş ve ortalama olarak 0.57 dS/m olmuştur. Sulama öncesi döneme göre toprak tuzluluk değerleri azalmış ve benzer şekilde üst katmanda tuzluluk değerleri yüksek bulunmuş, alt katmanlara doğru inildikçe tuzluluk değerleri azalmıştır (Çizelge 4.3).

Çalışma alanındaki toprakların pH değerlerinin 6.64 ile 9.42 arasında değiştiği belirlenmiştir. 0-30 cm derinlikteki ortalama pH değeri 7.48, 30-60 cm derinlikteki ortalama pH değeri 7.82, 60-90 cm derinlikteki ortalama pH değeri 8.15 ve 90-120 cm derinlikteki ortalama pH değeri ise 8.21 olarak belirlenmiştir. Toprakların pH değerleri EC'nin tersine sodyum içeriğinin artışına paralel olarak derinlikle birlikte artış göstermiştir (Çizelge 4.3). Bafra ovası koşullarında Ustifluvent toprak grubuna sahip topraklarda tuzluluğun dağılımını belirlemek amacı ile yapılan bir çalışmada ortalama toprak reaksiyonunun üst katmandan alt katmana doğru sırası ile 8.1, 8.2, 8.3 ve 8.4 olduğu belirlenmiştir (Demir vd, 2009).

Çalışma alanındaki toprakların sulama sonrası dönemdeki ESP değerleri incelendiğinde 0-30 cm toprak katmanında 2.49 ile 25.11 arasında değişim gösterdiği ve ortalama değerin 5.94 olduğu belirlenmiştir. 30-60 cm toprak katmanında ise 2.01 ile 16.47 arasında değiştiği ve ortalama değerin 6.78 olduğu tespit edilmiştir. 60-90 cm toprak katmanında ESP değeri 2.10 ile 33.29 arasında değişim göstermiş ve ortalama değer 7.74 olmuştur. 90-120 cm toprak katmanında ise 2.25 ile 42.05 arasında değişim göstermiş ve ortalama ESP değeri 8.47 olarak bulunmuştur. Bütün katmanlar birlikte değerlendirildiğinde en düşük ESP değeri 0-30 cm katmanında, en yüksek ESP değeri ise 90-120 cm toprak katmanında bulunmuştur. Yüzeyden alt katmanlara doğru inildikçe sodiklik sorununda artış olduğu gözlenmiştir.

Çalışma alanı topraklarının CaCO_3 içeriklerinin %1.20 ile %22.40 arasında değiştiği Çizelge 4.3'de görülmektedir. 0-30 cm toprak katmanında ortalama CaCO_3 %7.50, 30-60 cm toprak katmanında %10.29, 60-90 cm toprak katmanında %14.06 ve 90-120 cm toprak katmanında ortalama %16.52 olarak bulunmuştur. CaCO_3 içerikleri sulama öncesi dönemde olduğu gibi derinlik arttıkça artış göstermiştir. Taşova ve Akın (2013)'ün yaptığı sınıflamaya göre 90-120 cm toprak katmanı çok kireçli sınıfına, diğer katmanlar ise orta kireçli sınıfına girmektedir.

Bu dönemde çalışma alanı topraklarının organik madde içeriği %0.40 ile %3.73 arasında değişmiş, ortalama %1.82 olmuştur. Hazelton ve Murphy, (2016) tarafından verilen sınıflandırmaya göre 2010 yılı sulama sonrası dönemde analiz edilen toprakların organik madde içerikleri orta düzeyde bulunmuştur. Sila vd, (2017) çalışmalarında Kenya topraklarında geleneksel toprak analizleri ile spektroskopik yöntemler kullanılarak tahmin edilen toprak özelliklerini karşılaştırmışlardır. Örnekleme yapılan 158 toprak örneği için organik madde içeriklerinin %0.41-12.09

arasında değiştiğini ve ortalama olarak %3.44 toplam organik madde varlığını tespit etmişlerdir.

2010 yılı sulama öncesi döneme benzer şekilde en düşük varyasyon katsayısına pH'da rastlanmıştır. Bu durum değişkenliğin az olduğunu göstermektedir. Ca+Mg ve KDK orta derecede değişkenlik, geriye kalan özellikler ise yüksek derecede değişkenlik göstermişlerdir.

Bu dönemde araştırılan özelliklerden pH 90-120 cm derinliği haricinde normal dağılım göstermiş diğer özellikler ise log-normal ve karekök-normal dağılım göstermiştir.

4.1.2.3. Çalışma alanı toprakların 2016 yılı sulama öncesi döneminde kimyasal özelliklerine ait bulgular

Çalışma alanından 2016 yılı sulama öncesi dönemde örnekleme yapılan 112 noktadan alınan farklı katmanlardaki topraklarının özelliklerine ait tanımlayıcı istatistik parametreleri Çizelge 4.4'de verilmiştir.

Çalışma alanında 2016 yılı sulama öncesi dönemde alınan topraklardaki tuzluluk durumları incelendiğinde 0-30 cm toprak katmanında EC değerlerinin 0.21 dS/m ile 6.31 dS/m arasında değişim gösterdiği ve ortalama 0.67 dS/m olduğu belirlenmiştir. 30-60 cm toprak katmanında EC değerleri 0.20 ile 4.33 dS/m arasında değişim göstermiş, ortalama olarak 0.65 dS/m olmuştur. 60-90 cm derinlikte ise EC değerleri 0.20 ile 1.97 dS/m arasında değişmiş ve ortalama EC değeri 0.61 dS/m olarak belirlenmiştir. 90-120 cm toprak katmanında ise EC değerleri 0.16 ile 2.45 dS/m arasında değişmiş ve ortalama olarak 0.61 dS/m olmuştur. Üst katmanda tuzluluk değerleri yüksek bulunmuş, alt katmanlara doğru inildikçe tuzluluk değerleri azalmıştır (Çizelge 4.4).

Bu dönemde çalışma alanı topraklarının pH değerleri 6.66 ile 9.28 arasında değişmiştir. 0-30 cm derinlikteki ortalama pH değeri 7.48, 30-60 cm derinlikteki ortalama pH değeri 7.65, 60-90 cm derinlikteki ortalama pH değeri 7.90 ve 90-120 cm derinlikteki ortalama pH değeri ise 8.04 olarak belirlenmiştir. Bu dönemde de toprakların pH değerleri EC'nin tersine sodyum içeriğinin artışına paralel olarak derinlikle birlikte artış göstermiştir (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4. Çalışma alanı toprakların 2016 yılı sulama öncesi döneminde kimyasal özelliklerine ait temel tanımlayıcı istatistikleri

Özellik	Derinlik (cm)	Min.	Max.	AO	S.S	VK	Basıklık	Çarpıklık	Dağılım
EC	0-30	0.21	6.31	0.67	0.60	88.90	73.67	7.82	Log
	30-60	0.20	4.33	0.65	0.47	72.57	33.24	4.79	Log
	60-90	0.20	1.97	0.61	0.36	58.93	3.31	1.79	Log
	90-120	0.16	2.45	0.61	0.42	68.49	5.35	2.19	Log
pH	0-30	6.73	8.65	7.48	0.33	4.36	1.11	0.26	Normal
	30-60	6.66	8.82	7.65	0.33	4.32	2.33	0.41	Normal
	60-90	6.91	9.23	7.90	0.41	5.23	1.68	0.57	Karekök
	90-120	6.68	9.28	8.04	0.40	4.96	2.58	0.24	Normal
Na	0-30	0.44	44.28	2.53	4.26	168.48	85.72	8.83	Log
	30-60	0.47	26.26	3.07	3.76	122.58	20.69	4.26	Log
	60-90	0.64	21.78	3.39	3.86	113.99	12.39	3.39	Log
	90-120	0.68	27.89	3.58	4.36	122.03	12.47	3.33	Log
K	0-30	0.31	2.59	0.99	0.46	46.50	2.38	1.30	Log
	30-60	0.27	9.81	0.91	0.94	103.30	73.28	7.82	Log
	60-90	0.13	5.53	0.66	0.62	95.12	33.87	4.92	Log
	90-120	0.12	3.51	0.53	0.48	91.52	15.98	3.55	Log
Ca+Mg	0-30	16.00	57.43	35.55	7.55	21.23	0.33	-0.19	Normal
	30-60	17.03	49.87	34.46	7.20	20.90	-0.30	-0.44	Normal
	60-90	14.67	49.50	33.25	7.87	23.66	-0.43	-0.30	Normal
	90-120	14.10	49.90	30.84	8.13	26.37	-0.70	0.07	Normal
KDK	0-30	17.77	62.69	39.06	8.09	20.71	0.46	-0.06	Normal
	30-60	18.67	58.76	38.44	7.91	20.59	0.01	-0.45	Normal
	60-90	17.07	57.43	37.29	8.46	22.68	-0.23	-0.32	Normal
	90-120	17.55	60.41	34.94	8.82	25.23	-0.43	0.12	Normal
ESP	0-30	1.06	72.76	6.07	7.15	117.83	70.31	7.76	Log
	30-60	1.16	55.18	7.50	7.77	103.52	21.06	4.30	Log
	60-90	1.75	49.40	8.68	8.63	99.35	10.78	3.25	Log
	90-120	2.94	65.65	9.63	10.14	105.34	11.84	3.30	Log
CaCO ₃	0-30	1.21	16.30	7.15	4.16	58.15	-1.04	0.44	Normal
	30-60	1.21	18.64	7.74	4.48	57.81	-1.16	0.36	Normal
	60-90	1.45	33.90	12.05	6.69	55.55	-0.02	0.43	Normal
	90-120	1.45	32.29	14.69	6.55	44.60	0.01	0.01	Normal
OM	0-30	0.88	5.68	2.54	0.98	38.77	1.20	1.08	Log

Min: Minimum değer, Max: Maksimum değer, AO: Aritmetik ortalama, S.S: Standart sapma, VK: Varyasyon katsayısı (%), EC: Elektriksel iletkenlik (dS m⁻¹), KDK: Katyon değişim kapasitesi (meq 100g⁻¹), ESP: Değişebilir sodyum yüzdesi, OM: Organik madde (%)

Çalışma alanı topraklarının sulama öncesindeki ESP değerleri incelendiğinde 0-30 cm toprak katmanında 1.06 ile 72.76 arasında değişim gösterdiği ve ortalama değer 6.07 olduğu belirlenmiştir. 30-60 cm toprak katmanında ise 1.16 ile 55.18 arasında değiştiği ve ortalama değer 7.50 olduğu belirlenmiştir. 60-90 cm toprak katmanında ESP değeri 1.75 ile 49.40 arasında değişim göstermiş ve ortalama değer 8.68 olmuştur. 90-120 cm toprak katmanında ise 2.94 ile 65.65 arasında değişim göstermiş ve ortalama ESP değeri 9.63 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.4). Genel olarak ESP değerleri derinlikle beraber artış göstermiştir. Bu durumda yüzeyden alt katmanlara doğru inildikçe sodiklik sorununda artış olduğu söylenebilir.

Bu dönemde çalışma alanı topraklarının CaCO_3 içerikleri 1.21 ile 33.90 arasında değişmiştir (Çizelge 4.4). 0-30 cm toprak katmanında ortalama CaCO_3 içeriği %7.15, 30-60 cm toprak katmanında %7.74, 60-90 cm toprak katmanında %12.05 ve 90-120 cm toprak katmanında ortalama %14.69 olarak bulunmuştur. Derinlik arttıkça CaCO_3 içerikleri de artmıştır. Taşova ve Akın (2013)'ın yaptığı sınıflamaya göre bu dönemdeki çalışma alanı toprakları orta kireçli olarak sınıflandırılmıştır.

Çalışma alanı topraklarının organik madde içeriği %0.88 ile %5.68 arasında değişmiş, ortalama %2.54 olmuştur (Çizelge 4.4). Hazelton ve Murphy (2016)'da yapılan sınıflandırmaya göre 2016 yılı sulama öncesi dönemde analiz edilen toprakların organik madde içerikleri orta düzeyde bulunmuştur.

Tanımlayıcı istatistik tablosuna bakıldığında en az değişken olan özelliğin pH, en yüksek olanın Na olduğu, $\text{Ca}+\text{Mg}$ ve KDK'nın orta derecede değişken ve EC, Na, K, ESP, CaCO_3 ve organik madde değerlerinin ise yüksek değişken oldukları görülmektedir.

pH, 60-90 cm derinlikte karekök dağılım göstermiş, diğer derinliklerde ise normal olarak dağılmıştır. KDK ve CaCO_3 içeriği tüm derinliklerde normal dağılım göstermiş geriye kalan özelliklerin hepsi ise log-normal dağılmıştır.

4.1.2.4. Çalışma alanı toprakların 2016 yılı sulama sonrası döneminde kimyasal özelliklerine ait bulgular

Çalışma alanından 2016 yılı sulama sonrası dönemde örnekleme yapılan 112 noktadan belirlenen farklı katmanlardaki topraklarının özelliklerine ait tanımlayıcı istatistik parametreleri Çizelge 4.5'de verilmiştir.

Çalışma alanından 2016 yılı sulama sonrası döneminde alınan toprakların tuzluluk durumları incelendiğinde 0-30 cm toprak katmanında EC değerlerinin 0.27 dS/m ile 5.34 dS/m arasında değişim gösterdiği ve ortalama 0.77 dS/m olduğu belirlenmiştir. 30-60 cm toprak katmanında EC değerleri 0.27 ile 5.54 dS/m arasında değişim göstermiş, ortalama olarak 0.78 dS/m olmuştur. 60-90 cm derinlikte ise EC değerleri 0.26 ile 5.77 dS/m arasında değişmiş ve ortalama EC değeri 0.73 dS/m olarak belirlenmiştir. 90-120 cm toprak katmanında ise EC değerleri 0.21 ile 5.07 dS/m arasında değişmiş ve ortalama olarak 0.67 dS/m olmuştur. Sulama öncesi dönemde

olduğu gibi üst katmanda tuzluluk değerleri genel olarak yüksek bulunmuş, alt katmanlara doğru inildikçe tuzluluk değerleri azalmıştır (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.5. Çalışma alanı toprakların 2016 yılı sulama sonrası döneminde kimyasal özelliklerine ait temel tanımlayıcı istatistikleri

Özellik	Derinlik (cm)	Min.	Max.	AO	S.S	VK	Basıklık	Çarpıklık	Dağılım
EC	0-30	0.27	5.34	0.77	0.53	68.44	50.74	6.07	Log
	30-60	0.27	5.54	0.78	0.57	73.26	44.52	5.74	Log
	60-90	0.26	5.77	0.73	0.60	81.69	45.72	5.90	Log
	90-120	0.21	5.07	0.67	0.52	78.69	45.37	5.72	Log
pH	0-30	6.97	9.23	7.81	0.41	5.21	1.34	0.44	Normal
	30-60	7.06	9.83	7.94	0.36	4.56	5.85	1.18	Log
	60-90	7.25	9.93	8.19	0.43	5.25	3.14	0.78	Karekök
	90-120	7.07	9.86	8.39	0.45	5.39	1.93	0.56	Karekök
Na	0-30	0.71	21.86	2.76	2.81	101.60	32.44	5.26	Log
	30-60	0.91	26.53	3.16	3.62	114.47	21.31	4.32	Log
	60-90	0.96	22.27	3.50	3.80	108.74	11.98	3.34	Log
	90-120	0.71	25.51	3.39	3.70	109.20	14.51	3.43	Log
K	0-30	0.23	9.15	0.91	0.97	106.10	51.43	6.56	Log
	30-60	0.16	7.25	0.79	0.74	93.46	53.65	6.42	Log
	60-90	0.08	6.25	0.60	0.64	106.17	57.29	6.71	Log
	90-120	0.07	3.04	0.45	0.40	89.19	20.62	3.91	Log
Ca+Mg	0-30	19.97	80.83	38.69	11.74	30.35	2.89	1.58	Log
	30-60	16.60	76.53	38.33	11.12	29.02	1.64	1.23	Log
	60-90	18.17	74.17	37.51	12.17	32.44	0.96	0.98	Karekök
	90-120	18.37	75.53	35.19	11.76	33.43	1.52	1.17	Log
KDK	0-30	23.93	86.37	42.36	11.94	28.18	2.52	1.43	Log
	30-60	20.11	79.80	42.28	11.37	26.89	1.05	1.00	Karekök
	60-90	19.39	77.59	41.61	12.44	29.89	0.56	0.75	Karekök
	90-120	19.43	78.83	39.03	11.99	30.73	0.99	0.91	Karekök
ESP	0-30	1.18	44.46	6.64	5.92	89.19	27.67	4.73	Log
	30-60	1.68	51.82	7.41	7.22	97.41	19.65	4.08	Log
	60-90	1.56	50.27	8.35	8.21	98.27	13.25	3.48	Log
	90-120	2.27	47.42	8.64	8.34	96.43	10.16	2.99	Log
CaCO ₃	0-30	1.30	16.88	7.21	4.12	57.09	-1.10	0.43	Normal
	30-60	1.62	20.45	7.42	4.32	58.24	-0.68	0.56	Karekök
	60-90	1.30	24.42	10.25	5.49	53.51	-0.64	0.21	Karekök
	90-120	1.62	28.96	13.63	6.36	46.71	-0.48	0.01	Normal
OM	0-30	0.35	7.56	2.69	1.16	43.19	2.64	1.39	Log

Min: Minimum değer, Max: Maksimum değer, AO: Aritmetik ortalama, S.S: Standart sapma, VK: Varyasyon katsayısı (%), EC: Elektriksel iletkenlik (dS m^{-1}), KDK: Katyon değişim kapasitesi ($\text{meq } 100\text{g}^{-1}$), ESP: Değişebilir sodyum yüzdesi, OM: Organik madde (%)

Bu dönemde çalışma alanı topraklarında 0-30 cm derinlikteki ortalama pH değeri 7.81, 30-60 cm derinlikteki ortalama pH değeri 7.94, 60-90 cm derinlikteki ortalama pH değeri 8.19 ve 90-120 cm derinlikteki ortalama pH değeri ise 8.39 olarak belirlenmiştir. Bu dönemde de toprakların pH değerleri derinlikle birlikte artış göstermiştir (Çizelge 4.5).

Çalışma alanı topraklarının 2016 yılı sulama sonrası dönemindeki ESP değerleri incelendiğinde 0-30 cm toprak katmanında 1.18 ile 44.46 arasında değişim gösterdiği ve ortalama değer 6.64 olduğu belirlenmiştir. 30-60 cm toprak katmanında ise 1.68

ile 51.82 arasında değiştiği ve ortalama değerin 7.41 olduğu belirlenmiştir. 60-90 cm toprak katmanında ESP değeri 1.56 ile 50.27 arasında değişim göstermiş ve ortalama değer 8.35 olmuştur. 90-120 cm toprak katmanında ise 2.27 ile 47.42 arasında değişim göstermiş ve ortalama ESP değeri 8.64 olarak bulunmuştur (izelge 4.5). ESP değerleri derinlikle beraber artış göstermiştir. Bu durumda yüzeyden alt katmanlara doğru inildikçe sodiklik sorununda artış olduğu düşünülebilir.

Çalışma alanı topraklarının CaCO_3 içerikleri 1.30 ile 28.96 arasında değişmiştir (izelge 4.5). Yüzey katmanında (0-30 cm) ortalama CaCO_3 %7.21, 30-60 cm toprak katmanında %7.42, 60-90 cm toprak katmanında %10.25 ve 90-120 cm toprak katmanında ortalama %13.63 olarak bulunmuştur. Derinlik arttıkça CaCO_3 içerikleri de artmıştır. Taşova ve Akın (2013)'n yaptığı sınıflamaya göre bu dönemdeki çalışma alanı toprakları orta kireçli olarak sınıflandırılmıştır.

Bu dönemde çalışma alanı topraklarının organik madde içeriği %0.35 ile %7.56 arasında değişmiş, ortalama %2.69 olmuştur (izelge 4.5). Hazelton ve Murphy (2016)'da yapılan sınıflandırmaya göre toprakların organik madde içerikleri diğer dönemlerdeki gibi orta düzeyde bulunmuştur.

Diğer dönemlere benzer şekilde en düşük varyasyon katsayısı pH'da, en yüksek varyasyon katsayısı ise Na'da bulunmuştur. Ca+Mg ve KDK orta derecede değişkenlik göstermiş ve pH haricindeki diğer özellikler ise yüksek derecede değişkenlik göstermişlerdir.

Bu dönemde 0-30 cm derinlikteki pH ve 0-30 cm ve 90-120 cm derinlikteki CaCO_3 içeriği normal dağılım göstermiş diğer özellikler ise log-normal ve karekök-normal dağılım göstermiştir. Cambardella vd, (1994) 36 ha'lık bir çalışma alanında 27 toprak özelliğini incelemiş ve bu özelliklerden sadece 2 tanesinin normal dağılım gösterdiğini bildirmişlerdir. Çalışma alanındaki toprak özelliklerinin normal dağılım göstermemesinin sebebini bilinmeyen nedenlere bağlamışlar, amenajman ve dönemsel olarak geçici olayların bu duruma neden olabileceğini de belirtmişlerdir. Young vd, (1992), aluviyal bir alanda yaptıkları çalışmada araştırdıkları 12 farklı toprak özelliğinin tamamının normal dağılım göstermediğini bildirmişler ve çalışma alanında depozitlenmeden dolayı toprak özelliklerine ait çarpık dağılımların oluştuğunu ifade etmişlerdir. Bu çalışmanın yapıldığı bölgenin de aluviyal bir alan olduğu ve araştırılan özelliklerin çok az bir kısmının normal dağılım göstermesi Young vd, (1992)'de elde

edilen sonuçlarla benzerlik göstermektedir. Çalışma alanının Kızılırmak tarafından farklı zamanlarda depolanan materyallerden oluştuğu göz önüne alındığında çalışılan özelliklerin normal dağılım göstermemesi benzer şekilde açıklanabilir.

4.1.2.5. Çalışma alanı toprakların 2017 yılı sulama öncesi döneminde kimyasal özelliklerine ait bulgular

Çalışma alanı için 2017 yılı sulama öncesi dönemde örnekleme yapılan 112 noktadan belirlenen farklı katmanlardaki topraklarının özelliklerine ait tanımlayıcı istatistik parametreleri Çizelge 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Çalışma alanı toprakların 2017 yılı sulama öncesi döneminde kimyasal özelliklerine ait temel tanımlayıcı istatistikleri

Özellik	Derinlik (cm)	Min.	Max.	AO	S.S	VK	Basıklık	Çarpıklık	Dağılım
EC	0-30	0.24	6.10	0.62	0.58	93.82	74.48	7.90	Log
	30-60	0.16	3.77	0.59	0.42	70.88	31.34	4.66	Log
	60-90	0.14	2.17	0.53	0.34	63.46	8.07	2.56	Log
	90-120	0.12	1.94	0.51	0.34	67.46	4.75	2.10	Log
pH	0-30	6.60	8.87	7.87	0.35	4.46	2.24	-0.65	Karekök
	30-60	6.78	9.41	7.99	0.36	4.52	3.37	0.02	Normal
	60-90	7.09	9.71	8.27	0.41	5.00	2.25	0.83	Karekök
	90-120	7.20	10.05	8.44	0.46	5.43	2.45	0.65	Karekök
Na	0-30	0.58	32.16	2.22	3.43	154.62	57.93	7.24	Log
	30-60	0.60	29.37	2.67	3.61	135.22	33.09	5.40	Log
	60-90	0.56	27.59	3.01	3.58	119.22	22.03	4.19	Log
	90-120	0.54	19.10	3.03	3.39	112.14	8.12	2.84	Log
K	0-30	0.20	4.43	0.78	0.53	68.02	21.30	3.94	Log
	30-60	0.17	8.51	0.74	0.84	113.81	66.06	7.40	Log
	60-90	0.11	6.24	0.56	0.70	126.75	42.11	5.87	Log
	90-120	0.06	4.79	0.46	0.63	137.52	25.19	4.60	Log
Ca+Mg	0-30	17.37	57.30	39.39	8.02	20.36	0.09	-0.11	Normal
	30-60	17.10	63.13	40.04	9.12	22.77	0.22	-0.02	Normal
	60-90	18.63	65.43	38.18	9.25	24.24	0.20	0.12	Normal
	90-120	18.03	57.70	36.35	8.98	24.71	-0.41	0.12	Normal
KDK	0-30	19.23	60.38	42.39	8.28	19.53	0.08	-0.10	Normal
	30-60	19.12	67.58	43.45	9.39	21.61	0.20	0.02	Normal
	60-90	20.54	68.90	41.74	9.54	22.85	0.48	0.07	Normal
	90-120	19.76	64.03	39.83	9.49	23.82	-0.19	0.12	Normal
ESP	0-30	1.31	58.28	5.07	6.39	126.07	50.42	6.72	Log
	30-60	1.25	52.93	6.00	7.14	118.98	29.87	5.19	Log
	60-90	1.20	53.13	7.05	7.51	106.47	16.00	3.70	Log
	90-120	1.49	44.92	7.36	7.64	103.80	8.89	2.98	Log
CaCO ₃	0-30	1.61	16.14	7.14	3.93	55.03	-1.04	0.42	Normal
	30-60	1.53	19.05	7.18	4.34	60.52	-0.86	0.63	Karekök
	60-90	1.70	25.02	10.85	5.77	53.17	-0.94	0.00	Normal
	90-120	1.21	32.69	14.79	6.96	47.02	-0.19	0.12	Normal
OM	0-30	0.88	5.81	2.50	1.05	41.93	1.98	1.39	Log

Min: Minimum değer, Max: Maksimum değer, AO: Aritmetik ortalama, S.S: Standart sapma, VK: Varyasyon katsayısı (%), EC: Elektriksel iletkenlik (dS m⁻¹), KDK: Katyon değişim kapasitesi (meq 100g⁻¹), ESP: Değişebilir sodyum yüzdesi, OM: Organik madde (%)

Çizelge 4.6'ya göre 2017 yılı sulama öncesi dönemde alınan topraklardaki tuzluluk durumları incelendiğinde 0-30 cm toprak katmanında EC değerlerinin 0.24 dS/m ile 6.10 dS/m arasında değişim gösterdiği ve ortalama 0.62 dS/m olduğu belirlenmiştir. 30-60 cm toprak katmanında EC değerleri 0.16 ile 3.77 dS/m arasında değişim göstermiş, ortalama olarak 0.59 dS/m olmuştur. 60-90 cm derinlikte ise EC değerleri 0.14 ile 2.17 dS/m arasında değişmiş ve ortalama EC değeri 0.53 dS/m olarak belirlenmiştir. 90-120 cm toprak katmanında ise EC değerleri 0.12 ile 1.94 dS/m arasında değişmiş ve ortalama olarak 0.51 dS/m olmuştur. 2016 yılı sulama öncesi döneme benzer şekilde üst katmanda tuzluluk değerleri yüksek bulunmuş, alt katmanlara doğru inildikçe tuzluluk değerleri azalmıştır (Çizelge 4.6).

Bu dönemde çalışma alanı topraklarının pH değerleri 6.60 ile 10.05 arasında değişmiştir. 0-30 cm derinlikteki ortalama pH değeri 7.87, 30-60 cm derinlikteki ortalama pH değeri 7.99, 60-90 cm derinlikteki ortalama pH değeri 8.27 ve 90-120 cm derinlikteki ortalama pH değeri ise 8.44 olarak belirlenmiştir. Diğer dönemlere benzer şekilde toprakların pH değerleri EC'nin tersine derinlikle birlikte artış göstermiştir (Çizelge 4.6).

Çalışma alanı topraklarının 2017 yılı sulama öncesi dönemindeki ESP değerleri %1.20 ile %58.28 arasında değişmiştir. Yüzeyden alt katmanlara doğru ortalama ESP içerikleri %5.07, %6.00, %7.05 ve %7.36 olarak bulunmuştur. Toprakta derinlere doğru inildikçe ESP içeriklerinde artışlar görülmüştür.

Çalışma alanı topraklarının CaCO_3 içerikleri %1.21 ile %32.69 arasında değişmiştir (Çizelge 4.6). 0-30 cm toprak katmanında ortalama CaCO_3 içeriği %7.14, 30-60 cm toprak katmanında %7.18, 60-90 cm toprak katmanında %10.85 ve 90-120 cm toprak katmanında ortalama %14.79 olarak bulunmuştur. Derinlik arttıkça CaCO_3 içerikleri de artmıştır. Taşova ve Akın (2013)'ün yaptığı sınıflamaya göre bu dönemdeki çalışma alanı toprakları da orta kireçli olarak sınıflandırılmıştır.

Çalışma alanı topraklarının organik madde içeriği %0.88 ile %5.81 arasında değerler göstermiş olup, ortalama %2.50 olmuştur (Çizelge 4.6). Hazelton ve Murphy (2016)'da yapılan sınıflandırmaya göre 2017 yılı sulama öncesi dönemde analiz edilen toprakların organik madde içerikleri diğer dönemlere benzer şekilde orta düzeyde bulunmuştur.

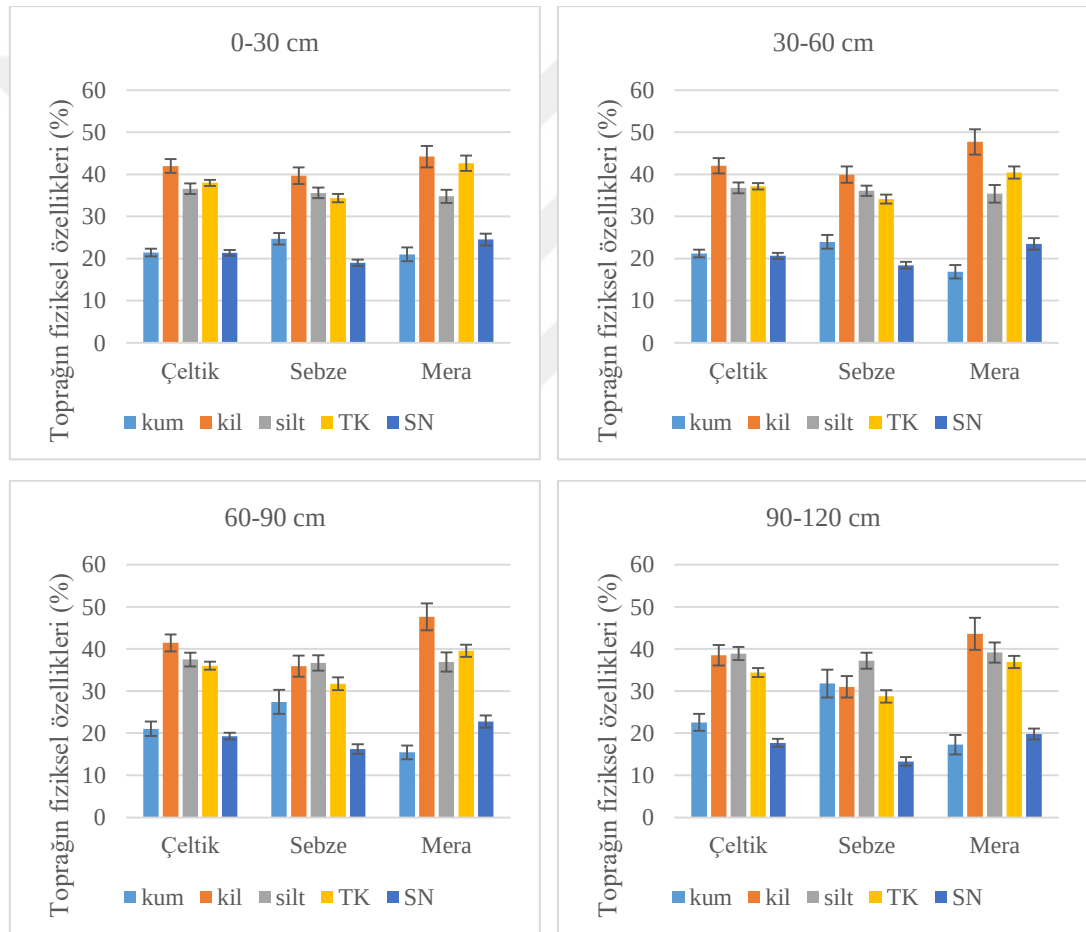
Diğer dönemlerde olduğu gibi en düşük varyasyon katsayısı pH'da, en yüksek varyasyon katsayısı ise Na'da bulunmuştur. Ca+Mg ve KDK orta derecede değişkenlik gösterirken ve pH haricindeki diğer özelliklerde ise yüksek derecede değişkenlik belirlenmiştir. Sulama öncesi dönemde KDK tüm derinliklerde ve CaCO₃ içeriği 30-60 cm derinliği haricinde normal dağılım, EC, Na ve ESP değerlerinin log-normal dağılım ve diğer özellikler ise karekök-normal dağılım göstermiştir (Çizelge 4.6).



4.2. Arazi Kullanımı ve Toprak Özellikleri Arasındaki İlişkiler

Çalışmada Bafra ovasında çiftçi koşullarında yapılan sulamanın toprak özelliklerine olası etkilerinin araştırılması amacıyla araziden 2010, 2016 ve 2017 yıllarında sulama öncesi ve sonrası dönemde 3 farklı arazi kullanımı (çeltik ve sebze, mera) göz önünde bulundurularak toprak örnekleri alınmıştır.

Çalışma kapsamında öncelikle toprakların fiziksel özelliklerinin arazi kullanım durumu ve toprak derinliğine göre değişimleri incelenmiştir. Çalışma alanı topraklarının kum, kil, silt, TK ve SN özelliklerinin arazi kullanım durumuna ve dört farklı toprak katmanına göre değişimi Şekil 4.1’de verilmiştir.

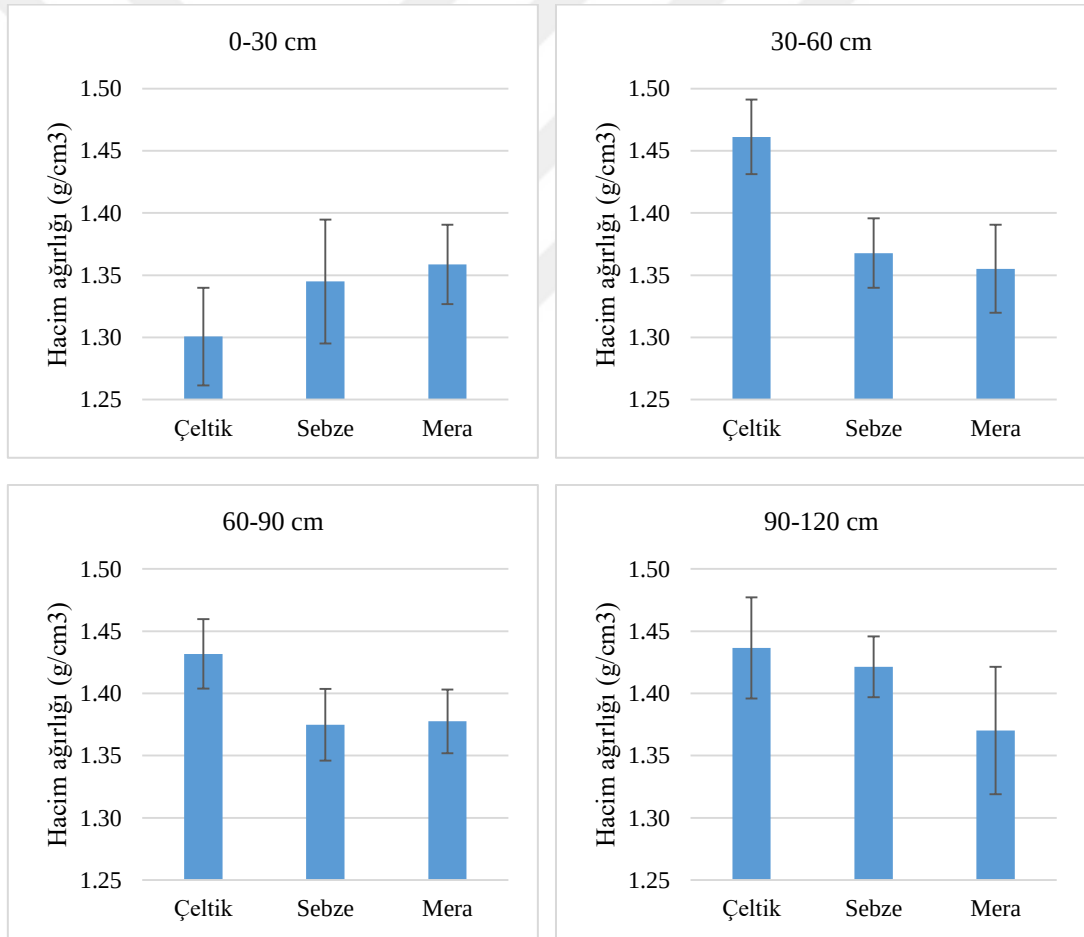


Şekil 4.1. Toprakların fiziksel özelliklerinin arazi kullanım şekline göre dağılımı

Yüzey katmanında (0-30 cm) mera topraklarının kil içeriklerinin çeltik ve sebze tarımı yapılan topraklardan daha yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 4.1). Tüm katmanlarda mera topraklarının kil içerikleri diğer gruplara göre daha yüksek bulunmuştur. Çeltik yetiştirilen toprakların kil içerikleri sebze yetiştirilen topraklara göre yüksek, meralara göre ise düşük bulunmuştur. Kil içeriğinin yüksek olduğu mera

ve çeltik topraklarının tarla kapasitesi ve solma noktası değerleri de sebze yetiştiriciliği yapılan alanlara ait topraklara göre yüksek bulunmuştur. Şekil 4.1 incelendiğinde çeltik topraklarının silt içerikleri tüm katmanlarda diğer kullanım durumlarına göre daha yüksek bulunmuştur. Çalışma alanında kum içeriği en yüksek sebze tarımı yapılan alanlarda bulunmuştur. Bu durum bu alanların tarla kapasitesi değerlerinin diğer alanlara göre daha düşük olmasına neden olmuştur.

Farklı arazi kullanım durumlarının toprakların hacim ağırlığına olan etkileri incelendiğinde 0-30 cm toprak katmanı haricinde diğer katmanlarda en yüksek ortalama hacim ağırlığı değerleri çeltik yetiştirilen alanlarda bulunmuş, bunu sebze yetiştirilen alanlar izlemiştir. En düşük hacim ağırlığı değerleri ise meralarda bulunmuştur (Şekil 4.2).

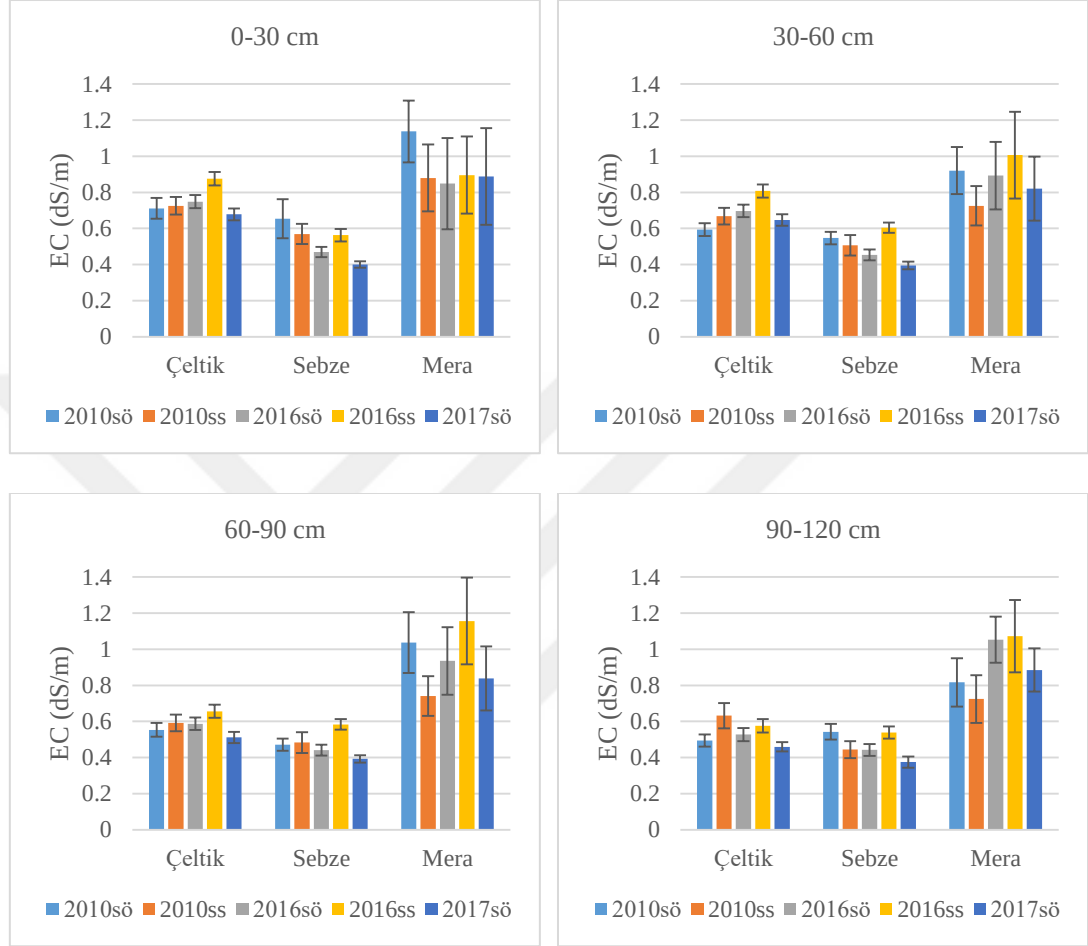


Şekil 4.2. Toprakların hacim ağırlıklarının (g/cm^3) arazi kullanım şekline göre dağılımı

Yüzey katmanında (0-30 cm) çeltik yetiştirilen alanlarda hacim ağırlığı değerleri 1.09 ile 1.63 g/cm³ arasında, sebze yetiştirilen alanlarda 1.07 ile 1.56 g/cm³ arasında ve meralarda 1.22-1.48 g/cm³ değişmiştir. Çeltik yetiştirilen alanların ortalaması düşük olmasına rağmen en yüksek hacim ağırlığı değerleri bu alanlarda bulunmuştur. Yine sebze yetiştirilen alanlar için de benzer durum söz konusudur. Alt katmandaki toprakların hacim ağırlığı değerleri üst katmana göre daha yüksek bulunmuştur. Bu durum organik maddenin üst toprakta alt katmana göre daha fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Mera topraklarında organik madde ve kök miktarının fazla olması, toprağın doğal yapısının bozulmaması gibi nedenlerle yüksek gözeneklilik gösterir (Büyükgüner, 2007). Gözenekliliğin yüksek olması hacim ağırlığının düşmesine neden olmaktadır. Çeltik ve sebze yetiştirilen alanlarda ise toprakların doğal yapısı işlenerek sürekli bozulmakta, organik madde ve gözenek oluşturan kök azalmaktadır. Dolayısıyla yoğun tarımsal faaliyetlerden dolayı gözeneklilik azalmakta ve hacim ağırlığı artmaktadır. Merada yapılan bir çalışmada üst topraklara ait ortalama hacim ağırlığı değeri 0.88 g/cm³, alt topraklara ait ortalama hacim ağırlığı değeri ise 1.01 g/cm³ bulunmuştur (Şengönül vd, 2009). Gökbülak (1993) merada yaptığı çalışmasında toprakların hacim ağırlığı değerlerinin üst toprakta (0-15 cm) 1.36 g/cm³, alt topraklarda (15-30 cm) ise 1.47 g/cm³ olduğunu bildirmiştir. Büyükgüner (2007) alt toprakta hacim ağırlığı değerlerinin artmasının nedenini trafik tabanı oluşumuna bağlamıştır.

Toprakların elektriksel iletkenlik değeri her beş dönem ve dört derinlikte de en yüksek mera topraklarında bulunmuştur. Çalışma alanında bulunan çayır meraların hemen hepsi taban mera niteliğindedir. Bu alanların en önemli özelliği ise büyük bir kısmının yılın yaklaşık 4-5 ayı boyunca su altında kalmasıdır. Bölgede ekonomik değere sahip meralarda mera yönetim birikleri kurularak uygulamaya geçilmiştir (Ayan, 2007). Meraların EC değerlerinin diğer alanlara göre daha yüksek olmasına, zaten tuzlu olan bir su kaynağı (mevsimlere göre değişkenlik göstermekle birlikte yaklaşık 2 dS/m (Cemek vd, 2006) ile sulama yapılması ve bu suyun uzun süre toprakta tutulması neden olmaktadır. Çeltik topraklarında meraya göre daha az ve en düşük elektriksel iletkenlik sebze tarımı yapılan topraklarda bulunmuştur. Bunun nedeni olarak işlenen ve sulanan arazilerde sulamanın etkisiyle toprakta kök bölgesinde bulunan tuzların yıkanarak uzaklaşması, mera alanlarında toprak sıkışması ile geçirimsiz katmanların oluşması ve mera arazilerinin kil içeriklerinin yüksek

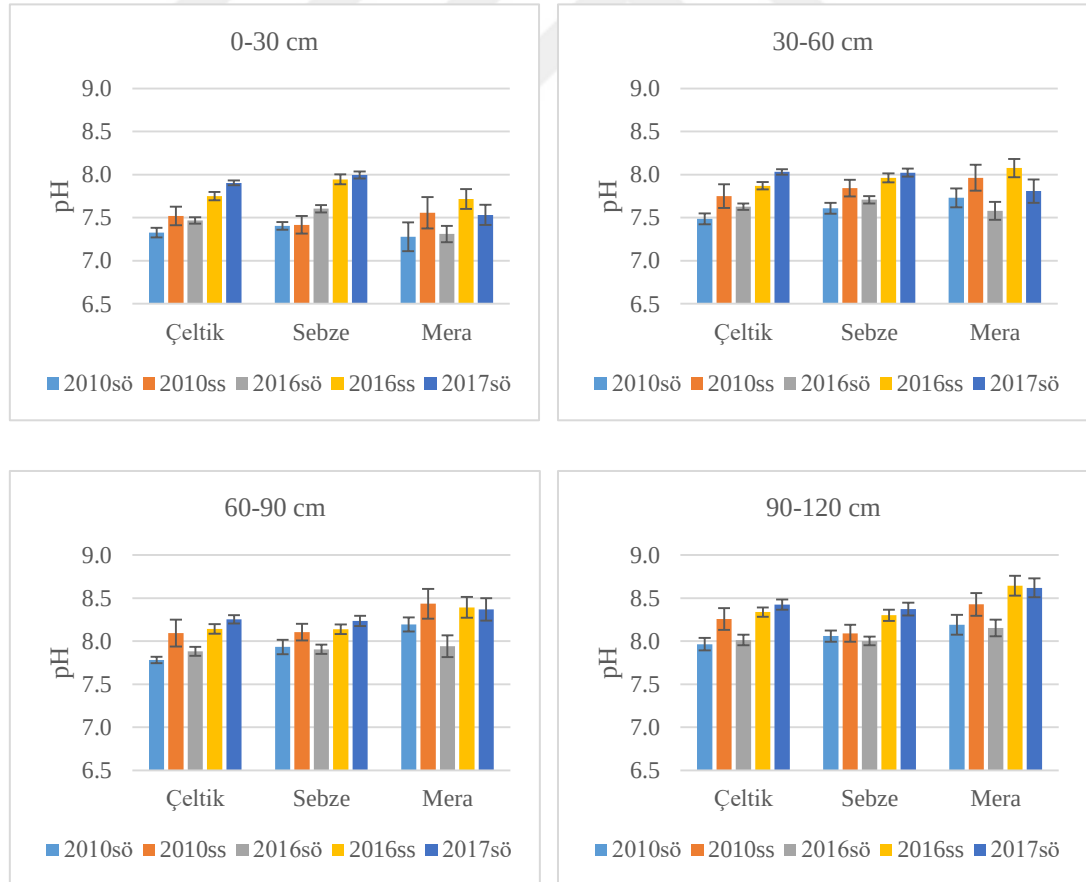
olması negatif yük getirdiğinden tuzluluğu ve EC'yi artırıcı özellik gösteren Na^+ gibi tuzların birikmesine neden olabileceği gösterilebilir. Benzer şekilde çeltik topraklarında kil içeriğinin sebze tarımı yapılan topraklara göre daha fazla olmasından dolayı yıkamanın, sebze yetiştirilen alanlara göre daha az olması düşünülebilir.



Şekil 4.3. EC'nin arazi kullanım şekli ve toprak derinliğine göre değişimi

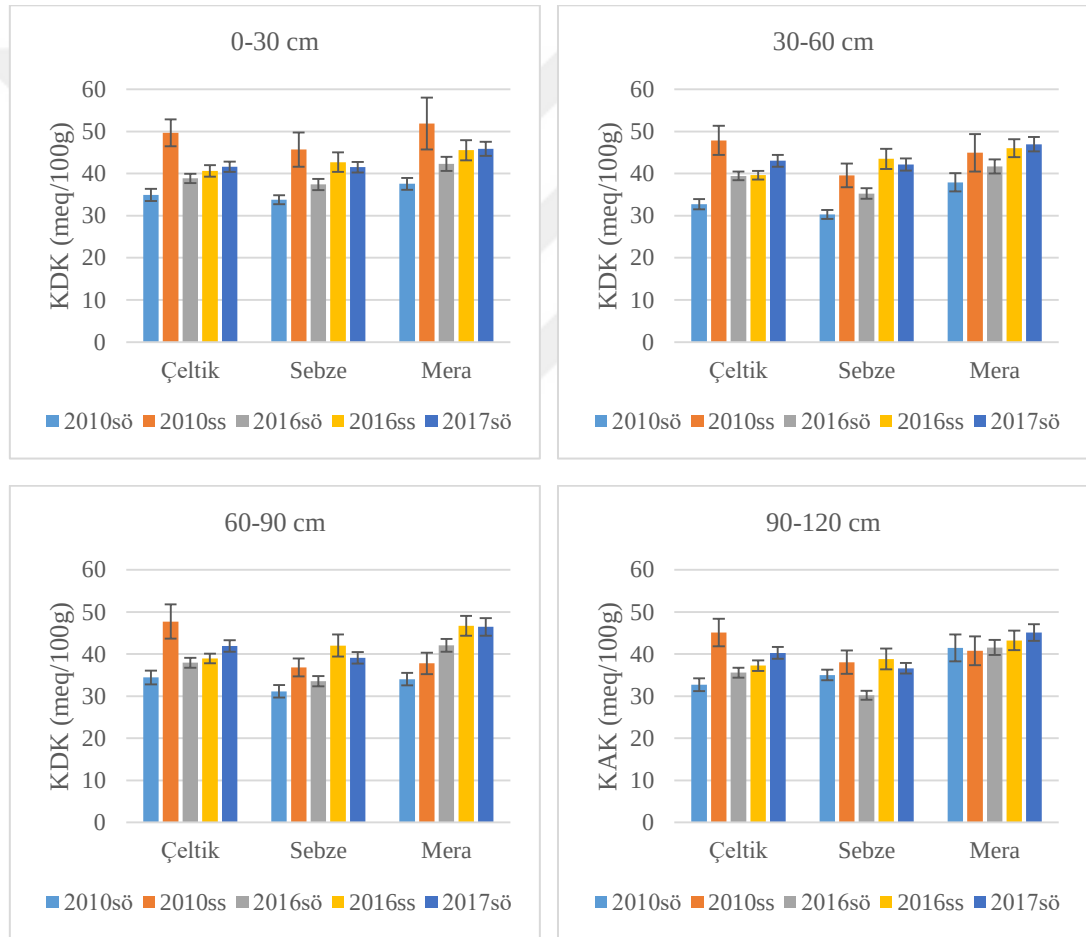
Şekil 4.3 incelendiğinde 2016 yılı sulama öncesi dönemde çeltik ve sebze tarımı yapılan alanlarda EC değeri düşükken 2016 yılı sulama sonrası dönemde yükselmiş ve 2017 yılı sulama öncesi dönemde tekrardan azalmıştır. Bu durumda, sulama ile toprakta tuzluluğun bir miktar artış gösterdiği, ancak kullanılan sulama suyunun tuzluluk değerinin düşük olması ve kış yağışlarının topraktaki tuzları yıkamada yeterli olmasından dolayı azalma eğilimi gösterdiği söylenebilir. Yapılan çeşitli çalışmalarda bir sulama alanında sulama mevsimi boyunca toprakta tuz içeriğinin arttığı, kış periyodunda ise yağışların yıkama etkisi ile azalabileceği ifade edilmiştir (Yurtseven ve Güngör, 1990; Yurtseven vd, 2012; Yurtseven ve Sönmez, 1996).

Toprak reaksiyonu (pH) değeri, derinlik arttıkça artış göstermiştir. Tüm katmanlarda çeltik ve sebze yetiştirilen toprakların pH değerlerindeki değişim birbirine benzer olmuştur. 0-30 cm ve 30-60 cm toprak katmanlarında mera topraklarının pH değeri çeltik ve sebze yetiştirilen alanların pH değerinden daha düşük, 60-90 cm ve 90-120 cm derinliklerinde ise daha yüksek olmuştur (Şekil 4.4). Bu durumun 0-30 cm ve 30-60 cm derinliklerinde mera topraklarında organik madde ve kök miktarının diğer alanlara göre fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmüştür (Büyükgüner, 2007). Organik maddenin ayrışması sonucunda oluşan organik asitlerin ve bitki köklerinin solunumu sonucunda açığa çıkan karbonik asitin toprak pH'sının düşmesine neden olacaktır. Ayrıca korelasyon analizi sonucunda çalışma alanı topraklarının pH'sı ile organik maddesi arasında negatif yönde güçlü bir ilişki olduğu belirlenmiştir (Bilgin ve Özalp, 2016; Özalp vd, 2016). Karagül (1994)'de Trabzon Söğütöldere havzasında yaptığı çalışmada, organik maddenin ayrışması sırasında oluşan organik asitlerin (humin, humat asitleri gibi) bu olayda büyük etkisi olduğunu belirtmiştir.



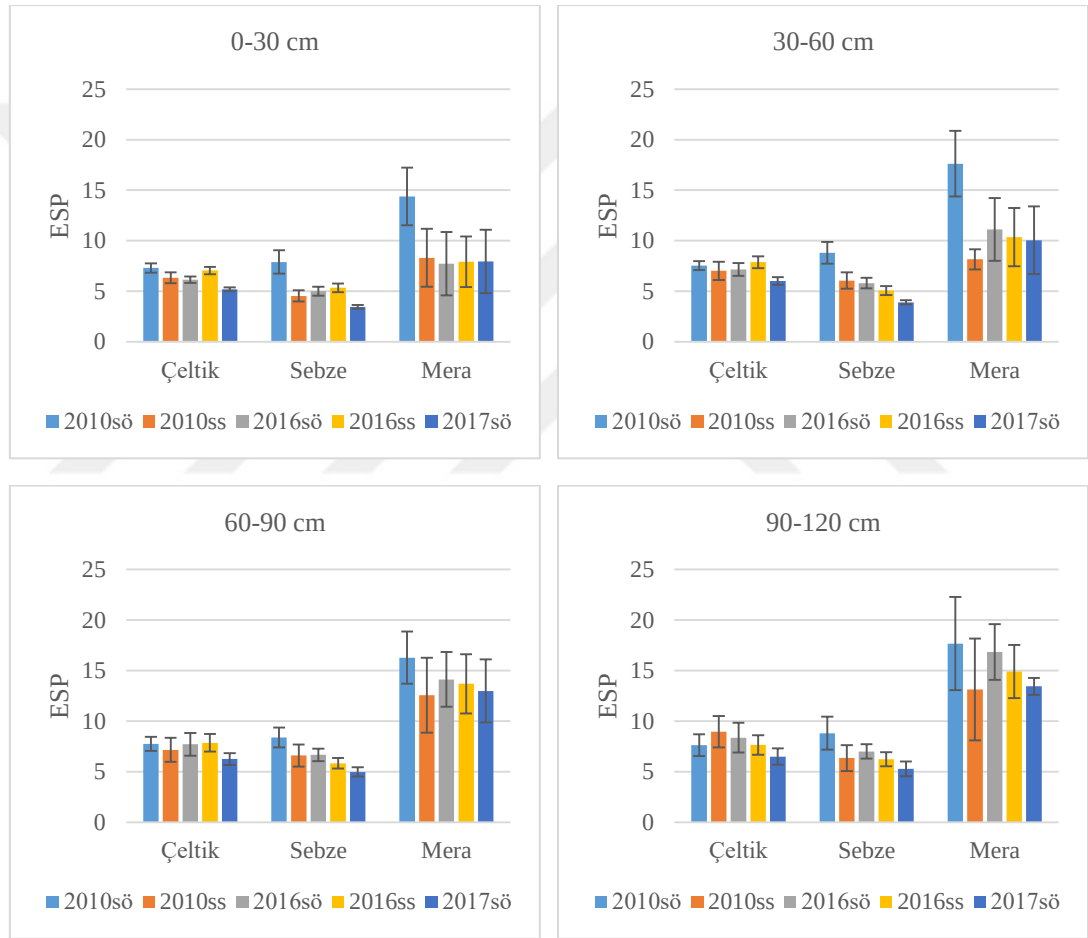
Şekil 4.4. pH'nın arazi kullanım şekli ve toprak derinliğine göre değişimi

Çalışma alanında toprakların katyon değişim kapasitesi (KDK) değerleri farklı kullanım durumlarında tüm dönem ve derinliklerde hemen hemen birbirine benzer bir değişim göstermiştir. Mera topraklarının KDK değerleri çeltik ve sebze yetiştirilen toprakların KDK değerinden daha yüksek bulunmuştur (Şekil 4.5). En düşük KDK değerleri sebze tarımı yapılan topraklarda bulunmuştur. Meralarda KDK'nın daha yüksek olmasının sebebi bu alanların kil içeriğinin yüksek olmasına bağlanabilir. Cresser (2003)'de Vertisol topraklarda yaptıkları bir çalışmada katyon değişim kapasitesinin kil içeriğinden dolayı yüksek olduğunu bildirmiştir. Ayrıca, mera topraklarındaki yüksek organik madde içeriği de KDK'nın yüksek olmasının bir diğer nedeni olabilir.



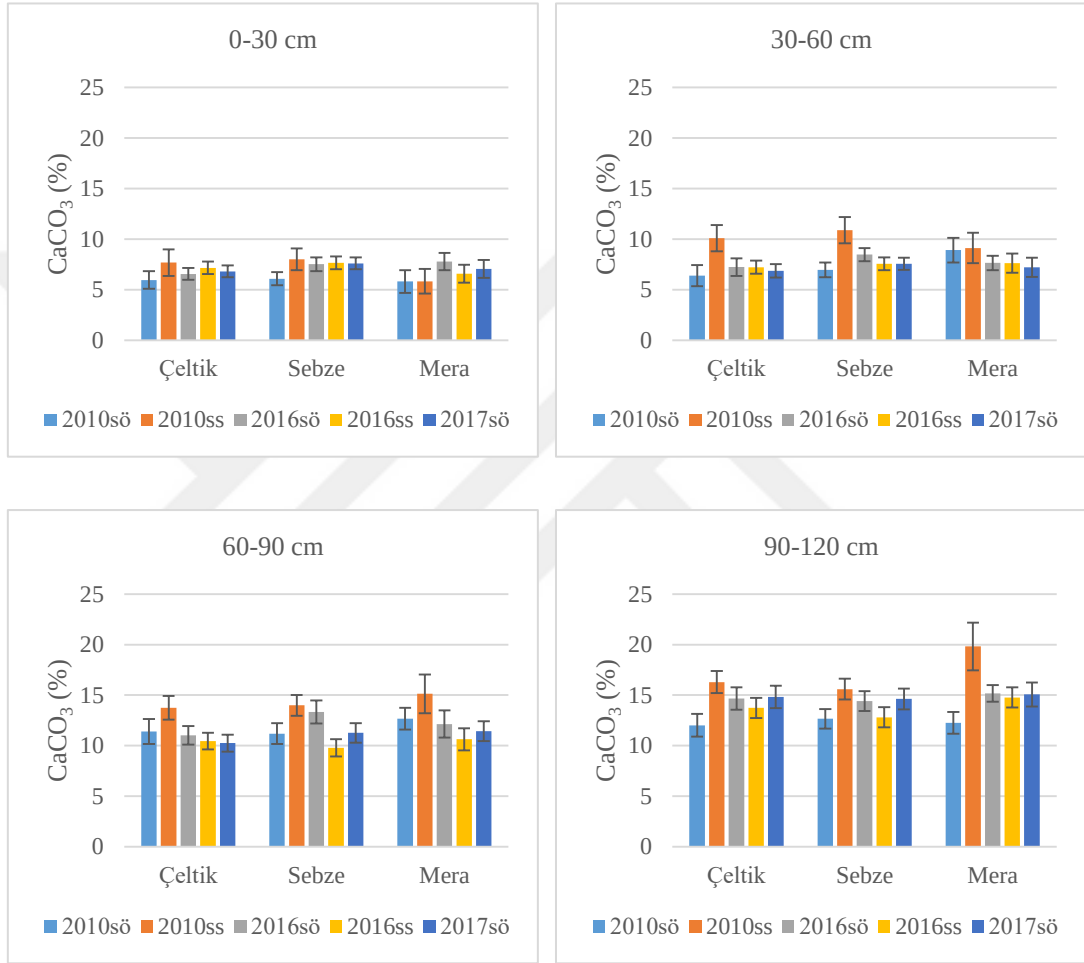
Şekil 4.5. KDK'nın arazi kullanım şekli ve toprak derinliğine göre değişimi

Çalışma alanında ESP değerleri, EC değerlerine benzer şekilde her beş dönem ve dört derinlikte de en yüksek mera topraklarında bulunmuştur. Çeltik yetiştirilen toprakların ESP'si sebze yetiştirilen toprakların ESP'sinden daha yüksek bulunmuştur. Sebze yetiştirilen toprakların ESP değerleri tüm dönem ve katmanlarda genel olarak sınır değer olan %6'nın altında bulunmuş ve sodiklik açısından problem oluşturmamıştır. Ayrıca toprakların ESP değerleri derinlik arttıkça artmıştır. Çeltik yetiştirilen alanlarda ise ESP değerleri sulama sonrası dönemde öncesi döneme göre bir miktar artmış, kış yağışlarından sonra 2017 yılı sulama öncesi dönemde yine azalmıştır (Şekil 4.6).



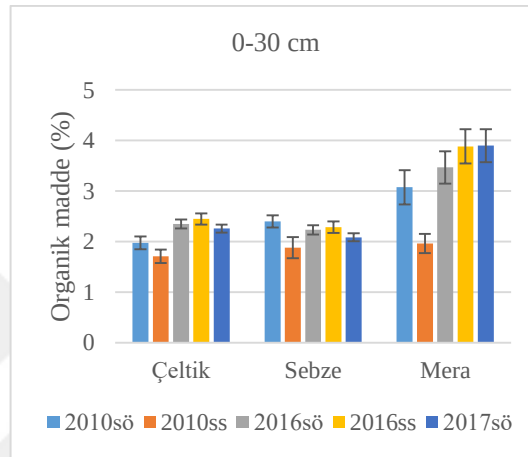
Şekil 4.6. ESP'nin arazi kullanım şekli ve toprak derinliğine göre değişimi

Çalışma alanı topraklarının CaCO_3 içerikleri yüzey toprağında sebze tarımı yapılan alanlarda diğer alanlara göre daha yüksek bulunmuştur (Şekil 4.7). Derinlik arttıkça tüm kullanım şekillerinde kireç içeriği artmış, en alt katmanda en yüksek kireç içeriği mera alanlarında bulunmuştur. Çalışma alanının toprakları orta düzeyde kireç içeriğine sahiptir ve derinlik arttıkça artması ana materyale yaklaşmasına bağlanabilir (Büyükgüner, 2007).



Şekil 4.7. CaCO_3 içeriğinin arazi kullanım şekli ve toprak derinliğine göre değişimi

Çalışma alanı topraklarının organik madde içerikleri en yüksek meralarda bulunmuş, bunu sırasıyla çeltik ve sebze yetiştirilen alanlar izlemiştir (Şekil 4.8). Merada bitki aksamının fazla olması organik madde miktarının yüksek olmasına ve toprakların ince bünyeli olmalarına etkiye bulunmaktadır (Smith vd, 1985). İşlenen tarım alanlarında daha düşük olmasının nedeni ise yoğun olarak yapılan toprak işleminin toprakta havalanmayı artırarak organik maddenin hızla ayrışmasına yol açması ve tarımsal üretim yapılan topraklarda organik maddenin ürünlerle birlikte topraktan uzaklaşmasından kaynaklandığı söylenebilir (Soyer, 2011).



Şekil 4.8. Organik maddenin arazi kullanım şekli ve toprak derinliğine göre değişimi

4.3. Toprak Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Jeostatistiksel Değerlendirmesi

Bu çalışmada toprak özelliklerin değişkenliklerinin belirlenmesinde ve haritalanmasında son yıllarda yaygın olarak kullanılan jeostatistiksel teknikler kullanılmıştır (Goovaerts, 1998; Mulla and McBratney, 2000). Jeostatistik, ölçülmüş bir özelliğin uzaysal yapısını ve uzaysal bağımlılığını sayısallaştıran ve buradan elde edilen ilişkiyi kullanarak ilgili özelliğin örneklenmemiş noktadaki değerini tahmin eden uygulamalı istatistiğin bir bilim dalıdır. Jeostatistik, uzaysal modelleme (variogram) ve uzaysal enterpolasyon (krigleme) olmak üzere iki basamaktan oluşmaktadır (Isaaks and Srivastava, 1989; Mulla and McBratney, 2000).

Bu bölümde çalışma alanından 2010 ve 2016 yıllarında sulama öncesi ve sonrası dönemde ve 2017 yılı sulama öncesi dönemde 4 farklı derinlikten alınan toprakların araştırılan özelliklerinin jeostatistik teknikler kullanılarak modellenmesi ve alansal dağılım haritalarının oluşturulması yer almaktadır. Öncelikle çalışılan özelliklerin normal dağılım gösterip göstermedikleri test edilmiştir. Ayrıca araştırılan toprak özelliklerinin çalışma alanı içerisindeki değişiminin izotropik ya da anizotropik olup olmadığını belirlemek amacıyla dört ayrı yön için yöne bağımlı semivariogramlar hesaplanmış ve araştırılan özelliklerin tamamının izotropik bir değişim gösterdiği belirlenmiştir. Haritalanacak özelliklere ait izotropik semivariogramlar GS+10 paket programı kullanılarak modellenmiş ve modellere ait nugget (Co), Sill (Co+C) ve range (A) değerleri elde edilmiştir. Aynı zamanda her bir değişken için modelin uyumluluğunu gösteren r^2 ve RSS (Hata Kareler Toplamı) değerleri ve uzaysal (spatial) bağımlılık derecesini gösteren % nugget oranları verilmiştir. Uygun olan uzaysal modeller kullanılarak modellerin tahmin yeteneğinin bir göstergesi olarak kabul edilen çapraz değerlendirme yapılmış ve sonuçları çizelgeler ve şekiller halinde verilmiştir. Jeostatistiksel değerlendirme sonucu elde edilen parametreler kullanılarak ArcGIS 10.1 paket programı ile krigleme haritaları oluşturulmuştur. Krigleme, ordinary kriging yöntemi ile yapılmış ve ilgili değişkenlerin yüzey haritaları hazırlanmıştır. Ayrıca oluşturulan haritalarda çalışılan özelliklerin alandaki değişimleri tartışılmıştır. Haritalama yapılan her bir özelliğin haritalanmasında kullanılan model bilgileri ayrı bir çizelgede verilmiştir.

4.3.1. Çalışma alanı topraklarının fiziksel özelliklerinin jeostatistik değerlendirilmesi

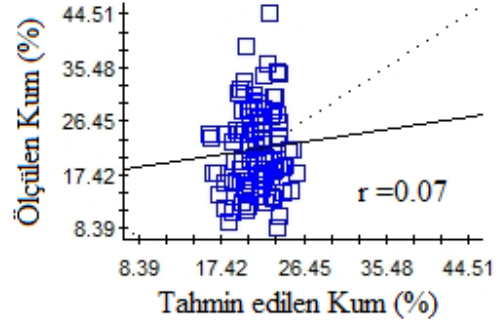
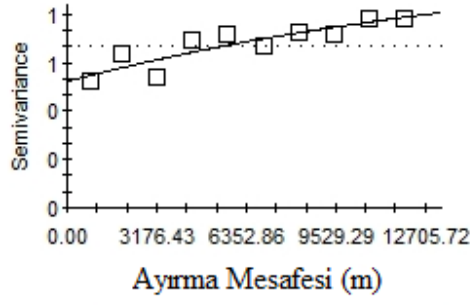
Çalışma alanı topraklarının fiziksel özellikleri için yapılan semivariogram analizi sonucu elde edilen modeller ve bileşenleri Çizelge 4.7’de verilmiştir. Araştırılan fiziksel toprak özelliklerinin modellenmesinde küresel, üssel ve gausiyan modeller kullanılmıştır. Modellerin belirlenmesinde modelin r^2 değeri dikkate alınmış ve en yüksek r^2 değerini veren model seçilmiştir. Kum içeriği 90-120 cm hariç tüm katmanlarda üssel modelle modellenmiştir (Çizelge 4.7, Şekil 4.9). Kil içeriği 0-30 cm derinlikte küresel, 30-60 ve 60-90 cm derinliklerde üssel modele sahipken, 90-120 cm derinlikte ise uygun semivariogram modeli belirlenememiştir (Çizelge 4.7, Şekil 4.10). Silt içeriği 0-30 ve 60-90 cm derinliklerde gausiyan model ile 30-60 cm derinlikte küresel model ile ve 90-120 cm derinlikte üssel model ile tanımlanmıştır (Çizelge 4.7, Şekil 4.11).

Çizelge 4.7. Toprağın fiziksel özellikleri için yapılan izotropik semivariogram analizi sonucu elde edilen modeller ve bileşenleri

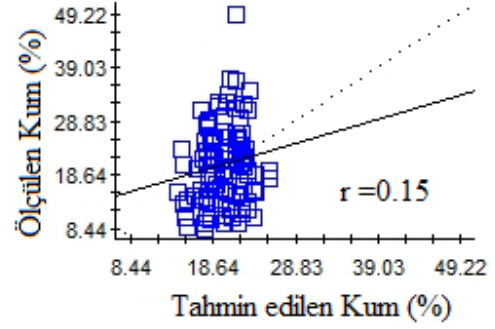
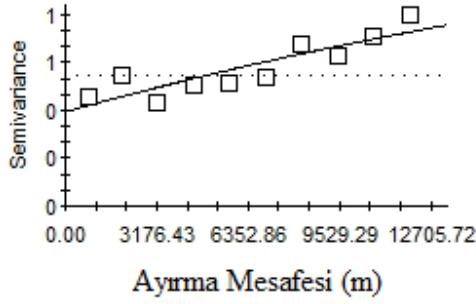
Özellik	Derinlik	Model	Co	Cs (Co+C)	Ao (m)	UB	r^2	RSS	r_{CD}
Kum (%)	0-30	Üssel	0.44	0.88	16940	Orta	0.79	0.0108	0.07
	30-60	Üssel	0.48	1.76	31100	Orta	0.77	0.0442	0.15
	60-90	Üssel	0.03	0.22	760	Kuvvetli	0.57	0.0023	0.42
	90-120	Gausiyan	0.06	0.35	770	Kuvvetli	0.63	0.0046	0.17
Kil (%)	0-30	Küresel	72.8	148.5	8920	Orta	0.89	704.0	0.40
	30-60	Üssel	111.7	287.6	16940	Orta	0.81	1609	0.31
	60-90	Üssel	135.9	271.9	4050	Orta	0.75	2776	0.33
	90-120	Saf Nugget							
Silt (%)	0-30	Gausiyan	0.22	0.44	4600	Orta	0.90	0.0064	0.53
	30-60	Küresel	0.19	0.52	8560	Orta	0.92	0.0088	0.65
	60-90	Gausiyan	0.34	0.69	4350	Orta	0.93	0.0118	0.41
	90-120	Üssel	53.20	106.50	2310	Orta	0.81	256.0	0.24
Hacim ağırlığı (g/cm ³)	0-30	Gausiyan	0.00001	0.02	2944	Kuvvetli	0.67	0.00011	0.52
	30-60	Gausiyan	0.00001	0.01	3464	Kuvvetli	0.54	6.33E-05	0.61
	60-90	Gausiyan	0.00001	0.01	3291	Kuvvetli	0.79	1.63E-05	0.53
	90-120	Gausiyan	0.0011	0.004	9925	Orta	0.91	0.000001	0.60
TK (%)	0-30	Üssel	30.70	64.25	5820	Orta	0.70	272.0	0.46
	30-60	Küresel	24.90	49.81	8550	Orta	0.80	139.0	0.48
	60-90	Küresel	0.35	0.75	12730	Orta	0.84	0.0277	0.49
	90-120	Saf Nugget							
SN (%)	0-30	Üssel	19.80	59.96	16670	Orta	0.81	83.2	0.38
	30-60	Küresel	18.46	41.26	12280	Orta	0.80	118.0	0.48
	60-90	Küresel	25.40	58.06	9630	Orta	0.66	494.0	0.50
	90-120	Saf Nugget							

Co: nugget varyans, Cs: Sill, Ao: Etki mesafesi (range), UB: Uzaysal bağımlılık, r^2 : semivaryogram modellemesinde belirleme katsayısı, RSS: Hata kareler toplamı, r_{CD} : Çapraz değerlendirme korelasyon katsayısı, TK: Tarla kapasitesi, SN: Solma noktası

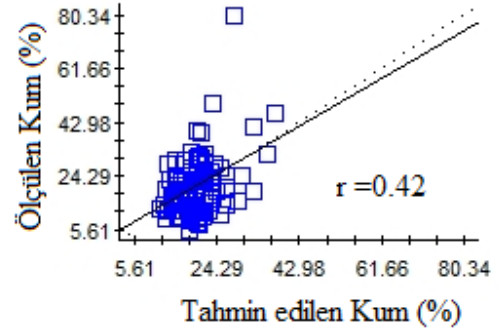
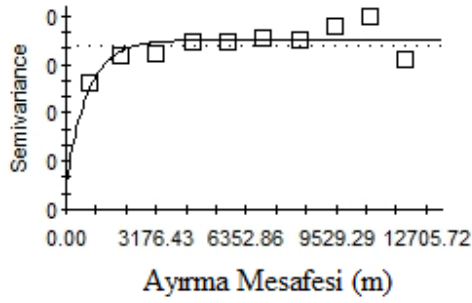
Toprak Kum (%) içeriği (0-30 cm)



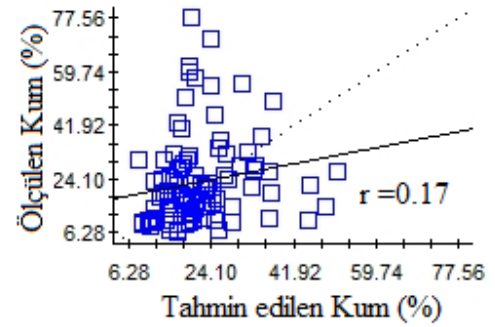
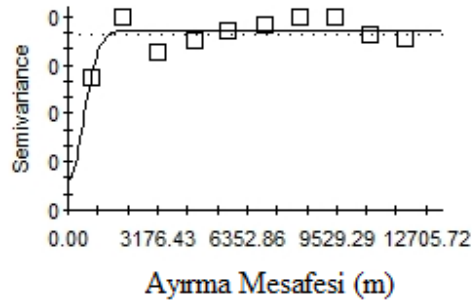
(30-60 cm)



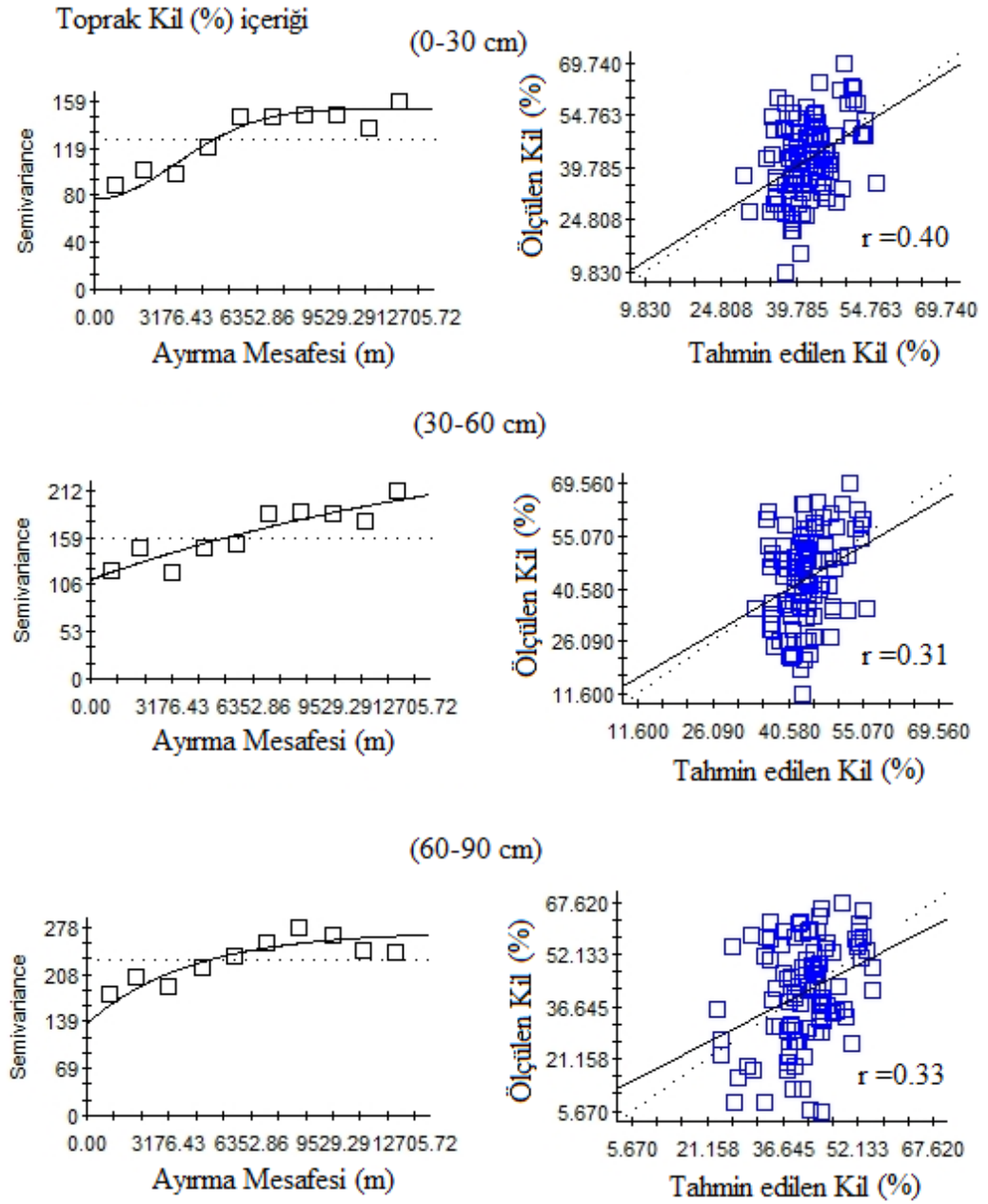
(60-90 cm)



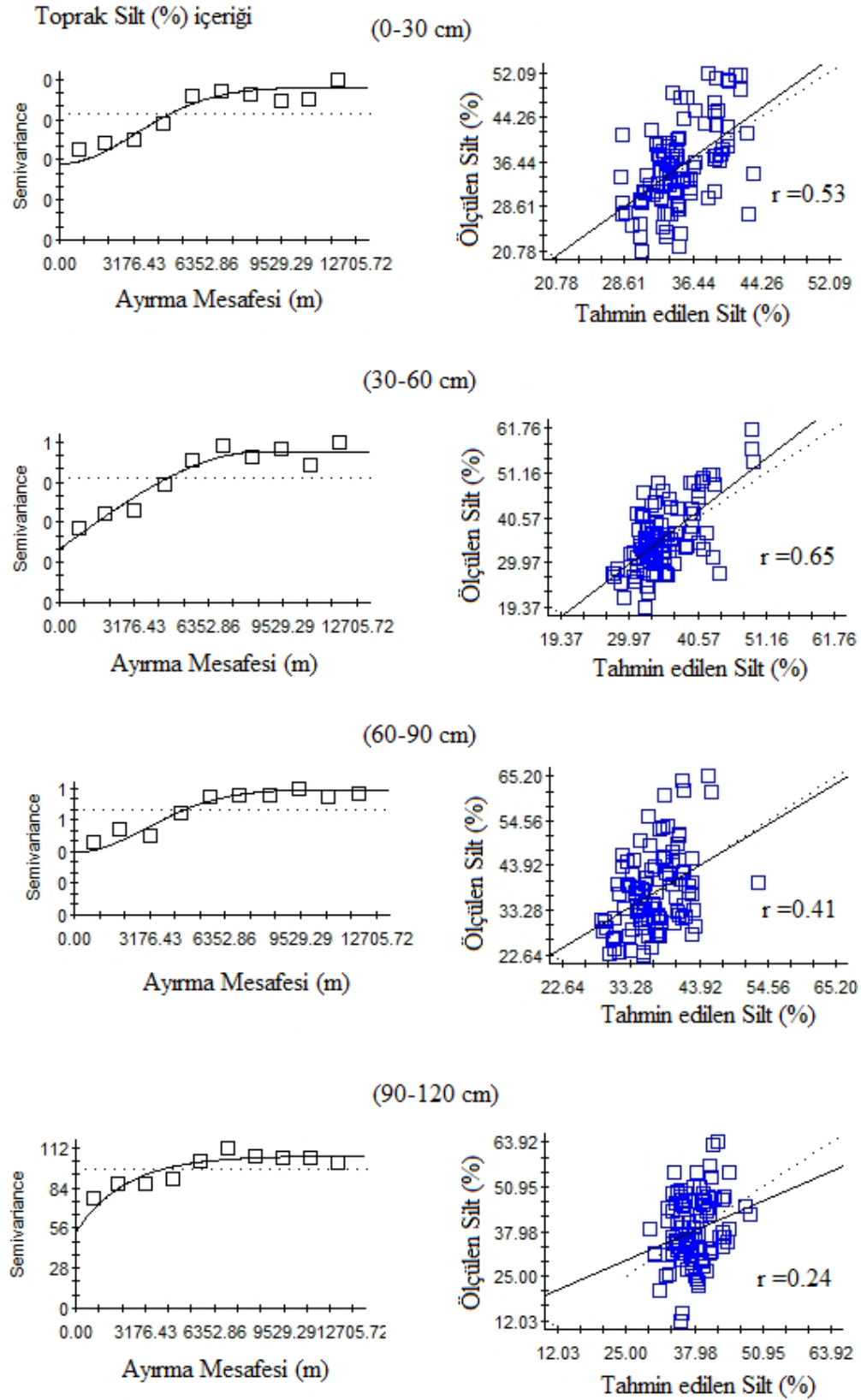
(90-120 cm)



Şekil 4.9. Toprak kum (%) içeriği için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafikleri



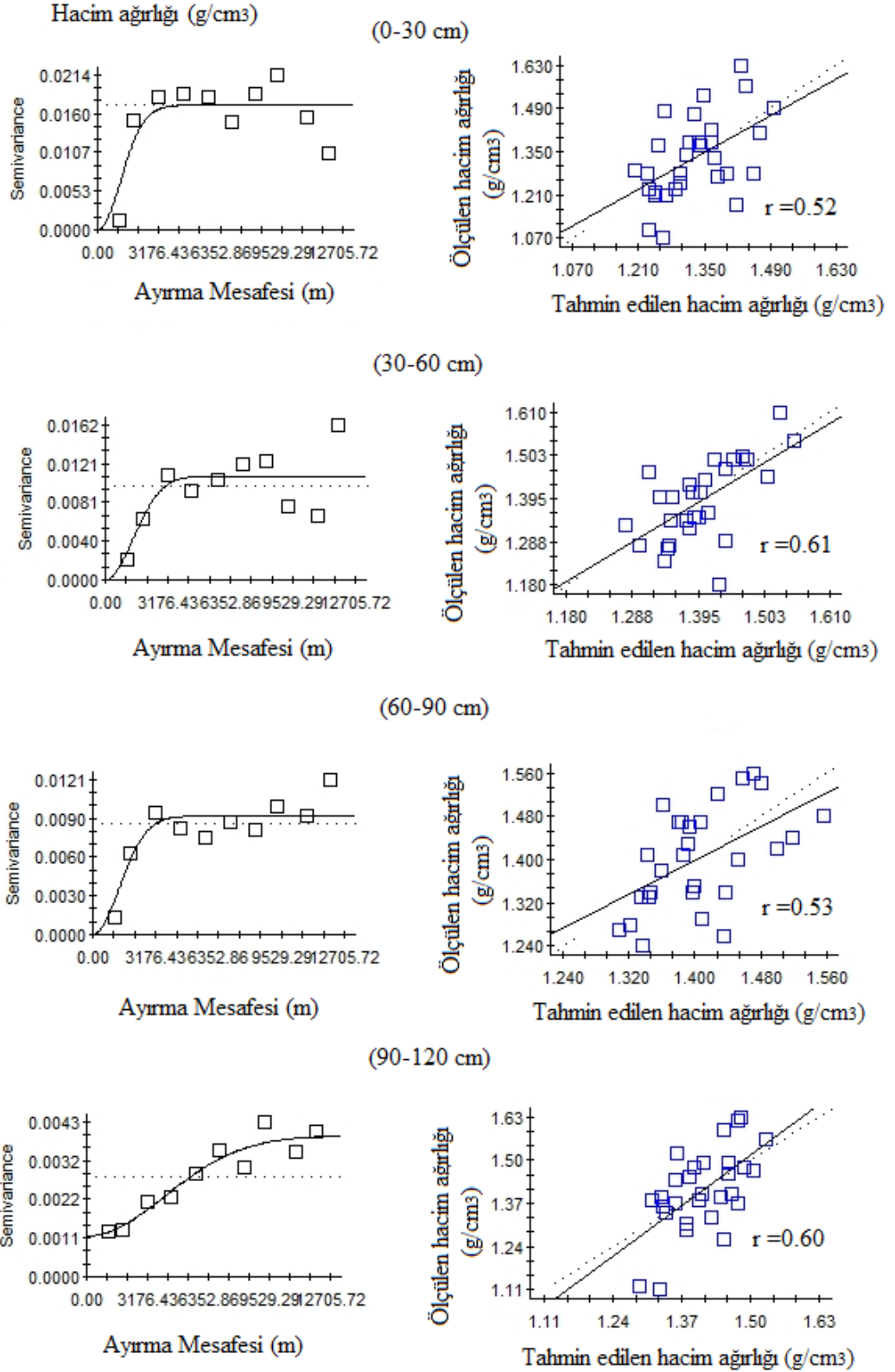
Şekil 4.10. Toprak kil (%) içeriği için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafikleri



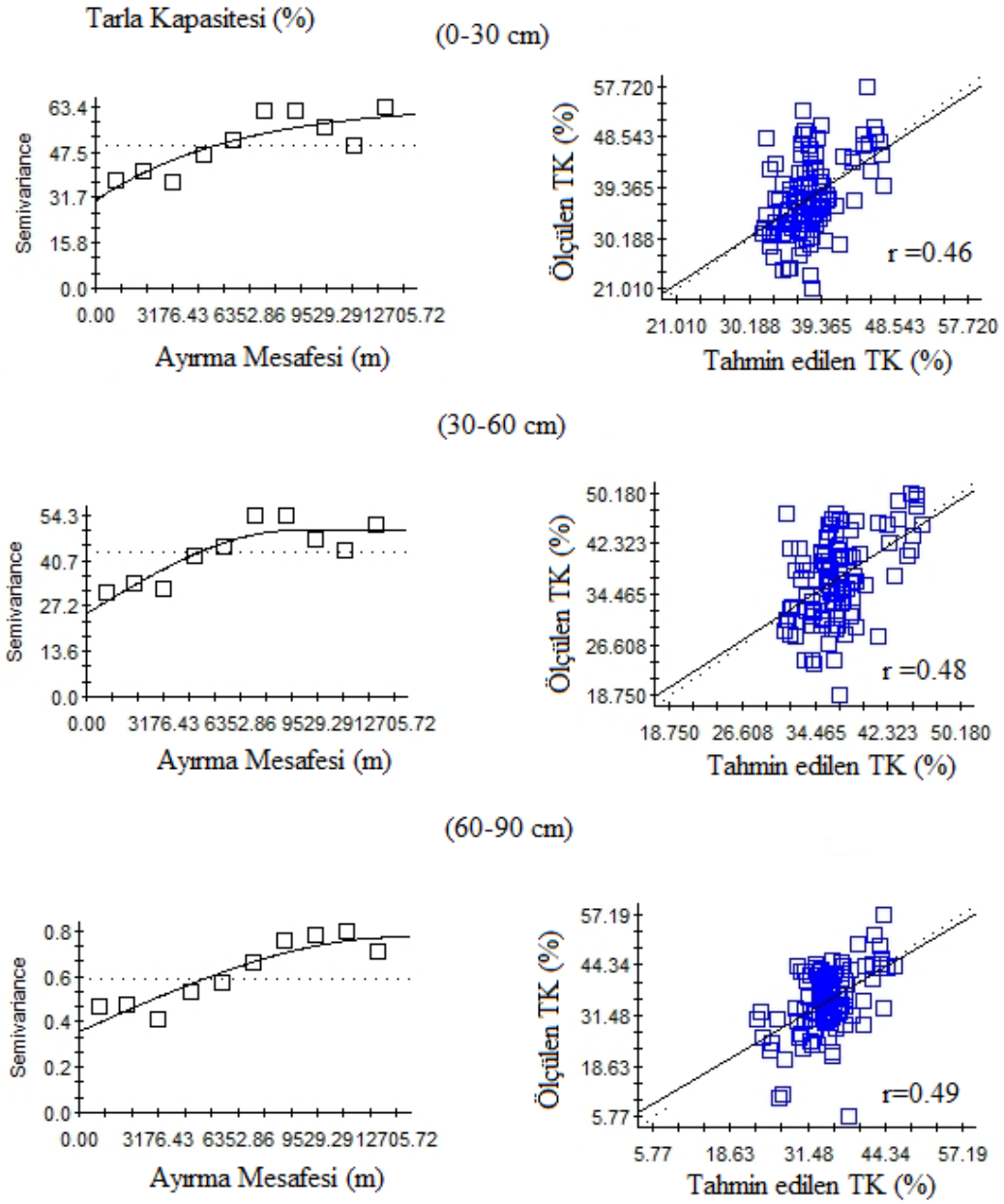
Şekil 4.11. Toprak silt (%) içeriği için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafikleri

Çalışma alanı topraklarının hacim ağırlıkları için en uygun semivariogram modeli tüm derinliklerde gausiyan model ile tanımlanmıştır (Çizelge 4.7). Toprakların hacim ağırlığı için oluşturulan semivariogram ve çapraz değerlendirme grafiği Şekil 4.12’de verilmiştir. TK ve SN değerlerinin ise 90-120 cm derinlikte semivariogram modeli belirlenememiştir. Webster ve Oliver (2001)’e göre saf nugget etkisi, bir özelliğin rastgele çeşitliliğinin baskın olduğunu gösterir. Bu nedenle, bu iki değişkenin bütün gözlemleri birbirinden uzaysal olarak bağımsızdır. Bununla beraber her iki özellik için 0-30 cm derinliğinde en uygun semivariogram modeli üssel diğer derinliklerde küresel olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.7, Şekil 4.13 ve Şekil 4.14).

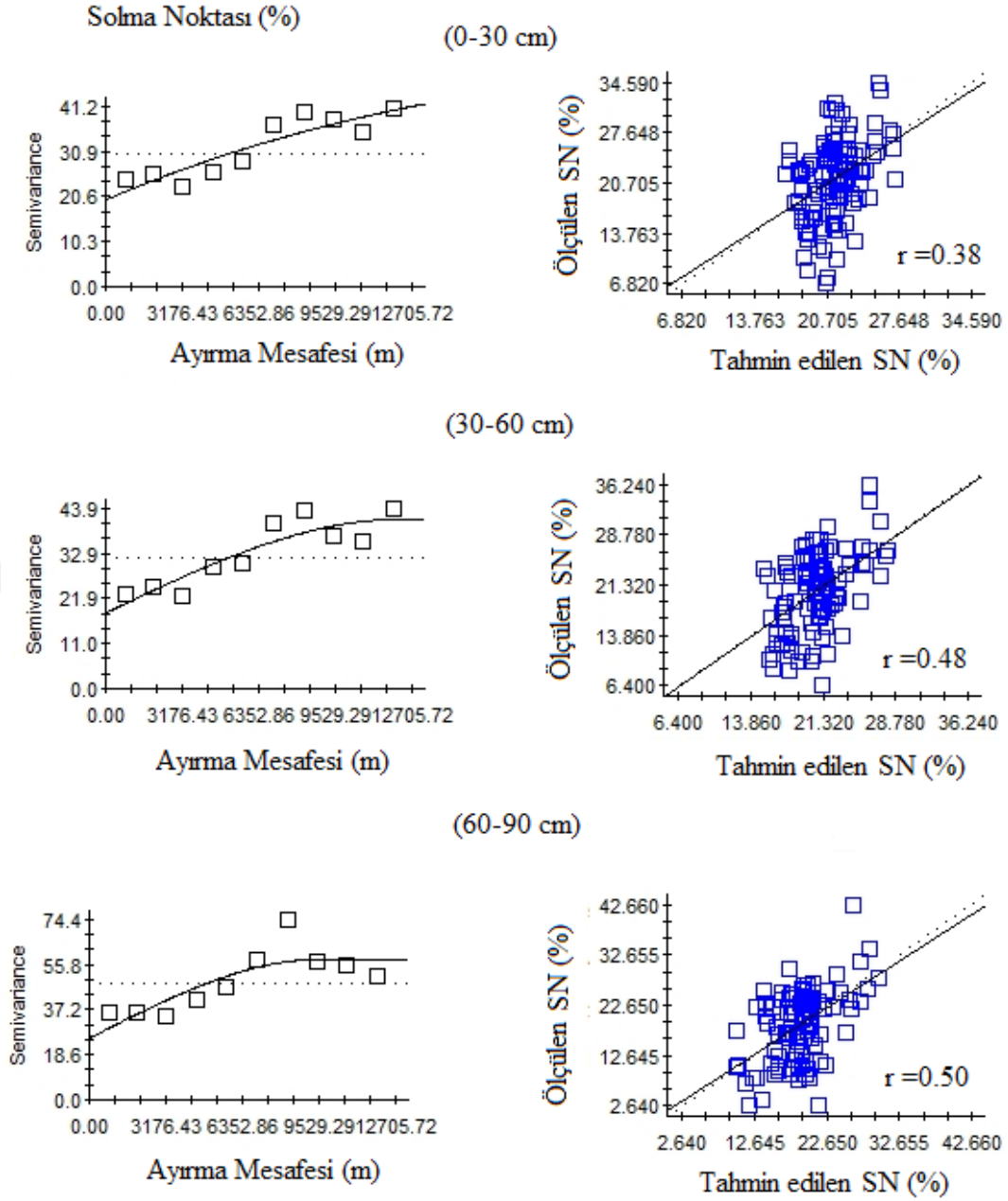




Şekil 4.12. Hacim ağırlığı (g/cm^3) için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafikleri



Şekil 4.13. Tarla kapasitesi (%) için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafikleri



Şekil 4.14. Solma noktası (%) için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafikleri

Toprak özelliklerin uzaysal değişkenliklerinin ifade edilmesinde nugget semivaryansın toplam semivaryansa oranının yüzde olarak ifadesi yaygın olarak kullanılmaktadır. Eğer bu oran $\leq$ %25 ise değişken kuvvetli uzaysal bağımlı, %25 ile % 75 arasında ise orta derecede uzaysal bağımlı ve %75’den fazla ise değişken zayıf uzaysal bağımlı olarak sınıflandırılmaktadır (Cambardella vd, 1994; Robertson vd, 1997). Bu değerlendirmeye göre çalışma alanı topraklarının kum içeriği 0-30 cm ve 30-60 cm derinliğinde orta derecede uzaysal bağımlılık gösterirken, 60-90 cm ve 90-120 cm derinliklerinde ise kuvvetli derecede uzaysal bağımlılık göstermiştir. Yapılan çeşitli çalışmalarda kum içeriğinin uzaysal bağımlılığının yüksek olduğu bulunmuştur (Akbaş, 2004). Uzaysal bağımlılığın yüksek olması, uzaysal bir yapının olduğunun göstergesidir. Çalışma alanında ölçülen tüm toprak özelliklerinin uzaysal bağımlılığı birbirinden farklı ve pozitif bir nugget etkisi göstermiştir. Kil, silt, TK ve SN değerleri tüm derinliklerde orta düzeyde uzaysal bağımlılık göstermiştir (Çizelge 4.7). Abu ve Malgwi (2011) çalışmalarında TK’nın orta derecede uzaysal bağımlı ve SN’nin güçlü uzaysal bağımlı olduğunu bildirmişlerdir. Hacim ağırlığı değerleri 90-120 cm toprak katmanında orta, diğer katmanlarda ise kuvvetli uzaysal bağımlılık göstermiştir.

Kontrolsüz etki varyansı (Nugget) değeri en düşük hacim ağırlığında bulunmuş, bu da düşük örnekleme hatası sağlamaktadır. Çizelge 4.7’de görüldüğü üzere çalışma alanı topraklarının hacim ağırlığı değerleri için nugget etki varyansının %0.06-28.84 gibi düşük değerlerde olduğu belirlenmiş ve bu durumda arazide kısa yapısal uzaklıklarda hacim ağırlığının çok fazla değişkenlik göstermediğini açıklamaktadır. En yüksek nugget varyansı ise kil’de bulunmuştur. Kontrolsüz etki varyansının yüksek olması çalışma alanında kil kapsamının kısa mesafeler içinde önemli değişiklikler göstermesinden kaynaklanmaktadır. Kil yüzdesinin etki alanı 0-30 cm de 8920 m, 30-60 cm de 16940 m ve 60-90 cm derinlikte 4050 m olarak bulunmuştur.

Etki mesafesi değerinden daha geniş bir mesafede birbirlerinden ayrılan örnekler uzaysal olarak bağımsız kabul edilirler. Kum içeriği (%) için her katmanda farklı etki mesafesi değerleri elde edilmiştir. Kum içeriği kısa yapısal uzaklıklarda fazla değişkenlik göstermiştir. Kum içeriği etki mesafesi 760 m ile 31100 m arasında bir değere sahiptir. Yüzey katmanında (0-30 cm) uzaysal bağımlılığın yapısal uzaklığı 16940 m, 30-60 cm katmanında 31100 m, 60-90 cm katmanında 760 m ve 90-120 cm toprak katmanında ise 770 m olarak bulunmuştur (Çizelge 4.7). Bu mesafeler arasında değişkenler birbirleriyle bağımlı, bundan daha uzak mesafelerde ise değişimin tesadüfi

olarak meydana geldiği tespit edilmiştir. Yüzeydeki ilk iki katmanın nugget etki değeri, alt katmanların nugget etki değerinden daha yüksek bulunmuştur.

Çalışma alanında silt içeriği farklı katmanlarda 2310 m 8560 m aralığında yapısal uzaklık göstermiştir. Silt içeriğinin 90-120 cm derinliğindeki kontrolsüz etki varyansı diğer katmanlardan çok daha yüksek bulunmuştur. Bu da en alt toprak katmanında silt içeriğinin kısa mesafelerde önemli değişkenlik gösterdiğini belirtmektedir. Bu katmandaki etki mesafesi 2310 m bulunmuştur.

Çalışma alanı topraklarının hacim ağırlığı değerleri için 90-120 cm toprak katmanı haricinde diğer katmanlarda etki mesafesi değerleri birbirine yakın çıkmıştır. Yüzey katmanında (0-30 cm) uzaysal bağımlılığın yapısal uzaklığı 2944 m, 30-60 cm katmanında 3464 m, 60-90 cm katmanında 3291 m ve 90-120 cm toprak katmanında ise 9925 m olarak bulunmuştur (Çizelge 4.7). Hacim ağırlığı değerlerinin nugget etkisi düşük düzeyde olmuştur (Cambardella vd, 1994; Erşahin, 1999). Nugget etkisi düşük bulunmasına rağmen hacim ağırlığı arazi içerisinde tekstür değerlerine (kil, silt ve kum) göre daha kısa yapısal uzaklıklarda değişkenlik göstermiştir. Sağlam, (2008) çalışmasında benzer sonuçlar bulmuştur.

Tarla kapasitesinin kontrolsüz etki varyansı yüksek bulunmuştur. Etki mesafesi yüzeyden alt katmanlara doğru artış göstermiş ve sırasıyla 5820 m, 8550 m, 12730 m olarak bulunmuştur.

Solma noktasının yapısal uzaklığı TK'nın aksine derinlik arttıkça azalmıştır. Etki mesafesi üst katmandan alt katmanlara doğru sırasıyla 16670 m, 12280 m ve 9630 m olarak bulunmuştur. Ayrıca TK en fazla yaklaşık 12 km çapındaki bir daire içerisinde birbirleriyle bağımlı davranış gösterirken, SN yaklaşık 16 km çapındaki bir daire içerisinde birbirleriyle bağımlı davranış göstermişlerdir. Abu ve Malgwi (2011) geniş etki mesafesi değerlerine sahip toprak özelliklerinin toprak tekstüründe ve minerolojisindeki farklılıkların bir fonksiyonu olabileceğini bildirmişlerdir.

Çalışma alanı topraklarının fiziksel özelliklerinden kil, TK ve SN özelliklerinin nugget varyansının yüksek olması, bu özelliklerinin arazi içerisinde kısa yapısal uzaklıklarda çok fazla değişkenlik gösterdiğini açıklamaktadır. Ayrıca nugget varyansının yüksek olması, kullanılan örnekleme deseni ve örnekleme mesafesinin arazi içerisinde bu özelliklerin değişkenliğinin modellenmesi için uygun olmadığını göstermektedir. Çalışma alanı topraklarının alüvyal özellikte olması, toprak özelliklerinin kısa mesafelerde değişkenlik göstermesine neden olmaktadır (Sağlam, 2008).

Çalışmada modelin seçiminden önce, elde edilen modellerin yaptıkları tahminler ile ölçülen değerler arasındaki ilişkinin gücüne bakılmıştır. Çapraz doğrulama denilen bu yöntemde en yüksek r^2 değerini veren model krigleme haritalarının oluşturulmasında, arazide ölçüm yapılmayan noktaların değerlerinin tahmin edilmesi için kullanılmıştır. Çapraz değerlendirme bugüne kadar birçok çalışmada en iyi modelin bulunmasına yardımcı olmak amacı ile kullanılmıştır. Ancak, çapraz değerlendirmenin sadece enterpolasyon öncesinde başlangıç aşaması için kullanıldığı unutulmamalıdır. Tahminin veya simülasyon modelinin doğruluğunun kesin bir ölçütü değildir (Anonymous, 2010; Birol, 2011). Kriging tekniği diğer tahmin tekniklerine göre yansız, minimum hata varyanslı ve tahmine ait standart sapmanın hesaplanmasına olanak sağlayarak tahmin işleminin güvenilirliğini sorgulamaktadır (Delhomme, 1978; Olea, 1982; Trangmar vd, 1985; Vieira vd, 1983). Bu amaçla her bir toprak özelliği için kriging tahmin değerlerinin standart sapmaları hesaplanmıştır. Toprak özelliklerinin tamamında tahmin standart sapma değerleri gerçek standart sapma değerlerinden küçük çıkmıştır (Çizelge 4.8). Bu sonuç, tahmin edilen toprak özelliklerinin ölçülmeyen nokta veya alanlar için güvenilir olduğu anlamına gelmektedir (Başkan, 2004).

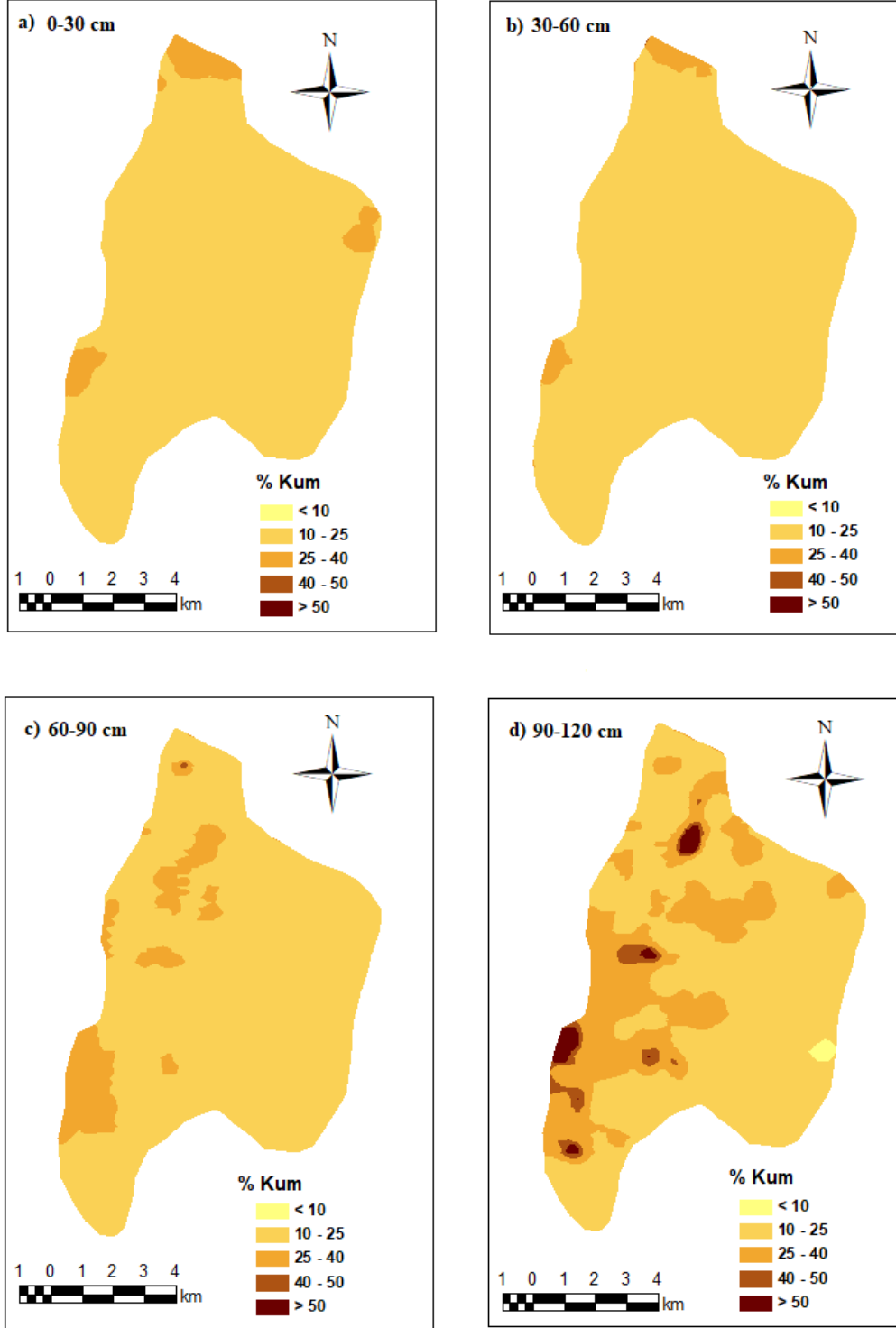
Çizelge 4.8. Toprakların fiziksel özelliklerinin ölçülen ve tahmin edilen değerlerine ait tanımlayıcı istatistik sonuçları

Derinlik (cm)		0-30		30-60		60-90		90-120	
Özellik	Tanımlayıcı İstatistik	Ö	ÇD	Ö	ÇD	Ö	ÇD	Ö	ÇD
Kum (%)	AO	22.48	21.84	21.27	20.41	24.69	24.96	41.64	41.88
	Min.	8.39	16.43	0.62	14.90	4.00	7.19	5.81	27.26
	Max.	48.05	28.73	49.22	29.35	86.54	58.34	69.74	54.98
	S.S	7.66	2.35	8.49	2.51	17.11	9.87	11.98	5.38
Kil (%)	AO	41.64	41.88	42.46	41.88	40.79	41.00		
	Min.	5.81	27.26	5.88	27.26	5.67	21.52		
	Max.	69.74	54.98	69.56	54.98	67.62	57.77	-	
	S.S	11.98	5.38	13.22	5.38	15.50	7.71		
Silt (%)	AO	35.88	35.43	36.26	35.76	37.09	36.33	38.37	38.43
	Min.	20.78	26.88	19.37	27.25	7.45	27.31	7.43	28.95
	Max.	63.71	46.96	68.51	49.69	78.13	58.02	71.40	51.40
	S.S	8.15	4.29	8.84	4.53	11.27	4.84	11.39	4.55
Hacim ağırlığı (g/cm ³)	AO	1.33	1.33	1.40	1.40	1.40	1.40	1.19	1.19
	Min.	1.07	1.21	1.18	1.26	1.24	1.28	1.05	1.15
	Max.	1.63	1.51	1.61	1.56	1.56	1.58	1.28	1.24
	S.S	0.13	0.08	0.11	0.07	0.09	0.08	0.05	0.02
TK (%)	AO	37.68	37.78	36.78	36.86	35.26	34.89		
	Min.	21.01	30.82	18.75	31.21	5.77	23.01		
	Max.	57.72	47.63	50.18	46.06	57.19	46.60	-	
	S.S	7.05	3.76	6.57	3.43	8.18	4.50		
SN (%)	AO	21.18	21.25	20.47	20.54	18.94	18.99		
	Min.	6.82	14.81	6.40	14.63	2.64	10.18		
	Max.	34.59	28.15	36.24	27.99	42.66	29.80	-	
	S.S	5.53	2.72	5.65	2.76	6.91	3.72		

Min: Minimum değer, Max: Maksimum değer, AO: Aritmetik ortalama, S.S: Standart sapma, Ö: Ölçülen, ÇD: Çapraz değerlendirme, TK: Tarla kapasitesi, SN: Solma noktası

Çizelge 4.8’ de görüldüğü gibi toprak fiziksel özelliklerinin ortalama ölçüm değerleriyle kriging ile tahmin edilen ortalama değerler birbirlerine benzemektedir. Özellikle ortalama hacim ağırlığı değerleri için ölçülen ile tahmin edilen değerler aynı bulunmuştur.

Belirlenen modeller ile maksimum 20 komşu nokta kullanılarak ordinary kriging yöntemi ile farklı katmanlardaki kum içeriği dağılım haritaları oluşturulmuştur (Şekil 4.15). Harita incelendiğinde denize ve Kızılırmak nehrine yaklaştıkça toprakların kum içeriklerinin arttığı görülmektedir. 60-90 cm ve 90-120 cm derinliklerindeki kum içerikleri kısa mesafelerde yüksek değişkenlik göstermiştir. Bu sonuç semivariogram analizinde elde edilen sonuçlar ile örtüşmektedir. Araştırma alanında aluviyal toprakların bulunması nedeniyle değişkenliklerin yüksek ve kısa mesafelerde olması beklenen bir durumdur.

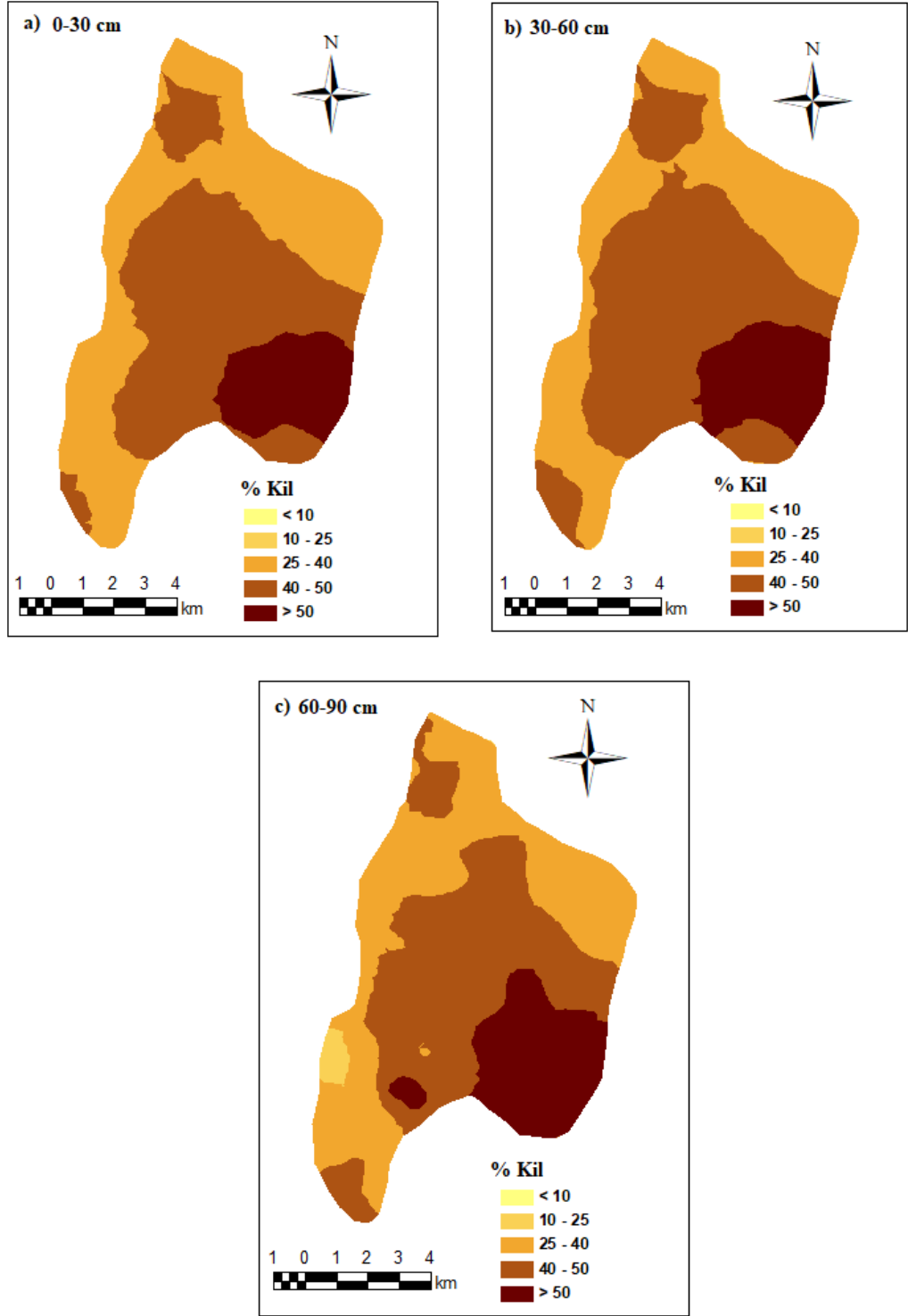


Şekil 4.15. Toprağın 0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm ve 90-120 cm derinliklerindeki kum (%) içeriği dağılım haritaları

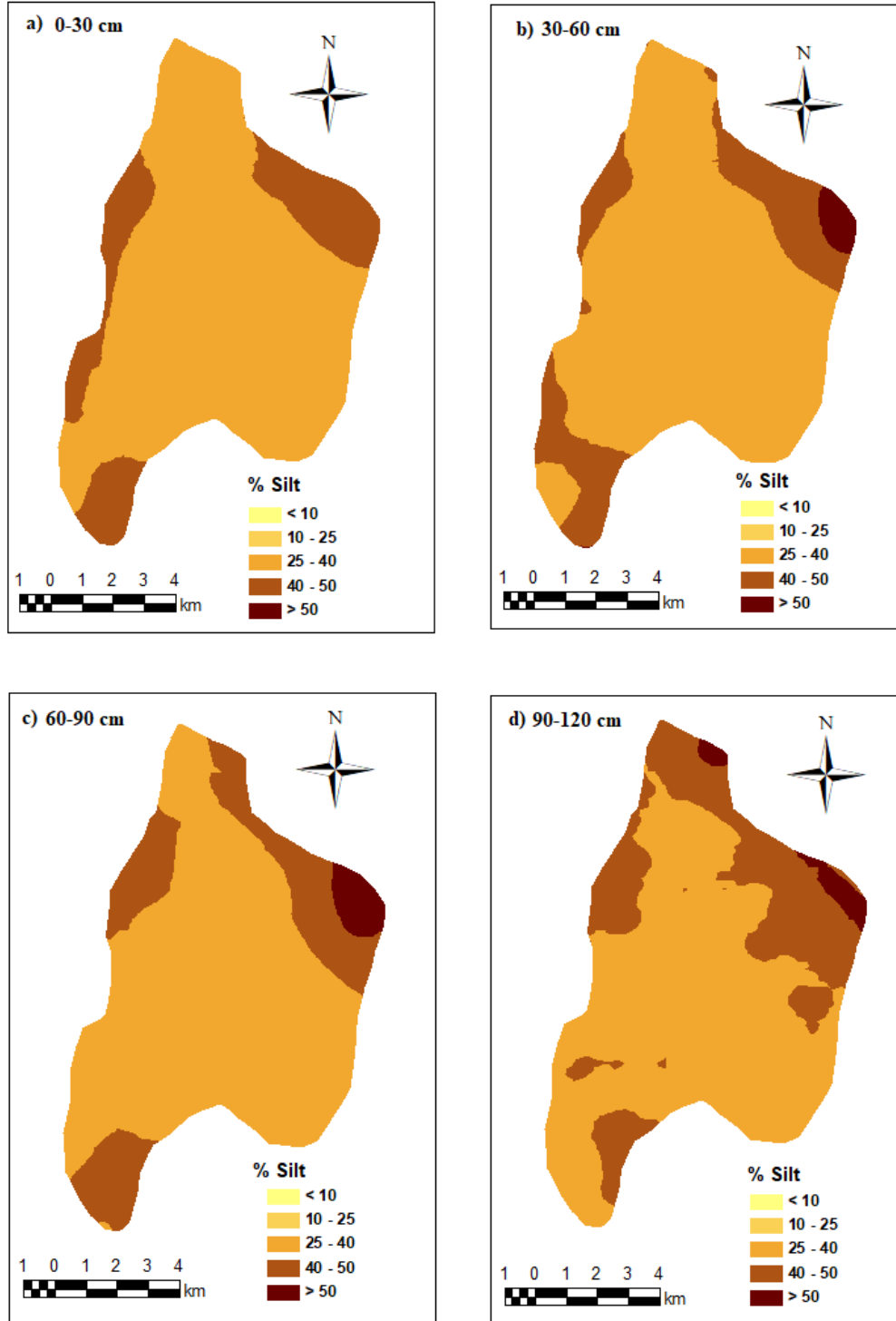
Kil içeriği dağılım haritaları Şekil 4.16'da verilmiştir. Kil içeriği çalışma alanı içerisinde en yüksek değerlerine denizden uzakta çalışma alanının Güney-Batı yönünde ulaşmış, Kızılırmak nehrine ve denize yaklaştıkça ise kil içeriği düşmüştür. Harita incelendiğinde tüm katmanlar benzerlik göstermekle birlikte derinlik arttıkça kil içerikleri azalmıştır. Kum ve kil içeriği dağılım haritaları birlikte değerlendirildiğinde çalışma alanında derinlik arttıkça kum içeriğinin arttığı söylenebilir.

Çalışma alanı topraklarının silt içeriği dağılım haritaları Şekil 4.17'de verilmiştir. Harita incelendiğinde çalışma alanının en güneyinde çoğunlukla çeltik yetiştirilen bölgede ve meraların bulunduğu kuzey-doğu bölümlerinde silt içerikleri yüksek bulunmuştur. Ayrıca Kızılırmak nehri boyunca nehre yakın alanlarda silt içeriği diğer alanlara göre daha yüksek bulunmuştur. Silt içeriği yüzey ve yüzey altı toprak katmanlarında benzer dağılım göstermiş ve yüzeyden alt katmanlara doğru inildikçe silt içerikleri azalmıştır.

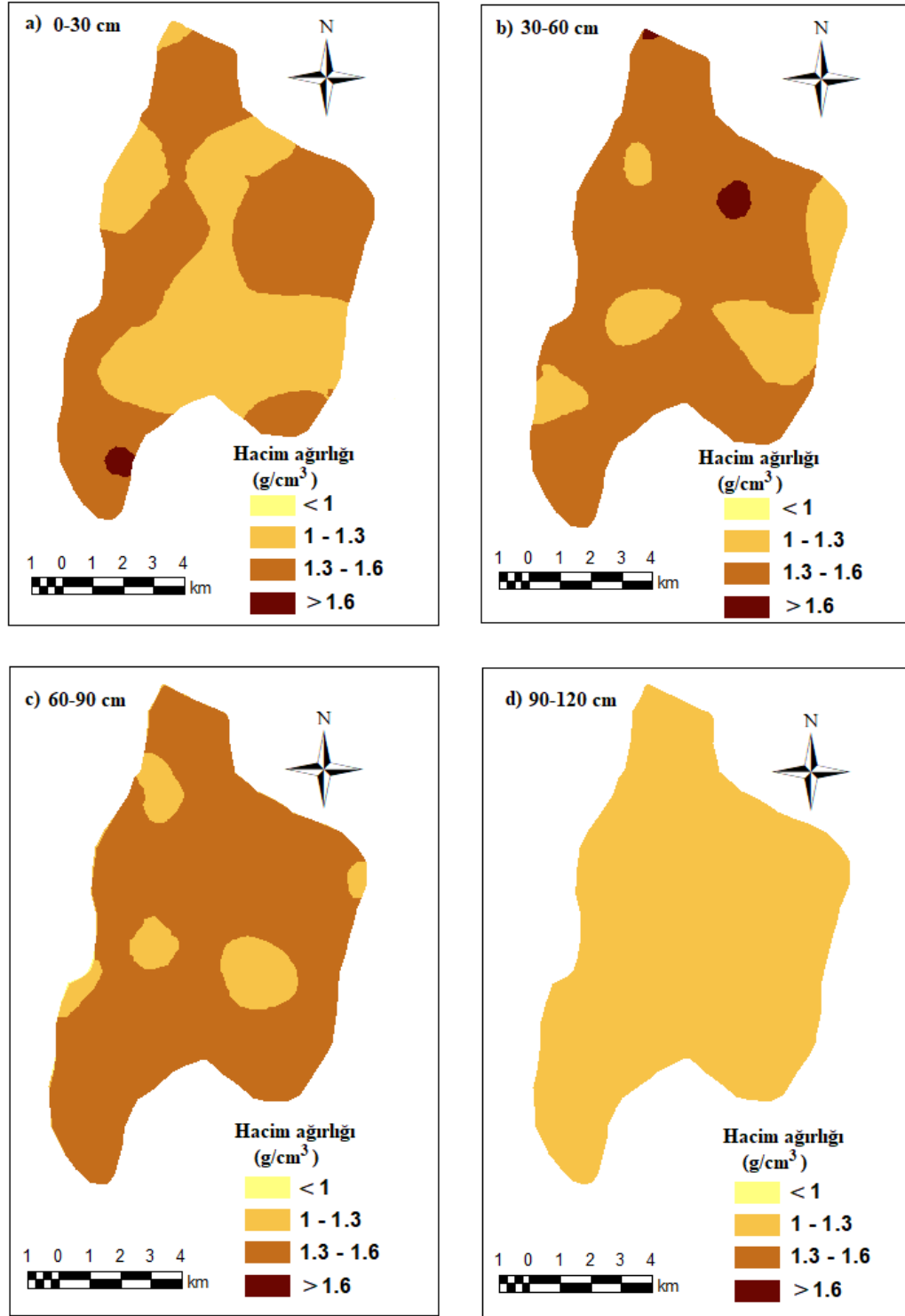
Dört farklı katman için hazırlanan toprakların hacim ağırlığı dağılım haritaları Şekil 4.18'de verilmiştir. Çalışma alanı topraklarının hacim ağırlığı değerleri yüzeyden itibaren ilk üç katmanda çoğunlukla 1.3 ile 1.6 g/cm³ arasında değişmiş en alt katmanda ise 1.3 g/cm³'den daha düşük bulunmuştur. Hacim ağırlığı değerlerinin çalışma alanı içerisindeki dağılımı tekstür dağılımına benzerlik göstermiştir. Silt ve kum içeriğinin fazla olduğu alanlarda hacim ağırlığı yüksek, kil içeriğinin yüksek olduğu alanlarda ise hacim ağırlığı düşük değerler almıştır. Sağlam (2008) toprakların hacim ağırlıklarının değişkenlikleri üzerine sadece toprak özelliklerinin (tekstür vb.) değil, bunun yanı sıra toprak işleme ve bitki deseni gibi yönetim uygulamaları da etkili olabileceğini belirtmiştir. Singh vd, (1992) sınır değer olarak 1.3 gr/cm³'e eşit veya daha düşük hacim ağırlığına sahip herhangi bir toprağın bitki gelişimini sınırlamadığını ifade etmişlerdir.



Şekil 4.16. Toprağın 0-30 cm, 30-60 cm ve 60-90 cm derinliklerindeki kıl (%) içeriği dağılım haritaları



Şekil 4.17. Toprağın 0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm ve 90-120 cm derinliklerindeki silt (%) içeriği dağılım haritaları

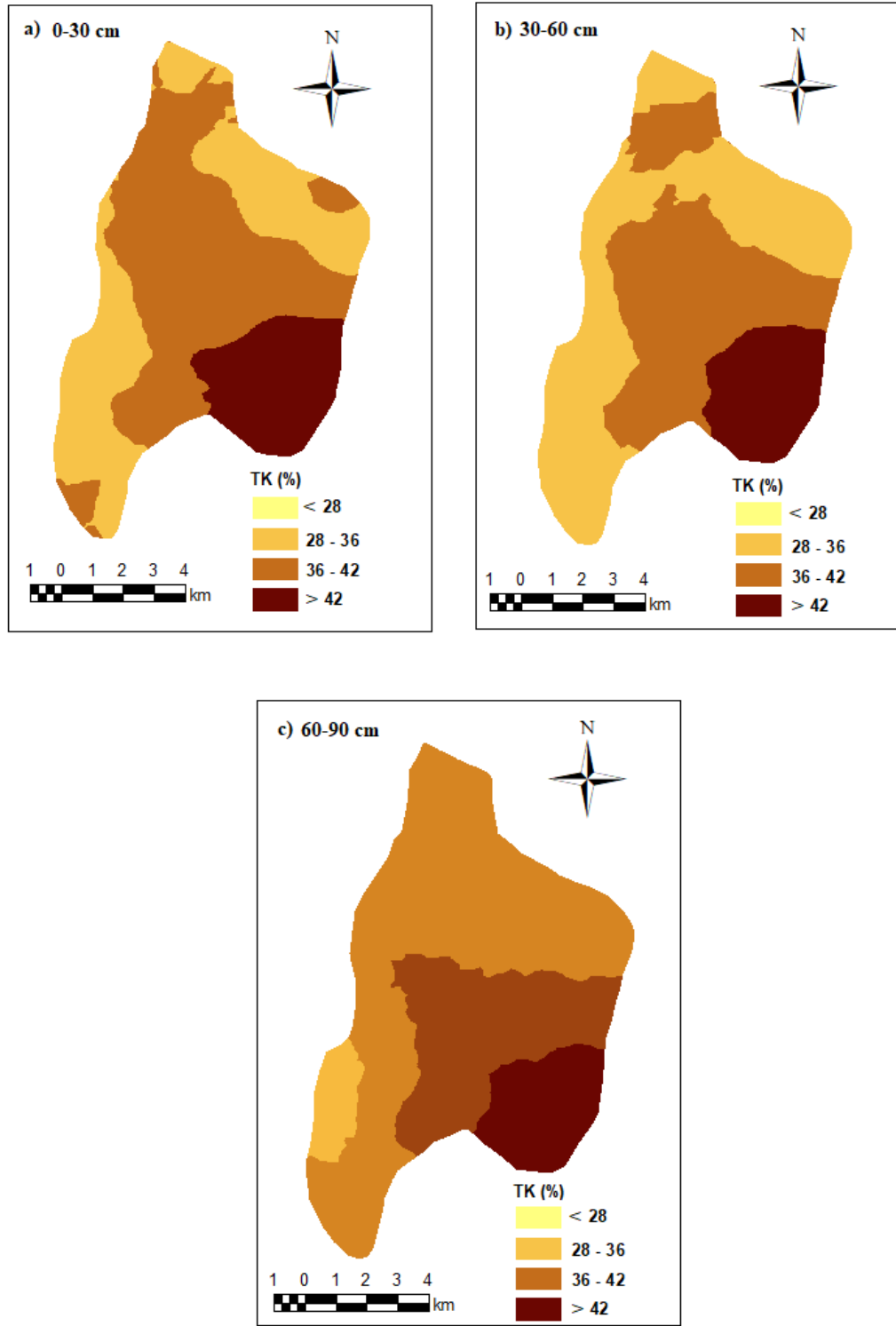


Şekil 4.18. Toprağın 0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm ve 90-120 cm derinliklerindeki hacim ağırlığı dağılım haritaları

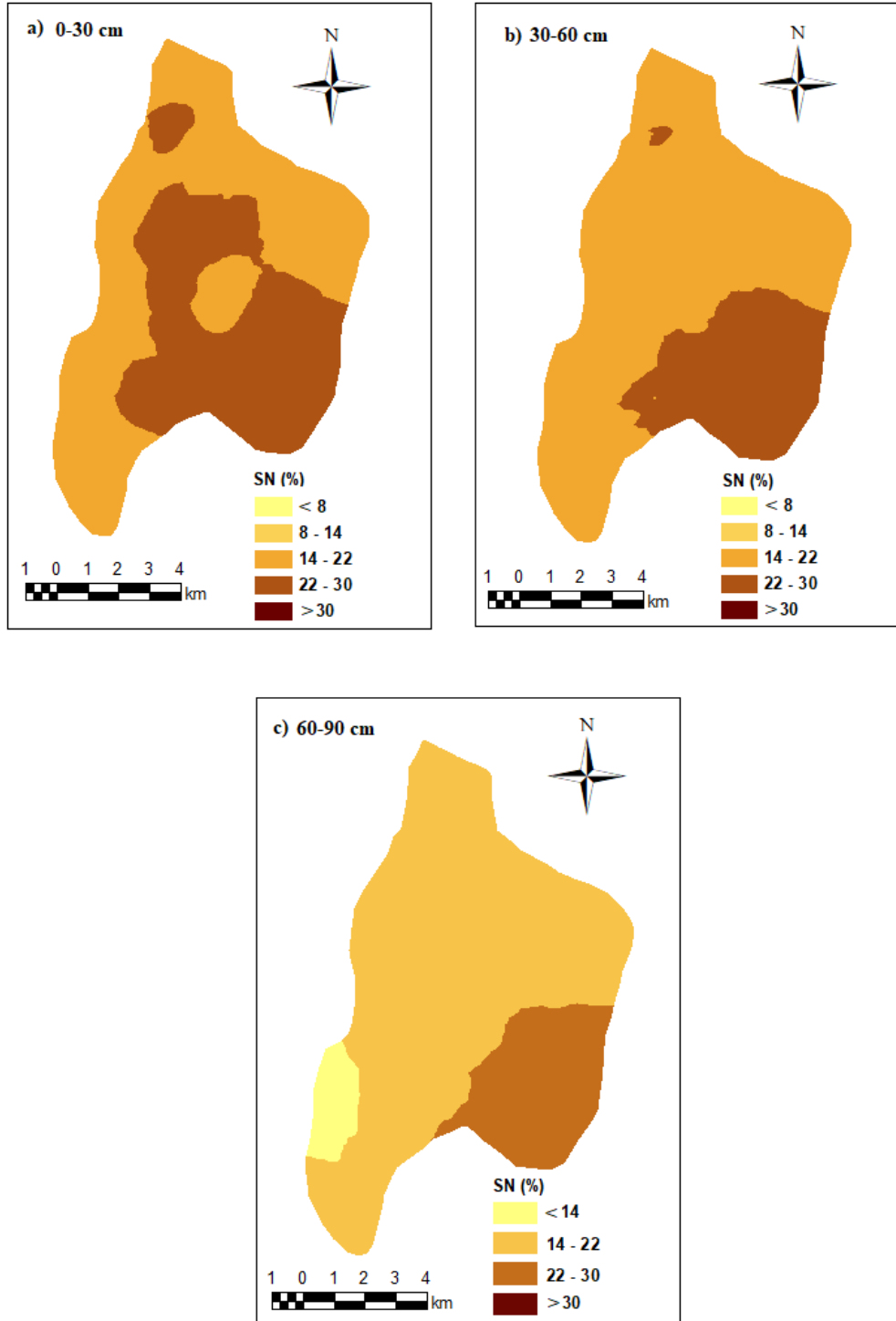
Bitkiler, toprağın sulama açısından iki önemli özelliği olan tarla kapasitesi (TK) ile solma noktası (SN) arasındaki sudan yararlanırlar. Toprakların TK ve SN'deki su içeriklerinin bilinmesi bitki su gereksinimi ve sulama programlaması açısından önemlidir. Saxton ve Rawls (2006) tarla kapasitesi ve solma noktasındaki nem içeriklerini toprakların tekstürlerine göre sınıflandırmışlardır. Buna göre kumlu toprakta TK'daki nem içeriği %10'dan küçük, kumlu-tınlı toprakta %10-18 arasında, siltli toprakta %18-28 arasında, killi-tınlı toprakta %28-36 arasında, siltli-killi toprakta %36-42 arasında ve killi toprakta %42'den büyük olacak şekilde sınıflar oluşturmuşlardır. Solma noktasındaki su içeriğini ise kumlu, kumlu-tın, silt, killi-tın, siltli-kil ve kil tekstür grupları için sırasıyla %5'den küçük, %5-8 arasında, %8-14 arasında, %14-22 arasında, %22-30 arasında ve %30'dan büyük olacak şekilde sınıflandırmışlardır.

Bu gruplara göre oluşturulan tarla kapasitesindeki su içeriği dağılım haritaları Şekil 4.19'da verilmiştir. Şekil 4.19 incelendiğinde % 42'nin üzerinde su içeriği en çok 0-30 cm toprak derinliğinde bulunurken derinlikle birlikte azalmıştır. Tarla kapasitesi su içeriği dağılım haritası, kil içeriği dağılım haritasıyla uyum içerisindedir. Kil içeriğinin yüksek olduğu alanlarda TK %42'nin üzerinde bulunmuştur. Ayrıca silt içeriğinin yüksek olduğu alanlarda TK değeri %28 den düşük bulunmuştur (Şekil 4.19).

Çalışma alanında en uygun semivariogram modeli kullanılarak oluşturulan SN alansal dağılım haritaları Şekil 4.20'de verilmiştir. Şekil 4.20 incelendiğinde solma noktası değerlerinin yüzeyden alt katmanlara doğru inildikçe azaldığı görülmektedir. Tahmin haritalarında SN değeri 30'un altında tahmin edilmiştir. Bu kısımlar çalışma alanında kil içeriğinin yüksek olduğu alanlardır. Ovanın geri kalanında SN değerleri %14-%22 arasında değişmiştir.



Şekil 4.19. Toprağın 0-30 cm, 30-60 cm ve 60-90 cm derinliklerindeki TK (%) dağılım haritaları



Şekil 4.20. Toprağın 0-30 cm, 30-60 cm ve 60-90 cm derinliklerindeki SN (%) dağılım haritaları

4.3.2. Çalışma alanı topraklarının kimyasal özelliklerinin jeostatistiksel değerlendirilmesi

4.3.2.1. Sulama öncesi dönemde kimyasal özelliklerin haritalanması (Nisan-2010)

Çalışma alanından 2010 yılı sulama öncesi dönemde alınan toprak örneklerinin kimyasal analiz sonuçları Çizelge 4.9’da verilmiştir.

Araştırma alanından alınan toprak örneklerinin konumsal yapılarının belirlenmesi amacıyla her bir özellik için deneysel semivariogramlar oluşturulmuştur. Semivariogramların oluşturulmasında yönler göre olası bağımlılığı (anizotropi) test etmek amacıyla, farklı dört yönde (0, 45, 90 ve 135⁰) hesaplamalar yapılmıştır. İncelenen özelliklerin tamamı izotropik bir yapı göstermiştir.

Çizelge 4.9. Toprakların kimyasal özelliklerine ait izotropik semivariogram bileşenleri (Nisan-2010)

Özellik	Derinlik	Model	Co	Cs (Co+C)	Ao (m)	UB	r ²	RSS	r _{CD}
EC	0-30	Gausiyan	0.10	0.19	4830	Orta	0.82	0.002	0.37
	30-60	Gausiyan	0.12	0.23	5370	Orta	0.94	0.001	0.27
	60-90	Gausiyan	0.15	0.31	9630	Orta	0.66	0.007	0.30
	90-120	Küresel	0.11	0.26	10700	Orta	0.73	0.008	0.48
pH	0-30	Üssel	0.001	0.003	1120	Kuvvetli	0.80	0.000	0.25
	30-60	Üssel	0.004	0.008	16350	Orta	0.89	0.000	0.21
	60-90	Küresel	0.088	0.369	21050	Kuvvetli	0.97	0.001	0.55
	90-120	Gausiyan	0.110	0.233	5730	Orta	0.92	0.002	0.45
CaCO ₃	0-30	Küresel	1.03	18.36	1970	Kuvvetli	0.69	22.20	0.47
	30-60	Üssel	0.15	1.08	650	Kuvvetli	0.72	0.026	0.35
	60-90	Üssel	19.77	39.55	1710	Orta	0.86	23.30	0.30
	90-120	Üssel	17.11	34.23	1730	Orta	0.82	20.00	0.37
KDK	0-30	Küresel	2.80	45.84	1680	Kuvvetli	0.73	64.70	0.35
	30-60	Üssel	0.30	0.60	10160	Orta	0.87	0.004	0.38
	60-90	Saf Nugget							
	90-120	Üssel	0.09	0.57	840	Kuvvetli	0.78	0.007	0.31
ESP	0-30	Gausiyan	0.13	0.37	5390	Orta	0.86	0.012	0.45
	30-60	Gausiyan	0.20	0.41	5390	Orta	0.78	0.010	0.32
	60-90	Gausiyan	0.17	0.38	5910	Orta	0.91	0.005	0.36
	90-120	Gausiyan	0.15	0.35	5340	Orta	0.90	0.005	0.25
OM	0-30	Üssel	0.109	0.24	12140	Orta	0.60	0.004	0.00

Co: nugget varyans, Cs: Sill, Ao: Etki mesafesi (range), UB: Uzaysal bağımlılık, r²: semivaryogram modellemesinde belirleme katsayısı, RSS: Hata kareler toplamı, r_{CD}: Çapraz değerlendirme korelasyon katsayısı, EC: Elektriksel iletkenlik (dS m⁻¹), KDK: Katyon değişim kapasitesi (meq 100g⁻¹), ESP: Değişebilir sodyum yüzdesi, OM: Organik madde (%)

Araştırma alanına ait toprakların elektriksel iletkenlik (EC) değeri 90-120 cm derinlikte küresel model, diğer derinliklerde gaussiyen model ile tanımlanmıştır (Çizelge 4.9, Şekil 4.21). Toprak reaksiyonu (pH) değerleri ise 0-30 cm ve 30-60 cm derinliklerinde üssel, 60-90 cm derinlikte küresel ve 90-120 cm derinliklerinde ise gaussiyen modelin en uygun olduğu belirlenmiştir. (Şekil 4.22). Toprakların CaCO_3 içerikleri 0-30 cm toprak katmanında küresel, diğer katmanlarda ise üssel model bulunmuştur (Şekil 4.23). Katyon değişim kapasitesi (KDK) değerleri 60-90 cm derinlikte modellenememiş, 0-30 cm katmanda küresel, 30-60 cm ve 90-120 cm toprak katmanlarında ise üssel modelin veri setine uyduğu belirlenmiştir (Şekil 4.24). Değişebilir sodyum yüzdesi (ESP) değerleri tüm katmanlarda gaussiyen model ile (Şekil 4.25) ve yüzey toprağın organik madde içeriği ise üssel model ile tanımlanmıştır (Çizelge 4.9, Şekil 4.26).

Sulama öncesi dönemde çalışma alanı topraklarının farklı katmanlarındaki EC değerlerine ait uzaysal analiz sonuçları Çizelge 4.9’da verilmiştir. Nugget semivaryansının toplam semivaryansa oranının yüzdesi dikkate alındığında toprakların EC değerleri tüm katmanlarda orta derecede uzaysal bağımlılık göstermişlerdir. Söz konusu özelliğin ölçülen iki noktada birbirleri ile ilişkili olabileceği maksimum mesafeyi gösteren etki mesafesi 0-30 cm toprak katmanında 4830 m, 30-60 cm toprak katmanında 5370 m, 60-90 cm toprak katmanında 9630 m ve 90-120 cm toprak katmanında ise 10700 m olarak bulunmuştur (Şekil 4.21).

Etki mesafesi değerinden daha geniş bir mesafede birbirlerinden ayrılan örnekler uzaysal olarak bağımsız kabul edilirler. Her bir toprak özelliği için farklı etki mesafesi değerleri elde edilmiştir. Toprakların pH değerleri 0-30 cm ve 60-90 cm toprak katmanlarında kuvvetli uzaysal bağımlı olduğu belirlenmiş ve diğer katmanlarda orta derecede uzaysal bağımlılık göstermişlerdir. Söz konusu özelliğin uzaysal bağımlılık mesafesi 0-30 cm toprak katmanında 1120 m, 30-60 cm toprak katmanında 16350 m, 60-90 cm toprak katmanında 21050 m ve 90-120 cm toprak katmanında ise 5730 m olarak bulunmuştur (Şekil 4.22).

Kontrolsüz etki varyansı değeri en düşük pH ve EC değerlerinde bulunmuş ve bu da düşük örnekleme hatası sağlamıştır. En yüksek nugget değeri ise CaCO_3 de bulunmuştur. Kontrolsüz etki varyansının yüksek olması çalışma alanında CaCO_3 içeriğinin kısa mesafeler içinde önemli değişiklikler göstermesinden kaynaklanmaktadır. CaCO_3 içeriğinin uzaysal bağımlılık mesafesi 0-30 cm derinlikte

1970 m, 30-60 cm derinlikte 650 m, 60-90 cm derinlikte 1710 m ve 90-120 cm derinlikte ise 1730 m olarak bulunmuştur. Toprakların CaCO_3 içerikleri 0-30 cm ve 30-60 cm toprak katmanında kuvvetli uzaysal bağımlı olmuş, diğer katmanlarda ise orta derecede uzaysal bağımlılık göstermişlerdir (Şekil 4.23).

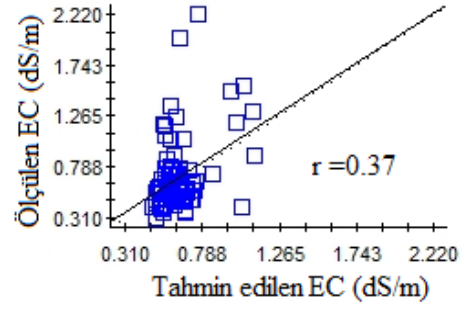
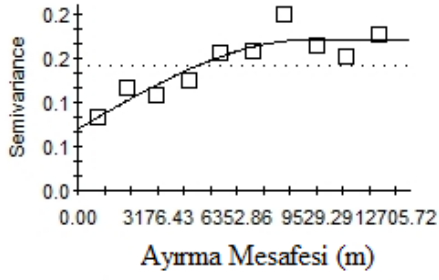
Nugget semivaryansının toplam semivaryansa oranının yüzdesi dikkate alındığında toprakların KDK değerleri 0-30 cm ve 90-120 cm toprak katmanında kuvvetli uzaysal bağımlı olmuş, 30-60 cm toprak katmanında orta derecede uzaysal bağımlılık göstermişlerdir. 0-30 cm toprak katmanında nugget değeri diğer katmanlardan daha yüksek bulunmuştur. Söz konusu özelliğin uzaysal bağımlılık mesafesi 0-30 cm toprak katmanında 1680 m, 30-60 cm toprak katmanında 10160 m, ve 90-120 cm toprak katmanında ise 840 m olarak bulunmuştur (Şekil 4.24).

Değişebilir sodyum yüzdesinin kontrolsüz etki varyansı (Nugget) değeri düşük belirlenmiştir. Toprakların ESP değerleri tüm katmanlarda orta derecede uzaysal bağımlı olduğu belirlenmiştir. Söz konusu özelliğin uzaysal bağımlılık mesafesi 0-30 cm toprak katmanında 5390 m, 30-60 cm toprak katmanında 5390 m, 60-90 cm toprak katmanında 5910 m ve 90-120 cm toprak katmanında ise 5340 m bulunmuştur (Şekil 4.25).

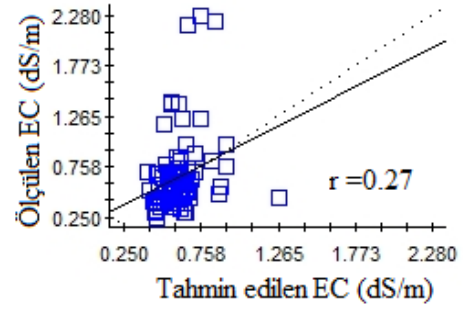
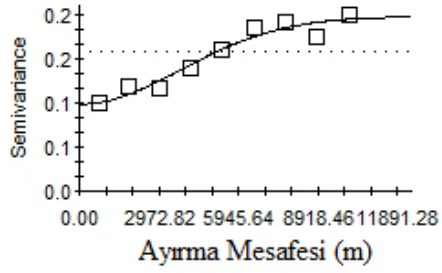
Sulama öncesi dönemde toprakların organik madde içerikleri orta derecede uzaysal bağımlılık göstermiş ve uzaysal bağımlılık mesafesi yüzey toprak katmanında 12140 m olarak bulunmuştur (Şekil 4.26).

EC (dS/m)

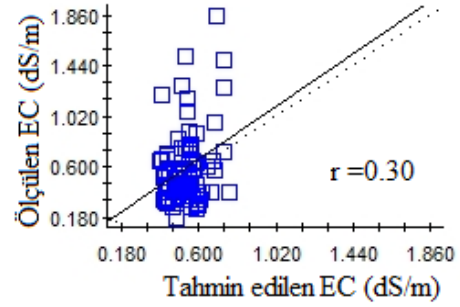
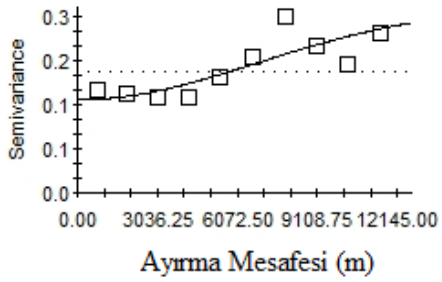
(0-30 cm)



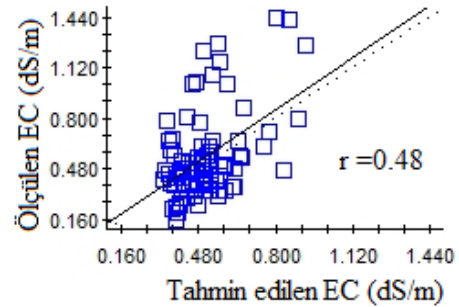
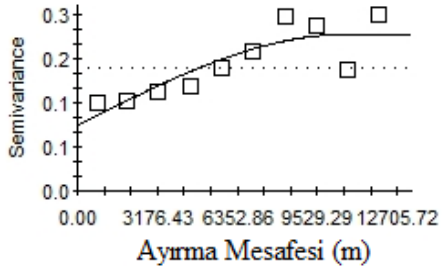
(30-60 cm)



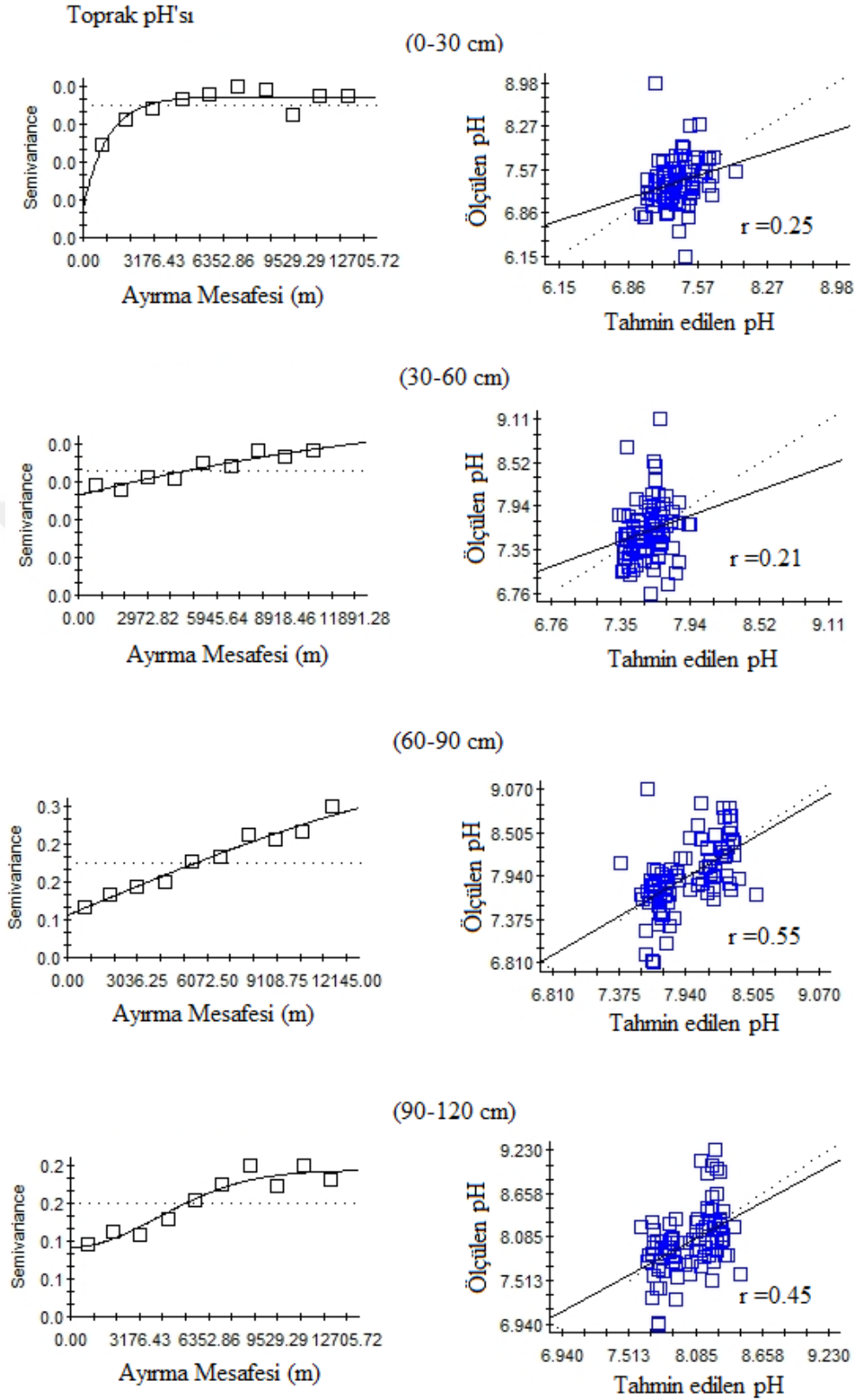
(60-90 cm)



(90-120 cm)



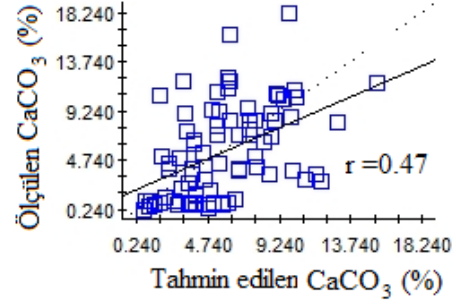
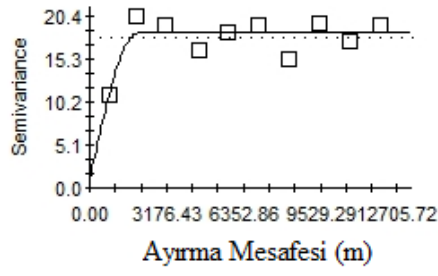
Şekil 4.21. EC için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafikleri (Nisan-2010)



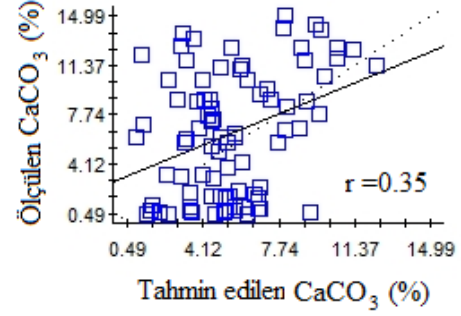
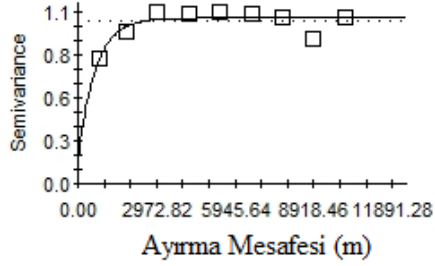
Şekil 4.22. pH için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafikleri (Nisan-2010)

CaCO₃ (%)

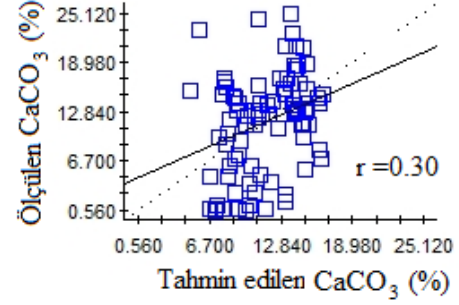
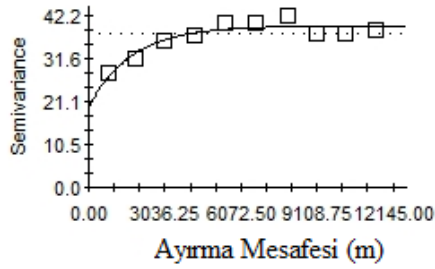
(0-30 cm)



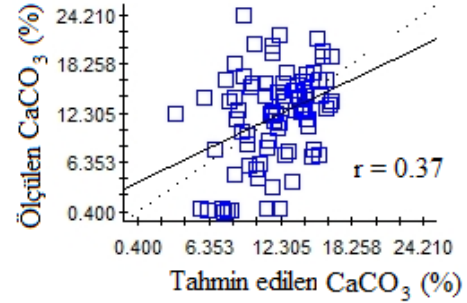
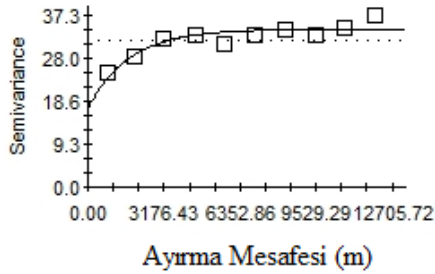
(30-60 cm)



(60-90 cm)

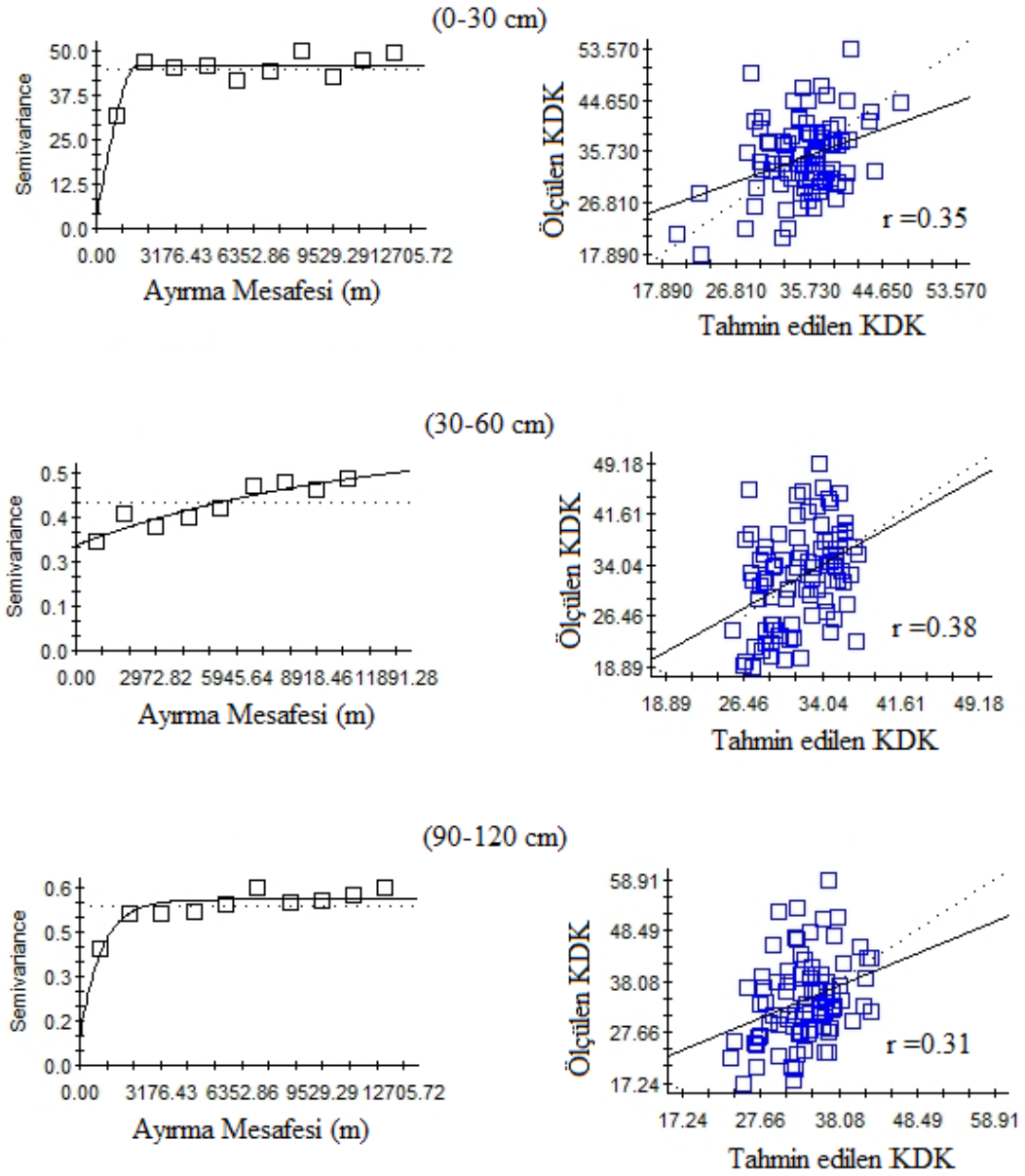


(90-120 cm)

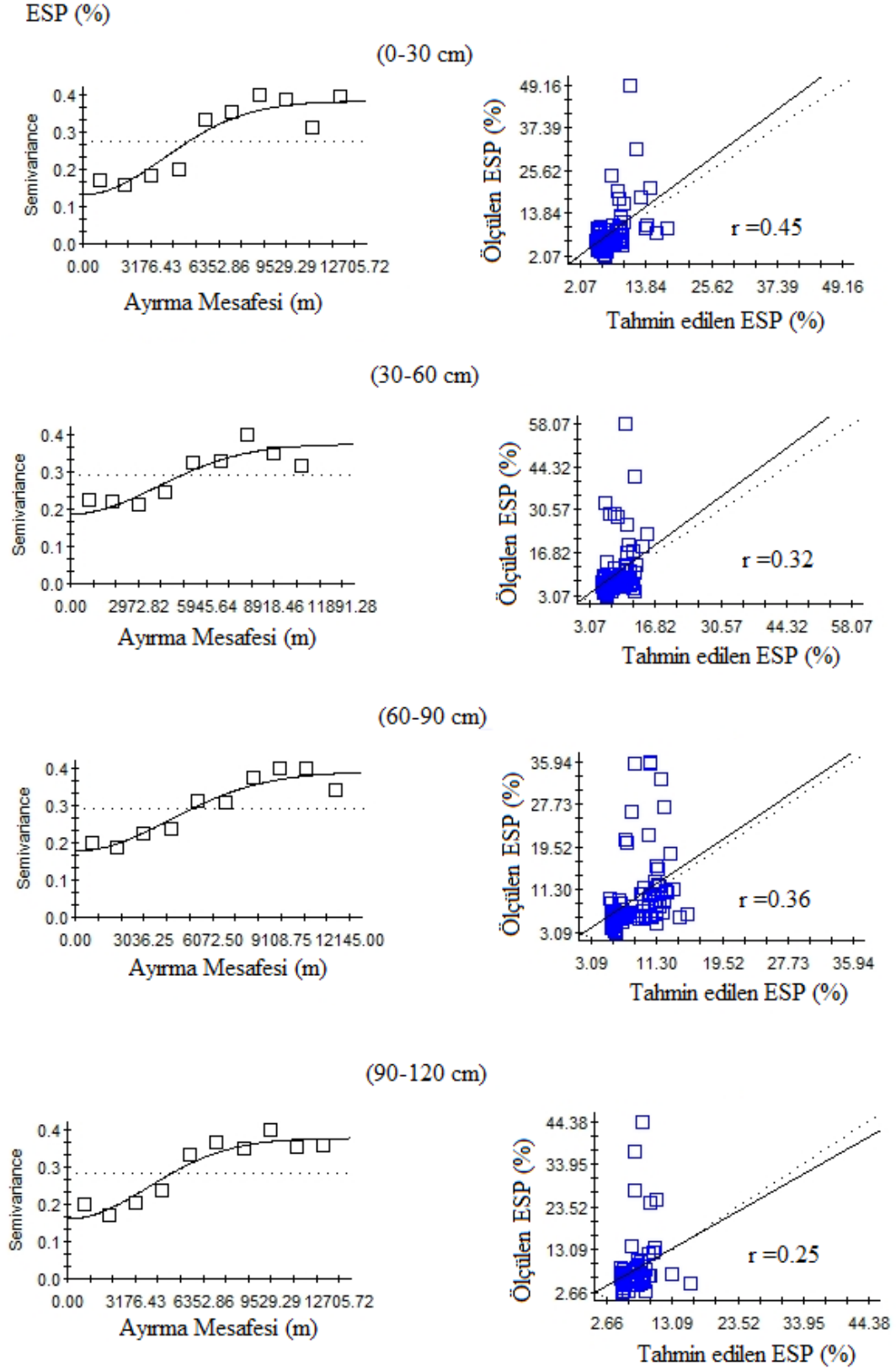


Şekil 4.23. CaCO₃ için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafikleri (Nisan-2010)

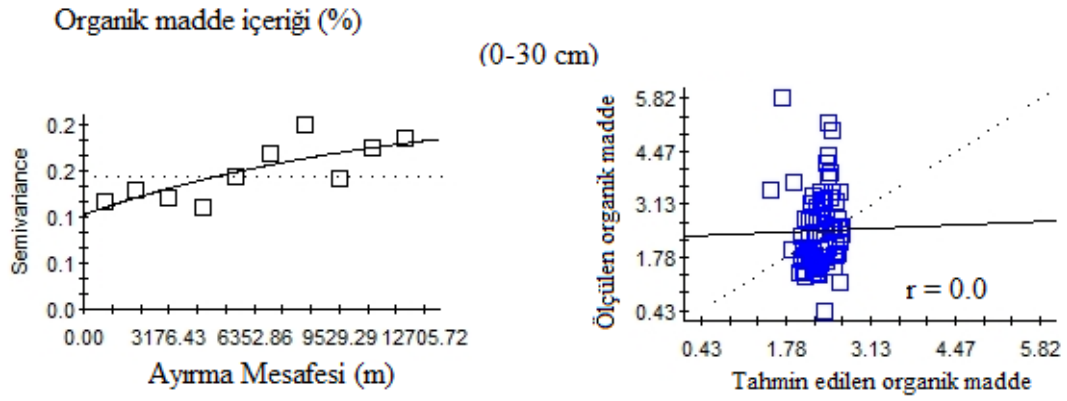
KDK (meq/100 g)



Şekil 4.24. KDK için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafikleri (Nisan-2010)



Şekil 4.25. ESP için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafikleri (Nisan-2010)



Şekil 4.26. Organik madde için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafiği (Nisan-2010)

Seçilen modellerin araştırma alanını temsil edip edemeyeceği çapraz değerlendirme (cross-validation) metodu ile test edilmiştir. Ölçülen ve tahmin edilen değerlerine ait tanımlayıcı istatistik sonuçları Çizelge 4.10’da verilmiştir.

Çizelge 4.10. Toprakların kimyasal özelliklerinin ölçülen ve tahmin edilen değerlerine ait tanımlayıcı istatistik sonuçları (Nisan-2010)

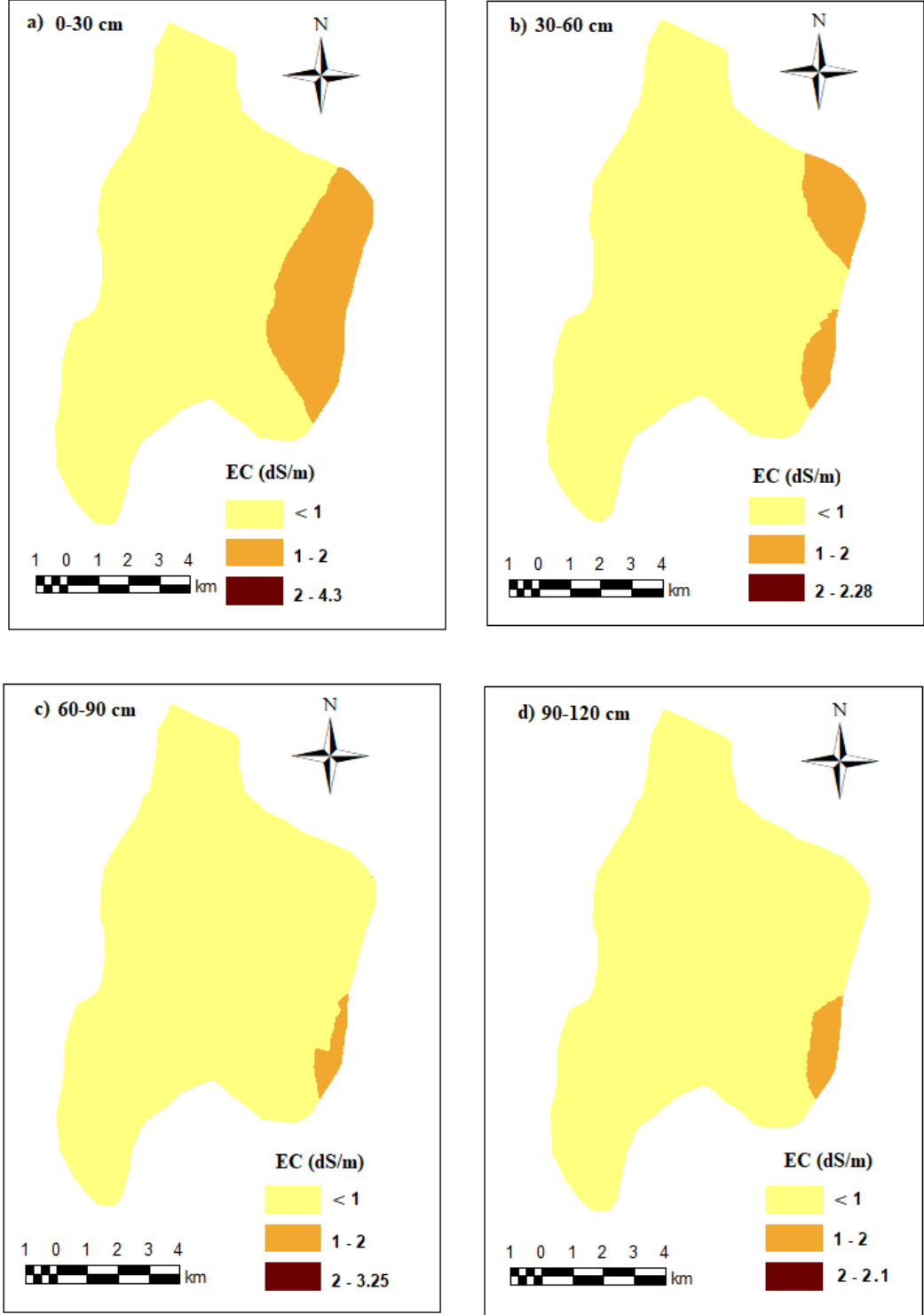
		Derinlik (cm)		0-30		30-60		60-90		90-120	
Özellik	Tanımlayıcı istatistik	Ö	ÇD	Ö	ÇD	Ö	ÇD	Ö	ÇD	Ö	ÇD
EC (dS/m)	AO	0.79	0.74	0.65	0.64	0.64	0.60	0.55	0.55		
	Min.	0.31	0.51	0.25	0.41	0.18	0.43	0.16	0.35		
	Max.	4.30	1.82	2.28	1.55	3.25	1.27	1.44	1.00		
	S.S	0.61	0.26	0.37	0.16	0.47	0.13	0.28	0.13		
ESP (%)	AO	9.19	8.57	10.38	9.86	9.90	9.65	9.29	8.43		
	Min.	2.07	5.20	3.07	5.85	3.09	5.78	2.66	5.01		
	Max.	49.16	22.56	58.07	19.53	36.92	17.82	47.72	32.38		
	S.S	8.20	3.69	9.29	3.23	7.71	3.23	9.64	3.99		
KDK (meq/100 g)	AO	35.09	35.01	33.02	32.55			34.70	34.50		
	Min.	17.89	19.56	18.89	25.29			17.24	24.11		
	Max.	56.01	47.20	64.20	38.12		-	59.22	43.25		
	S.S	7.33	4.59	8.21	2.95			9.14	3.74		
CaCO ₃ (%)	AO	5.97	6.05	7.18	5.91	11.62	11.61	12.32	12.40		
	Min.	0.24	0.26	0.33	1.03	0.40	2.61	0.40	3.65		
	Max.	18.24	15.04	24.72	11.73	27.39	17.75	31.20	18.24		
	S.S	4.58	3.21	5.51	2.22	6.37	3.02	6.19	2.98		
pH	AO	7.35	7.34	7.59	7.59	7.93	7.94	8.03	8.03		
	Min.	6.15	7.01	6.49	7.27	6.81	7.40	6.94	7.54		
	Max.	9.34	8.75	9.11	8.15	9.07	8.57	9.23	8.59		
	S.S	0.45	0.22	0.42	0.16	0.44	0.26	0.42	0.24		
OM (%)	AO	2.40	2.34								
	Min.	0.43	1.30								
	Max.	5.82	3.13								
	S.S	1.06	0.38								

Min: Minimum değer, Max: Maksimum değer, AO: Aritmetik ortalama, S.S: Standart sapma, Ö: Ölçülen, ÇD: Çapraz değerlendirme, EC: Elektriksel iletkenlik, ESP: Değişebilir sodyum yüzdesi, KDK: Katyon değişim kapasitesi, OM: Organik madde (%)

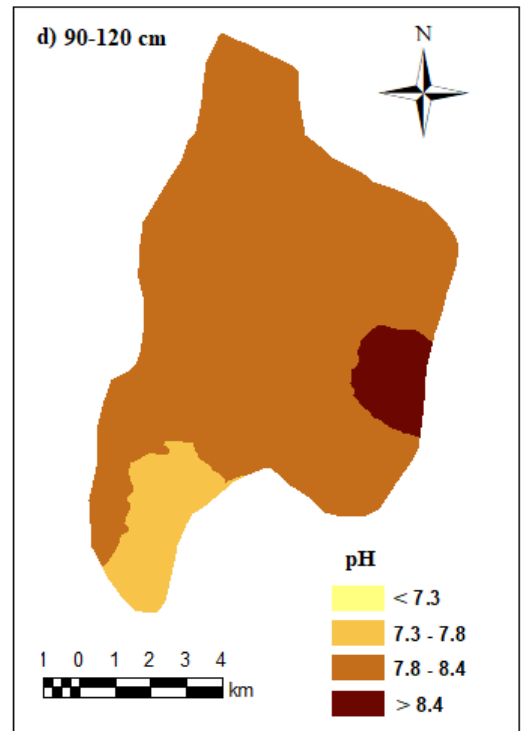
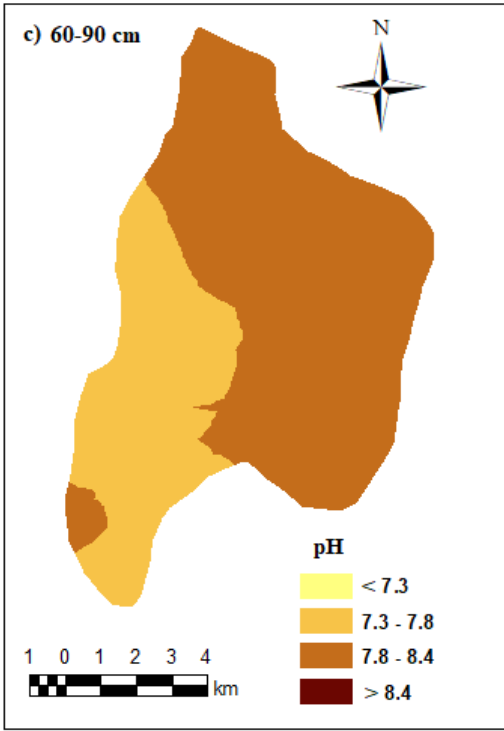
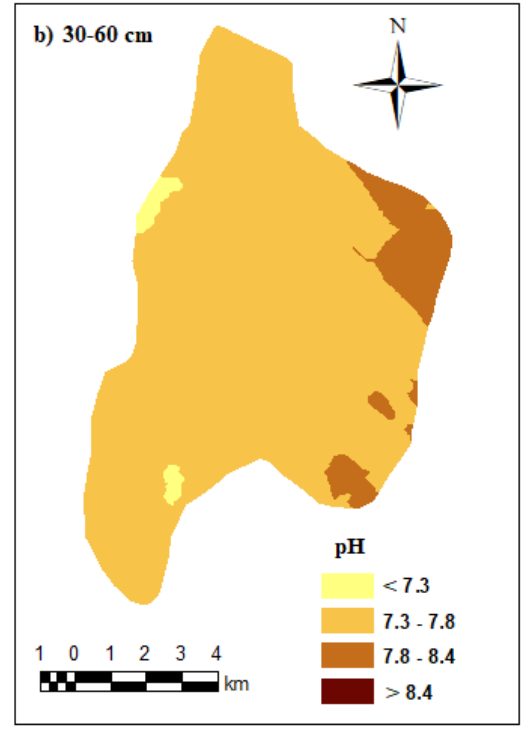
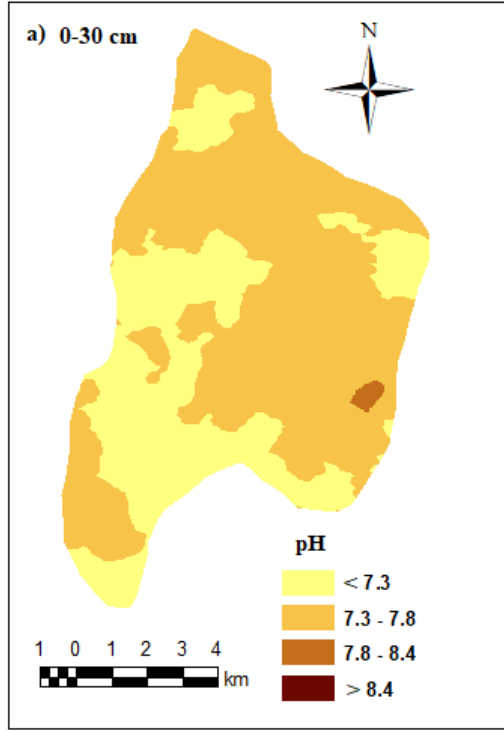
Kriging işlemi sonunda gerçek değerlerle karşılaştırıldığında tahmin değerlerinin standart sapması küçülmüştür. Çizelge 4.10'da görüldüğü gibi 2010 yılı sulama öncesi dönemde toprakların kimyasal özelliklerinin ortalama ölçüm değerleriyle kriging ile tahmin edilen ortalama değerler birbirlerine benzemektedir. Belirlenen modeller ile maksimum 20 komşu nokta kullanılarak ordinary kriging enterpolasyon yöntemi ile kimyasal özelliklerin dağılım haritaları oluşturulmuştur.

Çalışma alanı topraklarının 2010 yılı sulama öncesi dönemindeki elektriksel iletkenlik değerleri için oluşturulan tahmin haritaları Şekil 4.27'de verilmiştir. Richards, (1954) toprağın elektriksel iletkenlik değeri 2 dS/m'den küçük olduğunda tuzsuz, 2-4 dS/m arasında olduğunda çok hafif tuzlu, 4-8 dS/m arasında olduğunda orta tuzlu, 8-16 dS/m arasında olduğunda çok tuzlu ve 16 dS/m'den daha fazla olduğunda aşırı tuzlu olduğunu bildirmiştir. Bu sınıflandırmaya göre 2010 yılı sulama öncesi dönemde çalışma alanı topraklarının tamamında EC değeri 2 dS/m'nin altında olmuş ve tuzsuz olarak sınıflandırılmıştır. Çalışma alanının güney doğu bölgesinde EC değerleri diğer bölgelere göre biraz daha yüksek bulunmuştur. Bu bölgelerin kil içeriği yüksek olan bölgeler olduğu görülmektedir. Derinlik arttıkça çok fazla olmamakla birlikte tuzluluğun azaldığı belirlenmiştir. Bütün katmanlar birlikte değerlendirildiğinde çalışma alanı topraklarında tuzluluk problemi olmadığı anlaşılmaktadır.

Çalışma alanı topraklarında araştırılan bir diğer özellik toprak reaksiyonu (pH)'dur. Toprak pH'sının bilinmesi toprakta emniyetle yetiştirilebilecek bitkileri bilinmesi ve bitki besin elementlerinin yararlılığının değerlendirilmesine olanak sağlar. Yapılan çalışmalarda bitki besin elementlerinin en yararlı olduğu pH aralığının 6.5-7.5 arasında olduğu bildirilmiştir. PH, toprağın kimyasal ortamını karakterize eder ve çeşitli mera ve bitki türleri için toprakların uygunluğuna kılavuz olarak kullanılabilir. Toprak pH'sı, toprakta meydana gelen kimyasal süreçlerin bir göstergesidir ve olası eksiklikler ve/veya toksisiteler için bir rehberdir (Slattery vd, 1999). Çalışma alanı topraklarının 2010 yılı sulama öncesi dönemindeki toprak pH'sı için oluşturulan tahmin haritaları Şekil 4.28'de verilmiştir.



Şekil 4.27. Nisan-2010 dönemi (a) 0-30 cm, (b) 30-60 cm, (c) 60-90 cm (d) 90-120 cm derinliklerindeki EC haritaları

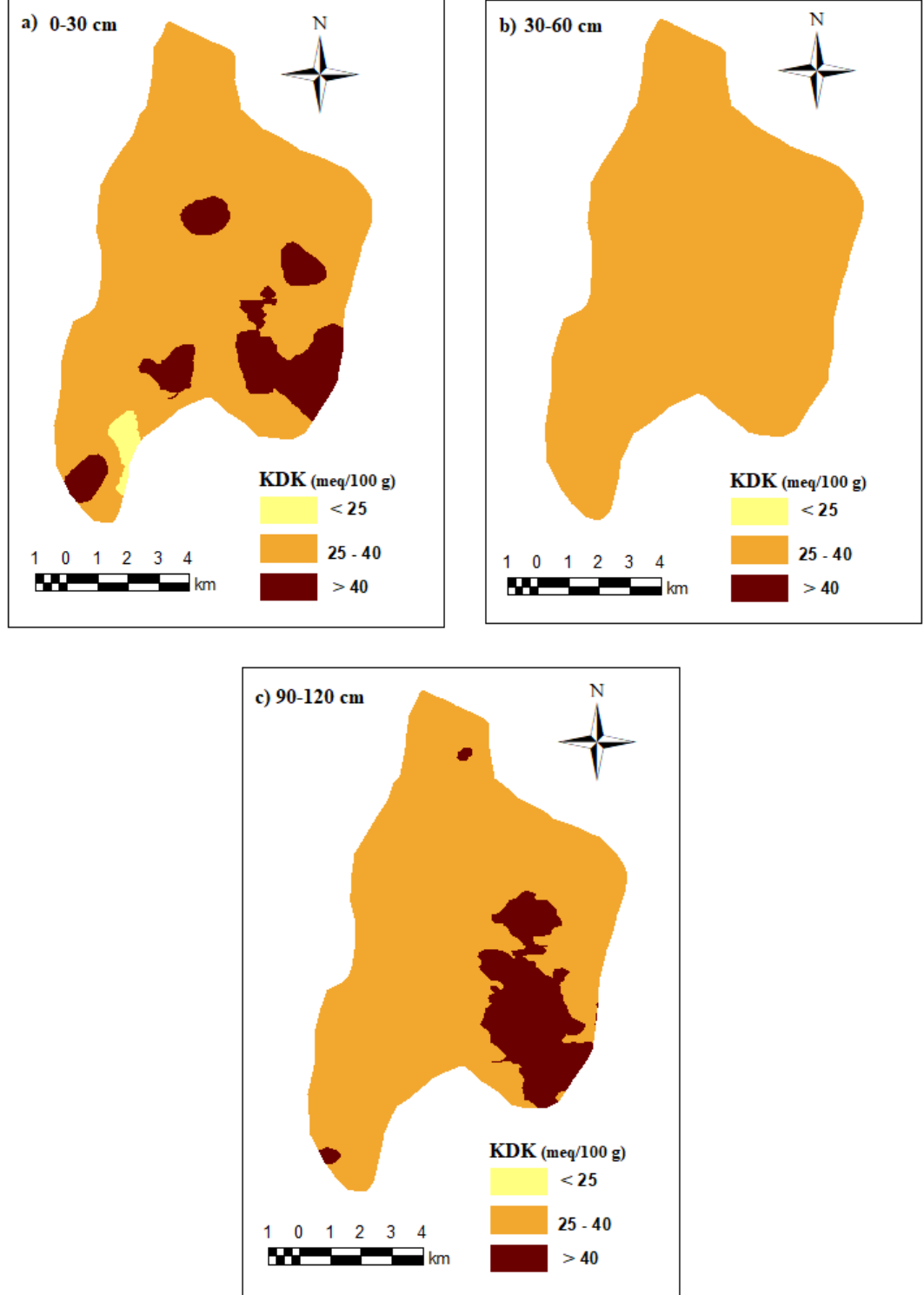


Şekil 4.28. Nisan-2010 dönemi (a) 0-30 cm, (b) 30-60 cm, (c) 60-90 cm (d) 90-120 cm derinliklerindeki pH haritaları

Bruce ve Rayment (1982)'e göre pH'nın 6.6-7.3 arası nötr, 7.4-7.8 çok hafif alkali, 7.9-8.4 orta alkali, 8.5-9.0 şiddetli alkali ve pH'nın 9.1'den büyük olması çok şiddetli alkali olduğunu gösterir. Şekil 4.28 incelendiğinde 0-30 cm toprak katmanında pH değerlerinin alanın çoğunda nötr ve çok hafif alkali özellik gösterdiği, çalışma alanının güney doğusunda çok az bir kısmında ise orta alkali olduğu görülmektedir. 30-60 cm toprak katmanında ise çalışma alanının büyük çoğunluğunda çok hafif alkali özellik göstermiş, çalışma alanının doğusunda ve güneyinde lokal olarak orta alkali özellik göstermiştir. 60-90 cm ve 90-120 cm toprak katmanlarında ise alanın büyük bölümünde 7.8-8.4 arasında değişim göstermiş ve en alt katmanda çalışma alanının güney doğusunda tüm alanın yaklaşık %5.3'ünde şiddetli alkali özellik göstermiştir. Genel olarak derinlikle beraber alkalilik artmıştır. Bütün katmanlar birlikte değerlendirildiğinde çalışma alanın hemen hemen tamamında pH'nın bitki besin elementlerinin en yararışlı olduğu pH aralığının (6.5-7.5) üzerinde olduğu belirlenmiştir. Attaeian vd, (2015)'de pH'nın alansal dağılımını belirledikleri çalışmada pH'nın 7.4 olduğu alanların çoğunlukla çalışma alanının batısında bulunduğunu ve mera ekosistemlerinin hakim olduğu bir alanda olduğunu belirlemişlerdir. pH değerlerinin 7.4 - 7.9 arasında olduğu alanlar ise çalışma alanının kuzeybatısında ve güneyinde eğimin yüksek olduğu mera alanlarında bulunmuştur. pH değerinin 7.9'dan büyük olduğu alanların ise çalışma alanının doğu ve kuzey doğusunda tarımsal faaliyetlerin yoğun olarak yapıldığı bölgelerde olduğunu belirlemişlerdir.

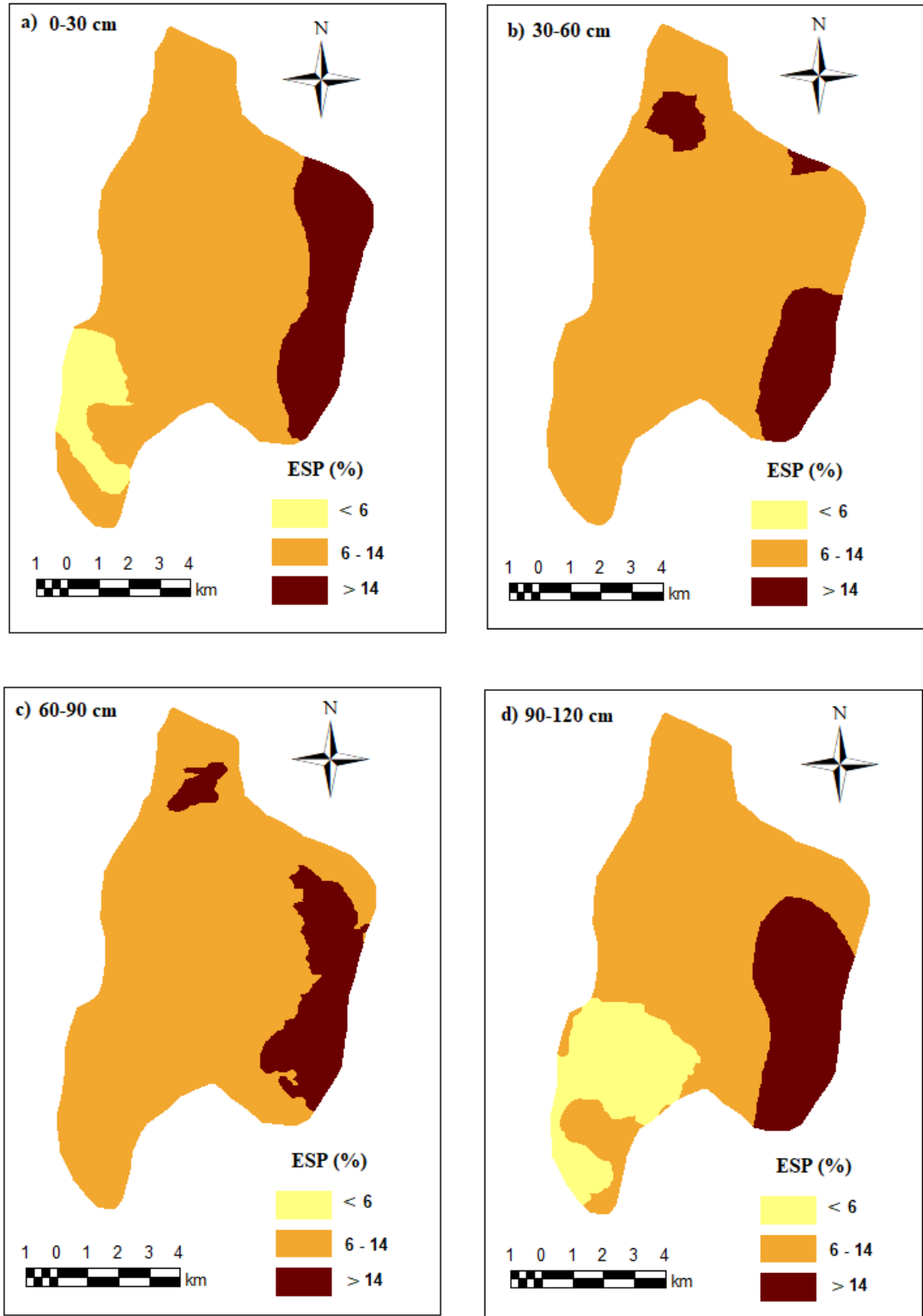
Kasyon değişim kapasitesi (KDK), toprağın sahip olduğu negatif yükün bir göstergesidir. KDK değerinin düşük olması toprağın, arazi kullanımından kaynaklanan toprak kimyasının değişimlerine düşük direnç gösterdiği anlamına gelmektedir (Hazelton ve Murphy, 2016). Aynı zamanda KDK değerinin yüksek olması toprakların verimliliklerinin bir göstergesidir. Hazelton ve Murphy (2016)'nin yaptığı sınıflandırmada KDK değerlerinin 12.0-25.0 meq/100 g olması orta, 25.0-40.0 meq/100 g aralığında olması yüksek, KDK>40.0 meq/100 g olması ise çok yüksek olarak tanımlanmıştır. Buna göre Şekil 4.29 incelenecek olursa 0-30 cm toprak katmanında orta, yüksek ve çok yüksek oranlarda KDK değerlerinin varlığı belirlenmiştir. Çalışma alanının büyük çoğunluğunda KDK değeri yüksek olarak bulunmuştur. 30-60 cm derinlikte KDK değeri çalışma alanının tamamında 25-40 meq/100 g (yüksek) aralığında değişmiştir. En alt katmanda ise KDK içeriği çalışma

alanın büyük kısmında yüksek ve geri kalan güney doğu kısımlarında çok yüksek olarak belirlenmiştir. Bu durum kil içeriği ve de 2:1 tipi killerin varlığından ileri gelmiş olabilir (Şekil 4.29).



Şekil 4.29. Nisan-2010 dönemi (a) 0-30 cm, (b) 30-60 cm, (c) 90-120 cm derinliklerindeki KDK haritaları

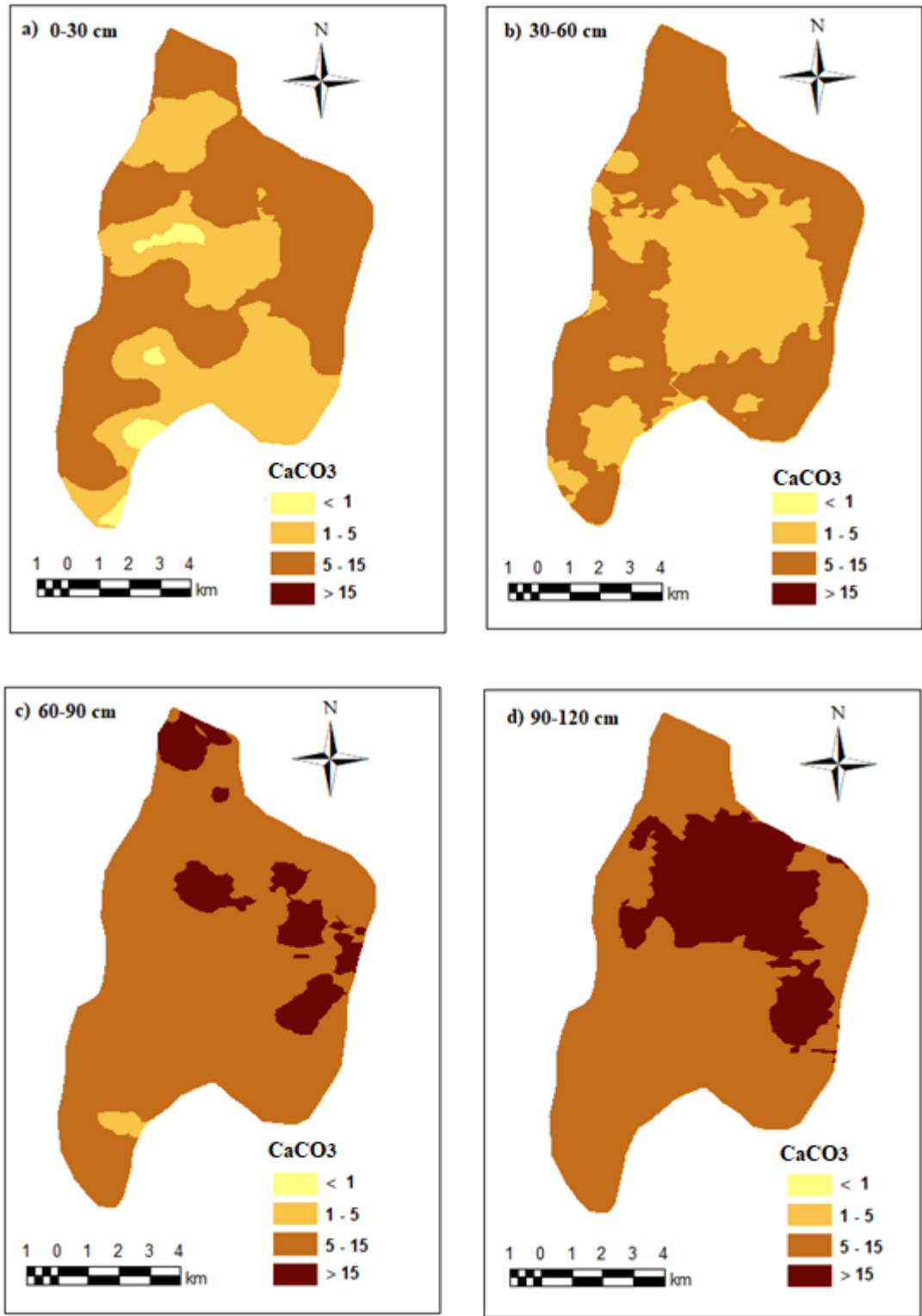
Sulama öncesi dönemde çalışma alanı topraklarında incelenen bir diğer özellik değişebilir sodyum yüzdesi (ESP)'dir. Toprakların ESP değeri arazilerde sodikleşme sorununun belirlenmesinde kullanılan bir özelliktir. Arazilerde ESP değeri arttıkça topraklarda sodiklik sorunu artmaktadır. Toprakların ESP değerinin 6.0'dan yüksek olması durumunda sodyum açısından sorun oluşturabileceği belirtilmektedir. ESP değerinin 6.0'dan düşük olması sodik olmayan toprak, 6.0 ile 14.0 arasında olması az sodik toprak ve 14.0 den büyük olması çok sodik toprak olarak sınıflandırılmaktadır (Hazelton ve Murphy, 2016). Çalışma alanı topraklarının 2010 yılı sulama öncesi dönemindeki ESP değerleri için oluşturulan tahmin haritaları Şekil 4.30'da verilmiştir. Buna göre çalışma alanının büyük bölümünde ESP değerinin 6'dan fazla olduğu görülmektedir. 0-30 cm toprak katmanı incelendiğinde çalışma alanının güney batısında bulunan yaklaşık %7.8'lik bir bölümünde ESP değeri 6'dan küçük diğer alanlarda ise 6'dan büyük bulunmuştur. Çalışma alanının doğusunda ve tüm alanın yaklaşık %17'sinde ESP değeri 14'den yüksek bulunmuştur. 30-60 cm toprak katmanında ise bir üstteki katmana göre ESP değeri 6.0'dan küçük olan alanlarda artış gözlenmiştir. 30-60 cm ve 60-90 cm toprak katmanlarında özellikle meraların bulunduğu alanların net bir şekilde belirginleştiği ve bu alanların ESP değerlerinin 14'ün üzerinde olduğu görülmektedir. En alt katmanda ise 6'dan daha küçük alanların miktarı artmakla birlikte 14'den büyük olan alanların miktarı da artmıştır. Çalışma alanının büyük bölümünde sodik ve çok sodik özellik gösteren alanların olduğu belirlenmiştir. Sodikliğin çalışma alanının doğusuna doğru artış gösterdiği ve genel olarak alt katmanlara doğru gidildikçe sodiklik sorununda artış olduğu söylenebilir (Şekil 4.30).



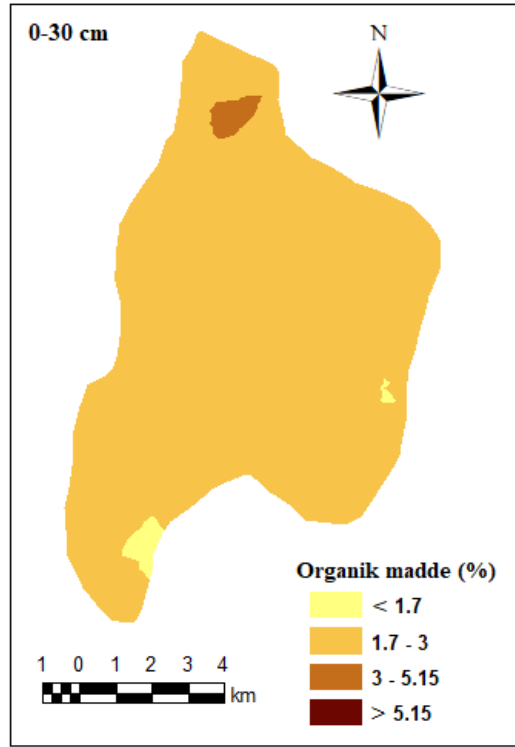
Şekil 4.30. Nisan-2010 dönemi (a) 0-30 cm, (b) 30-60 cm, (c) 60-90 cm (d) 90-120 cm derinliklerindeki ESP haritaları

Sulama öncesi dönemde çalışma alanı topraklarında araştırılan bir diğer özellik toprakların CaCO_3 içeriğidir. Sulama öncesi döneme ait farklı derinlikler için hazırlanan CaCO_3 dağılım haritaları Şekil 4.31’de verilmiştir. Şekil 4.31 incelenecek olursa 0-30 cm toprak katmanında çok az kireçli, az kireçli ve orta kireçli alanların varlığı görülmektedir. Genel olarak çalışma alanı topraklarının alt katmanlarında (60-90 cm ve 90-120 cm) kireç içeriklerinin %15’in üzerinde olduğu görülmektedir. Ayrıca kuzeyde denize yakın kısımlarda kireç içeriğinin yüksek olduğu belirlenmiştir. En alt katmanda meraları da içine alan bölgenin kireç içeriklerinin fazla olduğu dikkat çekmektedir.

Organik madde ve organik karbon genellikle ağırlıkça toprağın yüzdesi olarak ifade edilir. Belirli bir alan için değerlerin yüksek veya düşük olup olmadığı, yağış ve sıcaklık dahil olmak üzere iklime bağlıdır. Daha kuru ve daha sıcak alanlar genellikle daha soğuk alanlara göre daha düşük toprak karbon değerlerine sahip olacak, dolayısıyla daha düşük organik maddeye sahip olacaktır. Toprak organik maddesi toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerinde önemli etkilerde bulunmaktadır. Organik maddenin toprakta negatif yük kaynağı olması nedeniyle katyon değişim kapasitesi üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır (Tan and Dowling, 1984). Hazelton ve Murphy (2016)’de toprakların organik madde içerikleri, 0.7’nin altında ise aşırı düşük, 0.7-1.0 arasında ise çok düşük, 1.0-1.7 arasında ise düşük, 1.7-3.0 arasında ise orta, 3.0-5.15 arasında ise yüksek, 5.15’den daha fazla ise çok yüksek olacak şekilde sınıflandırılmıştır. Sulama öncesi dönemde çalışma alanı topraklarının organik madde içeriğinin 0-30 cm toprak katmanı için oluşturulan tahmin haritası Şekil 4.32’de verilmiştir. Çalışma alanı topraklarının organik madde içerikleri çalışma alanının büyük kısmında orta düzeyde bulunmuştur. Ayrıca çalışma alanının kuzeyinde meraların bulunduğu alanlarda belirgin şekilde yüksek bulunmuştur. Çalışma alanının güneyinde çoğunlukla çeltik yetiştirilen bir alanda ise diğer alanlara nispeten daha düşük bulunmuştur.



Şekil 4.31. Nisan-2010 dönemi (a) 0-30 cm, (b) 30-60 cm, (c) 60-90 cm (d) 90-120 cm derinliklerindeki CaCO_3 içeriğinin değişim haritaları



Şekil 4.32. Nisan-2010 dönemi 0-30 cm derinliğindeki organik madde içeriği haritası

4.3.2.2. Sulama sonrası dönemde kimyasal özelliklerin haritalanması (Eylül-2010)

Çalışma alanından 2010 yılı sulama sonrası dönemde alınan toprak örneklerinin kimyasal analiz sonuçları Çizelge 4.11’de verilmiştir.

Araştırma alanından alınan toprak örneklerinin konumsal yapılarının belirlenmesi amacıyla her bir özellik için deneysel semivariogramlar oluşturulmuştur. Semivariogramların oluşturulmasında yönler göre olası bağımlılığı (anizotropi) test etmek amacıyla, farklı dört yönde (0, 45, 90 ve 135⁰) hesaplamalar yapılmıştır. İncelenen özelliklerin tamamı izotropik bir yapı göstermiştir.

Çalışılan kimyasal özelliklerin modellenmesinde küresel, üssel ve gausiyan modeller kullanılmıştır. Modellerin elde edilmesinde modelin r^2 değeri dikkate alınmış ve en yüksek r^2 değerini veren model en uygun model olarak seçilmiştir. Buna göre elde edilen modeller ve ilgili semivariogramlar Çizelge 4.11’de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Toprakların kimyasal özelliklerine ait izotropik semivariogram bileşenleri (Eylül-2010)

Özellik	Derinlik	Model	Co	Cs (Co+C)	Ao (m)	UB	r ²	RSS	r _{CD}
EC	0-30	Gausiyan	0.060	0.121	7450	Orta	0.833	0.0004	0.35
	30-60	Gausiyan	0.067	0.135	3160	Orta	0.718	0.001	0.39
	60-90	Gausiyan	0.109	0.241	4230	Orta	0.785	0.005	0.41
	90-120	Gausiyan	0.105	0.307	4290	Orta	0.792	0.012	0.67
pH	0-30	Üssel	0.025	0.158	900	Kuvvetli	0.871	0.0003	0.09
	30-60	Gausiyan	0.157	1.232	17450	Kuvvetli	0.840	0.013	0.57
	60-90	Küresel	0.114	0.313	9900	Orta	0.963	0.001	0.50
	90-120	Küresel	0.003	0.007	6660	Orta	0.869	0.000	0.47
CaCO ₃	0-30	Üssel	0.484	0.969	16470	Orta	0.600	0.021	0.26
	30-60	Üssel	0.001	0.861	1560	Kuvvetli	0.910	0.026	0.24
	60-90	Gausiyan	0.001	0.518	1110	Kuvvetli	0.656	0.081	0.44
	90-120	Küresel	0.018	0.319	1970	Kuvvetli	0.776	0.004	0.47
KDK	0-30	Küresel	8.400	205.100	2100	Kuvvetli	0.768	1987	0.34
	30-60	Üssel	0.823	1.763	18130	Orta	0.930	0.008	0.38
	60-90	Üssel	0.421	0.847	2030	Orta	0.772	0.023	0.26
	90-120	Üssel	0.625	1.702	21360	Orta	0.716	0.044	0.23
ESP	0-30	Küresel	0.034	0.175	6360	Kuvvetli	0.841	0.002	0.46
	30-60	Üssel	0.146	0.337	3460	Orta	0.923	0.010	0.56
	60-90	Küresel	0.039	0.424	3970	Kuvvetli	0.957	0.004	0.42
	90-120	Üssel	0.083	0.417	1750	Kuvvetli	0.875	0.005	0.40
OM	0-30	Üssel	0.039	0.078	7630	Orta	0.553	0.0001	0.16

Co: nugget varyans, Cs: Sill, Ao: Etki mesafesi (range), UB: Uzaysal bağımlılık, r²: semivaryogram modellemesinde belirleme katsayısı, RSS: Hata kareler toplamı, r_{CD}: Çapraz değerlendirme korelasyon katsayısı, EC: Elektriksel iletkenlik (dS m⁻¹), KDK: Katyon değişim kapasitesi (meq 100g⁻¹), ESP: Değişebilir sodyum yüzdesi, OM: Organik madde (%)

Sulama sonrası dönemde araştırma alanına ait toprakların elektriksel iletkenlik (EC) değeri tüm derinliklerde gausiyan model ile tanımlanmıştır (Çizelge 4.11). pH 0-30 cm'de üssel, 30-60 cm katmanında gausiyan ve diğer iki katmanda küresel model ile tanımlanmıştır. Toprakların CaCO₃ içerikleri 0-30 cm ve 30-60 cm toprak katmanlarında üssel, 60-90 cm derinliğinde gausiyan ve 90-120 cm derinliğinde ise küresel model olarak belirlenirken, katyon değişim kapasitesi (KDK) değerleri 0-30 cm katmanında küresel, diğer toprak katmanlarında ise üssel model bulunmuştur. Değişebilir sodyum yüzdesi (ESP) değerleri 0-30 cm ve 60-90 cm derinliklerinde küresel, 30-60 cm ve 90-120 cm derinliklerinde ise üssel model ve yüzey toprağın organik madde içeriği ise sulama öncesi dönemde olduğu gibi üssel model ile tanımlanmıştır (Çizelge 4.11).

Bu dönemde çalışma alanı topraklarının farklı katmanlarındaki EC değerlerine ait uzaysal analiz sonuçları Çizelge 4.11’de verilmiştir. Toprakların EC değerleri tüm katmanlarda orta derecede uzaysal bağımlılık göstermişlerdir. Toprakların özelliklerinin uzaysal bağımlılık gösterdikleri maksimum uzaklık değerlerinde farklılıklar olmuştur. Söz konusu özelliğin ölçülen iki noktada birbirleri ile ilişkili olabileceği maksimum mesafeyi gösteren etki mesafesi değeri 0-30 cm toprak katmanında 7450 m, 30-60 cm toprak katmanında 3160 m, 60-90 cm toprak katmanında 4230 m ve 90-120 cm toprak katmanında ise 4290 m olarak bulunmuştur (Şekil 4.33).

Toprakların pH değerleri 0-30 cm ve 30-60 cm toprak katmanlarında kuvvetli uzaysal bağımlı olmuş, diğer katmanlarda orta derecede uzaysal bağımlılık göstermişlerdir. Söz konusu özelliğin uzaysal bağımlılık mesafesi 0-30 cm toprak derinliğinde 900 m, 30-60 cm toprak derinliğinde ise 17450 m olarak belirlenmiştir. 60-90 cm ve 90-120 cm toprak katmanlarında ise sırası ile 9900 m ve 6660 m olarak bulunmuştur (Şekil 4.34).

Tüm özellikler genel olarak düşük kontrolsüz etki varyansı değeri göstermiş ve en düşük organik madde, CaCO_3 ve ESP değerlerinde bulunmuştur. En yüksek nugget değeri ise KDK’nın 0-30 cm derinliğinde gözlenmiştir (Çizelge 4.11). CaCO_3 içeriğinin uzaysal bağımlılık mesafesi 0-30 cm derinlikte 16470 m, 30-60 cm derinlikte 1560 m, 60-90 cm derinlikte 1110 m ve 90-120 cm derinlikte ise 1970 m olarak bulunmuştur. Toprakların CaCO_3 içerikleri 0-30 cm derinliğinde orta derecede uzaysal bağımlı ve diğer derinliklerde kuvvetli uzaysal bağımlılık göstermişlerdir (Şekil 4.35).

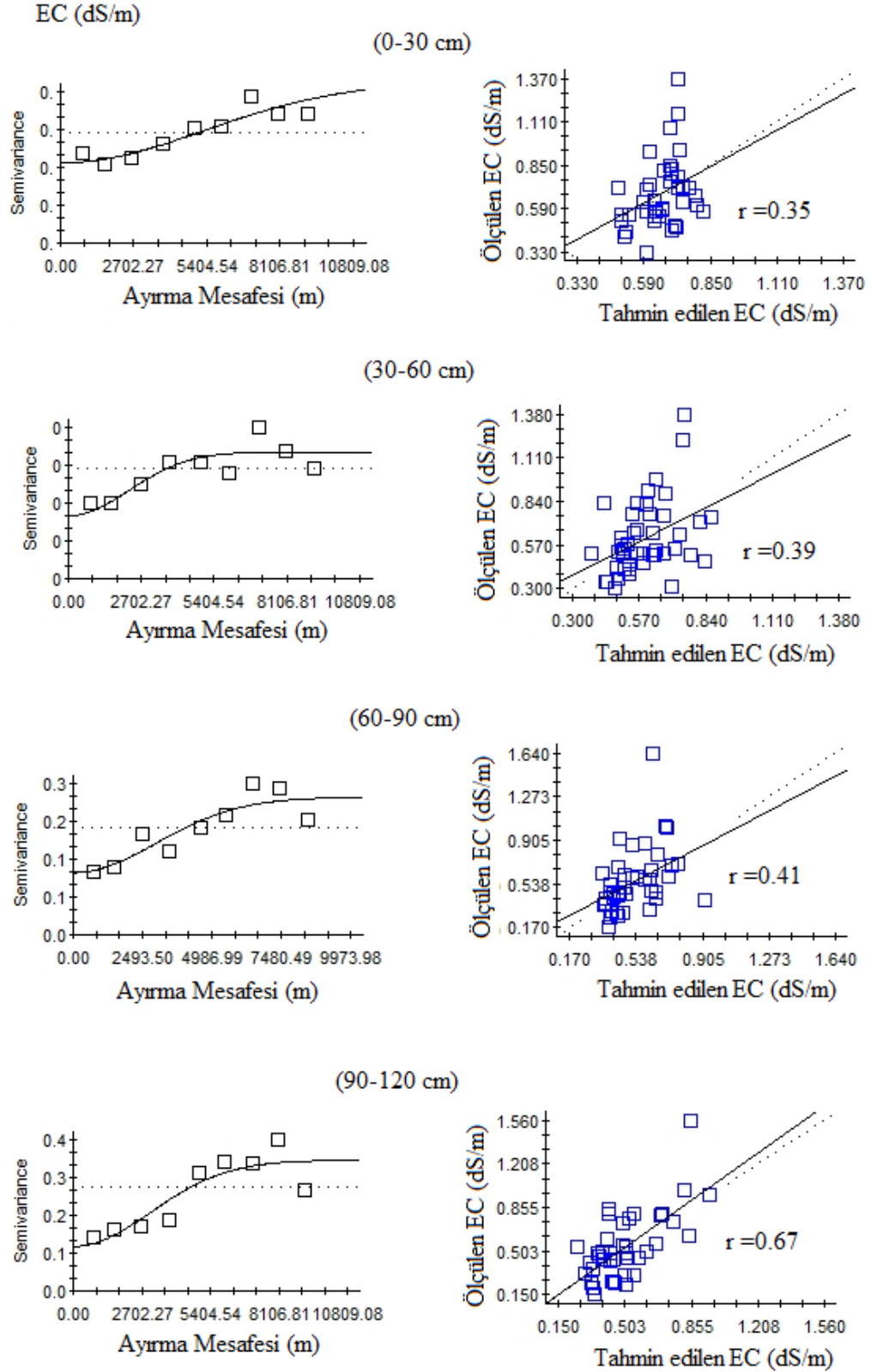
Nugget semivaryansının toplam semivaryansa oranının yüzdesi dikkate alındığında toprakların KDK değerleri 0-30 cm toprak katmanında kuvvetli uzaysal bağımlı olmuş, diğer derinliklerde orta derecede uzaysal bağımlılık göstermişlerdir. 0-30 cm toprak katmanında nugget değeri diğer katmanlardan daha yüksek bulunmuştur. Söz konusu özelliğin uzaysal bağımlılık mesafesi 0-30 cm toprak katmanında 2100 m, 30-60 cm toprak katmanında 18130 m, 60-90 cm toprak katmanında 2030 ve 90-120 cm toprak katmanında ise 21360 m olarak bulunmuştur (Şekil 4.36).

Değişebilir sodyum yüzdesinin nugget varyansı düşük bulunmuştur. Toprakların ESP değerleri 30-60 cm toprak katmanında orta derecede uzaysal bağımlı, diğer

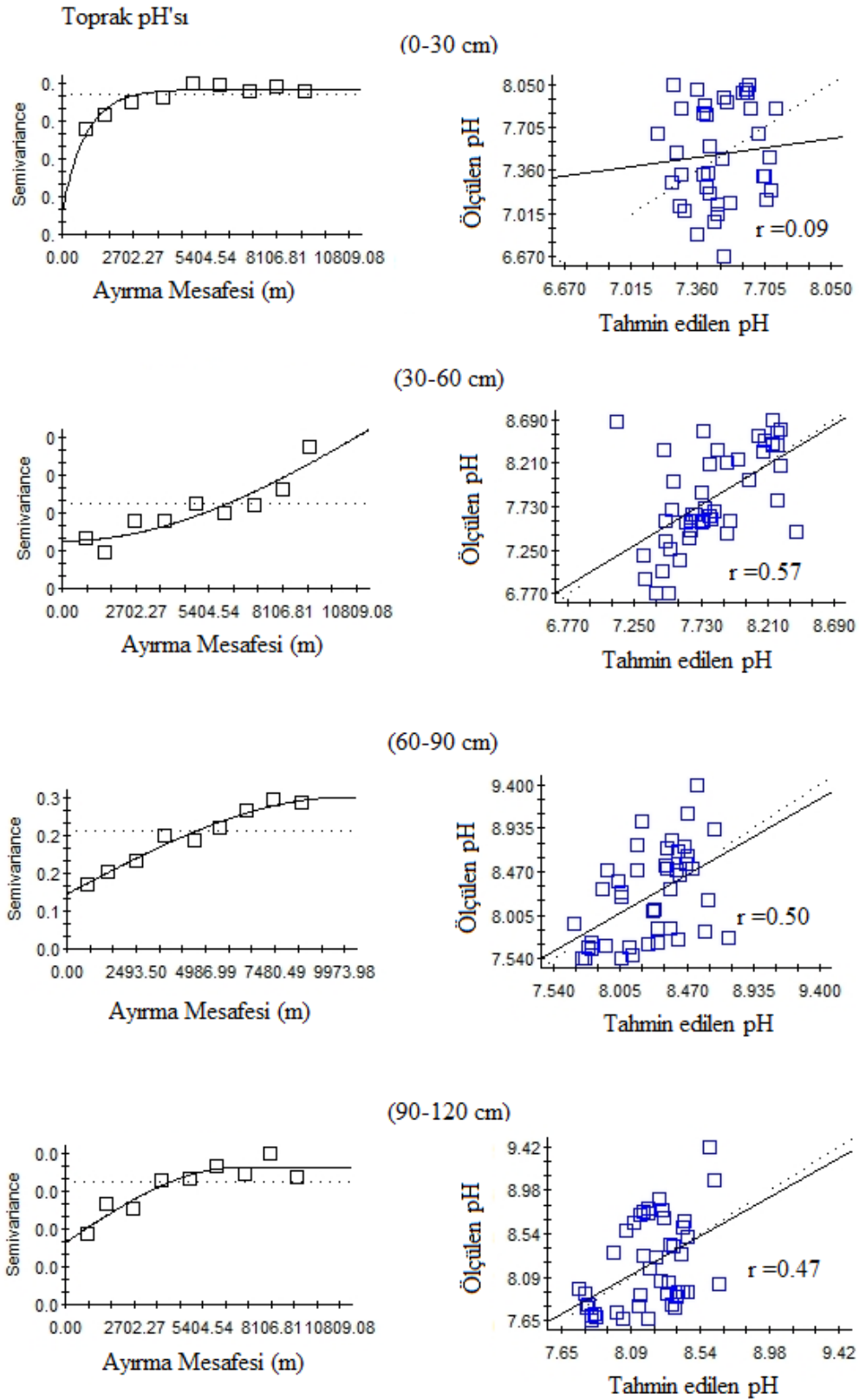
katmanlarda ise kuvvetli uzaysal bağımlılık göstermişlerdir. Söz konusu özelliğin uzaysal bağımlılık mesafesi üst toprak katmanından en alt toprak katmanına doğru sırasıyla 6360 m, 3460 m, 3970 m ve 1750 m olarak bulunmuştur (Şekil 4.37). Bu mesafeler arasında değişkenler birbirleriyle bağımlı, bundan daha uzak mesafelerde ise değişim tesadüfi olarak meydana gelecektir.

Sulama sonrası dönemde, 0-30 cm derinlikteki toprakların organik madde içeriği orta derecede uzaysal bağımlı olup, birbirleri arasında 7630 m'den daha az mesafe bulunan değerler birbirleri ile uzaysal olarak ilişkilidir (Şekil 4.38).

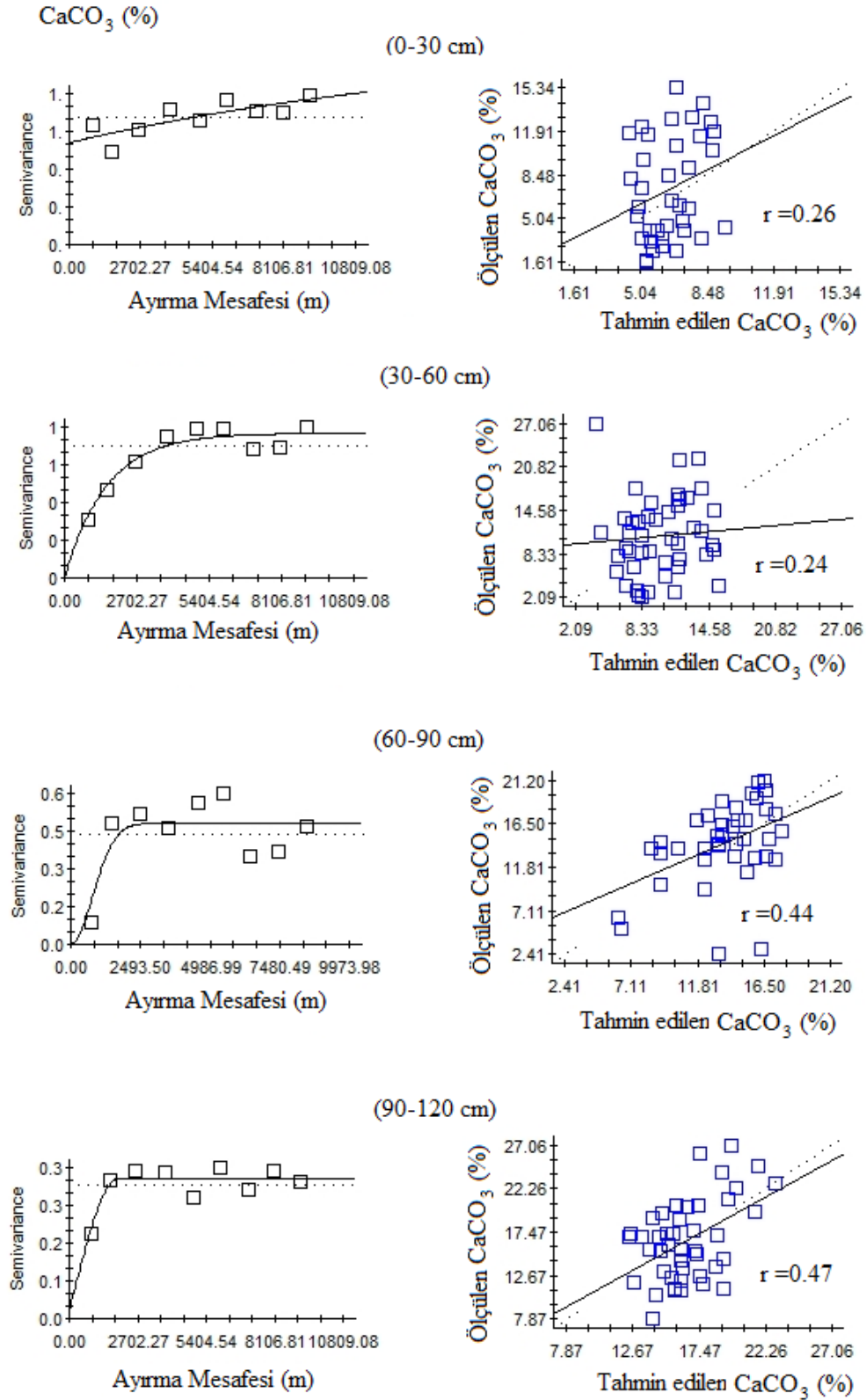




Şekil 4.33. EC için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafikleri (Eylül-2010)

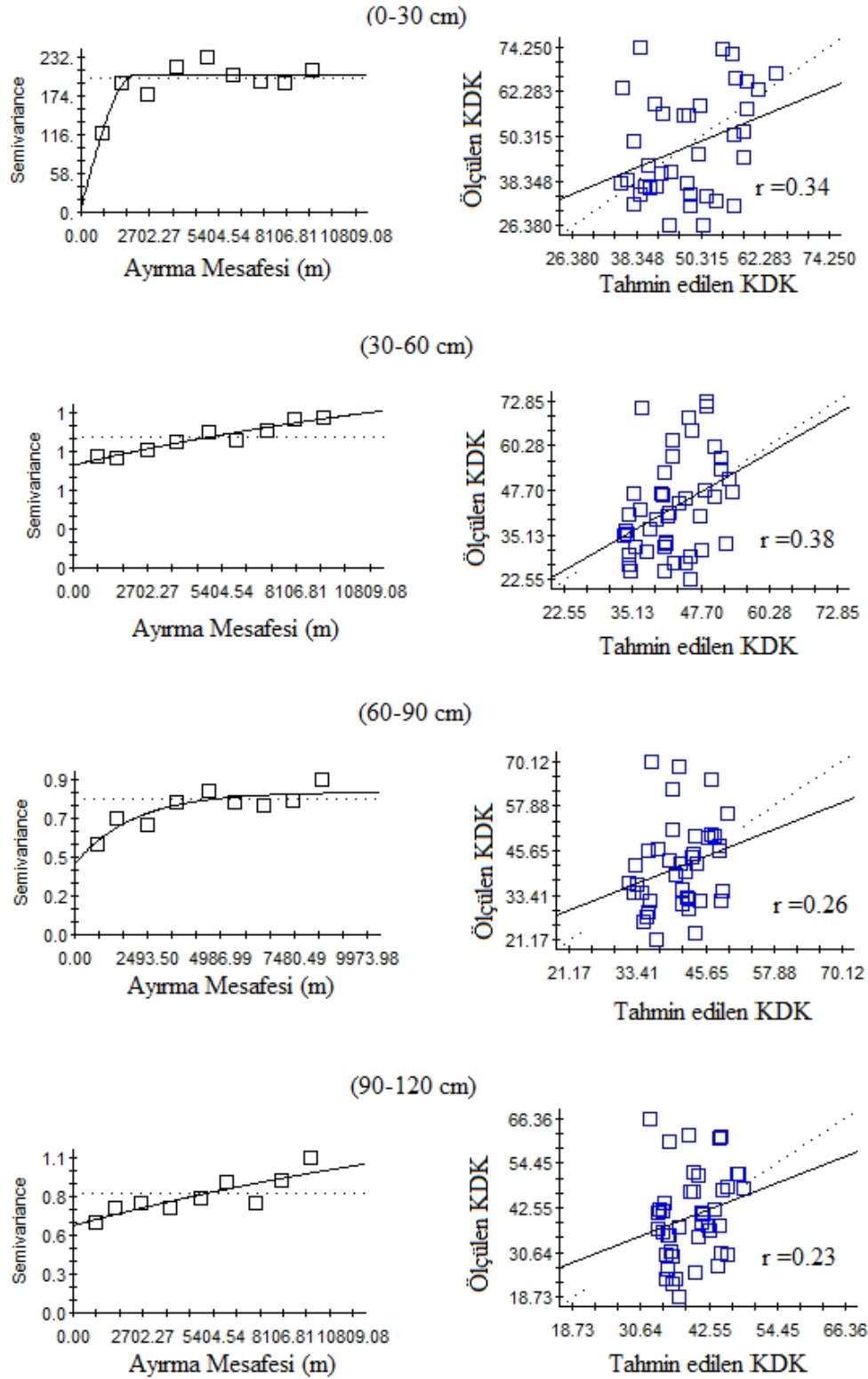


Şekil 4.34. pH için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafikleri (Eylül-2010)

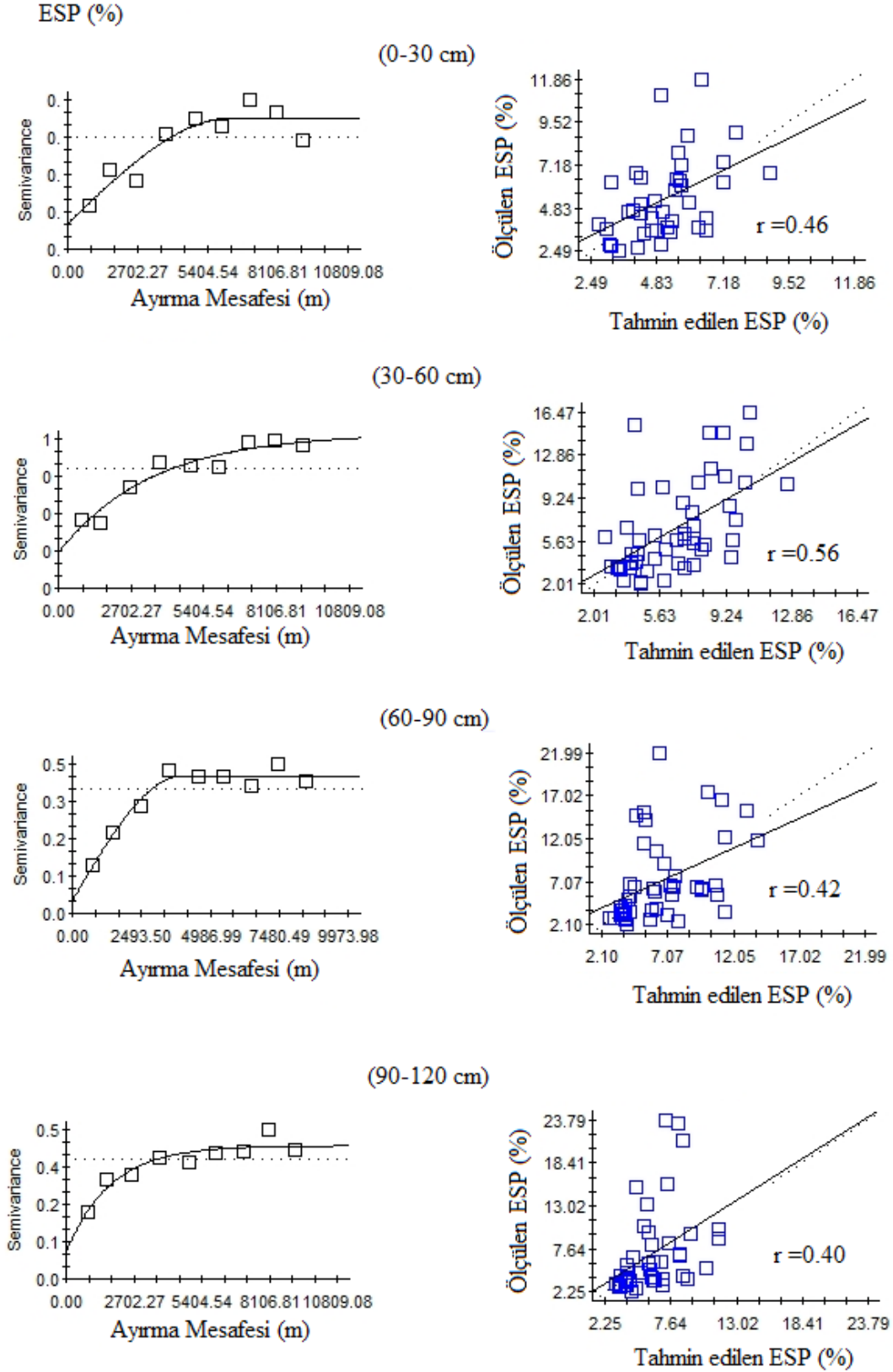


Şekil 4.35. CaCO₃ için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafikleri (Eylül-2010)

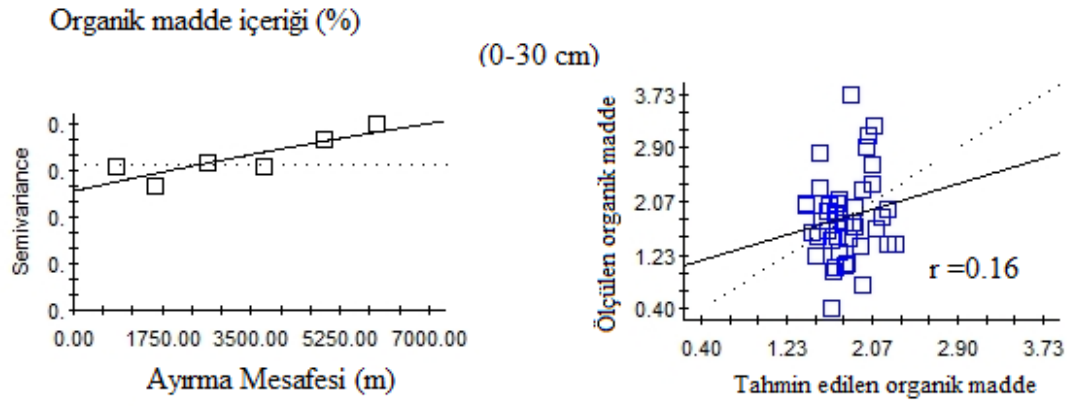
KDK (meq/100 g)



Şekil 4.36. KDK için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafikleri (Eylül-2010)



Şekil 4.37. ESP için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafikleri (Eylül-2010)



Şekil 4.38. Organik madde için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafiği (Eylül-2010)

EC, pH, CaCO_3 ve ESP haricindeki tüm toprak özelliklerine ait çapraz değerlendirmede elde edilen r değeri düşük bulunmuştur. Bu dört özellik haricindeki toprak özellikleri için oluşturulan modellerin yeterince güvenilir tahmin yapmadıkları söylenebilir (Çizelge 4.12). Nugget etkisinin genelde yüksek olması buradaki başarısızlığın en temel nedenidir. Çalışma alanının çok geniş olması, toprakların değişken olması ve örnek sayısının düşük olması nedeniyle nugget etki yüksek bulunmuş ve bu da tahminin zayıf kalmasına neden olmuştur. Çapraz değerlendirme sonucu elde edilen tahmin değerleriyle ölçülen değerlere ait tanımlayıcı istatistik sonuçları Çizelge 4.12’de verilmiştir.

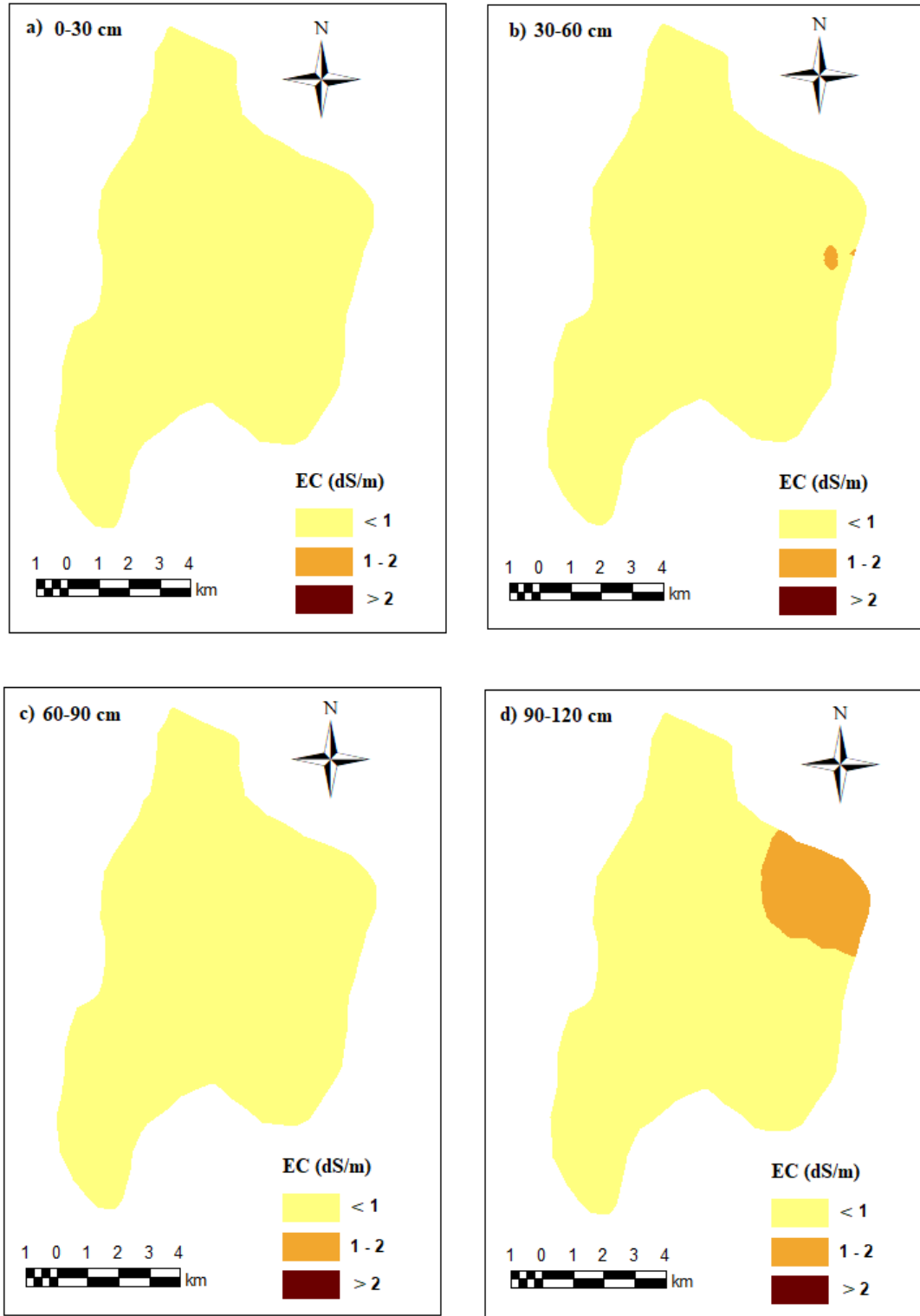
Kriging işlemi sonunda gerçek değerlerle karşılaştırıldığında tahmin değerlerinin standart sapması küçülmüştür. Çizelge 4.12’ de görüldüğü gibi 2010 yılı sulama sonrası dönemde toprakların kimyasal özelliklerinin analizle bulunan değerleriyle kriging ile tahmin edilen değerleri karşılaştırıldığında minimum ve maksimum değerlerinin birbirlerinden farklı olduğu görülmektedir. Ancak özelliklerin ortalama değerleri birbirlerine benzemektedir. Semivariogramlar modellendikten sonra deneme alanında analizi yapılan toprak özelliklerinin değişimlerini gösteren tahmin haritalarının oluşturulmasında maksimum 20 komşu nokta kullanılarak ordinary kriging yöntemi kullanılmıştır. Her bir toprak özelliğinin alansal dağılımı için elde edilen haritalar sırası ile Şekil 4.39, Şekil 4.40, Şekil 4.41, Şekil 4.42, Şekil 4.43 ve Şekil 4.44’de verilmiştir.

Çizelge 4.12. Toprakların kimyasal özelliklerinin ölçülen ve tahmin edilen değerlerine ait tanımlayıcı istatistik sonuçları (Eylül-2010)

Derinlik (cm)		0-30		30-60		60-90		90-120	
Özellik	Tanımlayıcı istatistik	Ö	ÇD	Ö	ÇD	Ö	ÇD	Ö	ÇD
EC (dS/m)	AO	0.69	0.68	0.61	0.60	0.57	0.56	0.57	0.56
	Min.	0.20	0.42	0.18	0.34	0.17	0.34	0.17	0.34
	Max.	1.92	1.02	1.38	0.95	1.64	0.96	1.64	0.96
	S.S	0.29	0.15	0.26	0.15	0.26	0.14	0.26	0.14
ESP (%)	AO	5.94	5.77	6.78	6.42	7.74	7.51	8.47	8.26
	Min.	2.49	3.02	2.01	2.63	2.10	3.12	2.25	3.57
	Max.	25.11	9.50	16.47	10.76	33.29	20.67	42.05	18.29
	S.S	3.80	1.61	3.82	2.20	6.14	3.94	7.89	3.49
KDK (meq/100 g)	AO	48.44	48.61	43.98	43.40	41.46	40.56	41.46	40.57
	Min.	26.38	29.93	22.55	31.02	21.17	29.10	18.73	32.30
	Max.	78.15	68.38	74.75	58.41	81.24	56.92	77.34	52.36
	S.S	15.18	9.87	14.52	7.79	14.16	7.66	13.20	5.59
CaCO ₃ (%)	AO	7.50	6.75	10.29	9.60	14.06	13.74	16.52	16.46
	Min.	1.20	3.92	2.09	4.25	2.41	6.41	6.10	12.06
	Max.	22.40	10.82	27.06	14.03	21.20	16.89	30.19	26.84
	S.S	4.75	1.76	5.70	2.35	4.80	2.33	5.11	2.97
pH	AO	7.48	7.48	7.82	7.80	8.15	8.15	8.21	8.21
	Min.	6.64	7.15	6.77	7.01	6.75	7.53	7.35	7.75
	Max.	8.14	7.85	8.69	8.37	9.40	8.77	9.42	8.82
	S.S	0.44	0.17	0.53	0.31	0.55	0.32	0.49	0.26
OM (%)	AO	1.82	1.70						
	Min.	0.40	1.07						
	Max.	3.73	2.33						
	S.S	0.68	0.30						

Min: Minimum değer, Max: Maksimum değer, AO: Aritmetik ortalama, S.S: Standart sapma, Ö: Ölçülen, ÇD: Çapraz değerlendirme, EC: Elektriksel iletkenlik, ESP: Değişebilir sodyum yüzdesi, KDK: Katyon değişim kapasitesi, OM: Organik madde (%)

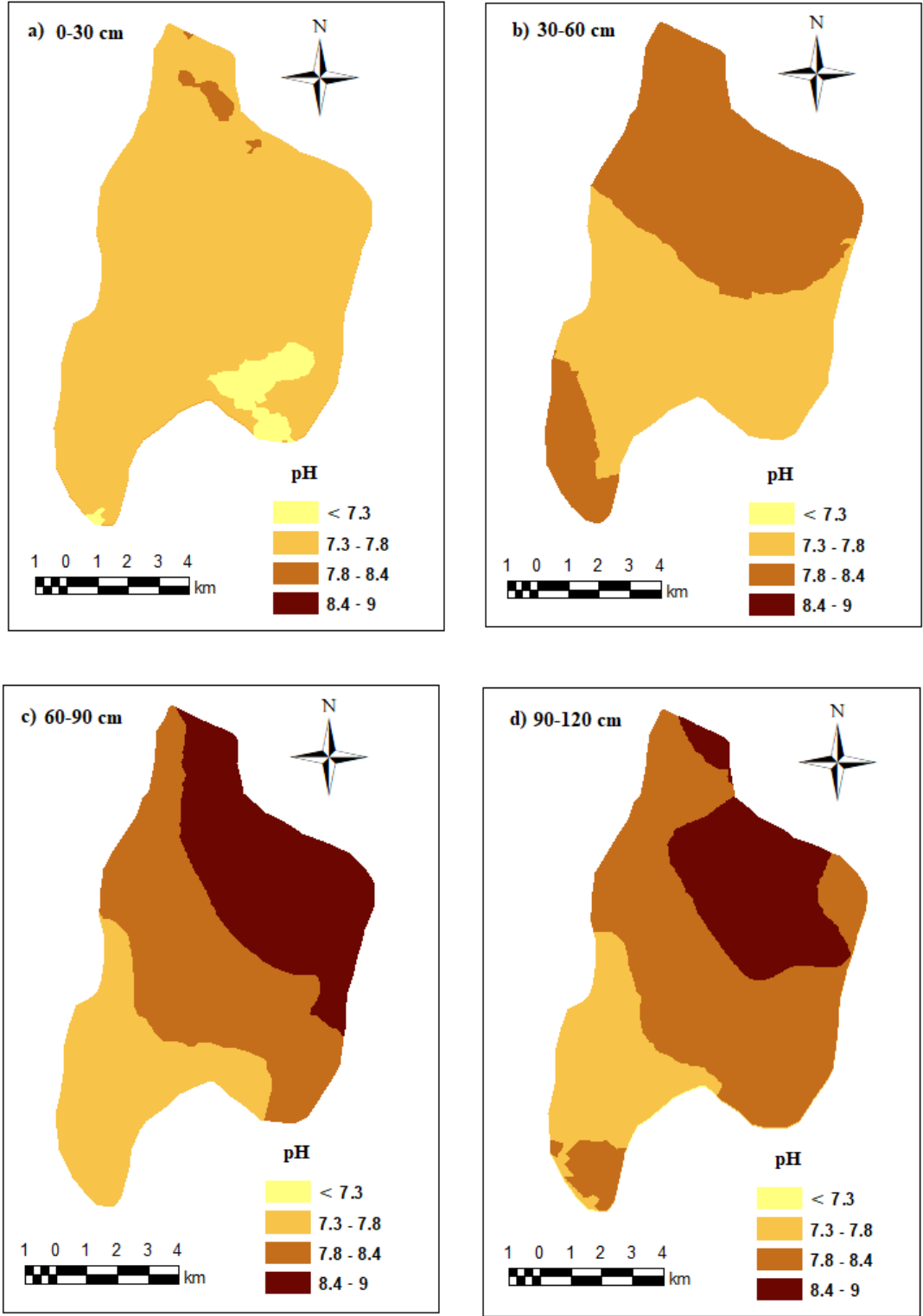
Çalışma alanı topraklarının 2010 yılı sulama sonrası dönemindeki elektriksel iletkenlik değerleri için oluşturulan tahmin haritaları Şekil 4.39'da verilmiştir. Richards, (1954)'de yaptığı sınıflandırmada EC'nin 2.0 dS/m'den düşük olması durumunda tuzluluk sorunu olmadığını bildirmiştir. Bu değerlendirmeye göre 2010 yılı sulama öncesi döneme benzer şekilde sulama sonrası dönemde de çalışma alanı topraklarının tamamında EC değeri 2.0 dS/m'nin altında olmuş ve tuzsuz olarak sınıflandırılmıştır. Çalışma alanında Kızılırmak nehrine yakın kısımlarda EC değerleri düşük, güney doğu bölgesine doğru gidildikçe ise EC değerleri artış göstermiştir. Derinlik arttıkça çok fazla olmamakla birlikte tuzluluğun azaldığı belirlenmiştir. Bütün katmanlar birlikte değerlendirildiğinde çalışma alanı topraklarında bu dönemde tuzluluk problemi olmadığı görülmektedir.



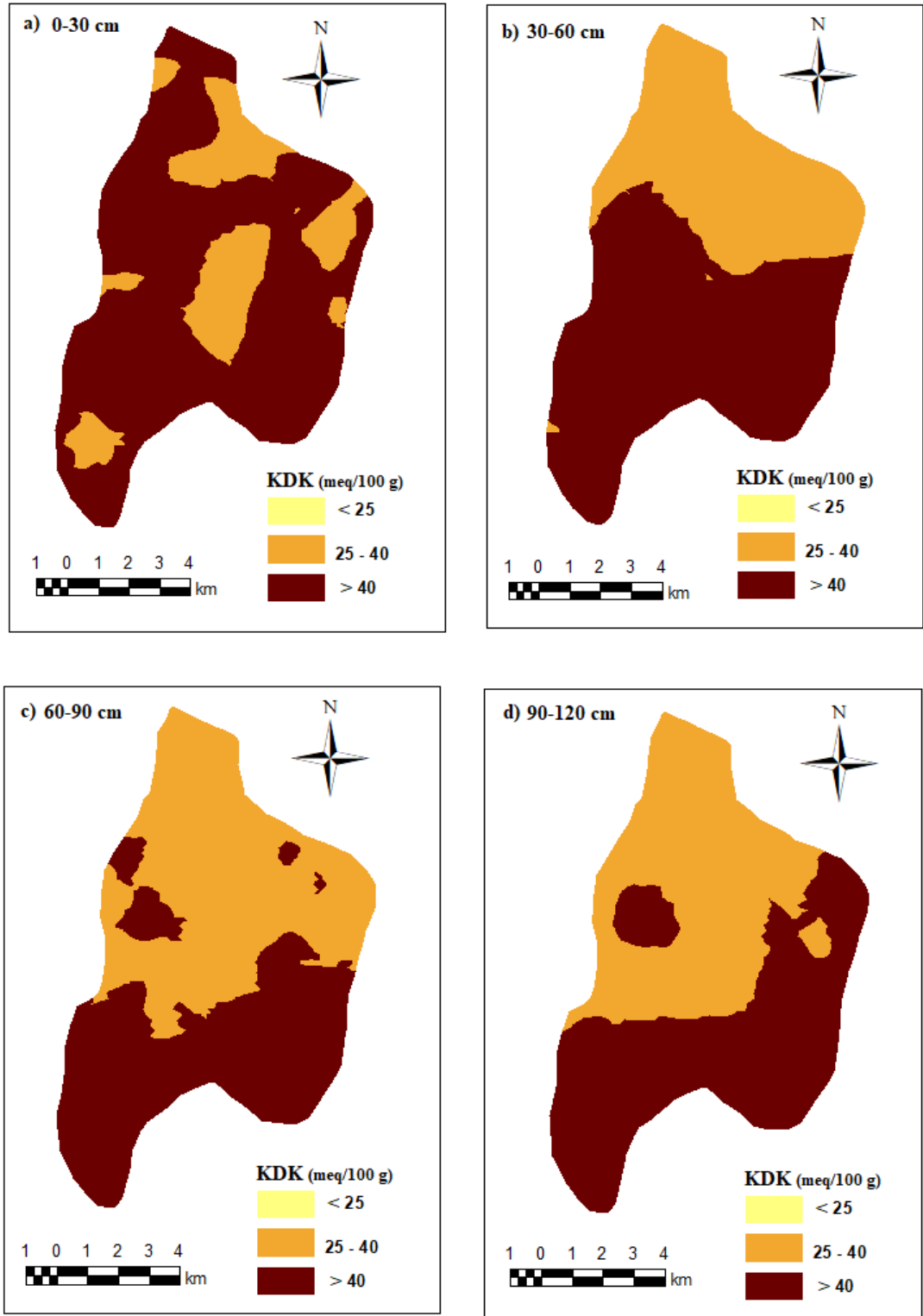
Şekil 4.39. Eylül-2010 dönemi (a) 0-30 cm, (b) 30-60 cm, (c) 60-90 cm (d) 90-120 cm derinliklerindeki EC haritaları

Çalışma alanı topraklarının 2010 yılı sulama sonrası dönemindeki toprak pH'sı için oluşturulan tahmin haritaları Şekil 4.40'da verilmiştir. Çalışma alanındaki toprakların pH değeri 7.0'den büyük olmuş, yani alkali özellik göstermiştir. Şekil 4.40 incelendiğinde 0-30 cm toprak katmanında pH değerlerinin büyük kısmının hafif alkali özellik gösterdiği (7.3-7.8), Kuzeyde denize yakın bir alanda orta alkali özellik gösterdiği ve çalışma alanının güneyinde küçük bir bölgede çok hafif alkali özellik taşıyan toprakların var olduğu görülmektedir. Genel olarak derinlik arttıkça toprakların pH değerleri de artmıştır. 0-30 cm ve 30-60 cm derinliklerinde 8.4'ün üzerinde değer bulunmazken çalışma alanının yaklaşık %32'sinde pH değeri 8.4-9.0 arasında değişmiş ve şiddetli alkali özellik göstermiştir. Benzer şekilde 90-120 cm toprak katmanında tüm alanın yaklaşık %24'ünde bir üst katmana benzer bölgede şiddetli alkali özellikte topraklar bulunmuştur.

Çalışma alanı topraklarının 2010 yılı sulama sonrası dönemindeki KDK değerleri için oluşturulan alansal dağılım haritaları Şekil 4.41'de verilmiştir. Hazelton ve Murphy (2016)'nın KDK için yaptığı sınıflandırmaya göre Şekil 4.41 incelenecek olursa 4 farklı derinlikte ve tüm alanda yüksek ve çok yüksek KDK değerlerinin varlığı belirlenmiştir. 0-30 cm toprak katmanında orta, yüksek ve çok yüksek oranlarda KDK değerlerinin varlığı belirlenmiştir. Çalışma alanının büyük çoğunluğunda KDK değeri yüksek olarak bulunmuştur. 30-60 cm derinlikte KDK değeri çalışma alanının tamamında 25-40 meq/100 g (yüksek) aralığında değişmiştir. Yüzey toprağında hemen hemen tüm alanda olmakla beraber denize ve Kızılırmak nehrine yakın alanlarda çok yüksek bulunmuştur. Alt katmanlarda ise KDK değerleri denizden uzaklaştıkça artmış, derinlik arttıkça azalmıştır.



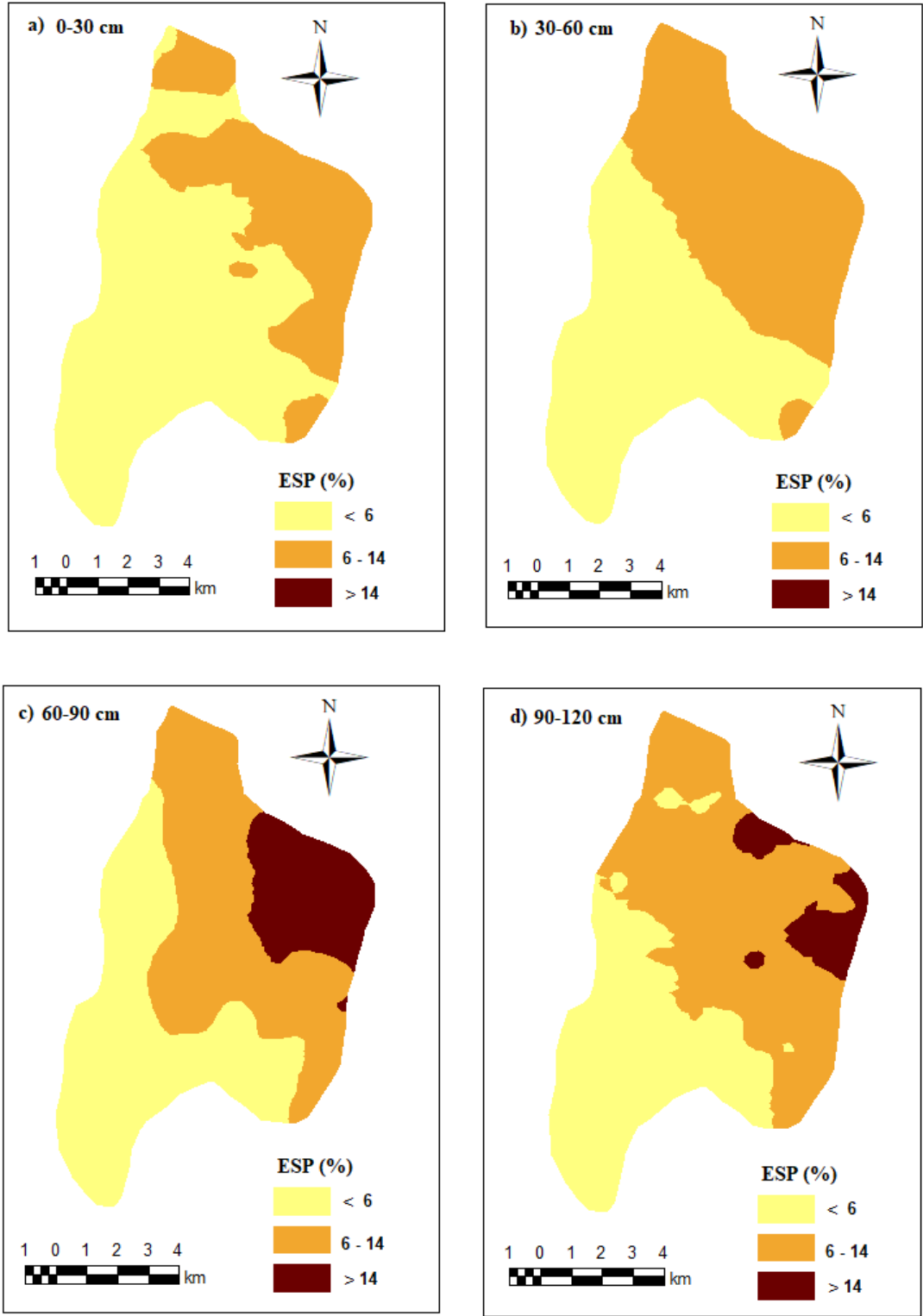
Şekil 4.40. Eylül-2010 dönemi (a) 0-30 cm, (b) 30-60 cm, (c) 60-90 cm (d) 90-120 cm derinliklerindeki pH haritaları



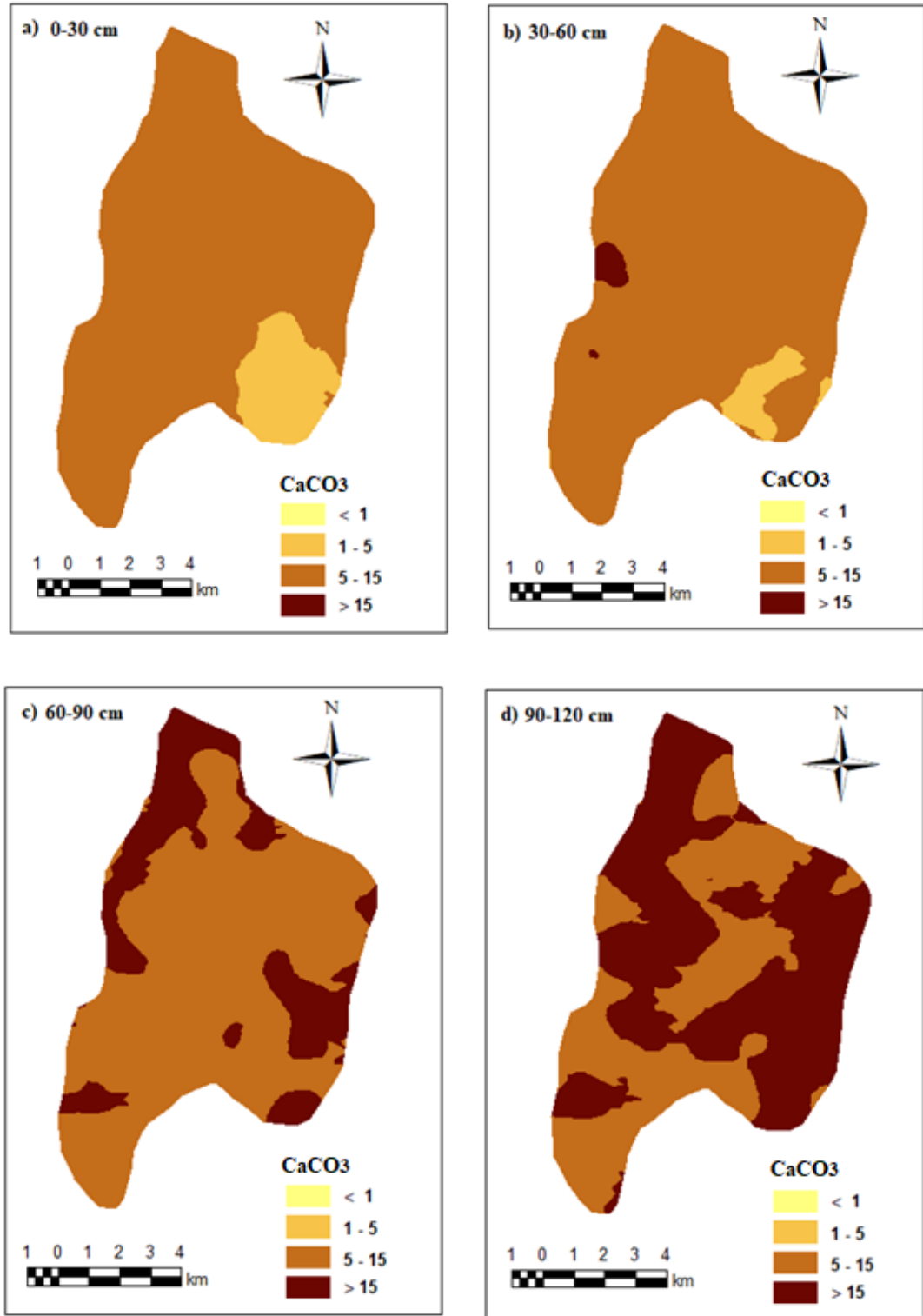
Şekil 4.41. Eylül-2010 dönemi (a) 0-30 cm, (b) 30-60 cm, (c) 60-90 cm (d) 90-120 cm derinliklerindeki KDK haritaları

Toprak alkaliliğinin bir göstergesi olan ESP değerlerinin sulama sonrası dönemindeki alansal dağılım haritaları Şekil 4.42’de verilmiştir. 0-30 cm toprak katmanında çalışma alanının büyük kısmında ESP değerlerinin 6’dan küçük olduğu, denize yakın alanlarda ve çalışma alanının doğusunda 6’dan büyük olduğu görülmektedir. 30-60 cm toprak katmanında ise çalışma alanının hemen hemen yarısında 6’dan küçük, diğer yarısında ise 6’dan büyük olmuştur. 60-90 cm ve 90-120 cm derinlikte ESP değerlerinin 14’den büyük (sodik) olduğu alanlar belirlenmiş ve bunlar çalışma alanının doğusunda yer almıştır. Alt katmanlarına doğru gidildikçe ESP değerinin arttığı ve alanın büyük bölümünde az sodiklik sorununun olduğu tespit edilmiştir. Sulama öncesi döneme benzer şekilde sodikliğin çalışma alanının doğusuna doğru artış gösterdiği ve genel olarak alt katmanlara doğru gidildikçe sodiklik sorununda artış olduğu söylenebilir.

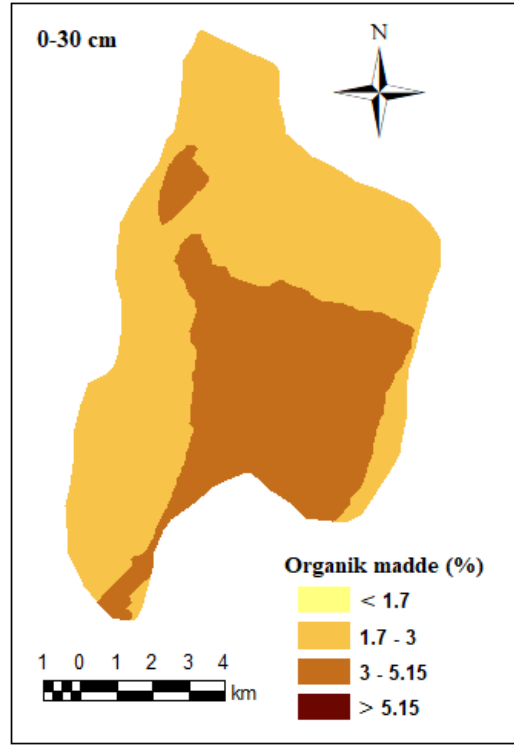
Sulama sonrası dönemde çalışma alanı topraklarında araştırılan CaCO_3 içeriğinin alansal dağılım haritaları Şeki 4.43’de verilmiştir. CaCO_3 , toprak oluşum ve tuzluluk göstergelerini etkileyen önemli bir özelliktir. Buna göre Şekil 4.43 incelenecek olursa 0-30 cm toprak katmanında az kireçli, orta kireçli ve fazla kireçli alanların varlığı görülmektedir. Genel olarak çalışma alanı toprakları orta derecede kireçli bulunmuştur. 60-90 cm derinlikte CaCO_3 içeriği denize ve Kızılırmak nehrine yakın bölgelerde ve çalışma alanının doğusunda %15’in üzerinde bulunmuştur.



Şekil 4.42. Eylül-2010 dönemi (a) 0-30 cm, (b) 30-60 cm, (c) 60-90 cm (d) 90-120 cm derinliklerindeki ESP haritaları



Şekil 4.43. Eylül-2010 dönemi (a) 0-30 cm, (b) 30-60 cm, (c) 60-90 cm (d) 90-120 cm derinliklerindeki CaCO_3 haritaları



Şekil 4.44. Eylül-2010 dönemi 0-30 cm derinliğindeki organik madde içeriği haritası

Sulama sonrası dönemde çalışma alanı topraklarının organik madde içeriğinin 0-30 cm toprak katmanı için oluşturulan tahmin haritası Şekil 4.44’de verilmiştir. Çalışma alanı topraklarının organik madde içerikleri çalışma alanının yaklaşık %62’sinde düşük, %38’inde orta düzeyde bulunmuştur. Çalışma alanının orta ve güneyinde orta düzeyde, diğer bölgelerinde ise düşük düzeyde bulunmuştur.

4.3.2.3 Sulama öncesi dönemde kimyasal özelliklerin haritalanması (Nisan-2016)

Çalışma alanından 2016 yılı sulama öncesi dönemde alınan toprak örneklerinin kimyasal analiz sonuçları Çizelge 4.13’de verilmiştir.

Araştırma alanından alınan toprak örneklerinin konumsal yapılarının belirlenmesi amacıyla her bir özellik için deneysel semivariogramlar oluşturulmuştur. Semivariogramların oluşturulmasında yönler göre olası bağımlılığı (anizotropi) test etmek amacıyla, farklı dört yönde (0, 45, 90 ve 135⁰) hesaplamalar yapılmıştır. İncelenen özelliklerin tamamı izotropik bir yapı göstermiştir.

Çalışılan kimyasal özelliklerin modellenmesinde küresel, üssel ve gausiyan modeller kullanılmıştır. Modellerin elde edilmesinde modelin r^2 değeri dikkate alınmış ve en yüksek r^2 değerini veren model en uygun model olarak seçilmiştir. Buna göre elde edilen modeller ve ilgili semivariogramlar Çizelge 4.13’de verilmektedir.

Çizelge 4.13. Toprakların kimyasal özelliklerine ait izotropik semivariogram bileşenleri (Nisan-2016)

Özellik	Derinlik	Model	Co	Cs (Co+C)	Ao (m)	UB	r^2	RSS	r_{CD}
EC	0-30	Gausiyan	0.11	0.22	5280	Orta	0.92	0.001	0.32
	30-60	Küresel	0.09	0.25	8800	Orta	0.79	0.006	0.53
	60-90	Gausiyan	0.16	0.34	6870	Orta	0.96	0.002	0.48
	90-120	Küresel	0.14	0.39	16060	Orta	0.96	0.002	0.48
pH	0-30	Üssel	0.08	0.19	20920	Orta	0.73	0.001	0.13
	30-60	Üssel	0.07	0.15	7670	Orta	0.92	0.000	0.23
	60-90	Üssel	0.003	0.01	18670	Kuvvetli	0.96	0.000	0.45
	90-120	Üssel	0.08	0.61	31100	Kuvvetli	0.93	0.002	0.46
CaCO ₃	0-30	Küresel	4.73	17.22	4450	Orta	0.90	8.74	0.70
	30-60	Küresel	6.13	20.11	2850	Orta	0.79	15.10	0.55
	60-90	Saf Nugget							
	90-120	Küresel	1.90	38.93	1570	Kuvvetli	0.65	48.40	0.41
KDK	0-30	Küresel	36.70	124.4	28000	Orta	0.88	357.0	0.38
	30-60	Üssel	31.30	133.6	18480	Kuvvetli	0.87	308.0	0.45
	60-90	Üssel	39.70	140.4	18820	Orta	0.93	141.0	0.38
	90-120	Üssel	53.50	209.0	31100	Orta	0.80	540.0	0.30
ESP	0-30	Gausiyan	0.19	0.38	4550	Orta	0.91	0.004	0.31
	30-60	Gausiyan	0.16	0.34	4460	Orta	0.84	0.007	0.16
	60-90	Küresel	0.14	0.41	10350	Orta	0.92	0.006	0.36
	90-120	Üssel	0.13	0.56	7960	Kuvvetli	0.89	0.012	0.41
OM	0-30	Üssel	0.11	0.30	31100	Orta	0.75	0.001	0.31

Co: nugget varyans, Cs: Sill, Ao: Etki mesafesi (range), UB: Uzaysal bağımlılık, r^2 : semivaryogram modellemesinde belirleme katsayısı, RSS: Hata kareler toplamı, r_{CD} : Çapraz değerlendirme korelasyon katsayısı, EC: Elektriksel iletkenlik (dS m⁻¹), KDK: Katyon değişim kapasitesi (meq 100g⁻¹), ESP: Değişebilir sodyum yüzdesi, OM: Organik madde (%)

2016 yılı sulama öncesi dönemde araştırma alanına ait toprakların kimyasal özellikleri için oluşturulan variogram modelleri incelendiğinde elektriksel iletkenlik (EC) değeri 0-30 cm ve 60-90 cm toprak katmanlarında gausiyan model ve diğer iki katmanda küresel model kullanılmıştır (Çizelge 4.13). pH tüm katmanlarda üssel model ile tanımlanmıştır. Toprakların CaCO_3 içerikleri 60-90 cm toprak katmanında modellenememiş, diğer katmanlarda ise küresel modelin uygun olduğu tespit edilmiştir. Katyon değişim kapasitesi değerleri için 0-30 cm toprak katmanında küresel, diğer toprak katmanlarında ise üssel model kullanılmıştır. Değişebilir sodyum yüzdesi değerleri 60-90 cm derinliklerinde küresel, 0-30 cm ve 30-60 cm ve 90-120 cm derinliklerinde ise gausiyan model ile tanımlanmıştır. Yüzey toprağın organik madde içeriğinin modellenmesinde ise üssel model kullanılmıştır (Çizelge 4.13).

Bu dönemde toprakların EC değerleri tüm katmanlarda orta derecede uzaysal bağımlılık göstermişlerdir. Toprakların özelliklerinin konumsal bağımlılık gösterdikleri maksimum uzaklık değerleri farklılık göstermiştir. EC'nin ölçülen iki noktada birbirleri ile ilişkili olabileceği maksimum mesafeyi gösteren etki mesafesi 0-30 cm toprak katmanında 5280 m, 30-60 cm toprak katmanında 8800 m, 60-90 cm toprak katmanında 6870 m ve 90-120 cm toprak katmanında ise 16060 m olarak bulunmuştur (Şekil 4.45). EC değerinin kontrolsüz etki varyansı 0.090-0.159 arasında değişmiştir. Çapraz doğrulama sonucu elde edilen r değerleri ise 0-30 cm derinlikte en düşük (0.32), 30-60 cm derinlikte ise en büyük (0.53) olmuştur.

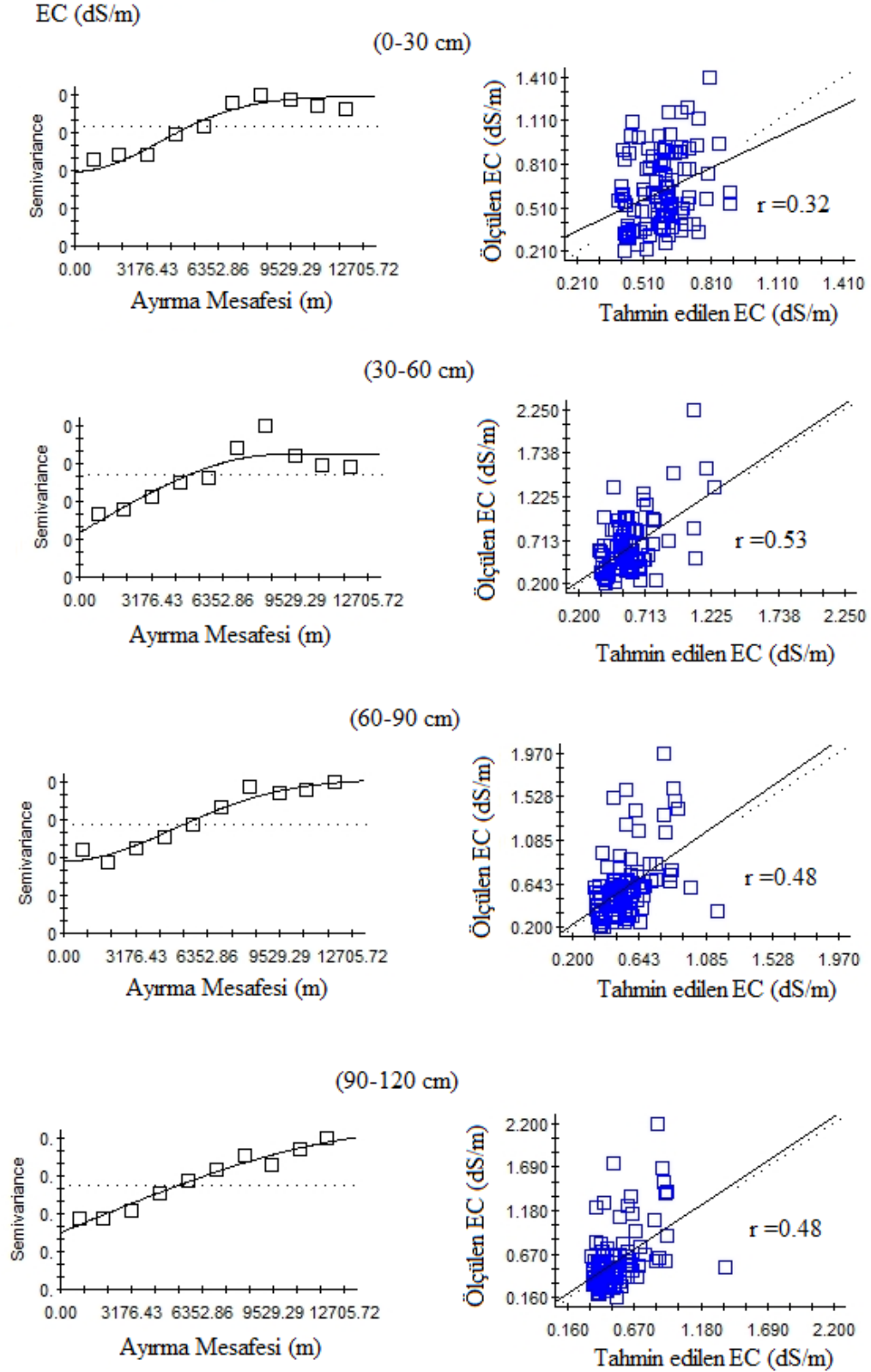
Tüm özellikler içerisinde en düşük kontrolsüz etki varyansına pH sahip olmuştur. Toprakların pH değerleri 60-90 cm ve 90-120 cm toprak katmanlarında kuvvetli, diğer katmanlarda ise orta derecede uzaysal bağımlılık göstermişlerdir. Söz konusu özelliğin etki alanı 0-30 cm toprak katmanında 20920 m, 30-60 cm toprak katmanında 7670 m, 60-90 cm toprak katmanında 18670 m ve 90-120 cm toprak katmanında ise 31100 m olarak bulunmuştur (Şekil 4.46).

Toprakların CaCO_3 içerikleri 0-30 cm ve 30-60 cm derinliğinde orta derecede uzaysal bağımlı ve 90-120 cm derinlikte kuvvetli uzaysal bağımlılık göstermişlerdir. CaCO_3 içeriğinin uzaysal bağımlılık mesafesi 0-30 cm derinlikte 4450 m, 30-60 cm derinlikte 2850 m ve 90-120 cm derinlikte ise 1570 m olarak bulunmuştur. (Şekil 4.47).

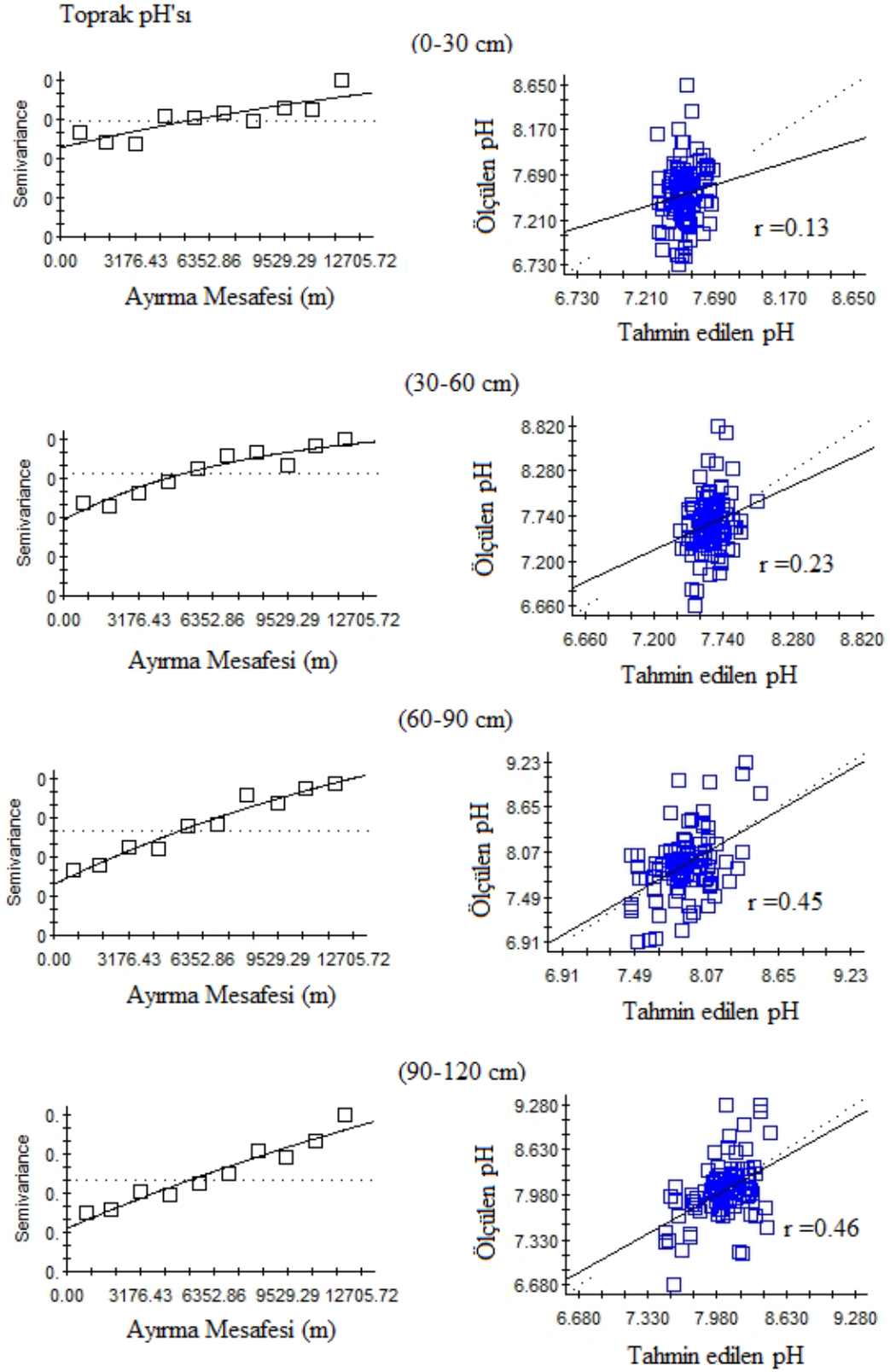
Toprakların KDK değerleri 30-60 cm toprak katmanında kuvvetli uzaysal bağımlı olmuş, diğer derinliklerde orta derecede uzaysal bağımlılık göstermişlerdir. KDK'nın nugget varyansı diğer özelliklerden çok daha yüksek olmuştur. Söz konusu özelliğin uzaysal bağımlılık mesafesi 0-30 cm toprak katmanında 28000 m, 30-60 cm toprak katmanında 18480 m, 60-90 cm toprak katmanında 18820 ve 90-120 cm toprak katmanında ise 31100 m olarak bulunmuştur (Şekil 4.48).

Değişebilir sodyum yüzdesinin kontrolsüz etki varyansı yüksek bulunmuştur. Toprakların ESP değerleri 90-120 cm toprak katmanında kuvvetli uzaysal bağımlı, diğer katmanlarda ise orta derecede uzaysal bağımlılık göstermiştir. Uzaysal bağımlılığın devam ettiği maksimum uzaklığın ifadesi olan range değerleri 0-30 cm toprak katmanında 4550 m, 30-60 cm toprak katmanında 4460 m, 60-90 cm toprak katmanında 10350 m ve 90-120 cm toprak katmanında ise 7960 m bulunmuştur (Şekil 4.49). ESP'nin bu mesafelerden daha yakın duran değerleri birbirleriyle uzaysal olarak ilişkili, daha uzaktaki değerleri ise bağımsızdır.

Toprakların organik madde içerikleri orta derecede uzaysal bağımlılık göstermiş ve söz konusu özelliğin uzaysal bağımlılık mesafesi yüzey toprak katmanında 31100 m olarak bulunmuştur (Şekil 4.50).



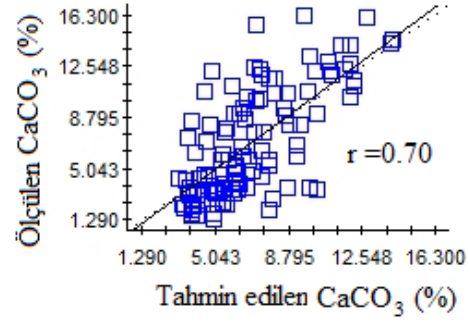
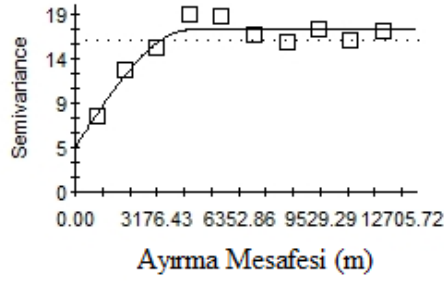
Şekil 4.45. EC için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafikleri (Nisan-2016)



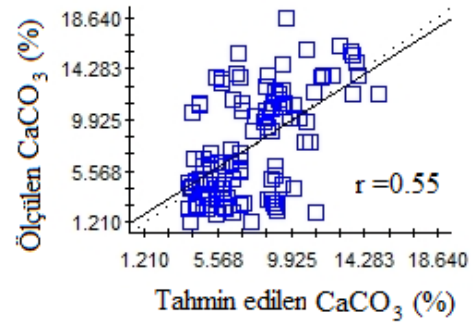
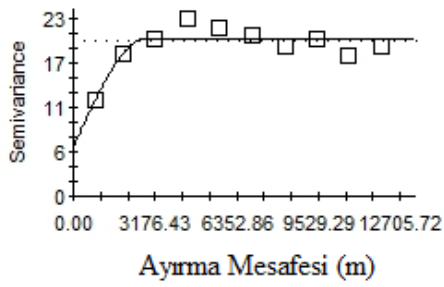
Şekil 4.46. pH için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafikleri (Nisan-2016)

CaCO₃ (%)

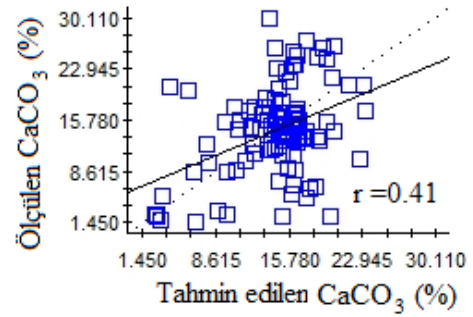
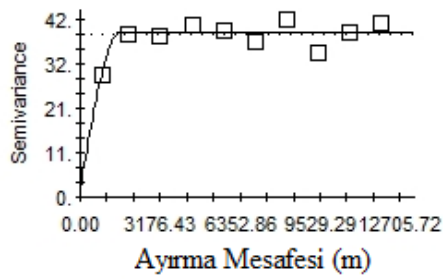
(0-30 cm)



(30-60 cm)

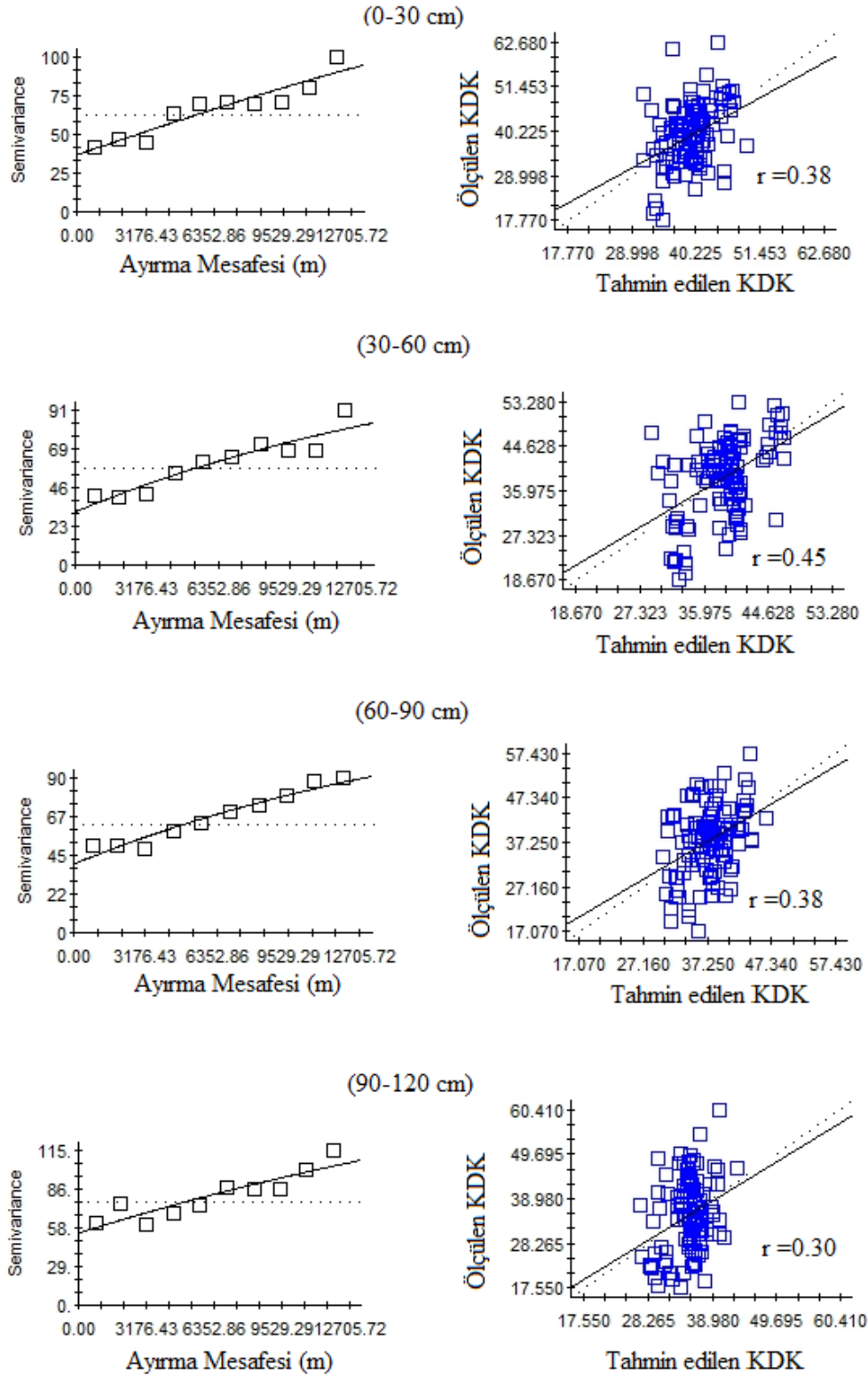


(90-120 cm)

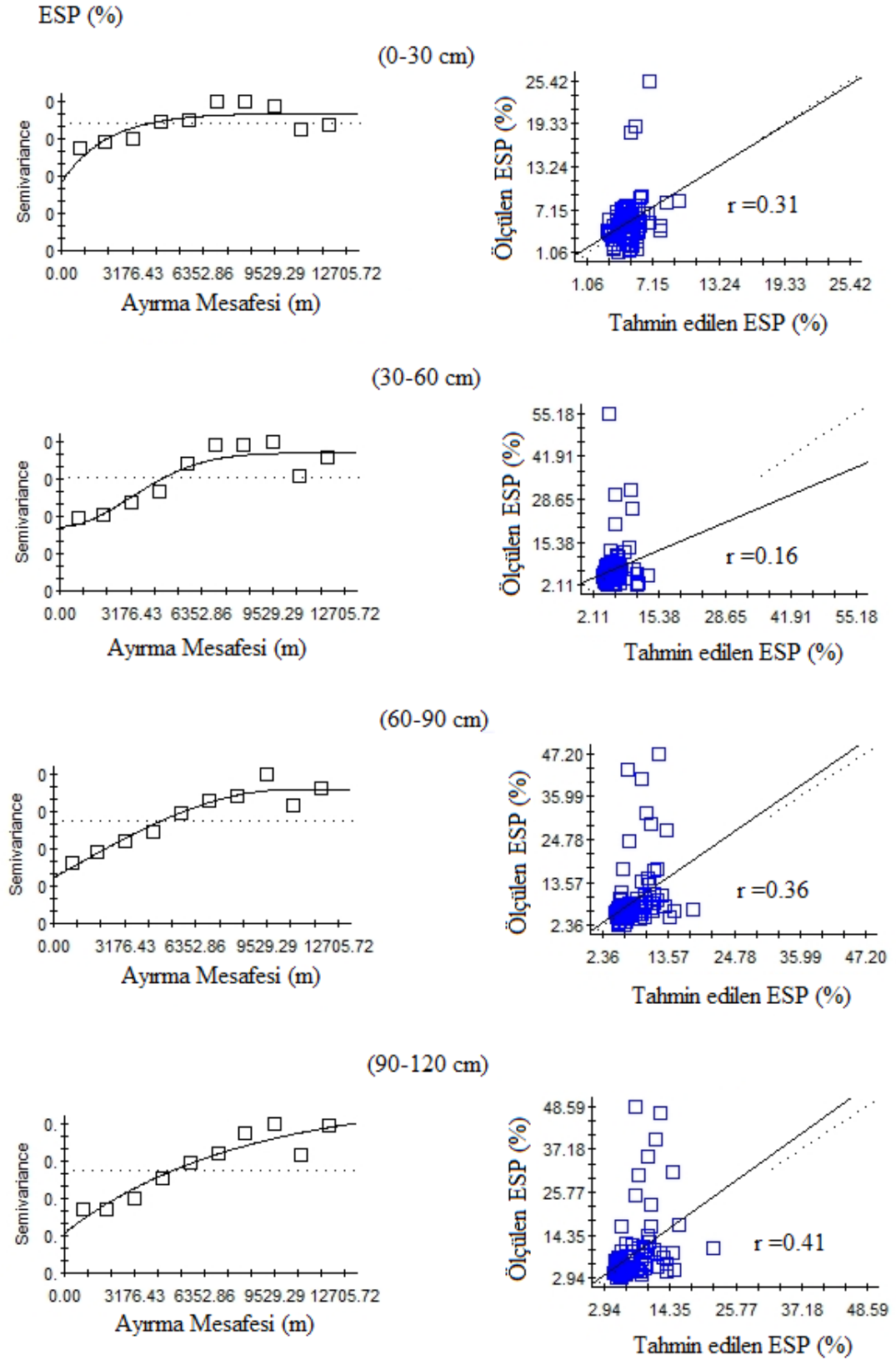


Şekil 4.47. CaCO₃ için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafikleri (Nisan-2016)

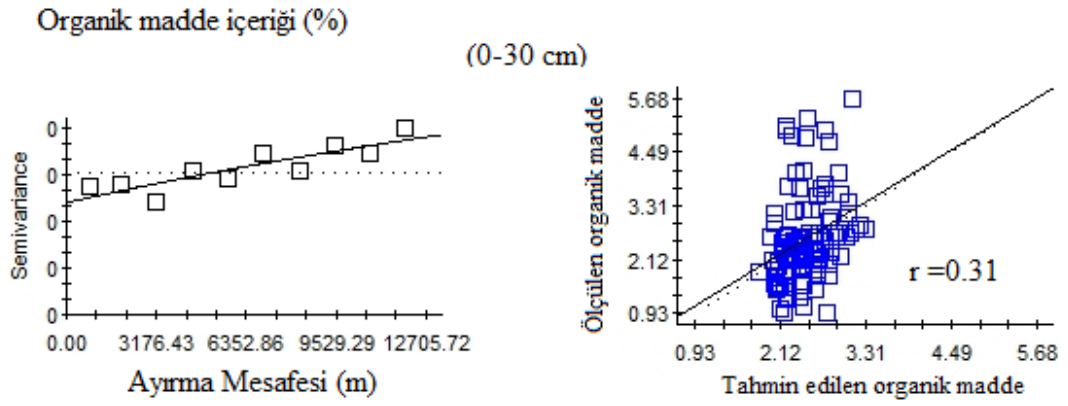
KDK (meq/100 g)



Şekil 4.48. KDK için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafikleri (Nisan-2016)



Şekil 4.49. ESP için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafikleri (Nisan-2016)



Şekil 4.50. Organik madde için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafiği (Nisan-2016)

Model seçiminden önce modellerin yaptıkları tahminler ile ölçülen değerler arasındaki ilişkinin gücüne bakılmıştır. EC, 0-30 cm derinlikte, pH 0-30 cm ve 30-60 cm derinlikte, ESP 30-60 cm derinlikte çapraz değerlendirmede elde edilen r değeri düşüktür. (Çizelge 4.14)

Çapraz değerlendirme sonucu elde edilen tahmin değerleriyle ölçülen değerlere ait tanımlayıcı istatistik sonuçları Çizelge 4.14’de verilmiştir.

Kriging işlemi sonunda gerçek değerlerle karşılaştırıldığında tahmin değerlerinin standart sapması küçülmüştür. Çizelge 4.14’de görüldüğü gibi 2016 yılı sulama öncesi dönemde toprakların kimyasal özelliklerinin analizle bulunan değerleriyle kriging ile tahmin edilen değerleri karşılaştırıldığında minimum ve maksimum değerlerinin birbirlerinden farklı olduğu görülmektedir (Çizelge 4.14). Ancak özelliklerin ortalama değerleri birbirlerine yakın çıkmıştır. Semivariogramlar modellendikten sonra deneme alanında analizi yapılan toprak özelliklerinin değişimlerini gösteren tahmin haritalarının oluşturulmasında maksimum 20 komşu nokta kullanılarak ordinary kriging yöntemi kullanılmıştır.

Çizelge 4.14. Toprakların kimyasal özelliklerinin ölçülen ve tahmin edilen değerlerine ait tanımlayıcı istatistik sonuçları (Nisan-2016)

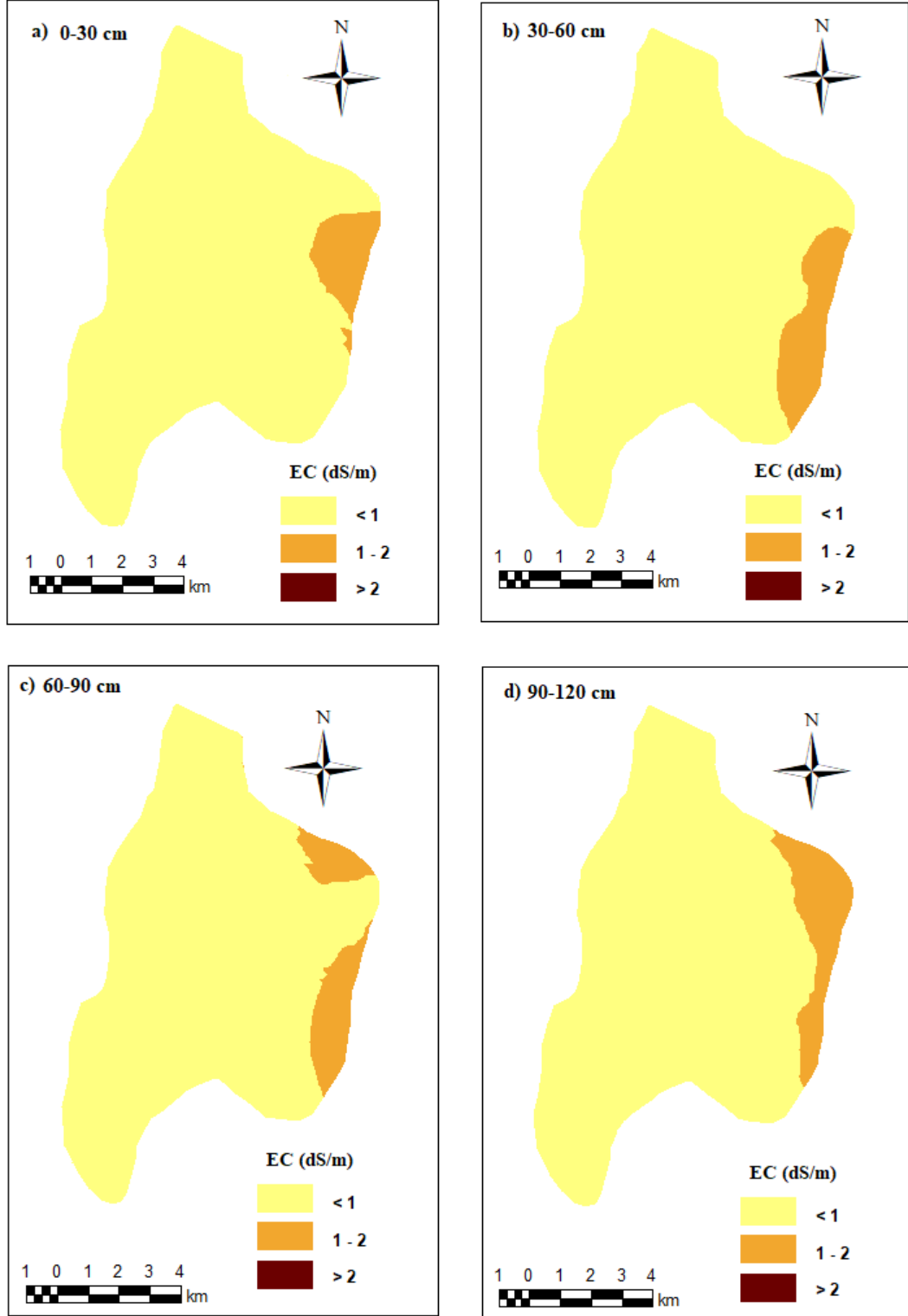
Derinlik (cm)		0-30		30-60		60-90		90-120	
Özellik	Tanımlayıcı istatistik	Ö	ÇD	Ö	ÇD	Ö	ÇD	Ö	ÇD
EC (dS/m)	AO	0.67	0.64	0.65	0.63	0.61	0.60	0.61	0.58
	Min.	0.21	0.39	0.20	0.38	0.20	0.36	0.16	0.36
	Max.	6.31	1.48	4.33	1.55	1.97	1.28	2.45	1.40
	S.S	0.60	0.17	0.47	0.21	0.36	0.18	0.41	0.18
ESP (%)	AO	6.07	5.67	7.50	6.95	8.68	8.09	9.63	9.25
	Min.	1.06	3.16	1.16	3.95	1.75	4.68	2.94	4.96
	Max.	72.76	11.71	55.18	17.97	49.40	20.21	65.65	30.78
	S.S	7.15	1.52	7.77	2.68	8.63	3.41	10.14	4.95
KDK (meq/100 g)	AO	39.06	39.18	38.44	38.43	37.29	37.26	34.94	34.84
	Min.	17.77	28.83	18.67	26.37	17.07	27.08	17.55	24.69
	Max.	62.68	49.36	58.76	50.82	57.43	50.27	60.41	47.85
	S.S	8.09	3.98	7.91	4.91	8.46	4.20	8.81	3.55
CaCO ₃ (%)	AO	7.15	7.09	7.74	7.64			14.69	14.65
	Min.	1.21	3.03	1.21	3.68	-	-	1.45	2.84
	Max.	16.30	14.57	18.64	15.09			32.28	24.12
	S.S	4.16	2.81	4.47	2.79			6.55	4.34
pH	AO	7.48	7.48	7.64	7.65	7.90	7.90	8.04	8.04
	Min.	6.73	7.24	6.66	7.35	6.91	7.40	6.68	7.36
	Max.	8.65	7.78	8.82	8.08	9.23	8.53	9.28	8.70
	S.S	0.33	0.11	0.33	0.13	0.41	0.22	0.40	0.24
OM (%)	AO	2.54	2.56						
	Min.	0.88	1.53						
	Max.	5.68	3.50						
	S.S	0.98	0.39						

Min: Minimum değer, Max: Maksimum değer, AO: Aritmetik ortalama, S.S: Standart sapma, Ö: Ölçülen, ÇD: Çapraz değerlendirme, EC: Elektriksel iletkenlik, ESP: Değişebilir sodyum yüzdesi, KDK: Katyon değişim kapasitesi, OM: Organik madde (%)

Çalışma alanı topraklarının 2016 yılı sulama öncesi dönemindeki EC'nin farklı katmanları için oluşturulan alansal dağılım haritaları Şekil 4.51'de verilmiştir. Richards, (1954)'de yaptığı sınıflandırmaya göre çalışma alanı toprakları tuzsuzdur. Çalışma alanında Kızılırmak nehrine yakın kısımlarda EC değerleri düşük, doğuya doğru gidildikçe ise EC değerleri artış göstermiştir. Derinlik arttıkça çok fazla olmamakla birlikte tuzluluğun azaldığı belirlenmiştir. Bütün katmanlar birlikte değerlendirildiğinde çalışma alanı topraklarında tuzluluk problemi olmadığı görülmektedir.

Güler vd, (2014) Bafra ovasında toprakların EC değerlerinin alansal yapı ve deseninin 1966 yılından 2008 yılına kadar önemli ölçüde değiştiğini ve bu değişimin 0-30 cm toprak derinliğinde daha şiddetli olduğunu belirlemişlerdir. Çok tuzlu ($8 < EC < 16$ dS/m) ve aşırı tuzlu ($EC > 16$ dS/m) alanların miktarı 1966 yılında çalışma alanının %14'ü iken 2008 yılında %0'a düşmüştür. Bölgede 1966 yılından itibaren sulama ve drenaj çalışmaları başlamıştır. 1966 yılından sonra ovada artan sulama ve

drenajın etkisiyle tuzlu ve sodik topraklarda önemli oranda bir azalmanın meydana geldiğini bildirmişlerdir. Bununla birlikte, sulama, drenaj ve arazi kullanımındaki değişiklikler ile bitki deseninin toprak tuzluluğundaki azalmaya önemli derecede katkı sağladığını ifade etmişlerdir. Aynı çalışmada ESP'nin de çalışma alanındaki uzaysal yapısı ve dağılımının 1966 yılından 2008 yılına kadar önemli derecede değiştiğini belirlemişlerdir. 2008 yılında ESP değerinin 15 den büyük olduğu alanların miktarı 1966 yılına göre 0-30 cm toprak katmanında on kat, diğer toprak katmanları için ise iki kat azalmıştır. ESP'deki en belirgin azalma, 30-60 ve 60-90 cm derinlikler için gerçekleşmiştir. Sulama suyunun elektrolit konsantrasyonu ve toprakların değişebilir kation bileşimi, sodyum tehlikesini belirleyen iki ana faktördür (Güler vd, 2014; Sposito, 2008). Çalışma alanında Kızılırmak nehri tarafından sağlanan sulama suyunun elektrolit konsantrasyonu, toprakta suyun perkolasyonu ve sodyumun toprak profilinden uzaklaşmasına izin veren bir toprak yapısını korumak için yeterli olduğunu ifade etmişler ve 1966'dan 2008'e kadar ortalama ESP değerlerinde meydana gelen bu azalmanın nedenini, Kızılırmak'tan gelen sulama suyunun ve çalışma alanındaki fazla suyun drenajına bağlamışlardır. EC, ESP ve pH değerlerinin çalışma alanının kuzeyinde ve doğusunda yüksek çıkmasının sebebinin ise bu bölgede yeraltı suyu seviyesinin yüksek olmasına bağlamışlardır. Kötü kalitedeki suyun kullanılmasının EC, ESP ve pH değerlerinde artışa neden olabileceği ifade etmişlerdir (Güler vd, 2014).

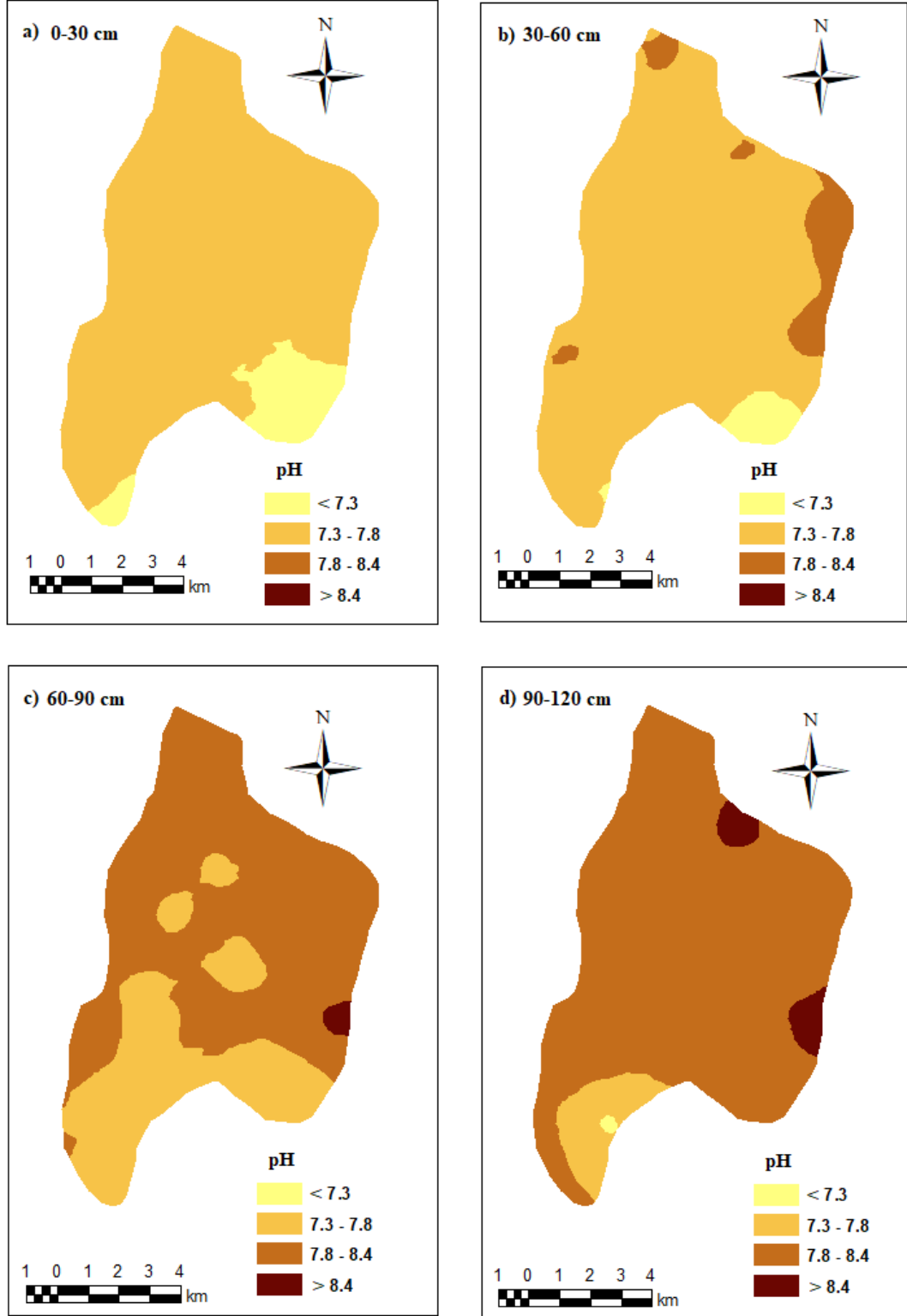


Şekil 4.51. Nisan-2016 dönemi (a) 0-30 cm, (b) 30-60 cm, (c) 60-90 cm (d) 90-120 cm derinliklerindeki EC haritaları

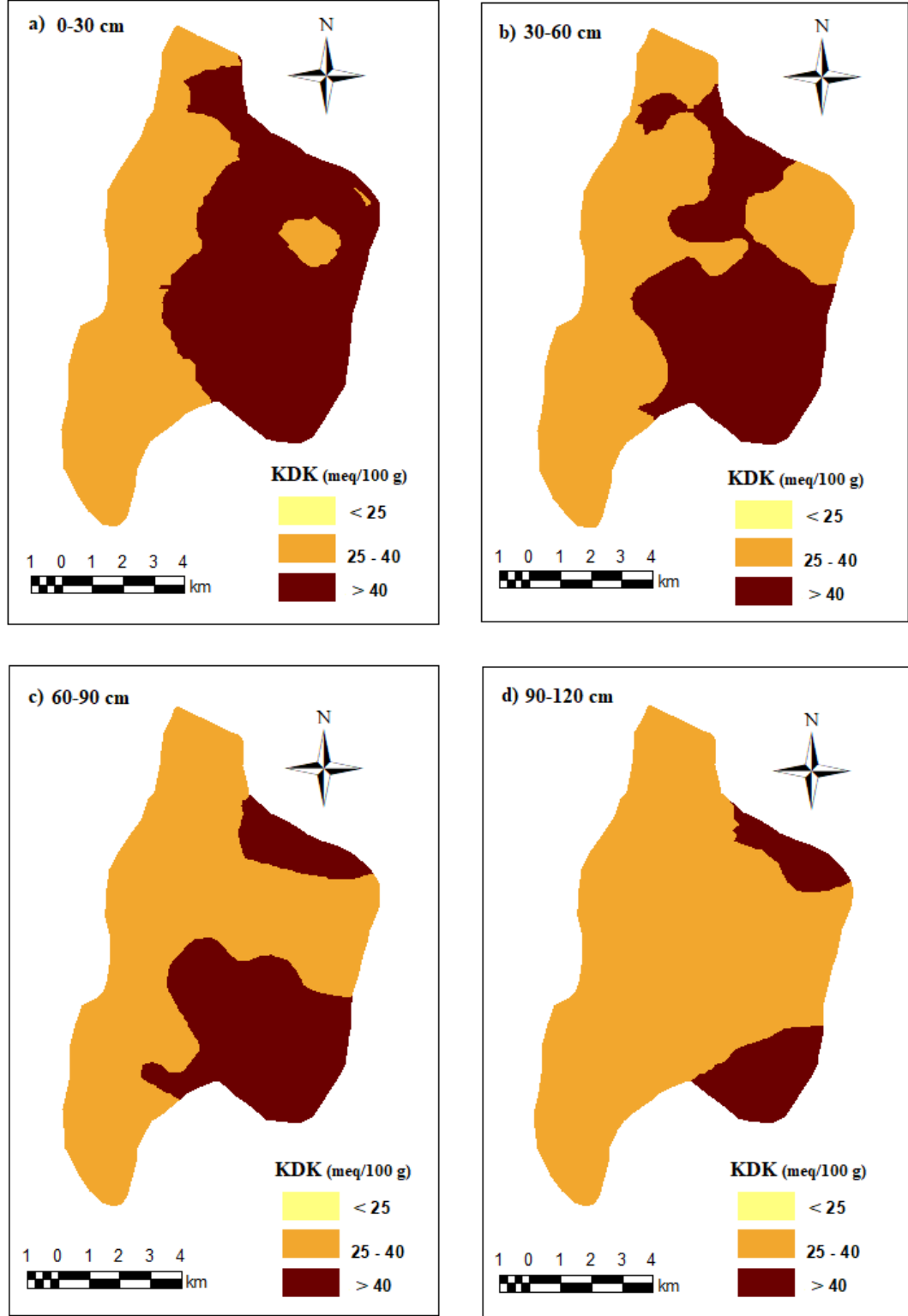
Sulama öncesi dönemde çalışma alanı toprakların pH dağılım haritaları Şekil 4.52’de verilmiştir. Toprak pH’sının 6.5 ile 7.5 arasında olması bitki gelişimi için en iyi aralık olarak ifade edilmektedir. Şekil incelendiğinde pH’nın alanda bitkiler için uygun sınırların çok üzerinde olduğu alanların var olduğu, hatta bazı bölgelerde pH’nın 8.4’ün üzerine kadar yükseldiği belirlenmiştir. 0-30 cm toprak katmanında çalışma alanının büyük çoğunluğunda pH değeri 7.3-7.8 aralığında değişmiş ve hafif alkali özellik göstermiştir. Alt katmanlara doğru inildikçe toprakların pH değerlerinde bir artış olduğu ve şiddetli alkali özellik gösteren toprakların (8.4 ve üzeri) alanın kuzeyinde ve doğusunda lokal olarak belli bölgelerde olduğu belirlenmiştir.

Çalışma alanı topraklarının 2016 yılı sulama öncesi dönemindeki KDK için oluşturulan alansal dağılım haritaları Şekil 4.53’de verilmiştir. Şekil 4.53 incelenecek olursa 4 farklı derinlikte ve tüm alanda yüksek ve çok yüksek KDK değerleri belirlenmiştir. 0-30 cm toprak katmanında KDK’nın çok yüksek olduğu alanlar diğer katmanlardan daha fazla olmuştur. Tüm katmanlarda çalışma alanının Kızılırmak nehrine ve denize yakın alanlarında KDK, 25-40 meq/100g arasında değişim göstermiş, doğuya doğru gittikçe 40 meq/100 g’ın üzerine çıkmıştır. Derinlik arttıkça KDK azalmıştır.

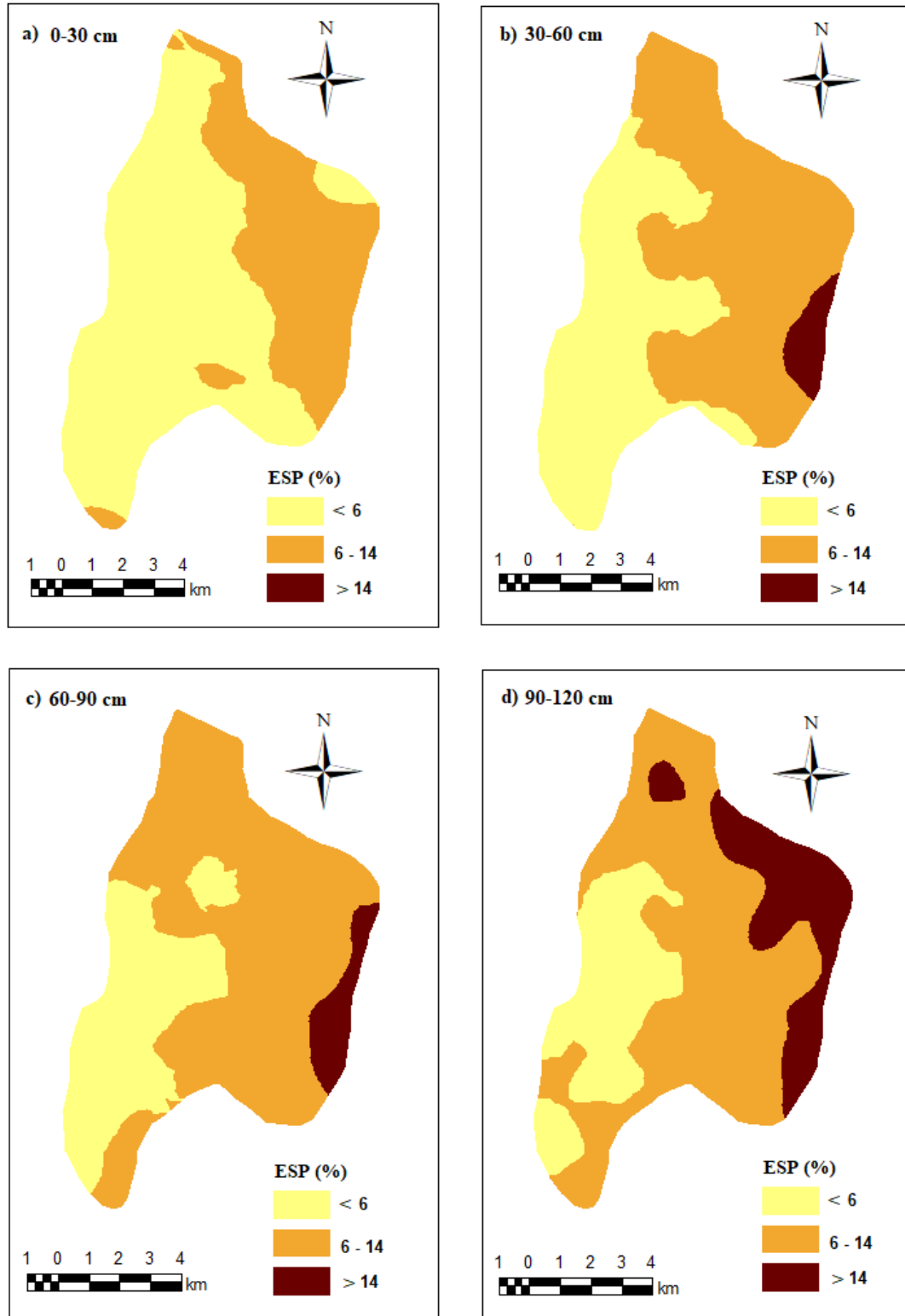
Çalışma alanı topraklarının 2016 yılı sulama öncesi dönemindeki ESP değerleri için oluşturulan alansal dağılım haritaları Şekil 4.54’de verilmiştir. ESP, sodyum ile doymuş toprağın adsorbsiyon/değişebilir kompleksinin derecesi olarak tanımlanır. ESP değerinin 15’in üzerinde olması pH’nın 8.5 veya daha yüksek seviyelerde olmasına neden olmaktadır. Hatta ESP’nin daha yüksek seviyeleri pH’yı en az 10’ a getirebilmektedir (Ravikumar ve Somashekar, 2014). ESP ve pH haritaları birlikte incelendiğinde ESP değerinin 15’in üzerine çıktığı bölgelerde (çalışma alanının doğusunda) pH değerlerinin 8.5’in üzerine çıktığı görülmektedir. Özellikle alt katmanlarda yüksek ESP değerleri, yüksek pH değerlerinin var olmasına neden olmuştur. Bu dönemde 0-30 cm toprak katmanında ESP değerleri çoğunlukla %6’dan daha küçük olmuştur. Denize yakın bölgelerde ve doğuda %6-14 arasında değişmiş ve yüzeyden alt katmanlara doğru inildikçe ESP değerleri artmıştır.



Şekil 4.52. Nisan-2016 dönemi (a) 0-30 cm, (b) 30-60 cm, (c) 60-90 cm (d) 90-120 cm derinliklerindeki pH haritaları



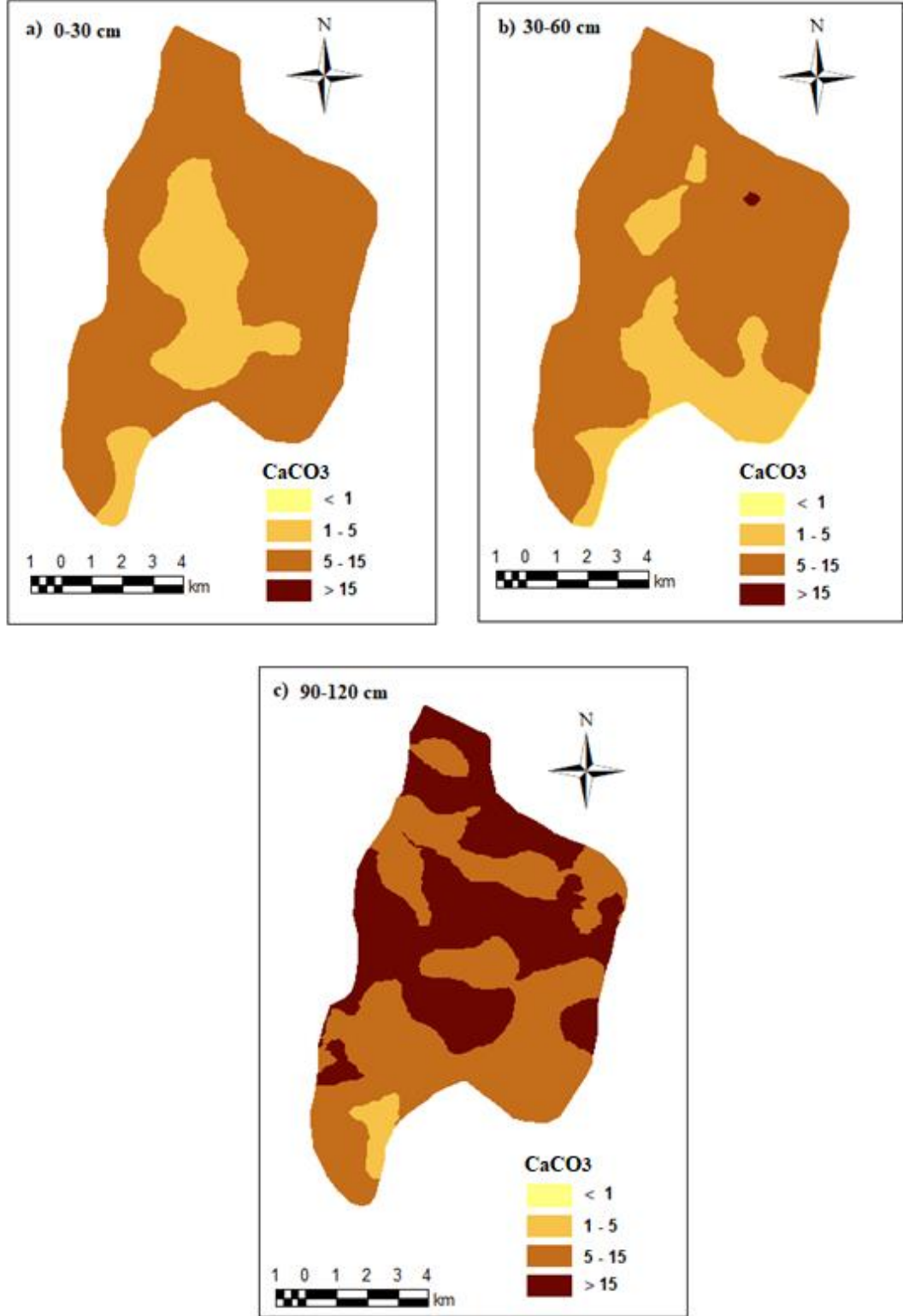
Şekil 4.53. Nisan-2016 dönemi (a) 0-30 cm, (b) 30-60 cm, (c) 60-90 cm (d) 90-120 cm derinliklerindeki KDK haritaları



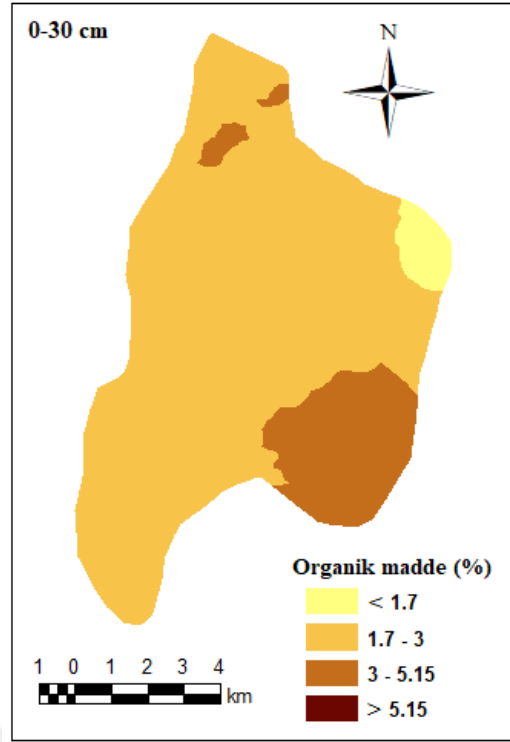
Şekil 4.54. Nisan-2016 dönemi (a) 0-30 cm, (b) 30-60 cm, (c) 60-90 cm (d) 90-120 cm derinliklerindeki ESP haritaları

Sulama öncesi dönemde çalışma alanı topraklarında incelenen diğer bir özellik ise CaCO_3 içeriğidir. Bu dönemde farklı derinlikler için hazırlanan CaCO_3 dağılım haritaları Şekil 4.55’de verilmiştir. 0-30 cm toprak katmanında CaCO_3 içeriği %5’den küçük olan alanlar çalışma alanının ortasında ve en güneyinde görülmüştür. Bu alanlarda kireç az miktarda bulunmaktadır. Çalışma alanının geri kalan kısımlarında ise CaCO_3 %15’den az bulunmuş yani orta derecede kireçli özellik göstermiştir. Kireç içerikleri denize yakın kısımlarda ve doğuda meraların ve çeltik yetiştirilen bölgenin bulunduğu alanlarda %15 değerine yaklaşmıştır. 30-60 cm toprak derinliğinde CaCO_3 bir üst katmandakine benzer bir dağılım göstermiştir. Sadece çalışma alanının çok küçük bir bölümünde (yaklaşık %0.2’si) kireç içeriği %15’in üzerinde bulunmuştur. En alt katmana inildiğinde ise kireç içeriğinin arttığı, az kireçli alanların dağılımının yüzey toprağına benzer şekilde kaldığı, orta ve fazla kireçli bölgelerin ise artış gösterdiği belirlenmiştir. Hatta çalışma alanının orta ve batısında tüm alanın yaklaşık %1’inde kireç içeriği %25’in üzerine çıkarak çok fazla kireçli alan oluşmuştur.

Sulama öncesi dönemde çalışma alanı topraklarının organik madde içeriğinin 0-30 cm toprak katmanı için oluşturulan tahmin haritası Şekil 4.56’da verilmiştir. Hazelton ve Murphy, (2016)’da yaptığı sınıflandırmaya göre, çalışma alanı topraklarının organik madde içerikleri çalışma alanının büyük çoğunluğunda orta (%82), yaklaşık %3’ünde az ve %15’inde iyi düzeyde bulunmuştur. Çalışma alanının doğusunda az, güney doğusunda ise iyi düzeyde olduğu görülmektedir.



Şekil 4.55. Nisan-2016 dönemi (a) 0-30 cm, (b) 30-60 cm, (c) 90-120 cm derinliklerindeki CaCO_3 haritaları



Şekil 4.56. Nisan-2016 dönemi 0-30 cm derinliğindeki organik madde içeriği haritası

4.3.2.4. Sulama sonrası dönemde kimyasal özelliklerin haritalanması (Eylül-2016)

Çalışma alanından 2016 yılı sulama sonrası dönemde alınan toprak örneklerinin kimyasal analiz sonuçları Çizelge 4.15’de verilmiştir.

Araştırma alanından alınan toprak örneklerinin konumsal yapılarının belirlenmesi amacıyla her bir özellik için deneysel semivariogramlar oluşturulmuştur. Semivariogramların oluşturulmasında yönler göre olası bağımlılığı (anizotropi) test etmek amacıyla, farklı dört yönde (0, 45, 90 ve 135⁰) hesaplamalar yapılmıştır. İncelenen özelliklerin tamamı izotropik bir değişim göstermiştir.

Çalışılan kimyasal özelliklerin modellenmesinde küresel, üssel ve gausiyan modeller kullanılmıştır. Modellerin elde edilmesinde modelin r² değeri dikkate alınmış ve en yüksek r² değerini veren model en uygun model olarak seçilmiştir. Buna göre elde edilen modeller ve ilgili semivariogramlar Çizelge 4.15 de verilmektedir.

Çizelge 4.15. Toprakların kimyasal özelliklerine ait izotropik semivariogram bileşenleri (Eylül-2016)

Özellik	Derinlik	Model	Co	Cs (Co+C)	Ao (m)	UB	r ²	RSS	r _{CD}
EC	0-30	Üssel	0.09	0.22	3450	Orta	0.81	0.002	0.18
	30-60	Gausiyan	0.10	0.21	4170	Orta	0.84	0.002	0.13
	60-90	Gausiyan	0.13	0.27	5630	Orta	0.93	0.002	0.26
	90-120	Gausiyan	0.15	0.37	7380	Orta	0.87	0.008	0.39
pH	0-30	Üssel	0.074	0.157	2650	Orta	0.97	0.0001	0.24
	30-60	Üssel	0.001	0.005	31100	Kuvvetli	0.88	1.6E-07	0.30
	60-90	Üssel	0.003	0.020	31100	Kuvvetli	0.90	2.83E-06	0.50
	90-120	Üssel	0.003	0.019	31100	Kuvvetli	0.95	1.23E-06	0.49
CaCO ₃	0-30	Küresel	3.43	16.50	2540	Kuvvetli	0.66	20.2	0.59
	30-60	Üssel	0.08	0.62	980	Kuvvetli	0.79	0.012	0.56
	60-90	Üssel	0.45	0.91	1880	Orta	0.65	0.036	0.44
	90-120	Üssel	4.20	37.46	820	Kuvvetli	0.70	55.1	0.45
KDK	0-30	Üssel	0.03	0.07	4390	Orta	0.94	7.03E-05	0.50
	30-60	Üssel	0.31	0.75	3490	Orta	0.85	0.021	0.53
	60-90	Küresel	0.37	0.84	6680	Orta	0.90	0.019	0.54
	90-120	Üssel	0.36	0.73	3010	Orta	0.82	0.016	0.39
ESP	0-30	Üssel	0.13	0.26	3100	Orta	0.84	0.001	0.06
	30-60	Gausiyan	0.18	0.35	4910	Orta	0.93	0.002	0.25
	60-90	Gausiyan	0.22	0.47	10590	Orta	0.80	0.009	0.25
	90-120	Üssel	0.18	0.48	3860	Orta	0.72	0.021	0.51
OM	0-30	Üssel	0.1	0.23	4860	Orta	0.72	0.003	0.28

Co: nugget varyans, Cs: Sill, Ao: Etki mesafesi (range), UB: Uzaysal bağımlılık, r²: semivaryogram modellemesinde belirleme katsayısı, RSS: Hata kareler toplamı, r_{CD}: Çapraz değerlendirme korelasyon katsayısı, EC: Elektriksel iletkenlik (dS m⁻¹), KDK: Katyon değişim kapasitesi (meq 100g⁻¹), ESP: Değişebilir sodyum yüzdesi, OM: Organik madde (%)

2016 yılı sulama sonrası dönemde araştırma alanına ait toprakların kimyasal özellikleri için oluşturulan variogram modelleri incelendiğinde elektriksel iletkenlik (EC) değeri 0-30 cm derinlikte üssel, diğer derinliklerde gausiyan model ile tanımlanmıştır (Çizelge 4.15). Bu dönemde toprakların EC değerleri tüm katmanlarda orta derecede uzaysal bağımlılık göstermişlerdir. EC değerinin kontrolsüz etki varyansı 0.09-0.15 arasında değişmiştir. Toprakların özelliklerinin konumsal bağımlılık gösterdikleri maksimum uzaklık değerleri farklılık göstermiştir. Söz konusu özelliğin ölçülen iki noktada birbirleri ile ilişkili olabileceği maksimum mesafeyi gösteren etki mesafesi 0-30 cm toprak katmanında 3450 m, 30-60 cm toprak katmanında 4170 m, 60-90 cm toprak katmanında 5630 m ve 90-120 cm toprak katmanında ise 7380 m olarak bulunmuştur (Şekil 4.57).

pH tüm katmanlarda üssel model ile tanımlanmıştır. Sulama öncesi döneme benzer şekilde tüm özellikler içerisinde en düşük kontrolsüz etki varyansı pH'da olmuştur. Toprakların pH değerleri 0-30 cm toprak katmanında orta derecede uzaysal bağımlılık göstermiş, diğer derinliklerde ise kuvvetli uzaysal bağımlılık göstermişlerdir. Söz konusu özelliğin etki mesafesi 0-30 cm toprak katmanında 2650 m ve diğer derinliklerde 31100 m olarak bulunmuştur (Şekil 4.58).

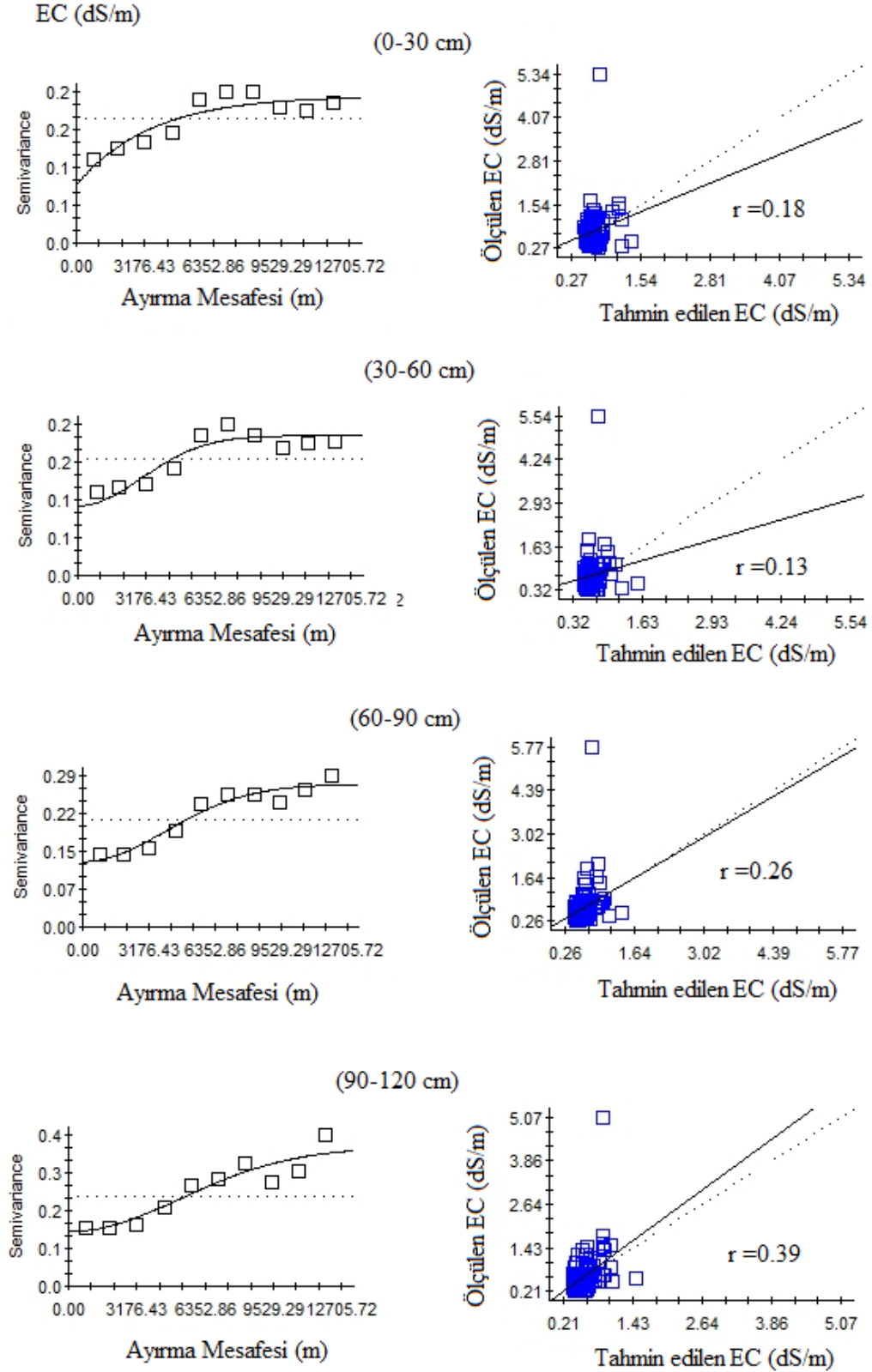
Toprakların CaCO_3 içerikleri 0-30 cm toprak katmanında küresel, diğer katmanlarda ise üssel model ile tanımlanmıştır. Bu dönemde toprakların CaCO_3 içerikleri 60-90 cm derinliğinde orta derecede uzaysal bağımlı ve diğer derinliklerde kuvvetli uzaysal bağımlılık göstermişlerdir. CaCO_3 içeriğinin uzaysal bağımlılık mesafesi 0-30 cm derinlikte 2540 m, 30-60 cm derinlikte 980 m, 60-90 cm derinlikte 1880 m ve 90-120 cm derinlikte ise 820 m olarak bulunmuştur (Şekil 4.59).

Kasyon değişim kapasitesi değerleri için 60-90 cm toprak katmanında küresel, diğer toprak katmanlarında ise üssel model kullanılmıştır. Toprakların KDK değerleri tüm derinliklerde orta derecede uzaysal bağımlılık göstermişlerdir. KDK'nın uzaysal bağımlılık mesafesi 0-30 cm toprak katmanında 4390 m, 30-60 cm toprak katmanında 3490 m, 60-90 cm toprak katmanında 6680 ve 90-120 cm toprak katmanında ise 3010 m olarak bulunmuştur (Şekil 4.60).

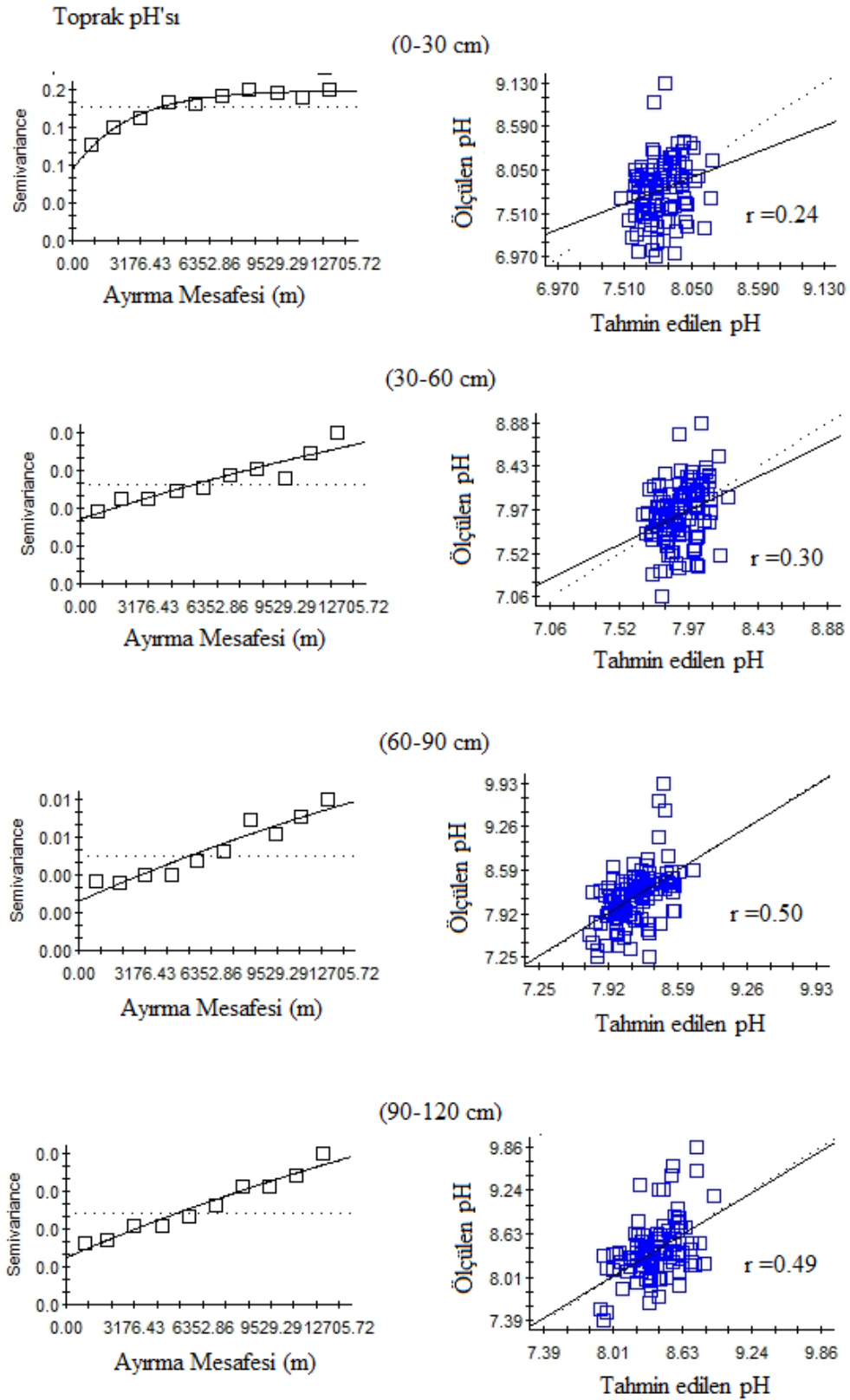
Değişebilir sodyum yüzdesi değerleri 0-30 cm ve 90-120 cm derinliklerinde üssel, 60-90 cm ve 90-120 cm derinliklerinde ise gausiyan model ile tanımlanmıştır. Ölçüm hatalarını da içeren nugget değeri, örnekleme aralıklarındaki değişkenliği ifade

etmektedir. İncelenen bu toprak özelliğinin nugget değeri 0-30 cm’de 0.13, 30-60 cm’de 0.18, 60-90 cm’de 0.22 ve 90-120 cm’de 0.18 olarak belirlenmiştir. Toprakların ESP değerleri tüm katmanlarda orta derecede uzaysal bağımlı çıkmıştır. Uzaysal bağımlılığın devam ettiği maksimum uzaklığın ifadesi olan range değerleri 0-30 cm toprak katmanında 3100 m, 30-60 cm toprak katmanında 4910 m, 60-90 cm toprak katmanında 10590 m ve 90-120 cm toprak katmanında ise 3860 m bulunmuştur (Şekil 4.61).

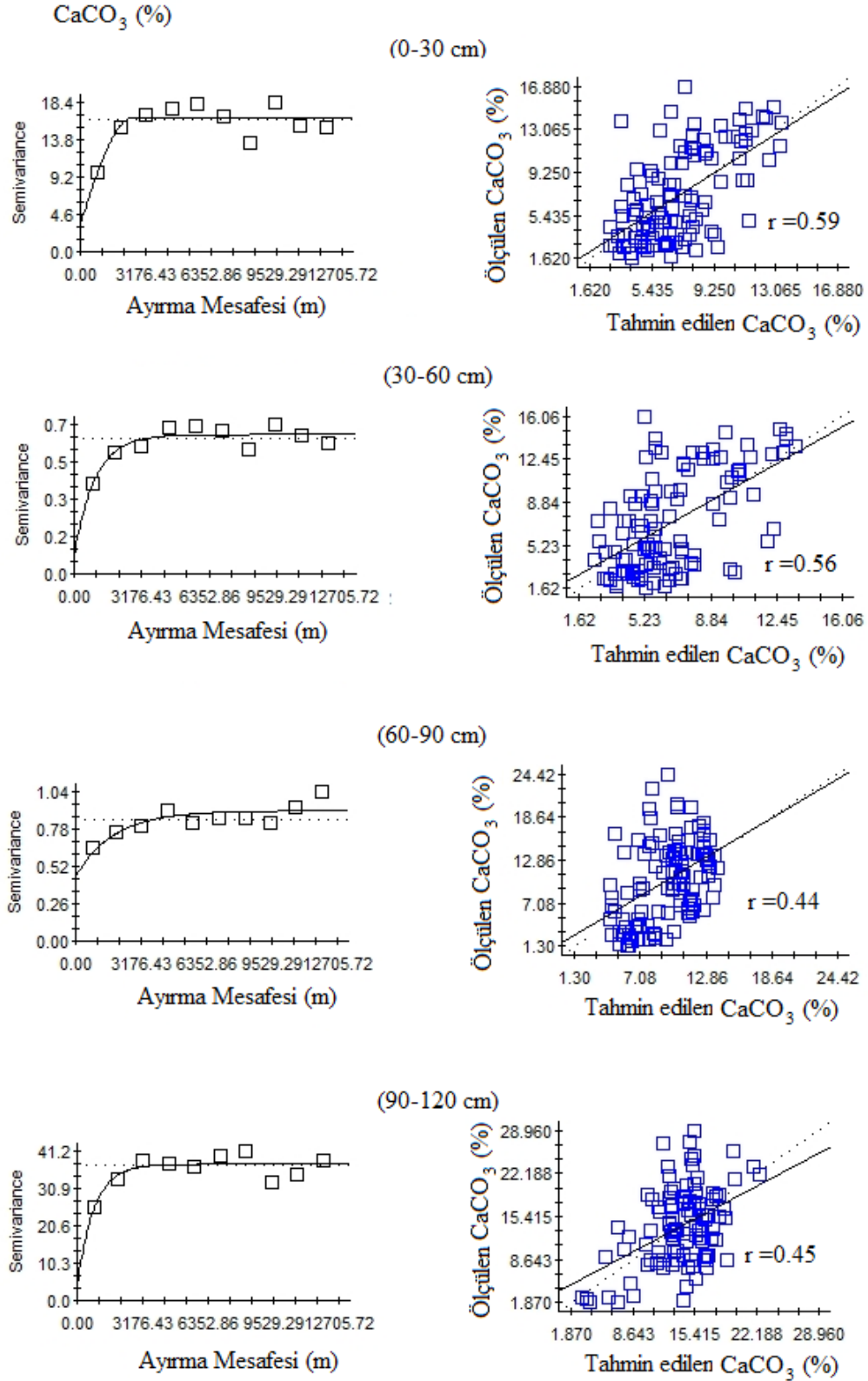
Üst toprağın organik madde içeriğinin modellenmesinde ise üssel model kullanılmıştır (Çizelge 4.15). Toprakların organik madde içerikleri diğer dönemlerde olduğu gibi orta derecede uzaysal bağımlılık göstermiş olup, uzaysal bağımlılık mesafesi üst toprak katmanında 4860 m olarak bulunmuştur (Şekil 4.62).



Şekil 4.57. EC için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafiği (Eylül-2016)

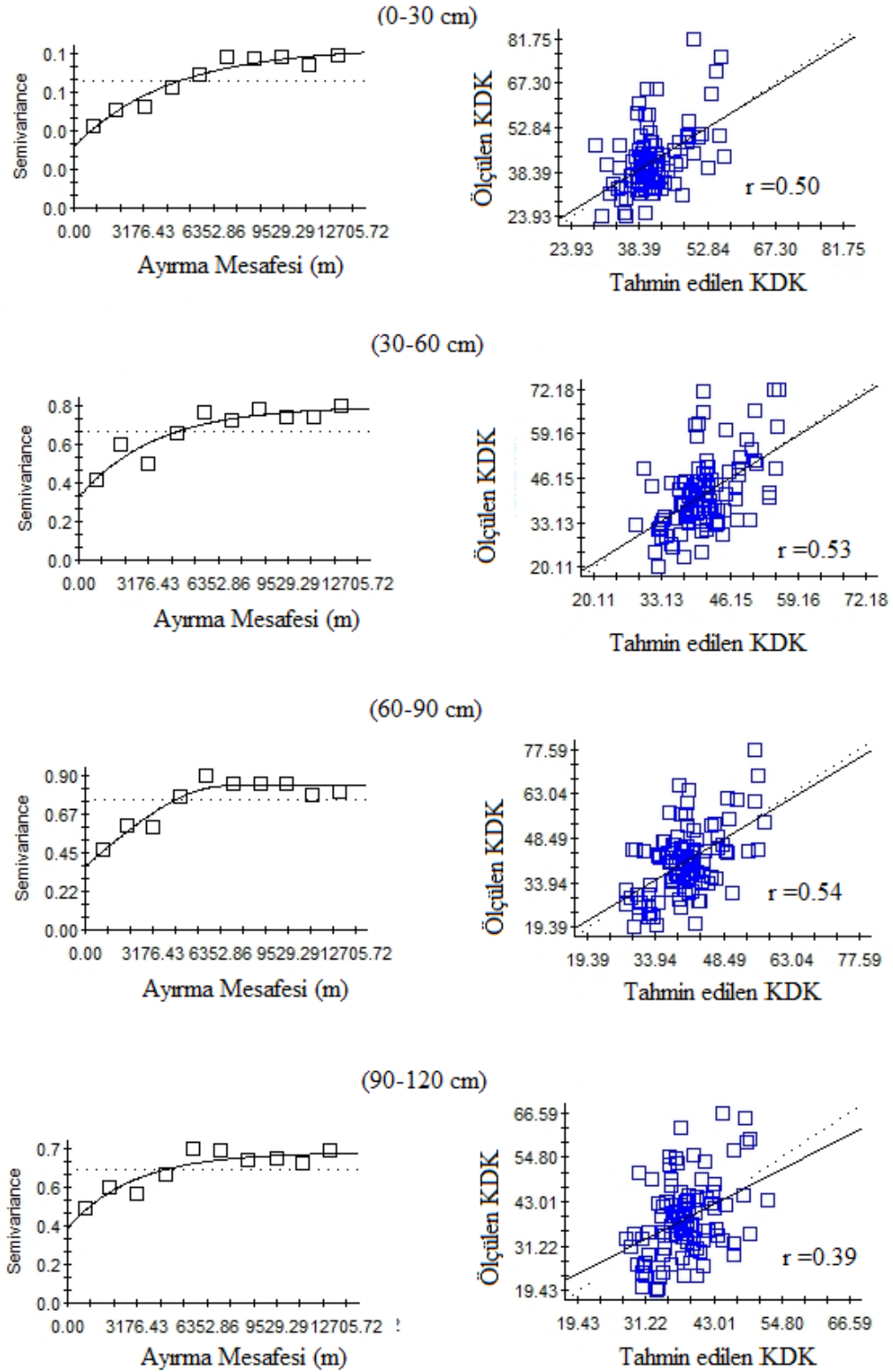


Şekil 4.58. pH için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafiği (Eylül-2016)

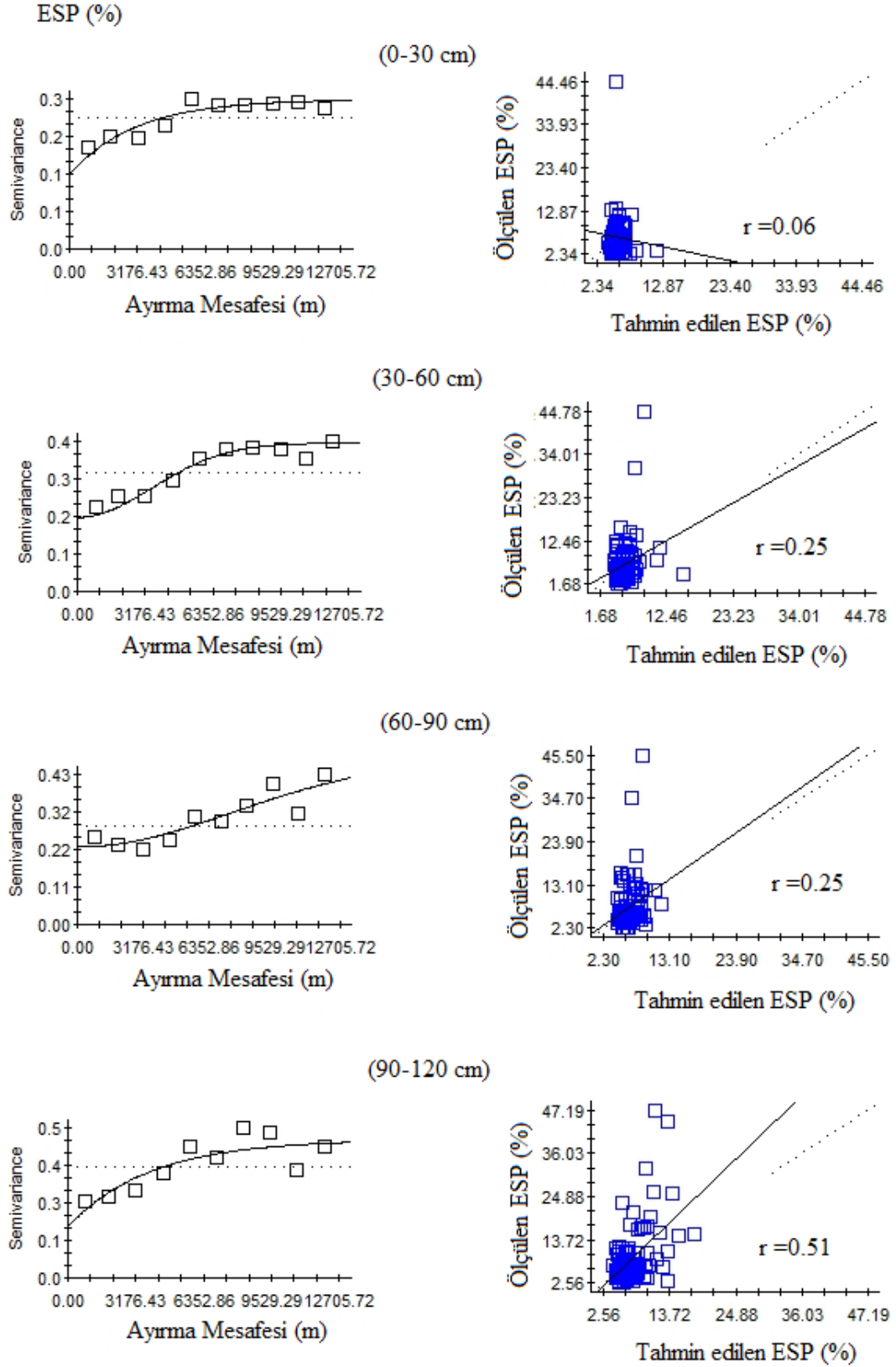


Şekil 4.59. CaCO₃ (%) için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafiği (Eylül-2016)

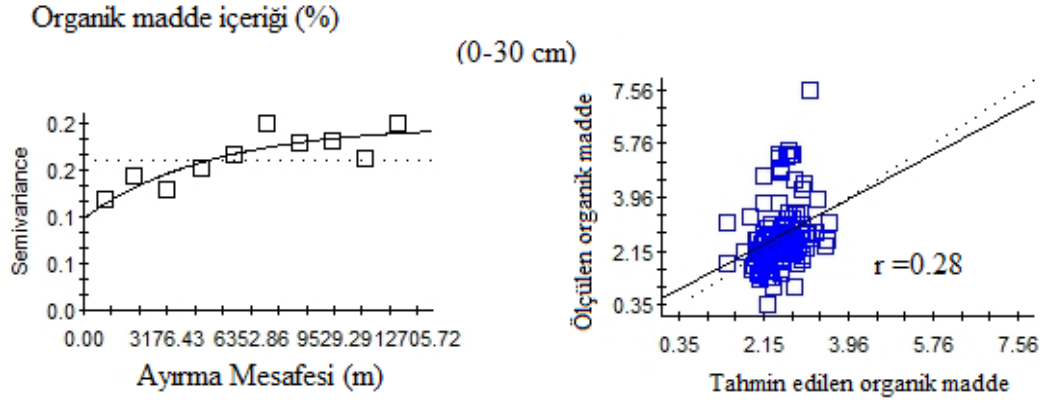
KDK (meq/100 g)



Şekil 4.60. KDK için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafiği (Eylül-2016)



Şekil 4.61. ESP için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafiği (Eylül-2016)



Şekil 4.62. Organik madde için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafiği (Eylül-2016)

Model seçiminden önce modellerin yaptıkları tahminler ile ölçülen değerler arasındaki ilişkinin gücüne bakılmıştır. pH, CaCO_3 ve KDK'nın çapraz değerlendirmede elde edilen r değeri yüksek, diğer özelliklerin ise düşük bulunmuştur (Çizelge 4.15)

Çapraz değerlendirme sonucu elde edilen tahmin değerleriyle ölçülen değerlere ait tanımlayıcı istatistik sonuçları Çizelge 4.16'da verilmiştir.

Kriging sonunda elde edilen tahmin değerlerinin standart sapması gerçek değerlerle karşılaştırıldığında küçülmüştür. Çizelge 4.16' da görüldüğü gibi 2016 yılı sulama sonrası dönemde toprakların kimyasal özelliklerinin analizle bulunan değerleriyle kriging ile tahmin edilen değerleri karşılaştırıldığında minimum ve maksimum değerlerinin birbirlerinden farklı olduğu görülmektedir. Ancak özelliklerin ortalama değerleri birbirlerine yakın bulunmuştur. Semivariogramların en önemli iki üstünlüğü incelenen toprak özelliği için örnekleme çiftlerinin birbirleri ile ilişkili olabileceği maksimum mesafeyi belirlemeye imkan sağlaması ve kriging işlemi için gerekli parametreleri vermesidir (Akgül vd, 1995). Bu dönemde en uygun semivariogram modelleri kullanılarak deneme alanında analizi yapılan toprak özelliklerinin değişimlerini gösteren tahmin haritaları ordinary kriging yöntemi kullanılarak oluşturulmuştur.

Çizelge 4.16. Toprakların kimyasal özelliklerinin ölçülen ve tahmin edilen değerlerine ait tanımlayıcı istatistik sonuçları (Eylül-2016)

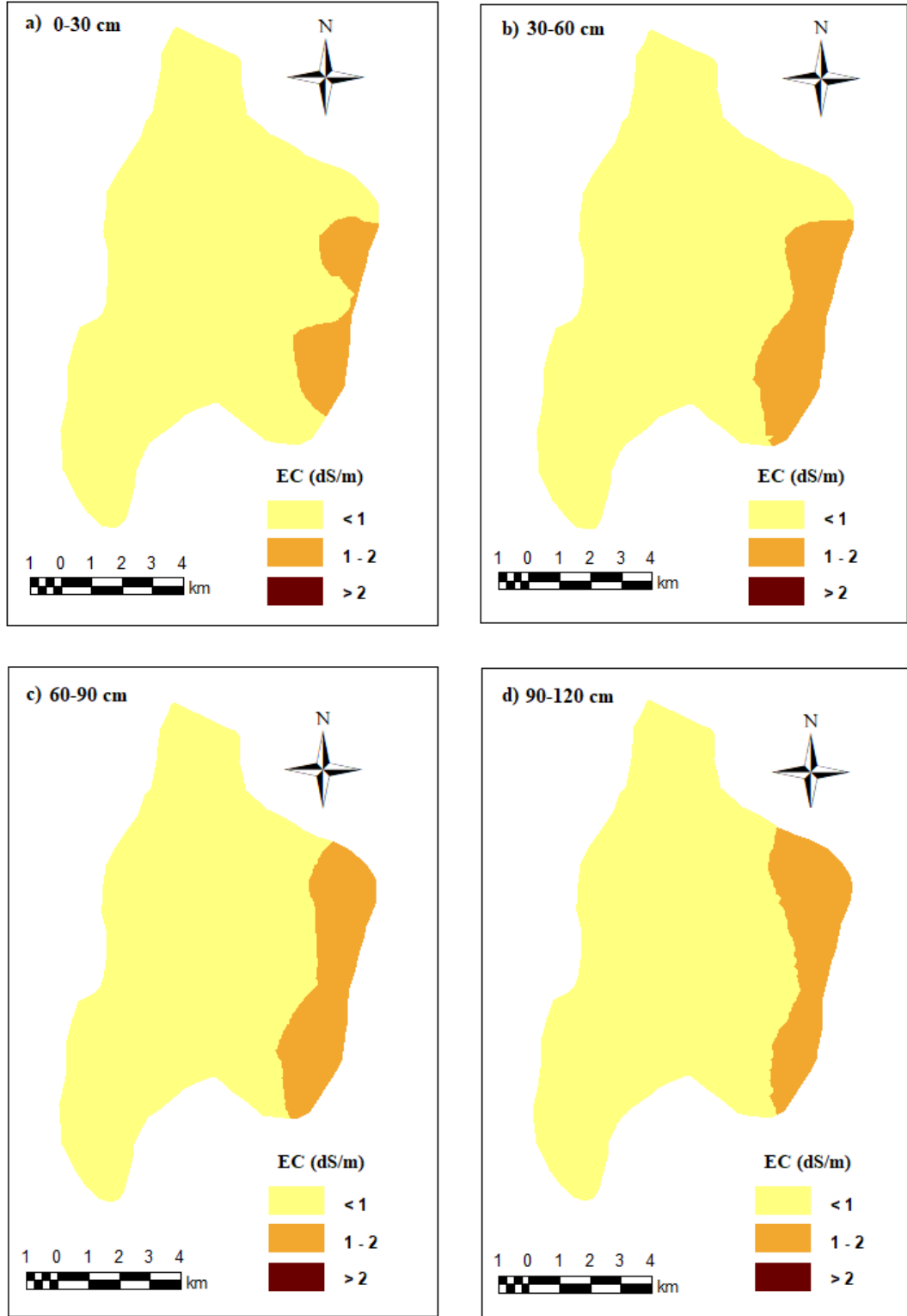
Derinlik (cm)		0-30		30-60		60-90		90-120	
Özellik	Tanımlayıcı istatistik	Ö	ÇD	Ö	ÇD	Ö	ÇD	Ö	ÇD
EC (dS/m)	AO	0.77	0.75	0.78	0.75	0.73	0.71	0.66	0.65
	Min.	0.27	0.50	0.27	0.55	0.26	0.45	0.21	0.39
	Max.	5.34	1.81	5.54	1.71	5.77	1.77	5.07	1.90
	S.S	0.53	0.18	0.57	0.20	0.60	0.21	0.52	0.21
ESP (%)	AO	6.64	6.21	7.41	6.82	8.35	7.78	8.64	8.48
	Min.	1.18	2.80	1.68	3.96	1.56	4.86	2.27	3.75
	Max.	44.46	15.22	51.82	16.90	50.27	17.34	47.42	27.74
	S.S	5.92	1.95	7.22	2.36	8.21	2.61	8.34	4.24
KDK (meq/100 g)	AO	42.36	42.45	42.28	42.01	41.61	41.12	39.03	38.52
	Min.	23.93	30.84	20.11	28.09	19.39	28.09	19.43	26.95
	Max.	86.37	60.05	79.80	60.36	77.59	58.76	78.83	57.06
	S.S	11.94	6.10	11.37	6.66	12.44	6.83	11.99	6.14
CaCO ₃ (%)	AO	7.21	7.10	7.42	6.91	10.25	9.48	13.63	13.56
	Min.	1.30	2.69	1.62	2.93	1.30	3.50	1.62	3.19
	Max.	16.88	13.81	20.44	13.69	24.42	15.86	28.96	21.85
	S.S	4.12	2.86	4.32	2.40	5.49	2.99	6.36	3.28
pH	AO	7.81	7.81	7.94	7.94	8.19	8.19	8.39	8.39
	Min.	6.97	7.49	7.06	7.66	7.25	7.65	7.07	7.64
	Max.	9.23	8.29	9.83	8.29	9.93	9.05	9.86	9.15
	S.S	0.41	0.15	0.36	0.13	0.43	0.25	0.45	0.28
OM (%)	AO	2.69	2.72						
	Min.	0.35	1.33						
	Max.	7.56	4.25						
	S.S	1.16	0.49						

Min: Minimum değer, Max: Maksimum değer, AO: Aritmetik ortalama, S.S: Standart sapma, Ö: Ölçülen, ÇD: Çapraz değerlendirme, EC: Elektriksel iletkenlik, ESP: Değişebilir sodyum yüzdesi, KDK: Katyon değişim kapasitesi, OM: Organik madde (%)

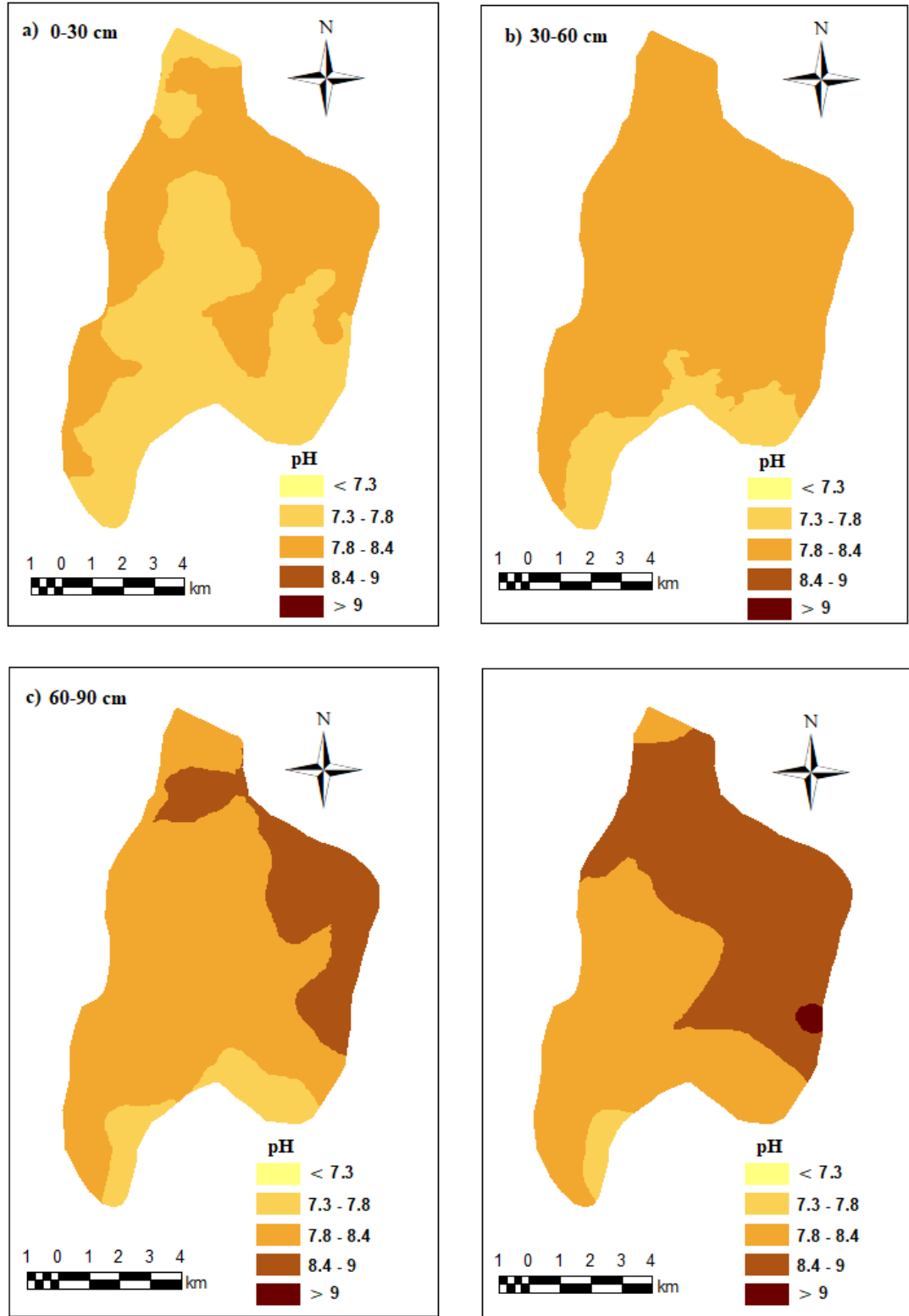
Çalışma alanı topraklarının 2016 yılı sulama sonrası dönemindeki elektriksel iletkenlik değerleri için oluşturulan tahmin haritaları Şekil 4.63'de verilmiştir. Richards, (1954)'de yaptığı değerlendirmeye göre diğer dönemlere benzer şekilde bu dönemde de çalışma alanı topraklarının tamamında EC değeri 2.0 dS/m'nin altında olmuş ve tuzsuz olarak sınıflandırılmıştır. Çalışma alanında her dört katmanda da Kızılırmak nehrine yakın kısımlarda EC değerleri düşük bulunmuş, doğuya doğru gidildikçe ise EC değerleri artış göstermiştir. Derinlik arttıkça çok fazla olmamakla birlikte tuzluluğun azaldığı belirlenmiştir. Bütün katmanlar birlikte değerlendirildiğinde çalışma alanı topraklarında tuzluluk problemi olmadığı görülmektedir. Akım taşıma kapasitesinin bir ölçüsü olarak iletkenlik, toprakta mevcut çözünebilir tuzlar hakkında açık bir fikir verir ve toprakların tuzluluğunda önemli bir rol oynar. Toprağın elektriksel iletkenliği birçok faktörden etkilense de, yüksek iletkenlikler genellikle kil bakımından zengin toprak ile ve düşük iletkenlikler ise kumlu ve çakıllı topraklarla ilişkilidir. Bu, toprağı oluşturan parçacıkların biçimsel ve

fiziksel özelliklerinin bir sonucudur (Ravikumar ve Somashekar, 2014). Bu bilgiden yola çıkarak çalışma alanı topraklarının kil içeriği haritası ile EC haritaları karşılaştırıldığında kil içeriğinin yüksek olduğu alanlarda EC değerlerinin diğer alanlardan daha yüksek olduğu görülmektedir. 2016 sulama öncesi dönemindeki EC'nin alansal dağılım haritaları ile karşılaştırıldığında sulama sonrası dönemde 1-2 dS/m EC değerleri içeren toprakların alansal olarak artış gösterdiği söylenebilir.

Çalışma alanı topraklarında araştırılan bir diğer özellik toprak reaksiyonu (pH)'dur. Toprak pH'sı toprağın kimyasal yapısını belirlemede yardımcı olan önemli bir özelliktir ve toprağın asitliği veya alkalinitesini belirtmek için topraktaki hidrojen iyonu konsantrasyonunu ölçer (Kulshreshtha vd, 2003). Çalışma alanı topraklarının 2016 yılı sulama sonrası dönemindeki toprak pH'sı için oluşturulan alansal dağılım haritaları Şekil 4.64'de verilmiştir. Çalışma alanındaki toprakların pH değeri diğer dönemlerde olduğu gibi 7.0'den yüksek çıkmış ve alkali özellik göstermiştir. Ravikumar ve Somashekar (2014)'de toprak örneklerinin alkali özellik göstermesinin değişebilir anyonların yüksek miktarda yıkanmasından kaynaklanabileceğini bildirmişlerdir. Çalışma alanı toprakları genel olarak hafif ve orta derecede alkali özellik göstermiştir. Derinlik arttıkça toprakların pH değerleri de artmıştır. 90-120 cm derinlikte çalışma alanının yaklaşık %0.8'inde pH değeri 9'un üzerine çıkmıştır. 0-30 cm ve 30-60 cm derinliklerinde 8.4'ün üzerinde değer bulunmazken 60-90 cm derinlikte çalışma alanının yaklaşık %21'inde pH değeri 8.4-9.0 arasında değişmiş ve şiddetli alkali özellik göstermiştir. Benzer şekilde 90-120 cm toprak katmanında tüm alanın yaklaşık %49'unda bir üst katmana benzer bölgede şiddetli alkali özellikte topraklar bulunmuştur. Sulama öncesi dönemle karşılaştırıldığında tüm derinliklerde pH değerinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.63. Eylül 2016 dönemi (a) 0-30 cm, (b) 30-60 cm, (c) 60-90 cm (d) 90-120 cm derinliklerindeki EC haritaları



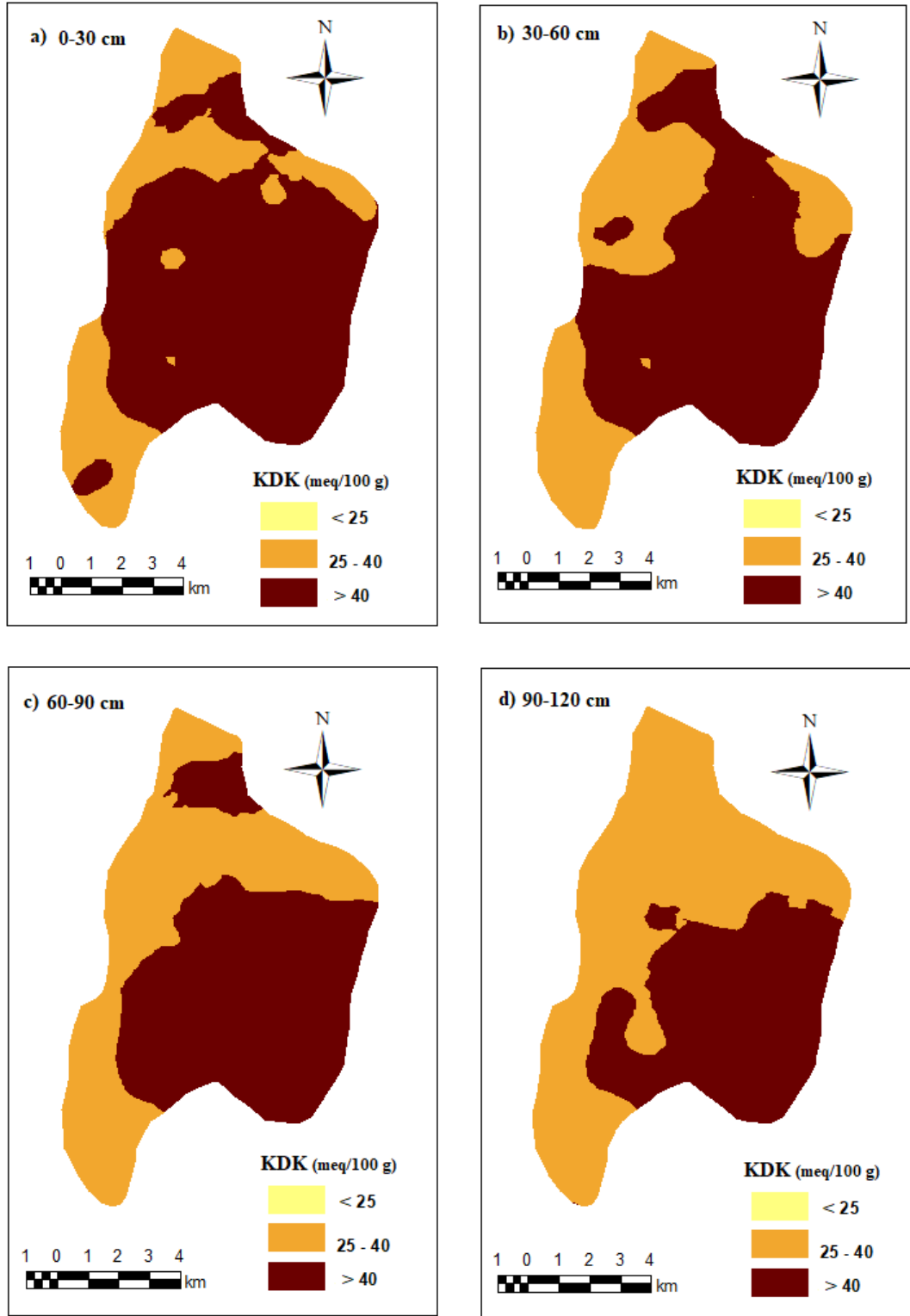
Şekil 4.64. Eylül 2016 dönemi (a) 0-30 cm, (b) 30-60 cm, (c) 60-90 cm (d) 90-120 cm derinliklerindeki pH haritaları

Bir toprağın katyon değişim kapasitesi, toprağın tutabileceği değişebilir katyonların toplam miktarını temsil eder. Katyon değişim kapasitesi, incelenen toprak tipinin karakterize edilmesine yardımcı olur. Örneğin, topraktaki organik madde önemli bir negatif elektrostatik yük kaynağı olduğundan, KDK değerleri ile toprakta mevcut organik madde miktarı arasında güçlü bir korelasyon vardır (Harada and Inoko, 1975). KDK sonuçları, bir gübre programının belirlenmesinde kullanılmak üzere ikincil bilgilerin yanı sıra, toprak tipine ilişkin bilgi de sağlamaktadır. Toprakların KDK karakterizasyonu, farklı yapılarıdaki toprakların fosfor, potasyum ve magnezyum miktarları için önerilerde bulunulması açısından yararlıdır (Olorunfemi vd, 2016). Çalışma alanı topraklarının 2016 yılı sulama sonrası dönemindeki KDK değerleri için oluşturulan alansal dağılım haritaları Şekil 4.65’de verilmiştir. Hazelton ve Murphy (2016)’nın yaptığı sınıflandırma aralığı kullanılarak haritalar hazırlanmıştır. Buna göre Şekil 4.65 incelenecek olursa tüm derinliklerde ve tüm alanda yüksek ve çok yüksek KDK değerleri tespit edilmiştir. Genel olarak tüm katmanlarda KDK değeri çok yüksek bulunmuştur. Sulama öncesi döneme benzer şekilde KDK değerleri denizden uzaklaştıkça artmış, derinlik arttıkça azalmıştır. Ancak KDK değeri 40 meq/100 g’dan fazla olan alanlar sulama öncesi döneme oranla artmıştır. Yüksek organik madde ve kil içeriğine sahip toprakların, yüksek oranda KDK değerleri gösterdiği, bu nedenle, toprakların katyon değişim kapasitesinin temel olarak kil mineralleri ve toprak organik maddesine bağlı olduğu gözlenmiştir (Martel vd, 1978). Çalışma alanında kil ve organik maddenin yüksek olduğu alanlarda KDK değerlerinin de diğer alanlara göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

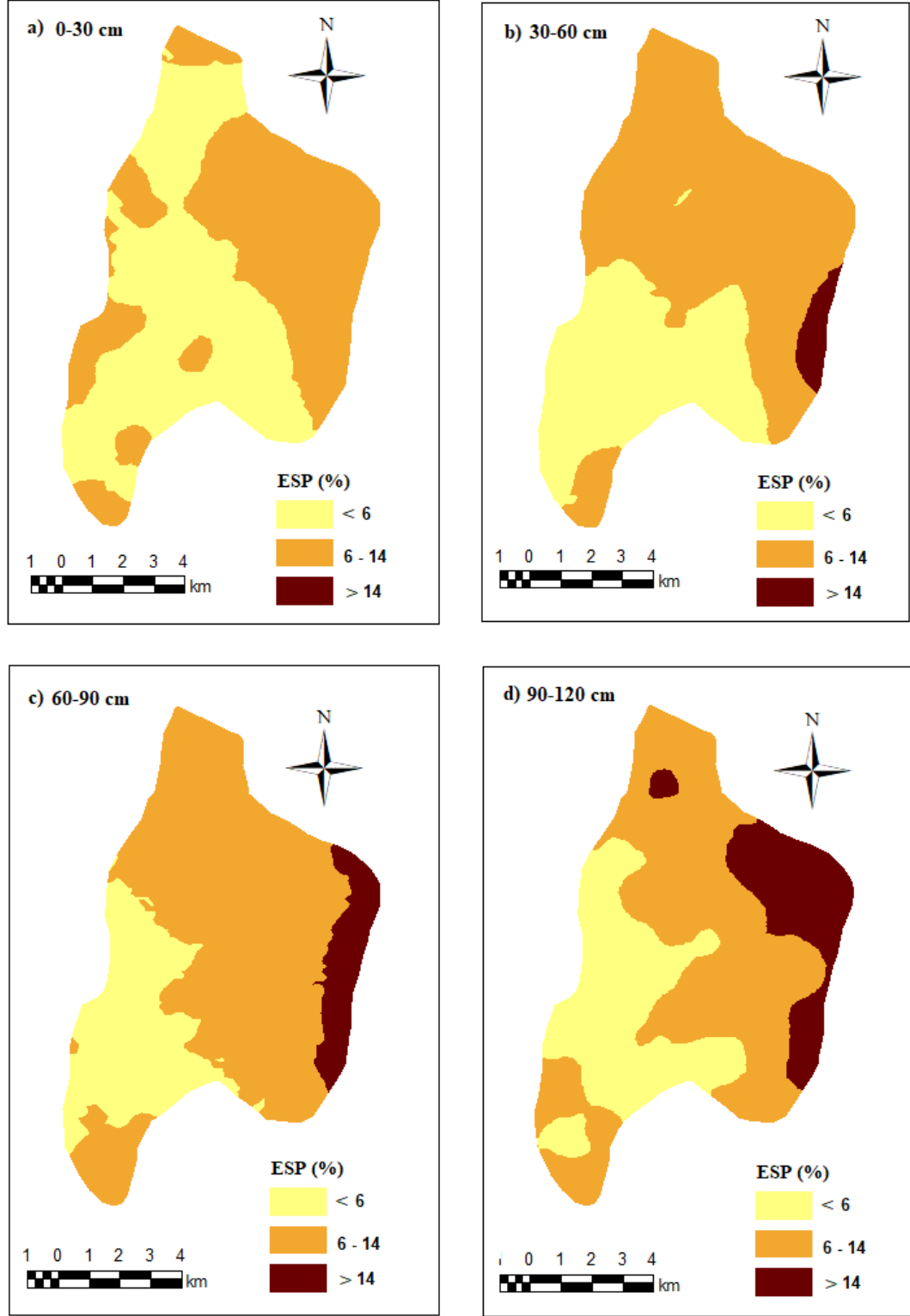
Toprak tuzluluğunun bir göstergesi olan ESP değerlerinin sulama sonrası dönemdeki alansal dağılım haritaları Şekil 4.66’da verilmiştir. Sulama öncesi döneme benzer şekilde 0-30 cm toprak katmanında çalışma alanının büyük kısmında ESP değerleri %6’dan küçük olmuş, denize yakın kısımlarda ve çalışma alanının doğusunda ise %6’dan büyük bulunmuştur. Toprakların ESP değerinin %6’dan küçük olması sodiklik açısından herhangi bir sorun oluşturmadığını göstermektedir. 30-60 cm toprak katmanında ise çalışma alanının doğusunda tüm alanın yaklaşık %3’ünde ESP değeri %14’ün üzerinde bulunmuş ve sodik özellik göstermiştir. Geri kalan alanın yarısına yakın bölümünde ESP %6’dan küçük bulunmuş, diğer yarısında ise %6-%14 arasında değişmiştir. Alt katmanlarına doğru gidildikçe ESP değerinin arttığı ve alanın büyük bölümünde az sodiklik sorununun olduğu tespit edilmiştir. Sulama öncesi

döneme benzer şekilde çalışma alanının batısında ve güneyinde sodiklik sorunu olmadığı, sodikliğin çalışma alanının doğusuna doğru artış gösterdiği ve genel olarak alt katmanlara doğru gidildikçe sodiklik sorununda artış olduğu görülmektedir.

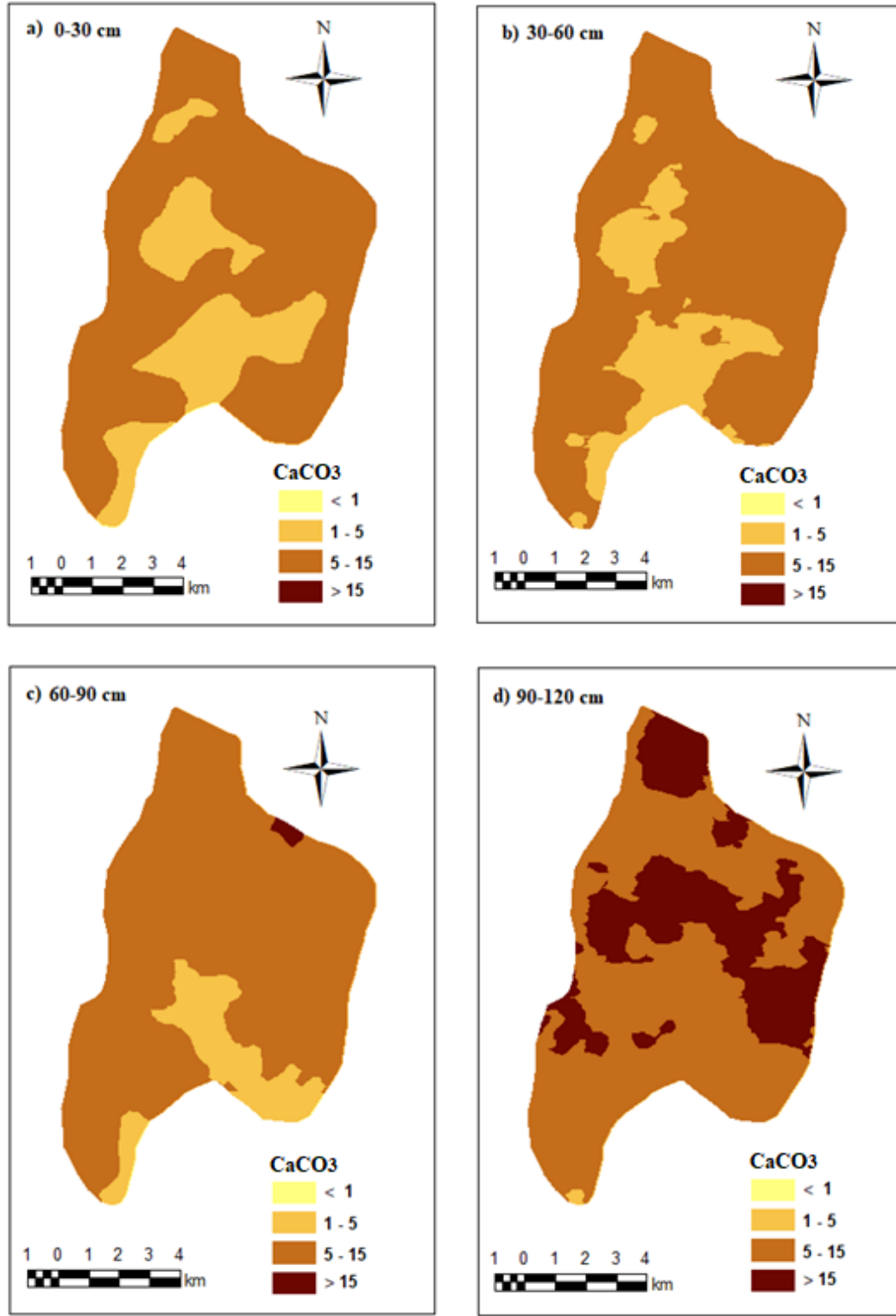
Sulama sonrası dönemde çalışma alanı topraklarında araştırılan CaCO_3 içeriğinin alansal dağılım haritaları Şeki 4.67’de verilmiştir. Buna göre Şekil 4.67 incelenecek olursa 0-30 cm ve 30-60 cm toprak katmanlarında az ve orta kireçli alanların varlığı görülmektedir. Genel olarak Taşova ve Akın (2013) tarafından yapılan sınıflandırmaya göre çalışma alanı toprakları orta derecede kireçli bulunmuştur. 60-90 cm derinlikte CaCO_3 içeriği çalışma alanının kuzey doğusunda çok küçük bir alanda %15’in üzerinde bulunmuştur. 90-120 cm derinlikte ise %15 in üzerinde olduğu alan miktarı artmış ve tüm alanın yaklaşık %30’unda fazla kireçli alan bulunmuştur. CaCO_3 içeriği tüm alanda sulama öncesi döneme benzer bir değişim göstermiştir.



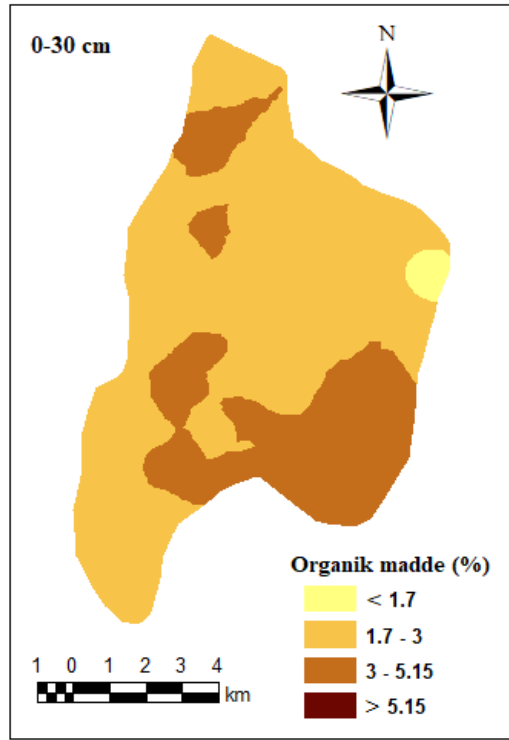
Şekil 4.65. Eylül 2016 dönemi (a) 0-30 cm, (b) 30-60 cm, (c) 60-90 cm (d) 90-120 cm derinliklerindeki KDK haritaları



Şekil 4.66. Eylül 2016 dönemi (a) 0-30 cm, (b) 30-60 cm, (c) 60-90 cm (d) 90-120 cm derinliklerindeki ESP haritaları



Şekil 4.67. Eylül 2016 dönemi (a) 0-30 cm, (b) 30-60 cm, (c) 60-90 cm (d) 90-120 cm derinliklerindeki CaCO_3 haritaları



Şekil 4.68. Eylül-2016 dönemi 0-30 cm derinliğindeki organik madde içeriği haritası

Sulama sonrası dönemde çalışma alanı topraklarının organik madde içeriğinin 0-30 cm toprak katmanı için oluşturulan tahmin haritası Şekil 4.68’de verilmiştir. Hazelton ve Murphy (2016)’da yaptığı sınıflandırmaya göre yaklaşık %1.4’ünde az, %70’inde orta ve geri kalan kısmında (%28.6) ise iyi düzeyde bulunmuştur. Organik maddenin iyi düzeyde bulunduğu alanlar çoğunlukla meraların bulunduğu bölgeler olmuştur.

4.3.2.5. Sulama öncesi dönemde kimyasal özelliklerin haritalanması (Nisan-2017)

Çalışma alanından 2017 yılı sulama öncesi dönemde alınan toprak örneklerinin kimyasal analiz sonuçları Çizelge 4.17’de verilmiştir.

Araştırma alanından alınan toprak örneklerinin konumsal yapılarının belirlenmesi amacıyla her bir özellik için deneysel semivariogramlar oluşturulmuştur. Semivariogramların oluşturulmasında yönere göre olası bağımlılığı (anizotropi) test etmek amacıyla, farklı dört yönde (0, 45, 90 ve 135⁰) hesaplamalar yapılmıştır. 2017 sulama öncesi dönemde incelenen toprakların kimyasal özelliklerinin tamamı izotropik bir yapı göstermiştir.

Çalışılan kimyasal özelliklerin modellenmesinde küresel, üssel ve gausiyan modeller kullanılmıştır. Modellerin elde edilmesinde modelin r² değeri dikkate alınmış ve en yüksek r² değerini veren model en uygun model olarak seçilmiştir. Buna göre elde edilen modeller ve ilgili semivariogramlar Çizelge 4.17 de verilmektedir.

Çizelge 4.17. Toprakların kimyasal özelliklerine ait izotropik semivariogram bileşenleri (Nisan-2017)

Özellik	Derinlik	Model	Co	Cs (Co+C)	Ao (m)	UB	r ²	RSS	r _{CD}
EC	0-30	Üssel	0.10	0.20	4720	Orta	0.66	0.003	0.14
	30-60	Gausiyan	0.11	0.31	5280	Orta	0.92	0.004	0.13
	60-90	Gausiyan	0.14	0.37	11710	Orta	0.97	0.001	0.14
	90-120	Üssel	0.15	0.51	14950	Orta	0.92	0.003	0.11
pH	0-30	Üssel	0.00	0.01	31100	Orta	0.79	3.98E-07	0.00
	30-60	Gausiyan	0.10	0.20	9190	Orta	0.88	0.001	0.09
	60-90	Üssel	0.00	0.02	31100	Kuvvetli	0.94	9.76E-07	0.11
	90-120	Üssel	0.00	0.03	31100	Kuvvetli	0.91	5.84E-06	0.22
CaCO ₃	0-30	Gausiyan	5.40	14.85	1950	Orta	0.80	14.6	0.44
	30-60	Gausiyan	0.24	0.64	1820	Orta	0.89	0.012	0.48
	60-90	Küresel	1.08	32.54	1960	Kuvvetli	0.69	64.5	0.30
	90-120	Küresel	12.10	49.04	2720	Kuvvetli	0.79	87.4	0.21
KDK	0-30	Üssel	40.50	102.15	8560	Orta	0.89	217	0.21
	30-60	Üssel	42.90	109.10	4480	Orta	0.81	624	0.30
	60-90	Üssel	37.40	95.10	3680	Orta	0.69	878	0.28
	90-120	Üssel	54.80	124.66	13160	Orta	0.80	353	0.16
ESP	0-30	Gausiyan	0.19	0.37	6510	Orta	0.86	0.006	0.00
	30-60	Gausiyan	0.18	0.38	6110	Orta	0.84	0.009	0.02
	60-90	Gausiyan	0.24	0.48	7040	Orta	0.82	0.015	0.09
	90-120	Gausiyan	0.25	0.51	6780	Orta	0.89	0.009	0.08
OM	0-30	Küresel	0.09	0.18	10600	Orta	0.75	0.001	0.11

Co: nugget varyans, Cs: Sill, Ao: Etki mesafesi (range), UB: Uzaysal bağımlılık, r²: semivaryogram modellemesinde belirleme kaysayı, RSS: Hata kareler toplamı, r_{CD}: Çapraz değerlendirme korelasyon katsayısı, EC: Elektriksel iletkenlik (dS m⁻¹), KDK: Katyon değişim kapasitesi (meq 100g⁻¹), ESP: Değişebilir sodyum yüzdesi, OM: Organik madde (%)

2017 yılı sulama öncesi dönemde araştırma alanına ait toprakların kimyasal özellikleri için oluşturulan varyogram modelleri incelendiğinde elektriksel iletkenlik (EC) değeri 0-30 cm ve 90-120 cm derinliklerinde üssel, diğer derinliklerde gausiyan model ile tanımlanmıştır (Çizelge 4.17). Bu dönemde toprakların EC değerleri tüm katmanlarda orta derecede uzaysal bağımlılık göstermiştir. EC değerinin kontrolsüz etki varyansı 0.10-0.15 arasında değişmiştir. Toprakların özelliklerinin konumsal bağımlılık gösterdikleri maksimum uzaklık değerleri farklılık göstermiştir. EC'nin ölçülen iki noktada birbirleri ile ilişkili olabileceği maksimum mesafeyi gösteren etki mesafesi 0-30 cm toprak katmanında 4720 m, 30-60 cm toprak katmanında 5280 m, 60-90 cm toprak katmanında 11710 m ve 90-120 cm toprak katmanında ise 14950 m olarak bulunmuştur (Şekil 4.69).

Çalışma alanında yapılan değerlendirmeler sonucu elde edilen deneysel semivariogramlarda pH değişkeni 30-60 cm derinlikte gausiyan, diğer katmanlarda ise üssel model ile tanımlanmıştır. Diğer dönemlere benzer şekilde tüm özellikler içerisinde en düşük kontrolsüz etki varyansı pH'da olmuştur. Toprakların pH değerleri 0-30 cm ve 30-60 cm toprak katmanlarında orta derecede uzaysal bağımlılık göstermiş, diğer katmanlarda ise kuvvetli uzaysal bağımlılık göstermişlerdir. Söz konusu özelliğin etki alanı 30-60 cm toprak katmanında 9190 m ve diğer derinliklerde 31100 m olarak bulunmuştur (Şekil 4.70).

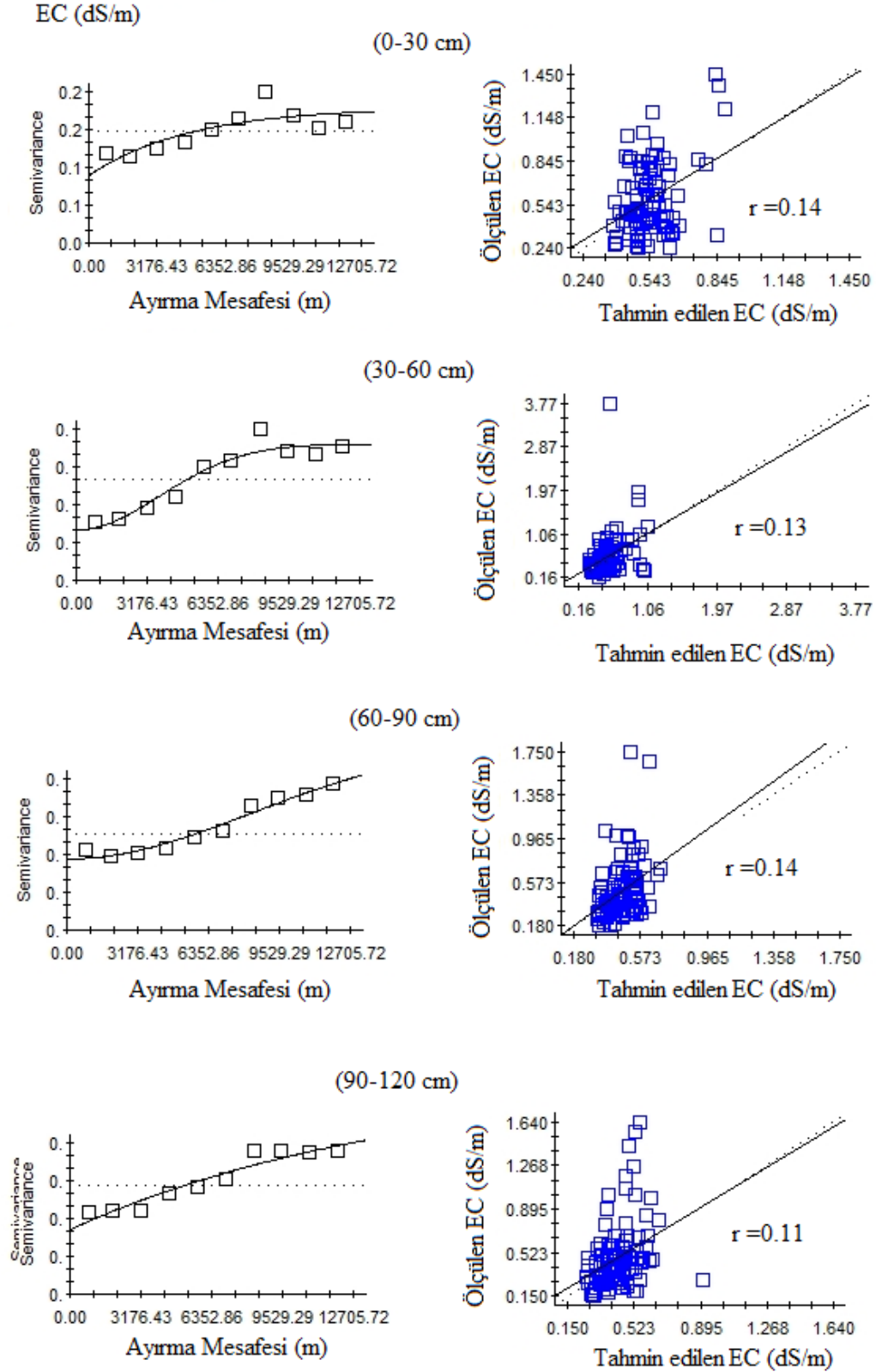
Toprakların CaCO_3 içerikleri 0-30 cm ve 30-60 cm toprak katmanlarında gausiyan, diğer katmanlarda ise küresel modele uygundur. Toprakların CaCO_3 içerikleri 0-30 cm ve 30-60 cm toprak katmanlarında orta derecede uzaysal bağımlı ve diğer derinliklerde kuvvetli uzaysal bağımlılık göstermiştir. Bu dönemde, mesafe ile açıklanamayan değişkenlik veya belirlenemeyen nedenlerden kaynaklanan değişkenlik olan nugget etkisi yüksek, buna bağlı olarak da uzaysal bağımlılığın düşük olduğu belirlenmiştir. CaCO_3 içeriğinin uzaysal bağımlılığın devam ettiği maksimum uzaklık 0-30 cm derinlikte 1950 m, 30-60 cm derinlikte 1820 m, 60-90 cm derinlikte 1960 m ve 90-120 cm derinlikte ise 2720 m olarak bulunmuştur (Şekil 4.71).

Kasyon değişim kapasitesi (KDK) değerleri tüm toprak katmanlarında üssel model ile tanımlanmıştır. Toprakların KDK değerleri tüm derinliklerde orta derecede uzaysal bağımlılık göstermişlerdir. Uzaysal bağımlılığın orta derecede olması, çalışılan örnekleme aralığında mesafeye bağımlı olarak açıklanamayan varyansın (nugget etki) yüksek olduğunu ve buna bağlı olarak uzaysal bağımlılığın düşük

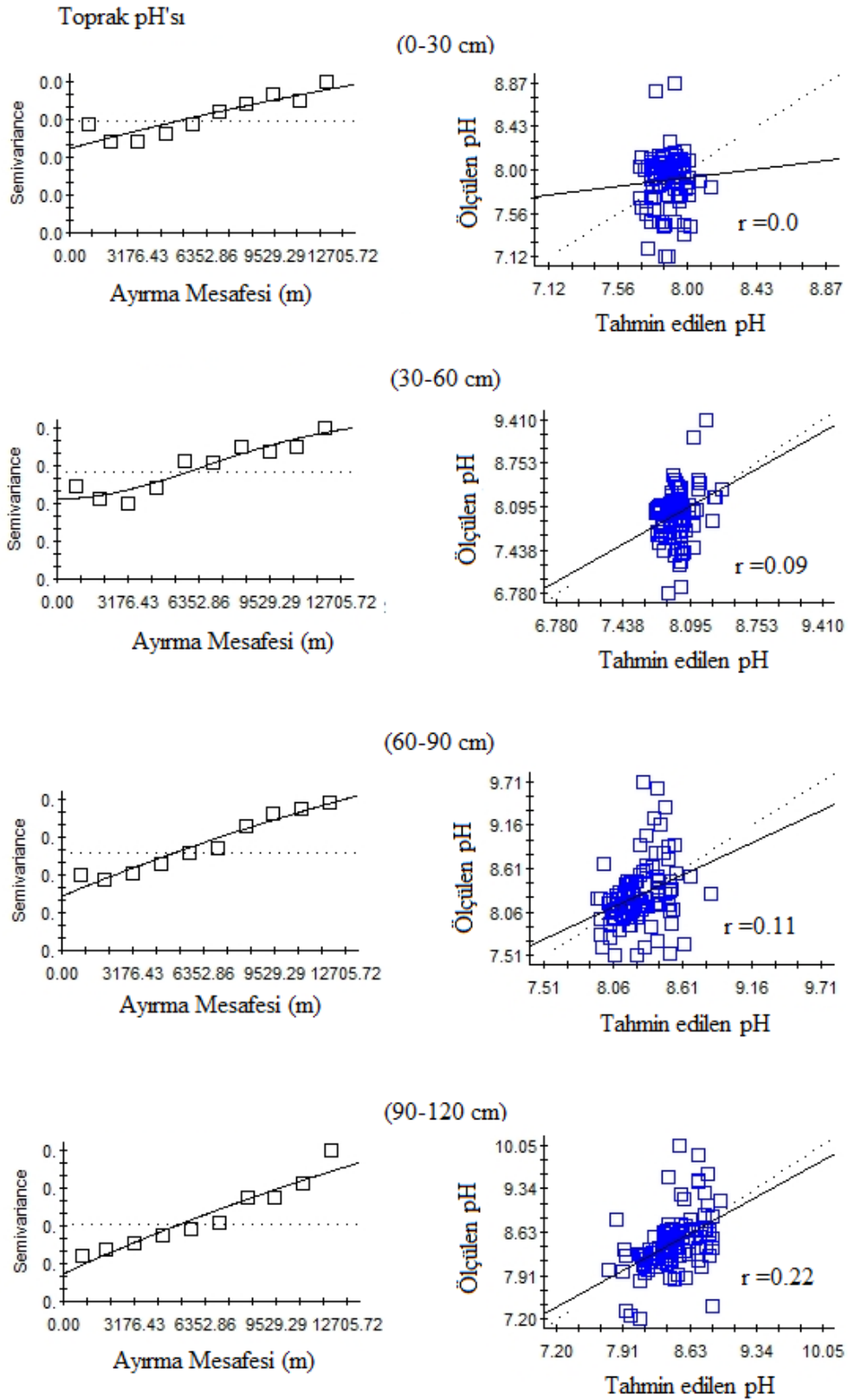
olduğunu göstermektedir. KDK'nın uzaysal bağımlılık mesafesi 0-30 cm toprak katmanında 8560 m, 30-60 cm toprak katmanında 4480 m, 60-90 cm toprak katmanında 3680 ve 90-120 cm toprak katmanında ise 13160 m olarak bulunmuştur (Şekil 4.72).

Değişebilir sodyum yüzdesi (ESP) değerleri tüm toprak katmanlarında gaussiyen model ile tanımlanmıştır. Ölçüm hatalarını da içeren nugget değeri, örnekleme aralıklarındaki değişkenliği ifade etmektedir. İncelenen bu toprak özelliğinin nugget değerleri düşük bulunmuş ve 0-30 cm'de 0.19, 30-60 cm'de 0.18, 60-90 cm'de 0.24 ve 90-120 cm'de 0.25 olarak belirlenmiştir. Toprakların ESP değerleri tüm katmanlarda orta derecede uzaysal bağımlı olmuştur. Uzaysal bağımlılığın devam ettiği maksimum uzaklığın ifadesi olan range değerleri 0-30 cm toprak katmanında 6510 m, 30-60 cm toprak katmanında 6110 m, 60-90 cm toprak katmanında 7040 m ve 90-120 cm toprak katmanında ise 6780 m bulunmuştur (Şekil 4.73).

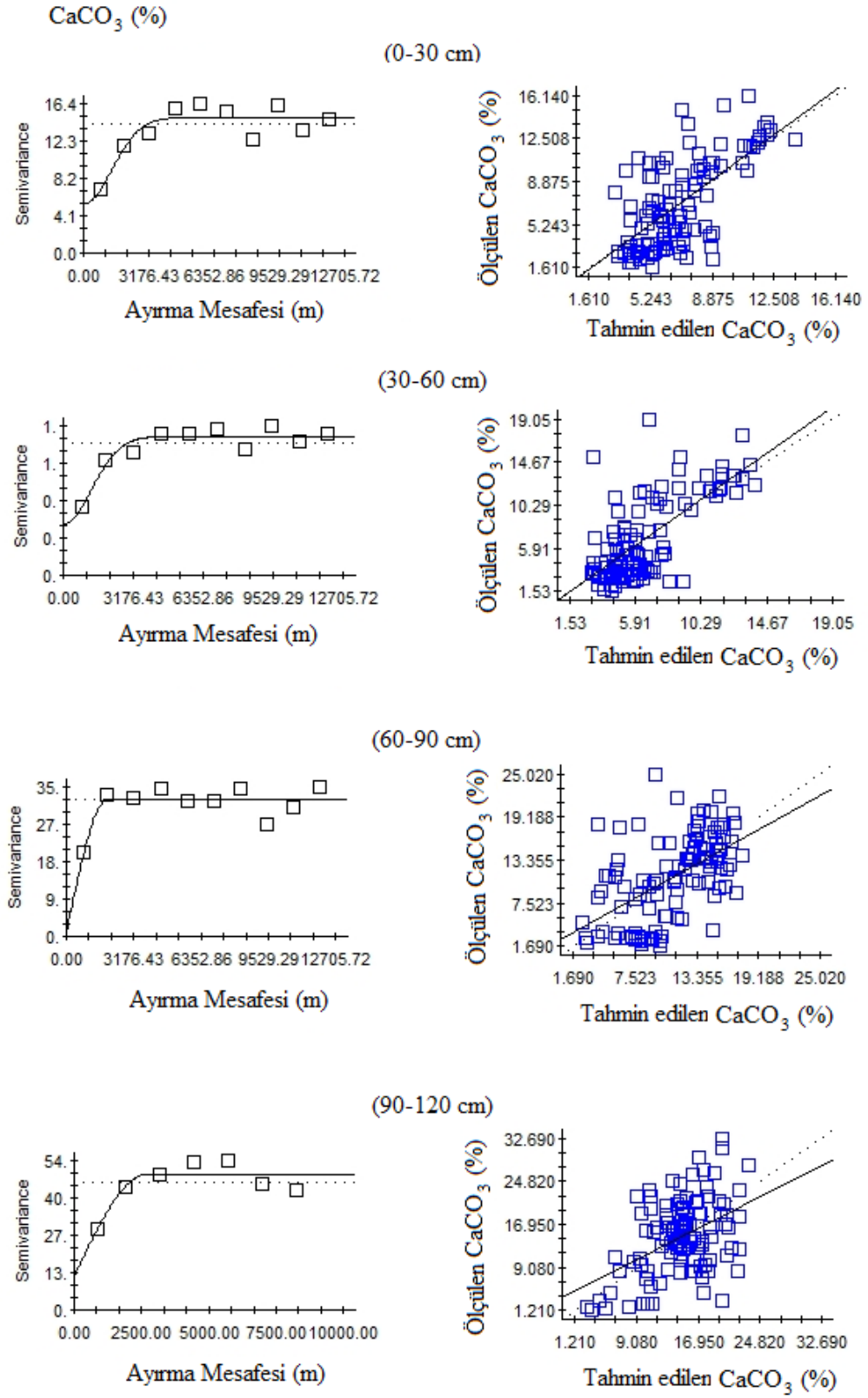
Yüzey toprağın organik madde içeriğinin modellenmesinde ise küresel model kullanılmıştır (Çizelge 4.17). Toprakların organik madde içerikleri diğer dönemlerde olduğu gibi orta derecede uzaysal bağımlılık göstermiştir. Nugget semivaryansının toplam semivaryansa oranının yüzdesi dikkate alındığında söz konusu özelliğın uzaysal bağımlılık mesafesi yüzey toprak katmanında 10600 m olarak bulunmuştur (Şekil 4.74).



Şekil 4.69. EC için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafikleri (Nisan-2017)

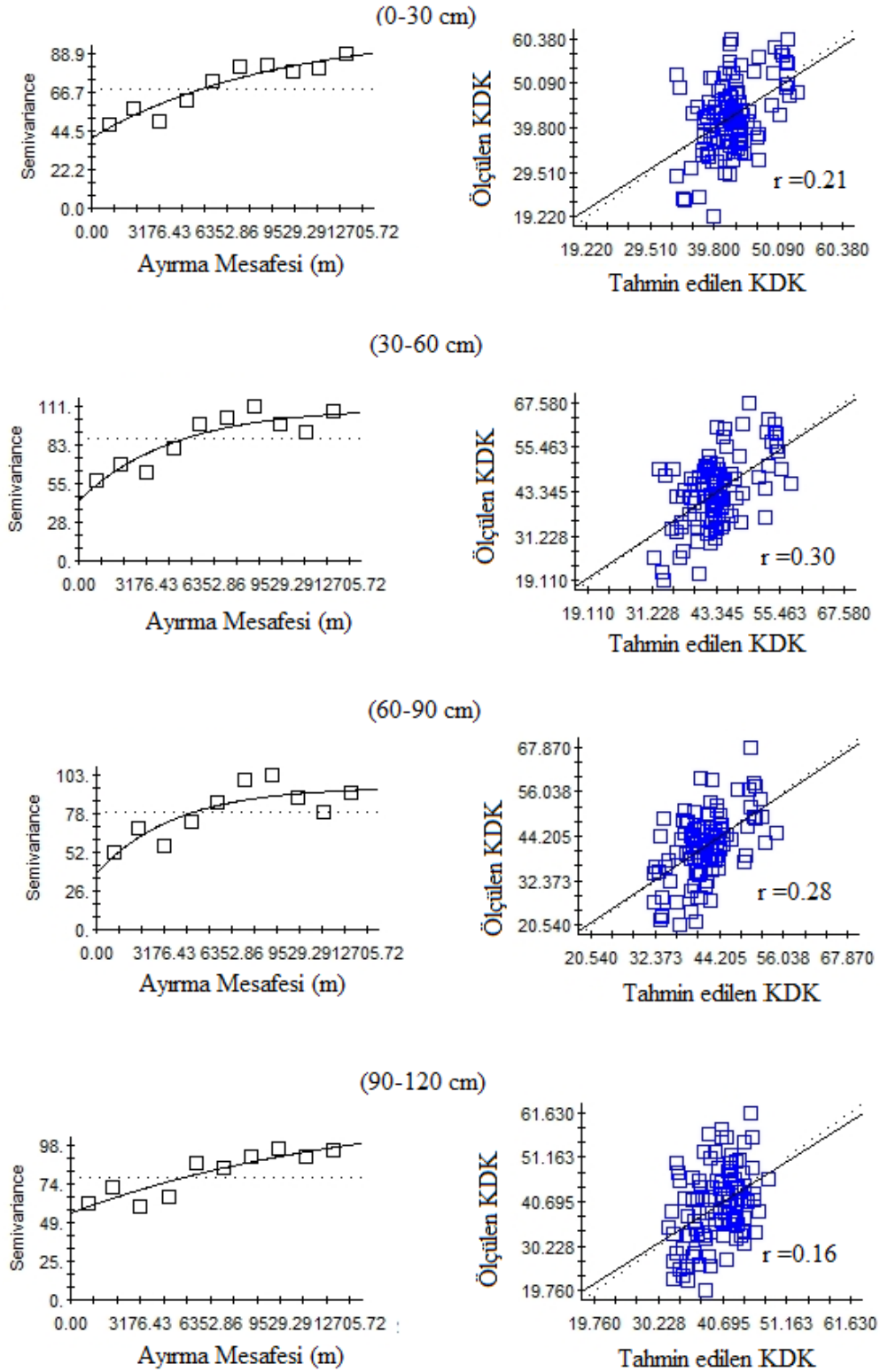


Şekil 4.70. pH için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafikleri (Nisan-2017)

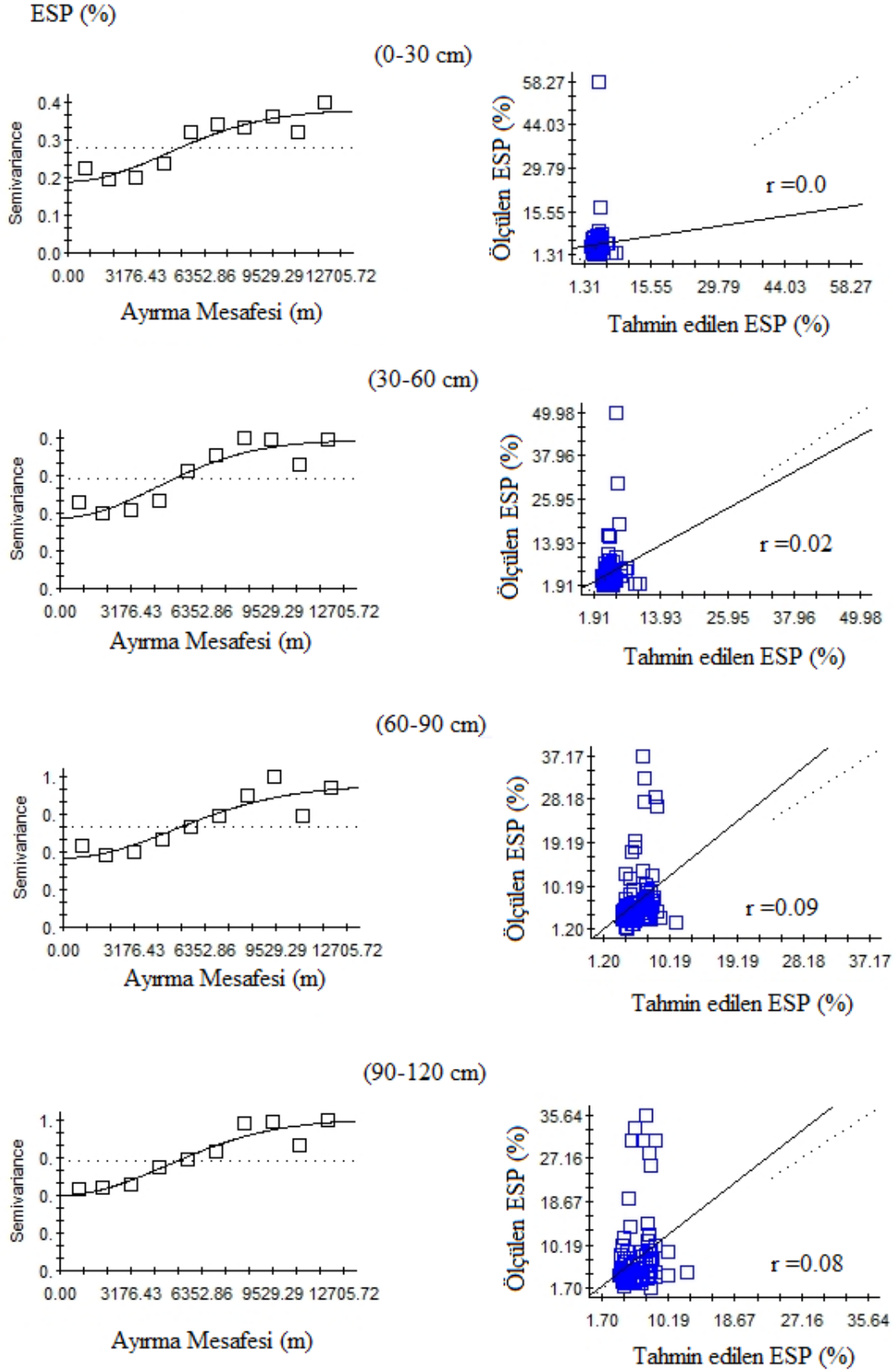


Şekil 4.71. CaCO₃ için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafikleri (Nisan-2017)

KDK (meq/100 g)



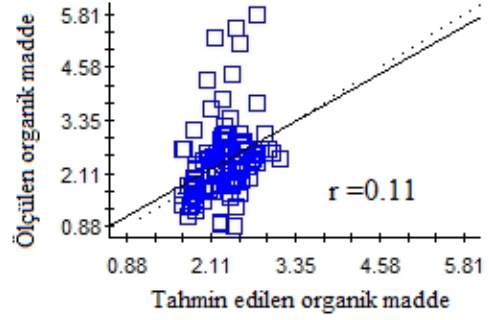
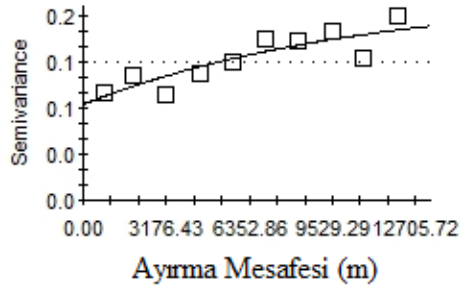
Şekil 4.72. KDK için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafikleri (Nisan-2017)



Şekil 4.73. ESP için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafikleri (Nisan-2017)

Organik madde içeriği (%)

(0-30 cm)



Şekil 4.74. Organik madde için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafiği (Nisan-2017)

Model seçiminden önce modellerin yaptıkları tahminler ile ölçülen değerler arasındaki ilişkinin gücüne bakılmıştır. CaCO_3 içeriği haricindeki özelliklerin çapraz değerlendirmede elde edilen r değeri düşük bulunmuştur (Çizelge 4.18)

Çapraz değerlendirme sonucu elde edilen tahmin değerleriyle ölçülen değerlere ait tanımlayıcı istatistik sonuçları Çizelge 4.18’de verilmiştir. Diğer dönemlerde olduğu gibi kriging işlemi sonunda elde edilen tahmin değerlerinin standart sapması gerçek değerlerin standart sapmasından daha küçük bulunmuştur. Çizelge 4.18’ de görüldüğü gibi 2017 yılı sulama sonrası dönemde toprakların kimyasal özelliklerinin analize bulunan değerleriyle kriging ile tahmin edilen değerleri karşılaştırıldığında minimum ve maksimum değerlerinin birbirlerinden farklı olduğu ancak özelliklerin ortalama değerlerinin birbirlerine yakın olduğu bulunmuştur. Bu dönemde en uygun semivariogram modelleri kullanılarak deneme alanında analizi yapılan toprak özelliklerinin değişimlerini gösteren tahmin haritaları maksimum 20 komşu nokta kullanılarak ordinary kriging yöntemi ile oluşturulmuştur.

Çizelge 4.18. Toprakların kimyasal özelliklerinin ölçülen ve tahmin edilen değerlerine ait tanımlayıcı istatistik sonuçları (Nisan-2017)

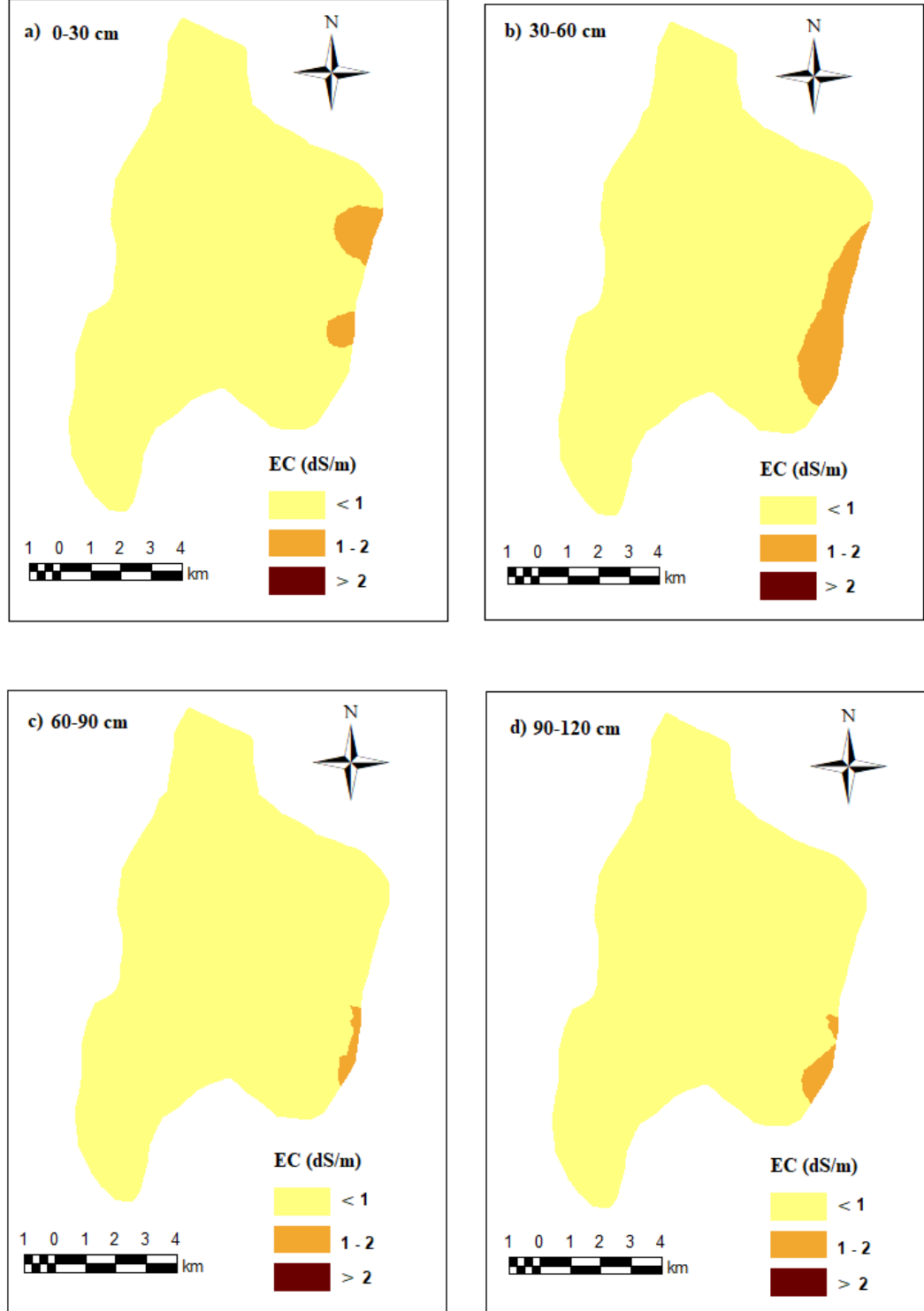
Derinlik (cm)		0-30		30-60		60-90		90-120	
Özellik	Tanımlayıcı istatistik	Ö	ÇD	Ö	ÇD	Ö	ÇD	Ö	ÇD
EC (dS/m)	AO	0.62	0.59	0.59	0.57	0.53	0.52	0.51	0.50
	Min.	0.24	0.37	0.16	0.33	0.14	0.32	0.12	0.26
	Max.	6.10	1.61	3.77	1.23	2.17	0.94	1.94	1.19
	S.S	0.58	0.17	0.42	0.18	0.34	0.14	0.34	0.16
ESP (%)	AO	5.07	4.60	6.00	5.38	7.05	6.48	7.36	6.77
	Min.	1.31	3.07	1.25	3.47	1.20	4.10	1.49	4.34
	Max.	58.27	9.91	52.93	13.57	53.13	14.89	44.91	14.83
	S.S	6.39	1.20	7.14	1.76	7.51	2.20	7.64	2.40
KDK (meq/100 g)	AO	42.39	42.52	43.45	43.57	41.74	41.81	39.83	39.84
	Min.	19.22	31.44	19.11	28.52	20.54	29.43	19.76	30.21
	Max.	60.38	53.36	67.58	58.22	68.90	56.90	64.03	51.97
	S.S	8.28	4.43	9.39	5.67	9.54	5.61	9.49	4.30
CaCO ₃ (%)	AO	7.14	7.04	2.56	2.54	10.85	10.84	14.79	14.79
	Min.	1.61	3.00	1.24	1.66	1.69	2.71	1.21	2.97
	Max.	16.14	14.28	4.36	3.73	25.02	17.70	32.69	22.64
	S.S	3.93	2.70	0.80	0.54	5.77	3.94	6.95	4.21
pH	AO	7.87	7.87	7.99	7.99	8.27	8.27	8.44	8.44
	Min.	6.60	7.61	6.78	7.69	7.09	7.73	7.20	7.60
	Max.	8.87	8.17	9.41	8.48	9.71	8.89	10.05	9.20
	S.S	0.35	0.10	0.36	0.13	0.41	0.22	0.46	0.29
OM (%)	AO	2.50	2.49						
	Min.	0.88	1.63						
	Max.	5.81	3.31						
	S.S	1.05	0.39						

Min: Minimum değer, Max: Maksimum değer, AO: Aritmetik ortalama, S.S: Standart sapma, Ö: Ölçülen, ÇD: Çapraz değerlendirme, EC: Elektriksel iletkenlik, ESP: Değişebilir sodyum yüzdesi, KDK: Katyon değişim kapasitesi, OM: Organik madde (%)

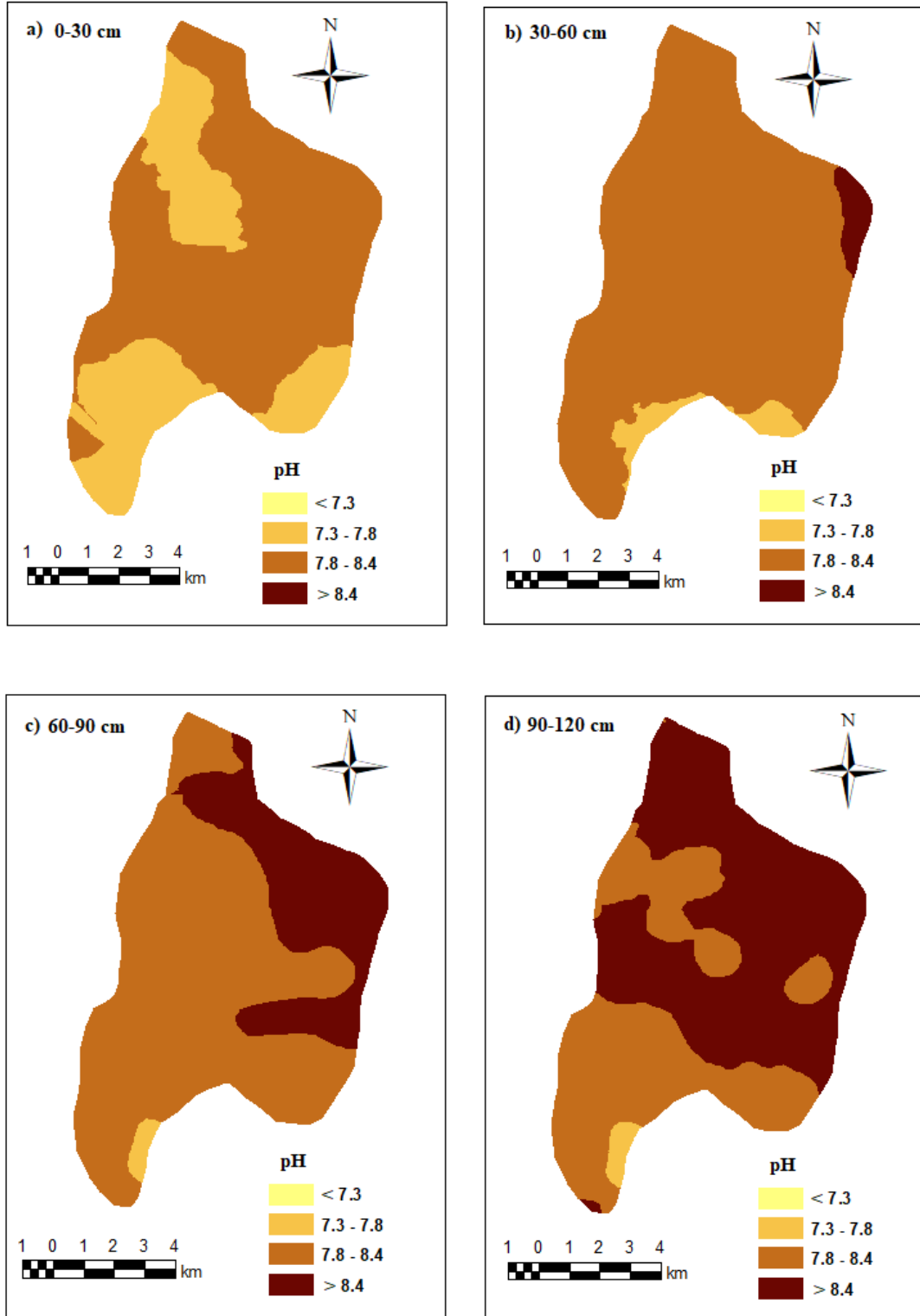
Çalışma alanı topraklarının 2017 yılı sulama öncesi dönemindeki EC'nin farklı katmanları için oluşturulan alansal dağılım haritaları Şekil 4.75'de verilmiştir. Çalışma alanı topraklarının tamamında EC değeri 2.0 dS/m'nin altında olmuş ve Richards, (1954)'e göre tuzsuz olarak sınıflandırılmıştır. Çalışma alanında Kızılırmak nehrine yakın kısımlarda EC değerleri düşük, doğuya doğru gidildikçe ise EC değerleri az miktarda artış göstermiştir. Derinlik arttıkça çok fazla olmamakla birlikte tuzluluğun azaldığı belirlenmiştir.

Sulama öncesi dönemde çalışma alanı toprakların pH dağılım haritaları Şekil 4.76'da verilmiştir. Şekil 4.76 incelendiğinde pH'nın alanda bitkiler için uygun sınırların çok üzerinde olduğu bir çok bölgenin olduğu hatta bazı bölgelerde pH'nın 8.4'ün üzerine kadar yükseldiği belirlenmiştir. 0-30 cm toprak katmanında çalışma alanının büyük çoğunluğunda pH değeri 7.8-8.4 aralığında değişmiş ve orta alkali özellik göstermiştir. Alt katmanlara doğru inildikçe toprakların pH değerlerinde bir artış olduğu ve şiddetli alkali özellik gösteren toprakların (8.4 ve üzeri) çalışma

alanının kuzeyinde ve doğusunda yoğunlaştığı görülmektedir. Cemek vd, (2007) yaptıkları çalışmada da benzer sonuçlar elde edilmiş, derinlik arttıkça pH değerinin 8.4 ve üzerinde olduğu alanların miktarı artmış ve çalışma alanının doğusunda görülmüştür.



Şekil 4.75. Nisan 2017 dönemi (a) 0-30 cm, (b) 30-60 cm, (c) 60-90 cm (d) 90-120 cm derinliklerindeki EC haritaları

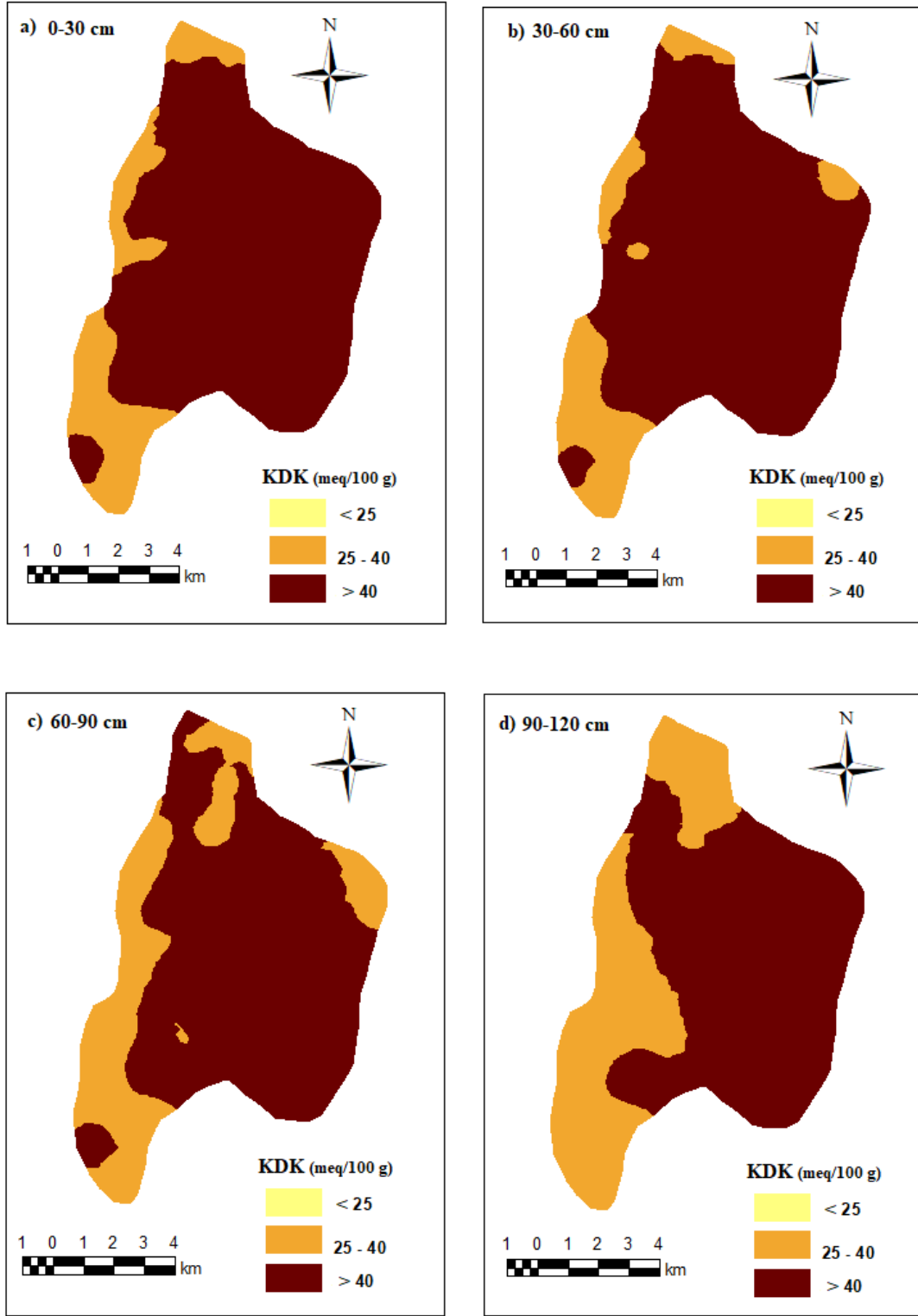


Şekil 4.76. Nisan 2017 dönemi (a) 0-30 cm, (b) 30-60 cm, (c) 60-90 cm (d) 90-120 cm derinliklerindeki pH haritaları

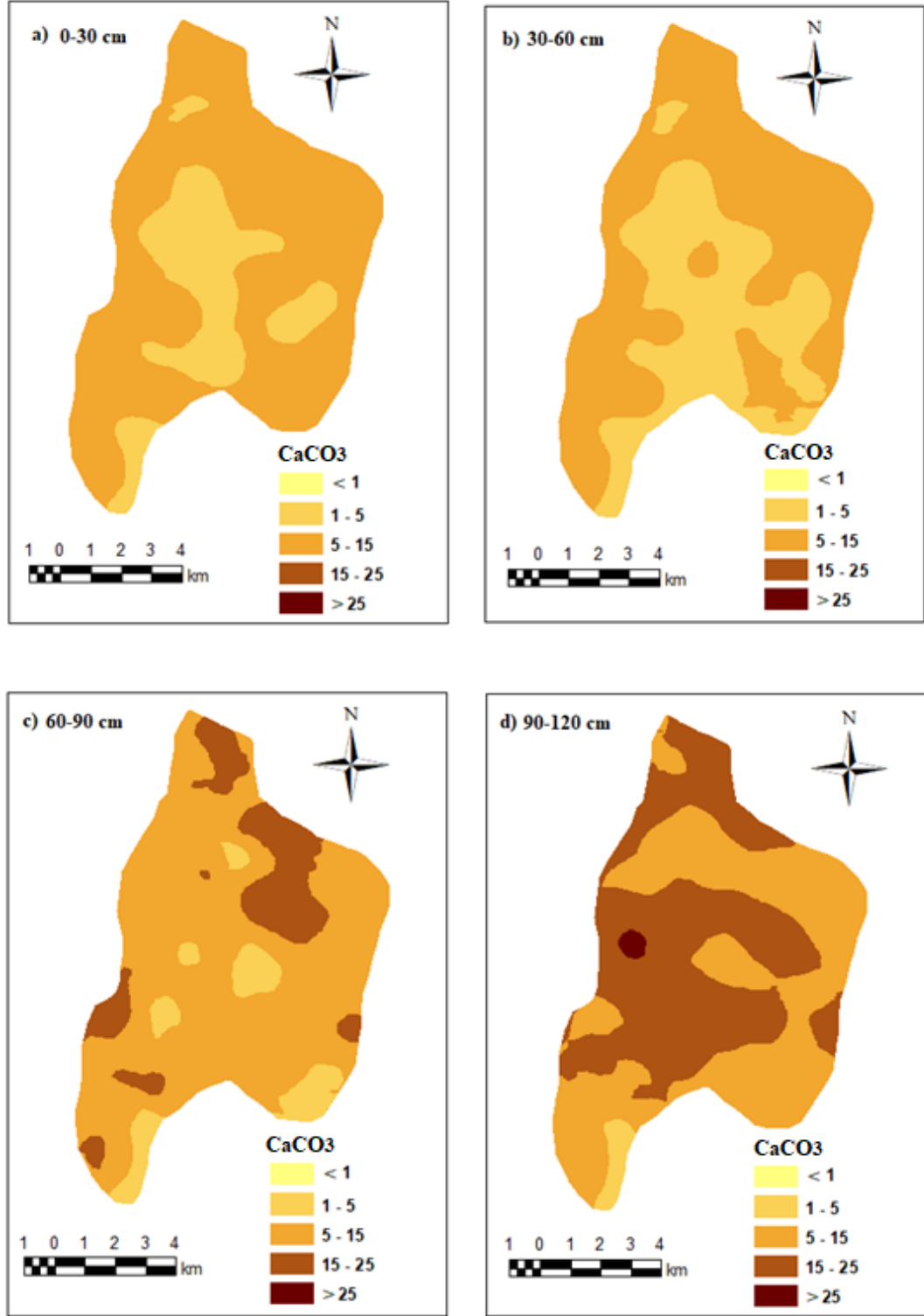
Çalışma alanı topraklarının 2017 yılı sulama öncesi dönemindeki KDK değerleri için oluşturulan alansal dağılım haritaları Şekil 4.77’de verilmiştir. Hazelton ve Murphy (2016)’nın yaptığı sınıflandırmada KDK değerlerinin 12.0-25.0 meq/100 g olması orta, 25.0-40.0 meq/100 g aralığında olması yüksek, $KDK > 40.0$ meq/100 g olması ise çok yüksek olarak tanımlanmıştır. Buna göre Şekil 4.77 incelenecek olursa 2016 yılı sulama öncesi döneme benzer şekilde 4 farklı derinlikte ve tüm alanda yüksek ve çok yüksek KDK değerleri belirlenmiştir. 0-30 cm toprak katmanında KDK içeriğinin çok yüksek olduğu alanlar diğer katmanlardan daha fazla olmuştur. Tüm katmanlarda çalışma alanının Kızılırmak nehrine ve denize yakın alanlarında KDK 25-40 meq/100g arasında değişim göstermiş, doğuya doğru gittikçe 40 meq/100 g’ın üzerine çıkmıştır. Derinlik arttıkça KDK içeriği azalmıştır.

Sulama öncesi dönemde çalışma alanı topraklarında incelenen diğer bir özellik ise $CaCO_3$ içeriğidir. Bu dönemde farklı derinlikler için hazırlanan $CaCO_3$ içeriği dağılım haritaları Şekil 4.78’de verilmiştir. $CaCO_3$ içeriği 2016 yılı sulama öncesi döneme benzer şekilde değişim göstermiştir. 0-30 cm toprak katmanında $CaCO_3$ içeriği % 5’den küçük olduğu alanlar çalışma alanının ortasında ve en güneyinde oluşmuştur. Bu alanlarda kireç miktarı az bulunmuştur. Çalışma alanının geri kalan kısımlarında ise kireç değeri %5-%15 arasında bulunmuş ve orta kireçli özellik göstermiştir. 30-60 cm toprak derinliğinde $CaCO_3$ içerikleri bir üst katmandakine benzer bir dağılım göstermiştir. 60-90 cm derinlikte $CaCO_3$ değeri ovanın farklı bölgelerinde lokal olarak %5’in altında ve %15’in üzerinde değişim göstermiştir. Büyük çoğunluğunda ise %5-%15 arasında değişmiştir. En alt katmana inildiğinde ise kireç içeriğinin arttığı, hatta çok küçük bir bölgede kireç içeriğinin %25’in üzerine çıktığı görülmektedir.

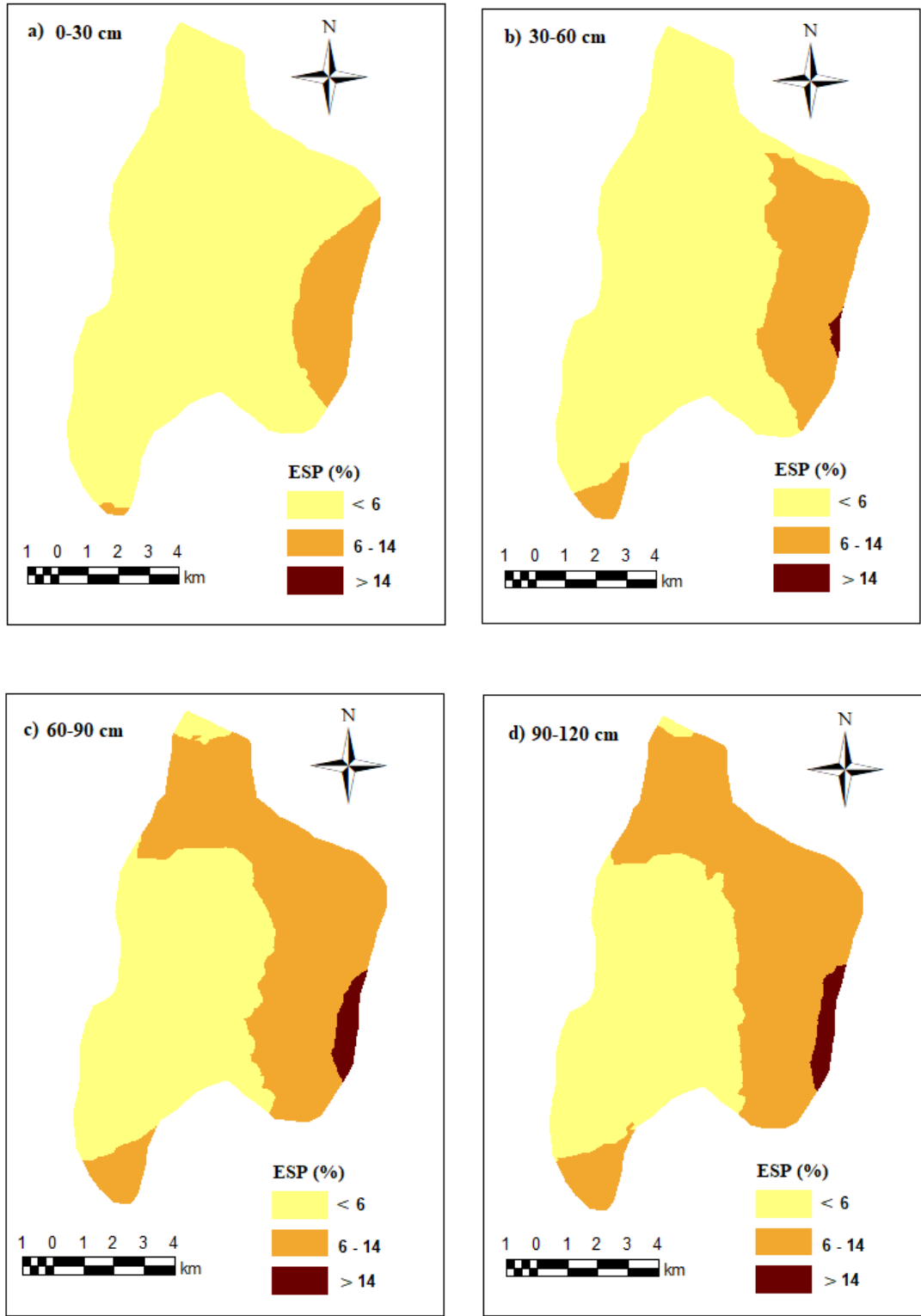
Çalışma alanı topraklarının 2017 yılı sulama öncesi dönemindeki ESP değerleri için oluşturulan alansal dağılım haritaları Şekil 4.79’da verilmiştir. Şekil 4.79 incelendiğinde 0-30 cm toprak katmanında alanın büyük çoğunluğunda ESP değeri %6’dan küçük bulunmuştur. Bu da sodiklik açısından problem olmadığı anlamına gelmektedir. Derinlik arttıkça ESP değerleri artmış ve %14’ün üzerinde sodik alanlar oluşmuştur. Her dört derinlikte de Kızılırmak nehrine yakın bölgelerde ve ovanın iç kısımlarında ESP 6’dan küçük bulunmuştur. Denize yakın bölgelerde ve doğuda %6-14 arasında değişmiştir. Ayrıca ESP değerinin %15’in üzerine çıktığı bölgelerde (çalışma alanının doğusunda) pH değerlerinin 8.5’in üzerine çıktığı görülmektedir.



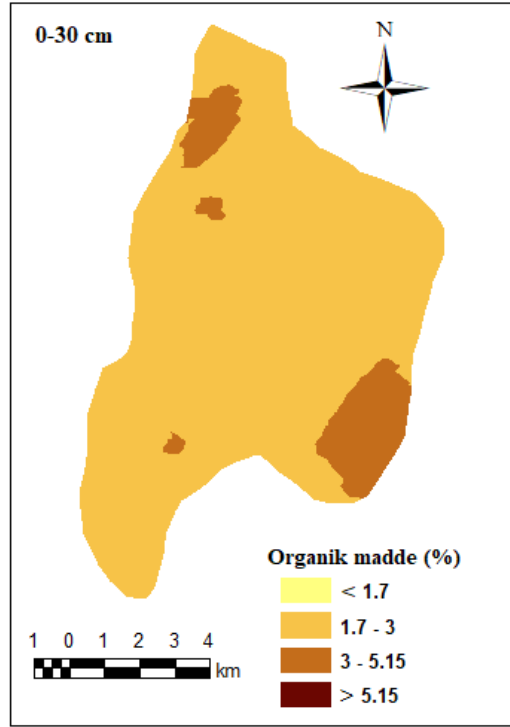
Şekil 4.77. Nisan 2017 dönemi (a) 0-30 cm, (b) 30-60 cm, (c) 60-90 cm (d) 90-120 cm derinliklerindeki KDK haritaları



Şekil 4.78. Nisan 2017 dönemi (a) 0-30 cm, (b) 30-60 cm, (c) 60-90 cm (d) 90-120 cm derinliklerindeki CaCO_3 haritaları



Şekil 4.79. Nisan 2017 dönemi (a) 0-30 cm, (b) 30-60 cm, (c) 60-90 cm (d) 90-120 cm derinliklerindeki ESP haritaları



Şekil 4.80. Nisan 2017 dönemi 0-30 cm derinliğindeki organik madde içeriği haritası

Sulama öncesi dönemde çalışma alanı topraklarının organik madde içeriğinin 0-30 cm toprak katmanı için oluşturulan tahmin haritası Şekil 4.80’de verilmiştir. Çalışma alanı topraklarının organik madde içerikleri çalışma alanının büyük çoğunluğunda (%90) orta ve yaklaşık %10’unda ise iyi düzeyde bulunmuştur. Çalışma alanının kuzeyinde meraların bulunduğu alanda ve güney doğuda organik madde içeriği iyi düzeyde bulunmuştur.

4.4. Toprak Özelliklerinin Mevsimsel Değişiminin Belirlenmesi

Çalışma alanı topraklarının özelliklerinin mevsimsel olarak değişimlerinin belirlenmesi amacıyla bağımlı örneklem t testi yapılmıştır.

Bu kapsamda 2010 yılı sulama sonrası dönemde örnekleme yapılan nokta sayısının sulama öncesi döneme göre az olması nedeniyle 2010 yılı sulama öncesi ve sonrası dönemler karşılaştırılmamıştır. Çalışmada öncelikle 2010 yılı sulama öncesi dönem ile 2016 yılı sulama öncesi dönemleri arasındaki toprak özelliklerinde meydana gelen değişim incelenmiş ve yapılan t testi sonuçları Çizelge 4.19’da verilmiştir. Çalışma alanında toprakların EC değerlerinin ortalaması 2010 Nisan döneminde 0.67 dS/m, 2016 Nisan döneminde ise 0.63 dS/m olarak bulunmuştur. Yapılan t testi sonucunda EC için P değeri 0.335 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.19). Bu değer anlamlı dereceden ($P>0.05$) daha büyük olduğundan EC özelliği için Nisan 2010 dönemi ile Nisan 2016 dönemi arasında anlamlı bir farkın olmadığını göstermektedir.

pH değerlerinin ortalaması 2010 Nisan döneminde 7.72 olarak bulunmuştur. 2016 Nisan döneminde ise ortalama 7.77 bulunmuştur. Yapılan t testi sonucunda pH için P değeri 0.192 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.19). Bu değer anlamlı dereceden ($P>0.05$) daha büyük olduğundan pH için 2010 yılı sulama öncesi ve 2016 yılı sulama öncesi dönemleri arasında anlamlı bir farkın olmadığı söylenebilir. Ayrıca Na ve organik maddenin de mevsimsel değişikliklerinin anlamlı olmadığı görülmektedir.

Çizelge 4.19. Nisan 2010 ve Nisan 2016 dönemi toprak özelliklerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler ve t testi sonuçları

Özellik	2010 Nisan Dönemi		2016 Nisan Dönemi		Test istatistikleri		
	Ortalama	S.S.	Ortalama	S.S.	t	P	P>F
EC	0.67	0.34	0.63	0.42	0.97	0.335	ÖD
pH	7.72	0.33	7.77	0.32	-1.31	0.192	ÖD
Na	3.64	3.16	3.13	3.44	1.58	0.117	ÖD
K	0.51	0.28	0.77	0.59	-4.55	0.000	**
Ca+Mg	30.02	4.91	33.54	6.85	-4.71	0.000	**
KDK	34.18	5.78	37.44	7.43	-3.99	0.000	**
ESP	9.98	6.90	7.96	7.58	2.89	0.005	**
CaCO ₃	9.19	3.92	10.40	4.15	-2.22	0.029	*
Organik madde	2.39	1.06	2.54	1.05	-1.41	0.162	ÖD

** $P<0.01$, * $P<0.05$, ÖD: Önemi değil, S.S: Standart sapma, EC: Elektriksel iletkenlik, Na: Sodyum ($\text{meq } 100\text{g}^{-1}$), K: Potasyum ($\text{meq } 100\text{g}^{-1}$), KDK: Katyon değişim kapasitesi ($\text{meq } 100\text{g}^{-1}$), ESP: Değişebilir sodyum yüzdesi, OM: Organik madde (%)

Bağımlı örneklem t-testi sonuçlarına göre K, Ca+Mg, KDK ve ESP özelliklerinin değişiminin istatistiksel olarak $P<0.01$ düzeyinde, CaCO_3 içeriğinin ise $P<0.05$ düzeyinde anlamlı olduğu görülmüştür. 2010 yılı Nisan döneminde ESP değerlerinin ortalaması 9.98 olmuştur. Nisan 2016 döneminde ise ortalama 7.96 olmuştur. Ortalamalar arasındaki 2.02'lik fark $P<0.01$ düzeyinde anlamlı bulunmuştur (Çizelge 4.19).

2010 Nisan ve 2016 Nisan döneminde K özelliğinin ortalaması sırasıyla 0.51 ve 0.77 meq/100 g, Ca+Mg değerlerinin ortalamaları sırasıyla 30.02 ve 33.54 meq/100 g ve KDK değerlerinin ortalamaları ise sırasıyla 34.18 ve 37.44 meq/100 g olarak belirlenmiştir. Buna göre ESP nin hesaplanmasında kullanılan Na haricindeki katyonlar 2016 yılı Nisan döneminde 2010 yılı Nisan dönemine göre artmış ve bu artış istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($P<0.01$). Dolayısıyla Ca+Mg içeriğindeki nispi artış ESP'nin azalmasına neden olmuştur (Çizelge 4.19).

2016 yılı sulama öncesi dönem ile 2016 yılı sulama sonrası dönemleri arasında toprak özelliklerinde meydana gelen değişimi belirlemek amacıyla yapılan t testi sonuçları Çizelge 4.20'de verilmiştir.

Çizelge 4.20. Nisan 2016 ve Eylül 2016 dönemi toprak özelliklerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler ve t testi sonuçları

Özellik	2016 Nisan Dönemi		2016 Eylül Dönemi		Test istatistikleri		
	Ortalama	S.S.	Ortalama	S.S.	t	P	P>F
EC	0,63	0.40	0.74	0.53	-4.37	0.000	**
pH	7.77	0.31	8.08	0.35	-13.74	0.000	**
Na	3.13	3.48	3.20	3.25	-0.47	0.639	ÖD
K	0.77	0.57	0.69	0.60	2.15	0.033	*
Ca+Mg	33.54	6.81	37.43	11.09	-5.01	0.000	**
KDK	37.44	7.29	41.32	11.30	-4.91	0.000	**
ESP	7.96	7.64	7.76	6.90	0.65	0.516	ÖD
CaCO_3	10.40	4.13	9.63	3.68	2.81	0.006	**
Organik madde	2.54	0.98	2.68	1.16	-1.89	0.061	ÖD

** $P<0.01$, * $P<0,05$, ÖD: Önemli değil, S.S: Standart sapma, EC: Elektriksel iletkenlik, Na: Sodyum (meq 100g⁻¹), K: Potasyum (meq 100g⁻¹), KDK: Katyon değişim kapasitesi (meq 100g⁻¹), ESP: Değişebilir sodyum yüzdesi, OM: Organik madde (%)

Bağımlı örneklem t testi sonuçlarına göre EC, pH, Ca+Mg, KDK ve CaCO_3 'ün mevsimsel değişimleri istatistiksel olarak $P<0.01$ düzeyinde, K içeriklerinin ise $P<0.05$ düzeyinde anlamlı olduğu görülmüştür (Çizelge 4.20). Yapılan t testi toprakların Na, ESP ve organik madde içeriklerinin mevsimsel değişimlerinin istatistiksel olarak anlamlı olmadığını göstermiştir.

Çalışma alanında toprakların EC değerlerinin ortalaması 2016 yılı nisan döneminde 0.63 dS/m iken Eylül 2016 döneminde 0.74 dS/m olmuştur. Sulama sonrası dönemde EC değerleri, sulama öncesi dönemine göre artış göstermiş ve bu değişim istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($P<0.01$) (Çizelge 4.20). Sulama suyu kök bölgesinde depolanırken, içerisinde bulundurduğu erimiş katı maddelerin hemen hemen tamamı da kök bölgesinde kalmaktadır. Suyun tüketilmesi aşamaları sonrasında ise bu iletilen tuzların çok büyük bir kısmı kök bölgesi içerisinde biriktirilmektedir. Bu nedenle bir sulama alanında sulama mevsimi boyunca toprak tuz içeriği artmakta, kış periyodunda ise yağışların yıkama etkisi ile azalabilmektedir (Yurtseven ve Güngör, 1990; Yurtseven ve Sönmez, 1996). pH değerlerinin ortalaması 2016 Nisan döneminde 7.77 iken 2016 Eylül döneminde 8.08 olmuş ve ortalamalarda 0.31'lik bir artış gözlenmiştir.

Benzer şekilde 2016 yılı sulama öncesi dönemde toprakların pH değeri ortalaması 7.77 iken sulama sonrası dönemde 8.08'e yükselmiş ve bu artış istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0.01$). Sağlam vd, (2014) yaptıkları çalışmalarında Bafra ve Çarşamba delta ovalarının yayılım gösterdiği alüvyal alanlarda yüksek alkalilik riski olduğunu gösteren değerlerin sulamadan kaynaklı olabileceğini bildirmişlerdir. Topraklarda alkalilik insan kaynaklı nedenlerle ortaya çıkabileceği gibi doğal süreçlerle de meydana gelebilmektedir. Doğal gelişen alkalilik, genelde ayrışma sonucunda sodyum karbonat meydana getiren toprak minerallerinin varlığı nedeniyle meydana gelirken, insan kaynaklı alkalilik nispeten yüksek miktarlarda sodyum bikarbonat içeren yüzey veya yeraltı sularının sulamada kullanılmasıyla meydana gelmektedir (Sağlam vd, 2014). Çalışma alanında alkalilik riskinin yüksek olduğu alanlar değerlendirildiğinde alkalilik riskini oluşturan faktörlerin hem doğal hem de insan kaynaklı uygulamalar sonucunda olabileceği düşünülmektedir.

2016 yılı sulama sonrası dönem ile 2017 yılı sulama öncesi dönemleri arasında toprak özelliklerinde meydana gelen değişimi belirlemek amacıyla yapılan t testi sonuçları Çizelge 4.21'de verilmiştir. Bağımlı örneklem t testi sonuçlarına göre çalışma alanındaki toprakların EC, Na ve ESP değerleri, yani tuzlulukla ilgili özelliklerinin mevsimsel değişimleri $P<0.01$ düzeyinde, pH, CaCO_3 ve Organik madde'nin ise $P<0.05$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir. 2016 yılı sulama sonrası dönemde EC değerlerinin ortalaması 0.74 dS/m iken 2017 sulama öncesi dönemde bu döneme göre azalmış ve 0.56 dS/m olmuştur. Bu şekilde

meydana gelen değişimin sebebi olarak kış periyodundaki yağışlar gösterilebilir. Eylül döneminden Nisan dönemine kadar düşen yağış miktarının (583.7 mm) topraktaki yıkanmayı etkilediğı ve buna bağlı olarak da topraktaki EC değerlerinin azalmış olabileceğı düşünölmektedir.

Çizelge 4.21. Eylül 2016 ve Nisan 2017 dönemi toprak özelliklerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler ve t testi sonuçları

Özellik	2016 Eylül Dönemi		2017 Nisan Dönemi		Test istatistikleri		
	Ortalama	S.S.	Ortalama	S.S.	t	P	P>F
EC	0.74	0.53	0.56	0.37	7.326	0.000	**
pH	8.08	0.35	8.14	0.33	-2.265	0.025	*
Na	3.20	3.25	2.73	3.15	5.317	0.000	**
K	0.69	0.60	0.63	0.62	1.550	0.124	ÖD
Ca+Mg	37.43	11.09	38.49	8.17	-1.627	0.107	ÖD
KDK	41.32	11.30	41.85	8.40	-0.812	0.418	ÖD
ESP	7.76	6.91	6.37	6.62	6.795	0.000	**
CaCO ₃	9.63	3.68	9.99	3.68	-1.765	0.080	*
Organik madde	2.69	1.16	2.50	1.05	2.400	0.018	*

**P<0.01, *P<0,05, ÖD: Önemli değil, S.S: Standart sapma, EC: Elektriksel iletkenlik, Na: Sodyum (meq 100g⁻¹), K: Potasyum (meq 100g⁻¹), KDK: Katyon değişim kapasitesi (meq 100g⁻¹), ESP: Değişebilir sodyum yüzdesi, OM: Organik madde (%)

Toprak pH'sının ortalama değeri 8.08'den 8.14'e yükselmiş, Na ve K değerlerinin ortalama değerleri azalırken, Ca+Mg ve KDK'nın ortalama değerleri artış göstermiştir. Benzer şekilde CaCO₃ içeriğinin ortalaması 9.63'den 9.99'a yükselmiştir (Çizelge 4.21). Toprak reaksiyonunun (pH) artış göstermesinin nedeni, aynı dönemdeki toprak kireç içeriğinin artışına bağlanabilir. Sağlam vd, (2014) yaptığı çalışmada kireç ile pH arasında pozitif ve P<0.01 (r=0.74) önem seviyesinde ilişkiler bulmuştur. İç (2015) çalışmasında topraktaki kirecin toprak reaksiyonunu (pH) artırarak topraktaki bitki besin elementlerinin alımını zorlaştıracığından, fizyolojik olarak alkali karakterdeki gübrelerin kullanımından kaçınılması gerektiğini ifade etmiştir.

4.5. Toprakların Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin YSA, ANFIS ve Doğrusal Regresyon Modelleri ile Tahmin Edilmesi

Çalışma kapsamında doğrusal regresyon modelleri, yapay sinir ağları ve bulanık yapay sinir ağları modelleri toprakların bazı temel ve diğer özellikleri arasındaki ilişkileri kullanarak elde edilmesi kolay olan mevcut verilerden ölçülmesi zor ve zaman alıcı olan diğer toprak özelliklerinin tahmin edilmesi amacıyla kullanılmıştır.

4.5.1. Modelleme çalışmalarında kullanılan girdilerin belirlenmesi

Değişkenler arasındaki bağımlılık yapısının yok edilmesi veya boyut indirgeme amacıyla kullanılan temel bileşenler analizi tek başına kullanılan bir analiz olduğu gibi, başka analizler için veri hazırlama tekniği olarak da kullanılmaktadır. Değişkenler arasında bir bağımlılığın bulunması ve dolayısı ile bağımsız olmamaları durumunda istatistik analiz sonuçlarının yorumu oldukça güç olmaktadır. Bu gibi durumlarda kullanılan tekniklerin başında temel bileşenler analizi gelmektedir (Sangün, 2007).

Bu çalışmada, YSA modellerinin oluşturulmasında kullanılacak girdi değişkenlerini belirlemek için öncelikle 2016 ve 2017 yıllarında araziden alınan ve analizleri yapılan toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri arasındaki ilişkileri belirlemek için korelasyon analizi yapılmıştır (Çizelge 4.22, Çizelge 4.23, Çizelge 4.24 ve Çizelge 25).

Her 3 dönemde de EC değeri ile Na, K, KDK, ESP, TK ve SN içerikleri arasında $P < 0.01$ düzeyinde önemli pozitif bir ilişki, kum içeriği arasında ise $P < 0.01$ düzeyinde önemli negatif bir ilişki bulunmuştur. Ayrıca toprakların EC'si ile pH değişkeni arasında her üç dönemde de $P < 0.01$ düzeyinde önemli pozitif yönde zayıf ilişki bulunmuştur. 2016 yılı sulama öncesi dönemde toprakların organik maddesi ile pH ve CaCO_3 arasında $P < 0.01$ düzeyinde önemli negatif bir ilişki, Ca+Mg, K ve KDK arasında ise $P < 0.01$ düzeyinde önemli pozitif bir ilişki belirlenmiştir. Her 3 dönemde de organik madde ile kil, TK ve SN arasında pozitif yönde, kum ve silt içeriği arasında ise negatif yönde $P < 0.01$ düzeyinde ilişki bulunmuştur. Bu sonuçlara göre toprakta organik maddenin artması TK ve SN de tutulan nem miktarını artıracaktır. Toprakların hacim ağırlığı ile KDK arasında negatif yönde 2016 sulama öncesi dönemde $P > 0.05$

düzeyinde, diğer iki dönemde ise $P>0.01$ düzeyinde önemli düzeyde ilişki belirlenmiştir.

Çalışma alanı topraklarının ESP değerleri ile EC ve Na değerleri arasında her üç dönemde de yüksek oranda pozitif doğrusal korelasyon bulunmuştur. Toprağın EC değeri ile ESP değeri arasındaki ilişkinin önemli düzeyde olması, toprakların sodikliği ile tuzluluğu arasındaki ilişkinin önemli olduğunu bir göstergesidir. Buna göre toprakta sodikliğin artması ile tuzluluk da artacaktır.

Her üç dönemde de toprakların kil içeriği ile KDK arasında orta düzeyde, kil içeriği ile organik madde içeriği arasında ise düşük oranda pozitif doğrusal bir korelasyon belirlenmiştir ($P<0.01$). Bu da kil içeriği arttıkça KDK değerleri ve organik maddenin artacağını göstermektedir. Aydınalp ve Cresser (2003)'de yaptıkları çalışmalarında KDK'nın kil içeriğinden dolayı yüksek olduğunu bildirmişlerdir.

Çizelge 4.22. Nisan-2016 dönemi toprak özellikleri arasındaki korelasyon

	Derinlik	X	Y	EC	pH	Ca+Mg	Na	K	CaCO ₃	KDK	ESP	OM	HA	%Kum	%Kil	%Silt	%TK	%SN
Derinlik	1																	
X	0.010	1																
Y	0.002	.325**	1															
EC	-0.02	.473**	.161**	1														
pH	.469**	.358**	.275**	.316**	1													
Ca+Mg	-.232**	.197**	0.05	.180**	-.210**	1												
Na	.154**	.426**	.125**	.734**	.666**	-0.08	1											
K	-.272**	.223**	0.04	.283**	-0.08	0.05	.136**	1										
CaCO ₃	.475**	0.05	.198**	0.04	.582**	-.234**	.198**	-.229**	1									
KDK	-.174**	.377**	.099*	.492**	0.07	.903**	.351**	.185**	-.155**	1								
ESP	.205**	.406**	.127**	.704**	.701**	-.245**	.971**	.108*	.245**	.180**	1							
OM	-	.200*	0.06	.352**	-.635**	.453**	0.14	.345**	-.305**	.470**	0.01	1						
HA	.235**	-0.18	-0.11	-0.09	-0.07	-0.13	-0.09	-0.07	-0.02	-.199*	-0.11	-0.28	1					
Kum	0.07	-.177**	0.06	-.276**	-0.05	-.430**	-.235**	-0.06	0.04	-.501**	-.160**	-0.19	0.05	1				
Kil	-.129**	.218**	-0.09	.289**	0.02	.583**	.223**	.149**	-.103*	.646**	.110*	.414**	-0.15	-.742**	1			
Silt	.100*	-.098*	0.06	-0.08	0.03	-.316**	-0.03	-.143**	.105*	-.319**	0.04	-.425**	0.15	-.168**	-.536**	1		
TK	-.234**	.362**	-0.01	.371**	-0.02	.570**	.265**	.256**	-.134**	.660**	.159**	.591**	-.197*	-.765**	.827**	-.252**	1	
SN	-.273**	.321**	0.01	.383**	0.02	.566**	.318**	.252**	-.147**	.678**	.205**	.556**	-.215*	-.689**	.845**	-.374**	.857**	1

**P<0.01, *P<0,05, X: Enlem, Y: Boylam, EC: Elektriksel iletkenlik, Na: Sodyum (meq 100g⁻¹), K: Potasyum (meq 100g⁻¹), KDK: Katyon değişim kapasitesi (meq 100g⁻¹), ESP: Değişebilir sodyum yüzdesi, OM: Organik madde (%), HA: Hacim ağırlığı (g/cm³)

Çizelge 4.23. Eylül-2016 dönemi toprak özellikleri arasındaki korelasyon

	Derinlik	X	Y	EC	pH	Ca+Mg	Na	K	CaCO ₃	KDK	ESP	OM	HA	%Kum	%Kil	%Silt	%TK	%SN
Derinlik	1																	
X	0.000	1																
Y	0.000	.325**	1															
EC	-0.07	.402**	0.04	1														
pH	.472**	.199**	.254**	.132**	1													
Ca+Mg	-.108*	.162**	-0.09	-0.03	-.207**	1												
Na	0.07	.471**	0.06	.727**	.490**	-.118*	1											
K	-.239**	.200**	0.00	.233**	-.243**	0.09	.176**	1										
CaCO ₃	.429**	0.06	.203**	0.05	.633**	-.188**	.204**	-.184**	1									
KDK	-.100*	.309**	-0.07	.193**	-0.07	.951**	.187**	.200**	-.136**	1								
ESP	.104*	.418**	0.08	.700**	.522**	-.302**	.968**	.128**	.245**	-0.01	1							
OM	-	-0.04	0.18	0.08	-.699**	0.19	-0.22	.609**	-.498**	0.17	-0.35	1						
HA	.235**	-0.18	-0.11	-0.30	0.13	-.480**	-0.18	0.05	0.08	-.480**	-0.06	-0.22	1					
Kum	0.07	-.164**	0.06	-.125**	0.07	-.478**	-.213**	-.109*	.093*	-.538**	-.107*	-0.11	0.09	1				
Kil	-.119*	.192**	-.094*	0.09	-.139**	.644**	.187**	.217**	-.250**	.699**	0.03	.414*	-.382*	-.743**	1			
Silt	.093*	-0.08	0.07	0.03	.111*	-.350**	-0.01	-.183**	.253**	-.356**	.095*	-.462*	.432*	-.160**	-.543**	1		
TK	-.224**	.337**	-0.01	.178**	-.177**	.576**	.253**	.296**	-.273**	.657**	.108*	.669**	-0.34	-.766**	.829**	-.261**	1	
SN	-.263**	.295**	0.00	.164**	-.168**	.525**	.269**	.333**	-.268**	.614**	.132**	.623**	-.424*	-.690**	.847**	-.383**	.859**	1

**P<0.01, *P<0,05, X: Enlem, Y: Boylam, EC: Elektriksel iletkenlik, Na: Sodyum (meq 100g⁻¹), K: Potasyum (meq 100g⁻¹), KDK: Katyon değişim kapasitesi (meq 100g⁻¹), ESP: Değişebilir sodyum yüzdesi, OM: Organik madde (%), HA: Hacim ağırlığı (g/cm³)

Çizelge 4.24. Nisan- 2017 dönemi toprak özellikleri arasındaki korelasyon

	Derinlik	X	Y	EC	pH	Ca+Mg	Na	K	CaCO ₃	KDK	ESP	OM	HA	%Kum	%Kil	%Silt	%TK	%SN
Derinlik	1																	
X	0.000	1																
Y	0.000	.325**	1															
EC	-.099*	.428**	0.09	1														
pH	.491**	.264**	.225**	.228**	1													
Ca+Mg	-.138**	.219**	-0.01	0.03	-.164**	1												
Na	0.09	.415**	0.05	.804**	.516**	-.138**	1											
K	-.188**	.244**	0.04	.239**	-.186**	0.05	.199**	1										
CaCO ₃	.479**	-0.02	.147**	0.04	.561**	-.112*	.126**	-.258**	1									
KDK	-.114*	.388**	0.01	.354**	0.02	.917**	.261**	.196**	-0.08	1								
ESP	.123**	.369**	0.05	.761**	.559**	-.295**	.973**	.157**	.145**	.096*	1							
OM	-	0.07	0.26	0.08	-.828**	0.26	-0.22	.847**	-0.31	0.26	-.388*	1						
HA	.235**	-0.18	-0.11	-0.34	-0.01	-.461*	-.393*	-0.04	0.09	-.485**	-0.10	-0.15	1					
Kum	0.07	-.164**	0.06	-.188**	0.02	-.452**	-.201**	-.101*	.117*	-.521**	-.138**	-0.12	0.09	1				
Kil	-.119*	.192**	-.094*	.168**	-.100*	.662**	.168**	.185**	-.216**	.717**	0.05	.485**	-.382*	-.743**	1			
Silt	.093*	-0.08	0.07	-0.01	.126**	-.409**	0.01	-.146**	.171**	-.404**	.094*	-.546**	.432*	-.160**	-.543**	1		
TK	-.224**	.337**	-0.01	.234**	-.137**	.583**	.212**	.267**	-.250**	.664**	.114*	.612**	-0.34	-.766**	.829**	-.261**	1	
SN	-.263**	.295**	0.00	.254**	-.150**	.587**	.254**	.291**	-.257**	.685**	.141**	.583**	-.424*	-.690**	.847**	-.383**	.859**	1

**P<0.01, *P<0,05, X: Enlem, Y: Boylam, EC: Elektriksel iletkenlik, Na: Sodyum (meq 100g⁻¹), K: Potasyum (meq 100g⁻¹), KDK: Katyon değişim kapasitesi (meq 100g⁻¹), ESP: Değişebilir sodyum yüzdesi, OM: Organik madde (%), HA: Hacim ağırlığı (g/cm³)

Çizelge 4.25. Tüm veriler (3 dönem) için toprak özellikleri arasındaki korelasyon

	Derinlik	X	Y	EC	pH	Ca+Mg	Na	K	CaCO ₃	KDK	ESP	OM.	HA	%Kum	%Kil	%Silt	%TK	%SN
Derinlik	1																	
X	0.003	1																
Y	0.001	.325**	1															
EC	-.065*	.415**	.084**	1														
pH	.475**	.267**	.249**	.194**	1													
Ca+Mg	-.146**	.184**	-0.03	0.03	-.176**	1												
Na	.104**	.437**	.078**	.738**	.544**	-.112**	1											
K	-.231**	.221**	0.03	.242**	-.181**	0.05	.172**	1										
CaCO ₃	.461**	0.03	.182**	0.04	.585**	-.176**	.173**	-.220**	1									
KDK	-.122**	.343**	0.00	.297**	0.00	.933**	.246**	.174**	-.127**	1								
ESP	.144**	.396**	.086**	.704**	.577**	-.284**	.969**	.135**	.211**	.067*	1							
OM.	-	-0.01	0.16	0.10	-.653**	.265*	-0.15	.575**	-.421**	.254*	-.258*	1						
HA	.235**	-0.18	-0.11	-.315**	0.08	-.469**	-0.20	-0.07	0.10	-.482**	-0.04	-.215*	1					
Kum	.068*	-.168**	.058*	-.178**	0.02	-.439**	-.216**	-.090**	.081**	-.506**	-.135**	-0.11	0.09	1				
Kil	-.123**	.200**	-.093**	.159**	-.078**	.609**	.192**	.184**	-.187**	.668**	.064*	.443**	-.382**	-.743**	1			
Silt	.095**	-.084**	.065*	-0.01	.092**	-.345**	-0.01	-.158**	.174**	-.349**	.075**	-.506**	.432**	-.162**	-.540**	1		
TK	-.227**	.345**	-0.01	.237**	-.115**	.554**	.243**	.273**	-.216**	.639**	.127**	.632**	-.339**	-.766**	.828**	-.258**	1	
SN	-.266**	.304**	0.00	.241**	-.107**	.534**	.280**	.292**	-.222**	.634**	.160**	.582**	-.424**	-.690**	.846**	-.380**	.859**	1

**P<0.01, *P<0.05, X: Enlem, Y: Boylam, EC: Elektriksel iletkenlik, Na: Sodyum (meq 100g⁻¹), K: Potasyum (meq 100g⁻¹), KDK: Katyon değişim kapasitesi (meq 100g⁻¹), ESP: Değişebilir sodyum yüzdesi, OM: Organik madde (%), HA: Hacim ağırlığı (g/cm³)

Korelasyon analizinden sonra toprak özelliklerinin tahmini için yapılacak modelleme çalışmalarında kullanılacak girdi veri setinin belirlenmesinde temel bileşenler analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada iki farklı veri seti kullanılarak modelleme yapılmıştır. İlk olarak sadece 2016 yılı sulama öncesi dönemde elde edilen veriler kullanılmıştır. Daha sonra veri sayısı artırılarak 2016 yılı sulama öncesi ve sonrası ile 2017 yılı sulama öncesi dönemdeki veriler birleştirilerek modeller oluşturulmuştur. Burada sadece 2016 yılı sulama öncesi dönem verilerine uygulanan temel bileşenler analizinin sonuçları Çizelge 4.26'da verilmiştir.

Toprakların sulama açısından önemli bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri arasında ilişkileri netleştirmek için faktör analizi ve temel bileşenler analizi uygulanmıştır. Özdeğerleri (>1) olan ilk dört faktör, önemli miktarda bilgi kaybı olmaksızın, toprak özelliklerini temsil etmek üzere seçilmiştir. Bu 4 faktör toplam varyansın %81.58'sini açıklamaktadır. Toplam varyansın %36.82'sini oluşturan ilk faktörün özdeğeri 4.79'dur ve bu birinci ve ana faktörü oluşturur. İkinci, üçüncü ve dördüncü özdeğerler 3.33 ve 1.34 ve 1.15'dir ve bunlar toplam varyansın sırasıyla %25.75, %10.32 ve %8.86'sini oluşturmaktadır. Özdeğerlerin büyüklüğü, toprak özellikleri ile faktörler arasındaki ilişkiyi yorumlamak için bir kriter olarak kullanılmıştır. Liu vd, (2003) faktör yüklerini > 0.75 ise "güçlü", 0.50-0.75 ise "orta" ve 0.30-0.50 arasında ise "zayıf" olarak sınıflandırmıştır. Faktör 1'de Ca+Mg, KDK, kum, kil, TK ve SN, Faktör 2'de EC, pH, Na ve ESP, Faktör 3'de K ve CaCO₃ ve son olarak Faktör 4'de silt içeriğinin faktör yüklerinin orta ve güçlü olarak temsil ettiği görülmektedir. Bu nedenle faktör analizi sonuçları model kurmada girdi değişkenlerinin seçiminde faktör yüklerinin 0.50'nin üzerindeki özelliklerinin göz önüne alınacağını göstermiştir.

Çizelge 4.26. Döndürülmüş faktör yapısı matrisi

Değişkenler	Faktörler			
	Faktör 1	Faktör 2	Faktör 3	Faktör 4
EC	0.138	0.858	-0.193	-0.022
pH	-0.032	0.668	0.592	0.066
Ca+Mg	0.756	-0.21	-0.164	0.230
Na	0.106	0.967	0.054	-0.016
K	0.107	0.232	-0.637	0.123
CaCO ₃	-0.109	0.228	0.817	0.022
KDK	0.764	0.289	-0.178	0.217
ESP	0.006	0.965	0.113	-0.062
Kum	-0.850	-0.067	-0.069	0.455
Kil	0.908	0.022	0.018	0.243
Silt	-0.272	0.052	0.060	-0.928
TK	0.911	0.090	-0.109	-0.020
SN	0.889	0.125	-0.107	0.128
Öz değerler	4.79	3.33	1.34	1.15
Açıklama payı (%)	36.82	25.58	10.32	8.86
Birikimli açıklama payı (%)	36.82	62.4	72.72	81.58

Toprakların organik maddesi sadece 0-30 cm toprak katmanı için belirlenmiştir. Bu nedenle organik maddenin girdi olarak kullanıldığı modellerde kullanılacak değişkenlerin seçiminde sadece 0-30 cm toprak katmanındaki özellikler dikkate alınarak yapılan faktör analizi sonuçları Çizelge 4.27’da verilmiştir.

Çizelge 4.27. 0-30 cm toprak derinliği için döndürülmüş faktör yapısı matrisi

Değişkenler	Faktörler		
	Faktör 1	Faktör 2	Faktör 3
EC	0.005	0.958	-0.023
pH	-0.140	0.298	-0.712
Ca+Mg	0.805	-0.075	0.140
Na	-0.045	0.981	-0.121
K	0.131	0.103	0.621
CaCO ₃	-0.036	0.144	-0.701
KDK	0.735	0.452	0.102
ESP	-0.096	0.960	-0.128
OM	0.445	0.006	0.721
Kum	-0.760	0.117	0.130
Kil	0.900	-0.076	0.135
Silt	-0.609	0.002	-0.321
TK	0.832	-0.017	0.307
SN	0.846	-0.053	0.300
Öz değerler	5.35	3.20	1.49
Açıklama payı (%)	38.23	22.89	10.63
Birikimli açıklama payı (%)	38.23	61.12	71.75

Sulama açısından önemli toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerinin yapay sinir ağları ile modellenmesinde model kurma ve değişken seçiminde hem korelasyon analizi hem de temel bileşenler analizi göz önüne alınarak seçimler gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada hem pedotransfer fonksiyonların hem de yapay sinir ağları ve bulanık yapay sinir ağlarında modellerin oluşturulmasında kullanılan verilere ait Nisan-2016 dönemi için tanımlayıcı istatistikler eğitim, test ve doğrulama veri setleri için Çizelge 4.28’de verilmiştir.

Çizelge 4.28. Nisan 2016 dönemine ait modellerde kullanılan veri setleri için tanımlayıcı istatistikler

	Min.	Max.	AO	S.H	S.S	VK	Basıklık	Çarpıklık	
Eğitim veri seti (n=312)	X	743218	752561	746965	131.36	2320.30	0.31	-0.51	0.38
	Y	4607906	4623620	4615666	225.40	3981.35	0.09	-0.99	0.18
	EC	0.16	1.97	0.61	0.02	0.32	52.64	2.08	1.40
	pH	7.18	9.82	8.09	0.02	0.40	4.89	3.53	1.41
	Ca+Mg	14.10	57.43	33.66	0.44	7.83	23.28	-0.39	-0.10
	Na	0.44	27.89	3.14	0.21	3.76	119.53	17.96	3.96
	CaCO ₃	1.21	33.90	10.08	0.36	6.40	63.50	0.41	0.74
	KDK	17.55	62.68	37.57	0.49	8.57	22.82	-0.27	-0.17
	ESP	1.06	65.65	7.93	0.46	8.12	102.43	17.67	3.91
	Kum)	0.62	86.54	22.67	0.76	13.41	59.18	6.43	2.14
	Kil	5.67	72.41	40.70	0.84	14.86	36.51	-0.50	-0.33
	Silt	7.43	78.13	36.63	0.58	10.20	27.85	1.64	0.62
	TK	5.74	57.72	35.84	0.46	8.10	22.58	1.15	-0.58
	SN	2.64	36.24	19.38	0.36	6.42	33.12	-0.20	-0.43
Test veri seti (n=90)	X	743218	752404	746624	224.77	2132.40	0.29	0.49	0.59
	Y	4607906	4623620	4615997	403.87	3831.45	0.08	-0.84	0.07
	EC	0.20	2.45	0.65	0.05	0.44	68.13	5.90	2.34
	pH	7.17	9.66	8.04	0.04	0.41	5.15	2.86	0.97
	Ca+Mg	14.67	47.00	33.75	0.83	7.85	23.26	-0.30	-0.64
	Na	0.60	15.88	2.92	0.32	2.99	102.49	10.15	3.13
	CaCO ₃	1.61	25.10	10.71	0.64	6.06	56.59	-0.53	0.43
	KDK	18.67	53.28	37.36	0.85	8.04	21.51	-0.21	-0.52
	ESP	1.85	46.78	7.78	0.81	7.72	99.20	12.41	3.46
	Kum)	4.00	51.38	21.86	0.98	9.33	42.69	0.90	0.85
	Kil	9.77	81.78	41.59	1.44	13.70	32.93	-0.23	0.07
	Silt	14.22	63.11	36.55	0.94	8.95	24.49	0.04	0.37
	TK	17.53	59.75	35.88	0.73	6.95	19.37	0.91	0.20
	SN	4.86	35.17	19.58	0.64	6.05	30.89	-0.34	-0.31
Doğrulama veri seti (n=44)	X	743237	751447	746613	338.23	2243.57	0.30	-0.28	0.56
	Y	4609430	4623183	4615704	627.74	4163.95	0.09	-1.22	0.34
	EC	0.25	0.88	0.54	0.03	0.18	34.07	-0.97	0.18
	pH	7.26	8.52	7.99	0.05	0.30	3.72	0.84	-0.79
	Ca+Mg	15.70	48.03	33.03	1.14	7.57	22.93	0.00	-0.34
	Na	0.83	5.27	2.08	0.13	0.87	41.99	3.43	1.55
	CaCO ₃	1.21	26.80	11.79	1.02	6.78	57.51	-0.42	0.45
	KDK	17.07	52.56	36.06	1.16	7.68	21.29	0.21	-0.37
	ESP	2.35	13.99	5.94	0.34	2.22	37.31	3.49	1.50
	Kum	6.21	70.56	23.50	1.87	12.39	52.73	4.14	1.62
	Kil	7.25	64.52	37.79	2.31	15.34	40.61	-0.80	-0.06
	Silt	22.20	61.76	38.72	1.57	10.40	26.86	-0.32	0.64
	TK	13.86	53.17	34.52	1.14	7.53	21.82	1.05	0.00
	SN	4.34	42.66	18.63	1.18	7.81	41.91	0.86	0.48

Min: Minimum değer, Max: Maksimum değer, AO: Ağırlıklı ortalama, S.H: Standart hata, S.S: Standart sapma, VK: Varyasyon katsayısı (%), X: Enlem, Y: Boylam, EC: Elektriksel iletkenlik, Na: Sodyum (meq 100g⁻¹), KDK: Katyon değişim kapasitesi (meq 100g⁻¹), ESP: Değişebilir sodyum yüzdesi, TK: Tarla kapasitesi (%), SN: Solma noktası (%)

Toprakların organik maddesi sadece 0-30 cm toprak derinliği için belirlenmiştir. Dolayısıyla örnekleme sayıları farklı olmuştur. Bu nedenle girdi olarak organik maddenin kullanıldığı modellerin tanımlayıcı istatistikleri ayrı olarak verilmiştir (Çizelge 4.29).

Çizelge 4.29. Nisan-2016 dönemine ait organik madde kullanılan modeller için tanımlayıcı istatistikler

	Veri seti	Min.	Max.	A.O	S.H	S.S	VK	Basıklık	Çarpıklık
Eğitim veri seti (n=70)	OM	0.93	5.68	2.53	0.11	0.89	35.33	1.95	1.15
	Kil	21.38	69.74	42.72	1.23	10.31	24.13	-0.43	0.01
	TK	24.70	57.72	38.33	0.78	6.53	17.03	-0.09	0.48
	SN	10.16	34.59	21.86	0.61	5.09	23.26	0.06	-0.03
Test veri seti (n=30)	OM	0.94	4.85	2.36	0.16	0.89	37.86	2.41	1.36
	Kil	14.92	64.52	41.67	2.46	13.49	32.38	-0.86	0.02
	TK	23.34	53.17	36.96	1.43	7.82	21.16	-0.60	0.18
	S	7.76	30.70	20.60	1.07	5.85	28.40	-0.01	-0.47

Min: Minimum değer, Max: Maksimum değer, AO: Ağırlıklı ortalama, S.H: Standart hata, S.S: Standart sapma, VK: Varyasyon katsayısı (%), OM: Organik madde (%), TK: Tarla kapasitesi (%), SN: Solma noktası (%)

Benzer şekilde toprakların hacim ağırlığı değerleri çalışma alanında 30 farklı noktadan ve 4 derinlikten olacak şekilde belirlenmiştir. Bu nedenle modellerde girdi olarak hacim ağırlığı değişkeninin kullanılması durumunda eğitim, test ve doğrulama verilerinin tanımlayıcı istatistikleri Çizelge 4.30'da verilmiştir.

Çizelge 4.30. Nisan-2016 dönemine ait hacim ağırlığı kullanılan modeller için tanımlayıcı istatistikler

	Veri seti	Min.	Max.	A.O	S.H	S.S	VK	Basıklık	Çarpıklık
Eğitim veri seti (n=82)	HA	1.11	1.63	1.40	0.01	0.11	8.16	-0.09	-0.09
	Kum	4.00	36.71	13.42	0.69	6.26	46.62	3.63	1.65
	Kil	18.16	81.78	47.89	1.29	11.72	24.47	0.17	0.02
	Silt	14.22	63.92	35.68	0.96	8.67	24.29	0.63	0.37
	TK	20.52	59.75	39.06	0.71	6.41	16.41	1.07	-0.07
	SN	7.91	35.17	21.33	0.59	5.38	25.22	0.26	-0.21
Test veri seti (n=35)	HA	1.07	1.55	1.36	0.02	0.12	9.02	-0.32	-0.43
	Kum	5.38	37.15	13.77	1.18	6.98	50.68	3.13	1.60
	Kil	23.97	70.59	48.84	2.18	12.87	26.36	-0.89	-0.34
	Silt	16.24	61.76	34.08	1.44	8.49	24.92	2.37	0.90
	TK	23.78	51.29	39.84	1.20	7.10	17.83	-0.49	-0.53
	SN	10.29	30.67	22.45	0.92	5.44	24.21	0.18	-1.08

Min: Minimum değer, Max: Maksimum değer, AO: Ağırlıklı ortalama, S.H: Standart hata, S.S: Standart sapma, VK: Varyasyon katsayısı (%), HA: Hacim ağırlığı (g cm⁻³), TK: Tarla kapasitesi (%), SN: Solma noktası (%)

Çalışma kapsamında modellerde kullanılan veri sayısını arttırmak için 3 dönem boyunca elde edilen veriler birleştirilerek yeni bir veri seti oluşturulmuştur. Bu veri setine ilişkin eğitim, test ve doğrulama verilerine ait tanımlayıcı istatistikler Çizelge 4.31’de verilmiştir.

Çizelge 4.31. Tüm veriler kullanılarak oluşturulan veri setleri için tanımlayıcı istatistikler

	Min.	Max.	A.O	S.H	S.S	VK	Basıklık	Çarpıklık	
Eğitim veri seti (n=940)	X	743218	752561	746863	75.42	2312.34	0.31	-0.39	0.46
	Y	4607906	4623620	4615660	129.36	3966.00	0.09	-0.96	0.17
	EC	0.12	6.10	0.64	0.02	0.47	73.68	51.53	5.66
	pH	6.78	754.00	8.89	0.79	24.33	273.60	939.40	30.64
	Ca+Mg	14.10	80.83	36.34	0.32	9.89	27.20	1.84	0.80
	Na	0.44	32.16	3.03	0.12	3.62	119.51	20.82	4.21
	CaCO ₃	1.21	33.90	10.08	0.20	6.22	61.72	0.06	0.67
	KDK	17.55	86.37	40.05	0.33	10.23	25.54	1.47	0.65
	ESP	1.06	65.65	7.41	0.25	7.77	104.82	17.46	3.92
	KUM	0.62	86.54	22.67	0.42	12.88	56.84	5.91	2.00
	KİL	5.67	81.78	40.45	0.48	14.79	36.57	-0.44	-0.26
	SİLT	7.43	78.13	36.88	0.33	10.06	27.27	1.10	0.54
	TK	5.74	59.75	35.57	0.26	7.96	22.38	1.00	-0.38
	SN	2.64	42.66	19.28	0.21	6.53	33.85	-0.11	-0.31
Test veri seti (n=268)	X	743218	752561	746839	137.75	2255.05	0.30	-0.14	0.55
	Y	4607906	4623620	4615752	247.82	4057.05	0.09	-1.06	0.25
	EC	0.15	2.45	0.62	0.02	0.32	51.43	5.38	1.81
	pH	6.60	10.05	8.08	0.03	0.46	5.65	2.61	0.77
	Ca+Mg	15.70	70.20	36.92	0.60	9.76	26.45	0.81	0.47
	Na	0.58	26.53	2.70	0.18	2.95	109.05	33.24	5.10
	CaCO ₃	1.29	32.69	9.65	0.36	5.90	61.11	0.25	0.68
	KDK	17.07	71.90	40.37	0.61	9.97	24.70	0.64	0.32
	ESP	1.20	51.82	6.68	0.39	6.38	95.42	21.80	4.26
	KUM	6.64	86.54	22.67	0.70	11.54	50.91	8.52	2.16
	KİL	5.67	72.41	40.37	0.88	14.34	35.52	-0.52	-0.25
	SİLT	7.43	78.13	36.96	0.62	10.18	27.53	1.72	0.83
	TK	5.74	57.72	36.00	0.45	7.38	20.50	1.72	-0.56
	SN	2.64	36.24	19.37	0.38	6.30	32.51	-0.05	-0.19
Doğrulama veri seti (n=134)	X	743218	752561	747065	192.23	2225.26	0.30	-0.29	0.17
	Y	4608744	4623620	4616289	314.92	3645.52	0.08	-1.15	0.05
	EC	0.17	5.77	0.65	0.05	0.57	88.52	48.44	5.94
	pH	6.94	9.59	8.13	0.04	0.46	5.62	0.55	0.06
	Ca+Mg	18.23	74.17	36.93	0.85	9.88	26.75	1.73	0.93
	Na	0.56	21.78	3.16	0.31	3.55	112.50	11.91	3.29
	CaCO ₃	1.29	30.19	10.08	0.51	5.94	58.95	-0.15	0.50
	KDK	20.42	77.59	40.76	0.89	10.29	25.23	1.12	0.67
	ESP	1.18	49.40	7.55	0.65	7.57	100.29	13.09	3.37
	KUM	6.21	80.34	22.22	1.07	12.39	55.76	5.79	1.95
	KİL	8.19	69.74	41.16	1.32	15.25	37.05	-0.85	-0.15
	SİLT	11.47	61.52	36.63	0.80	9.31	25.43	0.31	0.24
	TK	11.23	51.75	35.83	0.68	7.84	21.87	0.28	-0.37
	SN	3.96	42.66	19.42	0.59	6.78	34.92	0.15	-0.19

Min: Minimum değer, Max: Maksimum değer, AO: Ağırlıklı ortalama, S.H: Standart hata, S.S: Standart sapma, VK: Varyasyon katsayısı (%), X: Enlem, Y: Boylam, EC: Elektriksel iletkenlik, Na: Sodyum (meq 100g⁻¹), KDK: Katyon değişim kapasitesi (meq 100g⁻¹), ESP: Değişebilir sodyum yüzdesi, TK: Tarla kapasitesi (%), SN: Solma noktası (%)

Toprakların organik maddesinin girdi olarak kullanıldığı modellerde tüm veri setleri için oluşturulan eğitim, test ve doğrulama veri setlerine ait tanımlayıcı istatistikler Çizelge 4.32’de verilmiştir.

Çizelge 4.32. Tüm veriler için organik madde kullanılan modellerin tanımlayıcı istatistikler

		Min.	Max.	A.O	S.H	S.S	VK	Basıklık	Çarpıklık
Eğitim veri seti (n=235)	OM	0.93	7.56	2.57	0.07	1.03	40.13	2.83	1.42
	Kil	5.81	69.74	41.71	0.78	11.88	28.49	0.06	-0.09
	TK	21.01	57.72	37.62	0.45	6.87	18.28	-0.40	0.24
	SN	6.82	34.59	21.16	0.35	5.36	25.34	-0.11	-0.22
Test veri seti (n=100)	OM	0.35	5.81	2.60	0.11	1.14	43.72	1.20	1.19
	Kil	5.81	62.94	41.79	1.18	11.79	28.20	0.01	-0.56
	TK	21.01	57.72	37.99	0.72	7.24	19.05	0.09	0.33
	SN	6.82	34.59	21.38	0.57	5.71	26.71	0.17	-0.20

Min: Minimum değer, Max: Maksimum değer, AO: Ağırlıklı ortalama, S.H: Standart hata, S.S: Standart sapma, VK: Varyasyon katsayısı (%), OM: Organik madde (%), TK: Tarla kapasitesi (%), SN: Solma noktası (%)

4.5.2. Doğrusal regresyon modelleri ile toprak özelliklerinin tahmini

Çalışma kapsamında belirlenen toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri kullanılarak belirlenmesi zor ve maliyetli olan toprak özelliklerinin tahmininde çok değişkenli doğrusal regresyon modelleri kullanılarak pedotransfer fonksiyonlar geliştirilmiştir. Bu modeller toplam verinin %70'i kullanılarak geliştirilmiş ve geriye kalan %30'u doğrulama için kullanılmıştır. En uygun model standart hatalarının en düşük değerine ve çok değişkenli regresyon katsayısının ve belirleme katsayısının en yüksek değerine dayalı olarak belirlenmiştir. Modellerin güvenilirliği F testi ile doğrulanmıştır. İstatistiksel indekslere dayalı modellerin performans kriterlerinin değerlendirilmesi için R^2 değerinin yüksek, RMSE ve MAE değerlerinin ise daha düşük iken daha iyi performans gösterdiği görülmüştür. Çalışma alanında pedotransfer fonksiyonların geliştirilmesi ve doğrulanması için bulunan sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Çalışma kapsamında 2 farklı veri seti kullanılarak pedotransfer eşitlikler geliştirilmiştir. Bunlardan birincisinde sadece 2016 yılı sulama öncesi dönemdeki veriler kullanılmış, diğerinde ise hem 2016 yılı sulama öncesi ve sonrası hem de 2017 yılı sulama öncesi verilerinin tamamı kullanılarak modeller oluşturulmuş ve buna ilişkin sonuçlar verilmiştir. Modellerin geliştirilmesinde ve doğrulanmasında kullanılan verilere ilişkin tanımlayıcı istatistiksel analizler bölüm 4.5.1'de verilmiştir. 2016 yılı sulama öncesi veri seti kullanılarak oluşturulan doğrusal regresyon modellerinin tanımlanmasına yönelik belirlenen matematiksel ifadeler ve bunların istatistiksel kriterleri sırasıyla Çizelge 4.33 ve Çizelge 4.34'de verilmiştir.

ESP için oluşturulan modellerde enlem derecesi (X) tüm modellerde negatif korelasyon içinde bulunmuş ve katsayısı anlamlı bulunmamıştır. ÇDR1 modelinde EC hariç diğer özellikler pozitif korelasyon göstermiştir. Tüm ESP modellerinde EC'nin ilişki katsayısı pH'nın ilişki katsayısından yüksek, Na'nın ilişki katsayısından düşük bulunmuştur. Na değerlerinin kullanıldığı modellerde belirleme katsayısı 0.90'ın üzerinde bulunmuştur (Çizelge 4.34).

Tarla kapasitesi ve solma noktası için oluşturulan modellerde kum ve hacim ağırlığı değişkenleri negatif korelasyon, kil değişkeni ise pozitif korelasyon göstermiştir. TK ve SN için oluşturulan tüm modellerde kil'in ilişki katsayısı, kum ve silt'in ilişki katsayısından daha büyük olmuştur.

Çizelge 4.33. Toprak özelliklerinin tahmini için oluşturulan doğrusal regresyon modellerinin matematiksel ifadeleri (Nisan-2016 dönemi verileri)

Model	Girdi	Matematiksel İfadeler
ESP	ÇDR1	EC, Na ESP=1.152+0.033EC+2.178Na SE= (0.255)*** (0.499) (0.045)*** R ² =0.94 ***
	ÇDR2	EC, pH ESP=-84.978+12.982EC+10.508pH SE= (4.805)*** (0.764)*** (0.610)*** R ² =0.73***
	ÇDR3	X, EC, pH ESP=19.56-0.0001X+13.4EC+10.67pH SE= (88.554) (0.00012) (0.843)*** (0.626)*** R ² =0.73***
	ÇDR4	X, Y, EC, Na ESP=-17.82-0.00001X+0.00001Y+0.06EC+2.18Na SE= (130.964) (0.00005) (0.00003) (0.523) (0.046)*** R ² =0.94***
KDK	ÇDR5	X, Y, Ca+Mg KDK=-511.1+0.00083X-0.00002Y+0.91(Ca+Mg) SE= (233.023)* (0.00009)*** (0.00005) (0.03)*** R ² =0.83***
	ÇDR6	X, Y, Kil KDK=-1530.2+0.0009X+0.0002Y+0.34Kil SE= (407.692)*** (0.0002)*** (0.00009)* (0.025)*** R ² =0.49***
TK	ÇDR7	Kum, Kil TK=27.280-0.198Kum+0.323Kil SE= (1.495)*** (0.027)*** (0.023)*** R ² =0.74***
	ÇDR8	Kum, Kil, Silt TK=27.280-0.198Kum+0.323Kil+0.0Silt SE= (1.495)*** (0.027)*** (0.023)*** (0.00) R ² =0.74***
	ÇDR9	Kum, Kil, CaCO ₃ , KDK TK=23.618-0.070CaCO ₃ +0.194KDK-0.194Kum+0.250Kil SE= (1.706)*** (0.034)* (0.034)*** (0.026)*** (0.025)*** R ² =0.77***
	ÇDR10	Kil, OM TK=17.187+2.509OM+0.345Kil SE= (2.150)*** (0.603)*** (0.050)*** R ² =0.61***
	ÇDR11	HA Kum, Kil TK=31.166-6.231HA-0.123Kum+0.383Kil SE= (5.908)*** (3.478) (0.056)* (0.046)*** R ² =0.76***
	ÇDR12	HA Kum, Kil, Silt TK=31.166-6.231HA-0.123Kum+0.383Kil+0.0Silt SE= (5.908)*** (3.478) (0.056)* (0.046)*** (0.00) R ² =0.76***
SN	ÇDR13	Kum, Kil SN=7.184-0.068Kum+0.337Kil SE= (1.273)*** (0.023)** (0.019)*** R ² =0.73***
	ÇDR14	Kum, Kil, Silt SN=7.184-0.068Kum+0.337Kil+0.0Silt SE= (1.273)*** (0.023)** (0.019)*** (0.00) R ² =0.73***
	ÇDR15	Kum, Kil, CaCO ₃ , KDK SN=3.172-0.025CaCO ₃ +0.184KDK-0.064Kum+0.270Kil SE= (1.446)* (0.029) (0.029)*** (0.022)** (0.021)*** R ² =0.76***
	ÇDR16	Kil, OM SN=7.285+1.204OM+0.268Kil SE= (1.803)** (0.552)* (0.046)*** R ² =0.63***
	ÇDR17	HA Kum, Kil SN=16.913-8.035HA-0.038Kum+0.343Kil SE= (5.186)** (3.053)* (0.049) (0.040)*** R ² =0.73***
	ÇDR18	HA Kum, Kil, Silt SN=16.913-8.035HA-0.038Kum+0.343Kil+0.0Silt SE= (5.186)** (3.053)* (0.049) (0.040)*** (0.00) R ² =0.73***

***P<0.001, **P<0.01, *P<0.05, SE: Standart hata, OM: Organik madde, HA: Hacim ağırlığı

Çizelge 4.34. Oluşturulan pedotransfer fonksiyonlar için istatistiksel kriterler (Nisan-2016)

İstatistiksel katsayılar	Standart hata	Çoklu R	R ²	F
ÇDR1	1.96	0.97	0.94	2296.48***
ÇDR2	4.05	0.85	0.73	417.48***
ÇDR3	4.04	0.86	0.73	279.14***
ÇDR4	1.96	0.97	0.94	1141.15***
ÇDR5	3.54	0.91	0.83	504.77***
ÇDR6	6.14	0.70	0.49	99.62***
ÇDR7	4.10	0.86	0.74	437.69***
ÇDR8	4.10	0.86	0.74	437.69***
ÇDR9	3.87	0.88	0.77	256.03***
ÇDR10	4.60	0.78	0.61	51.03***
ÇDR11	3.52	0.87	0.76	80.35***
ÇDR12	3.52	0.87	0.76	80.35***
ÇDR13	3.49	0.85	0.73	412.87***
ÇDR14	3.49	0.85	0.73	412.87***
ÇDR15	3.28	0.87	0.76	245.39***
ÇDR16	3.42	0.82	0.67	65.98***
ÇDR17	3.09	0.85	0.73	68.84***
ÇDR18	3.09	0.85	0.73	68.84***

2016 yılı sulama öncesi dönemde toprak özelliklerine ilişkin veri setleri kullanılarak oluşturulan doğrusal regresyon modellerine ait standart hata değerleri 1.96 ile 6.14 arasında değişmiştir. Oluşturulan bir model haricinde çoklu korelasyon katsayısı ve belirleme katsayısı tüm modellerde 0.70'in üzerinde bulunmuştur (Çizelge 4.34). F testi değerleri tüm modeller için $P < 0.0001$ düzeyinde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur.

Toprak özelliklerinin tahmini için geliştirilen pedotransfer eşitlikleri belirlendikten sonra test veri seti için de çok değişkenli regresyon performansı geliştirilmiştir. Oluşturulan regresyon modellerinin performans değerlendirmesi Çizelge 4.35'de verilmiştir.

Çizelge 4.35. Doğrusal regresyon modellerinin performans değerlendirmesi (Nisan-2016)

Özellik	Model	Eğitim			Test		
		R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE
ESP	ÇDR1	0.94	1.15	1.95	0.96	1.05	1.61
	ÇDR2	0.73	2.77	4.03	0.81	2.52	3.42
	ÇDR3	0.73	2.78	4.02	0.81	2.50	3.39
	ÇDR4	0.94	1.15	1.95	0.95	1.05	1.61
KDK	ÇDR5	0.83	2.08	3.52	0.93	1.53	2.14
	ÇDR6	0.49	4.74	6.09	0.45	4.58	5.84
TK	ÇDR7	0.74	2.96	4.08	0.72	2.88	3.91
	ÇDR8	0.74	2.96	4.08	0.72	2.88	3.91
	ÇDR9	0.77	2.86	3.84	0.74	2.85	3.81
	ÇDR10	0.61	3.29	4.49	0.77	2.29	3.09
	ÇDR11	0.76	2.61	3.43	0.80	2.55	3.39
	ÇDR12	0.76	2.61	3.43	0.80	2.55	3.39
SN	ÇDR13	0.73	2.58	3.48	0.71	2.41	3.28
	ÇDR14	0.73	2.58	3.48	0.71	2.41	3.28
	ÇDR15	0.76	2.50	3.25	0.73	2.31	3.17
	ÇDR16	0.67	2.59	3.35	0.63	2.33	2.95
	ÇDR17	0.73	2.30	3.01	0.62	2.91	3.71
	ÇDR18	0.73	2.30	3.01	0.62	2.91	3.71

ESP: Değişebilir sodyum yüzdesi, KDK: Katyon değişim kapasitesi (meq 100g⁻¹, TK: Tarla kapasitesi (%), SN: Solma noktası (%)

ESP değişkeninin tahmini için kurulan doğrusal regresyon modellerinin eğitim aşamasında en yüksek R² (0.94) ve en düşük RMSE (1.95) ve MAE (1.15) sonucunu vererek tüm performans ölçümlerinin en iyi değerini ÇDR1 modelinin gösterdiği belirlenmiştir. ÇDR2 modeli ise en düşük R² (0.73) ve en yüksek MAE ve RMSE değeri ile düşük performans göstermiştir (Çizelge 4.35).

KDK'nın tahmini için geliştirilen regresyon modellerinin eğitim aşamasında en yüksek R² ve en düşük RMSE, MAE değerlerini ÇDR5 modeli göstermiştir (Çizelge 4.35). Bu eşitlikte kullanılan Y (boylam) değişkeninin model performansına katkısı önemli olmamıştır.

Tarla kapasitesinin tahmin edilmesi için 6 farklı doğrusal regresyon modeli geliştirilmiş ve bunların performans ölçümlerinin sonuçları R² (0.61 ile 0.77), MAE değeri (2.61 ile 3.29) ve RMSE değerleri (3.43 ile 4.49) arasında değiştiği gözlenmiştir. Tarla kapasitesi için oluşturulan modellerden ÇDR8'de modele eklenen kum değişkeninin ve ÇDR12'de modele eklenen silt değişkeninin modele katkısı olmamış, bu nedenle ÇDR7-8 ve ÇDR11-12 modellerinin performans göstergeleri

birbirleriyle aynı hesaplanmıştır. Kum ve kil kullanılarak oluşturulan ÇDR7 modelinde 0.73'lük bir belirleme katsayısı elde edilmiştir. ÇDR9 modelinde ise dört girdi kullanılmış ve ÇDR7 modeline göre belirleme katsayısında 0.03'lük bir artış olmuştur. Burada önemli olan aynı başarıyı daha az değişkenle sağlayan modelin kullanılmasıdır. ÇDR11 modelinde kullanılan HA'nın modele katkısı önemli bulunmamıştır. Benzer şekilde ÇDR12 modelinde de HA ve silt'in modele katkısı önemli olmamıştır. Tarla kapasitesinin tahmini için oluşturulan modeller içerisinde ÇDR7 modeli, daha az değişken içermesi ve yüksek performans ölçümleri göstermesi bakımından en iyi tahmin modeli olarak seçilebilir. En düşük performansı ise ÇDR10 modeli göstermiştir. (Çizelge 4.35).

Solma noktasının belirlenmesinde de tarla kapasitesinde olduğu gibi 6 farklı doğrusal regresyon modeli geliştirilmiş ve performans ölçümlerinin sonuçları R^2 (0.67 ile 0.76), MAE (2.30 ile 2.59) ve RMSE değerleri (3.01 ile 3.48) arasında değişmiştir. Tarla kapasitesine benzer şekilde solma noktası için oluşturulan ÇDR14 modellerinde silt değişkeninin ve ÇDR17 modelinde silt, ÇDR18 modelinde ise kum ve silt özelliklerin kullanılmasının modele katkısı olmamıştır. Solma noktasının tahmini için geliştirilen modeller içerisinde performans ölçümlerinin en iyi değerleri gösterdiği modelin ÇDR13 modeli olduğu, en kötü performansı gösteren modelin ise ÇDR16 modeli olduğu gözlenmiştir. Kil ve organik maddenin kullanıldığı model en düşük performansı göstermiştir (Çizelge 4.35). Cemek vd, (2004) toprakların tekstür ve hacim ağırlığı özelliklerini kullanarak tarla kapasitesi ve solma noktasını regresyon modelleri ile tahmin etmek için yaptıkları çalışmada %92-97 arasında belirleme katsayısı elde ederek yüksek doğrulukta tahmin gerçekleştirmişlerdir. TK ve SN ile kum ve hacim ağırlığı arasında önemli negatif bir ilişki, kil ve silt fraksiyonları ile arasında ise $P < 0.01$ düzeyinde önemli pozitif bir ilişki belirlemişlerdir.

Hem 2016 yılı sulama öncesi ve sonrası hem de 2017 yılı sulama öncesi dönem verileri kullanılarak oluşturulan doğrusal regresyon modellerinin tanımlanmasına yönelik belirlenen matematiksel ifadeler ve bunların istatistiksel kriterleri sırasıyla Çizelge 4.36 ve Çizelge 4.37'de verilmiştir.

Tüm ESP modellerinde EC'nin ilişki katsayısı pH'nın ilişki katsayısından büyük, Na'nın ilişki katsayısından ise daha düşük bulunmuştur. Na değerlerinin kullanıldığı modellerde belirleme katsayısı %0.94 bulunmuştur (Çizelge 4.37).

KDK için oluşturulan modellerde enlem derecesi (X) tüm modellerde pozitif korelasyon içinde bulunmuş, boylam derecesi ise ÇDR5 de negatif, ÇDR6 modelinde ise pozitif korelasyon göstermiş ancak ÇDR6 da modele katkısı önemli bulunmamıştır.

Tarla kapasitesi ve solma noktası için oluşturulan modellerde kil, KDK ve organik madde değişkenleri pozitif korelasyon, CaCO₃ ve kum değişkeni ise negatif korelasyon göstermiştir. TK ve SN için oluşturulan tüm modellerde kil'in ilişki katsayısı, organik maddenin ilişki katsayısından düşük, kum, KDK ve CaCO₃'ün ilişki katsayısından daha büyüktür.

Çizelge 4.36. Toprak özelliklerinin tahmini için oluşturulan doğrusal regresyon modellerinin matematiksel ifadeleri (3 dönem verileri)

Model	Girdi	Matematiksel İfadeler
ESP	ÇDR1	EC, Na ESP=1.268-0.453EC+2.124Na SE= (0.106)*** (0.198)* (0.025)** R ² =0.94**
	ÇDR2	EC, pH ESP=-64.49+10.041EC+8.084pH SE= (2.625)*** (0.303)*** (0.328)*** R ² =0.70***
	ÇDR3	X, EC, pH ESP=-111.095+ 0.00006X+9.922EC+8.012pH SE= (50.604)* (0.00006) (0.329)*** (0.338)*** R ² =0.70***
	ÇDR4	X,Y, EC, Na ESP=-35.41-0.0001X+0.00003Y-0.35EC+2.15Na SE= (72.44) (0.00003)** (0.00001) (0.199) (0.026)** R ² =0.94**
KDK	ÇDR5	X, Y, Ca+Mg KDK=-173.80+0.0009X-0.0001Y+0.92(Ca+Mg) SE= (124.08) (0.00004)*** (0.00003)*** (0.011)** R ² =0.90**
	ÇDR6	X, Y, Kil KDK=-711.48+0.0009634X+0.0000032Y+0.42Kil SE= (282.24)* (0.0001)*** (0.00006) (0.016)*** R ² =0.48***
TK	ÇDR9	Kum, Kil, CaCO ₃ , KDK TK=26.355-0.094CaCO ₃ +0.117KDK-0.205Kum+0.250Kil SE= (0.975)*** (0.021)*** (0.017)*** (0.015)*** (0.015)*** R ² =0.75***
	ÇDR10	Kil, OM TK=15.853+2.609OM+0.359Kil SE= (0.935)*** (0.243)*** (0.022)*** R ² =0.72***
SN	ÇDR15	Kum, Kil, CaCO ₃ , KDK SN=7.269-0.074CaCO ₃ +0.078KDK-0.078Kum+0.282Kil SE= (0.811)*** (0.017)*** (0.014)*** (0.013)*** (0.01)*** R ² =0.74***
	ÇDR16	Kil, OM SN=4.242+1.771OM+0.299Kil SE= (0.735)*** (0.191)*** (0.017)*** R ² =0.71***

***P<0.001, **P<0.01, *P<0.05, SE: Standart hata, OM: Organik madde

Çizelge 4.37. Oluşturulan pedotransfer fonksiyonlar için istatistiksel kriterler (3 dönem verileri)

İstatistiksel katsayılar	Standart hata	Çoklu R	R ²	F
ÇDR1	1.91	0.97	0.94	7293.94***
ÇDR2	4.26	0.83	0.70	1091.60***
ÇDR3	4.26	0.84	0.70	727.90***
ÇDR4	1.90	0.97	0.94	3692.30***
ÇDR5	3.26	0.95	0.90	2769.47**
ÇDR6	7.38	0.69	0.48	288.93***
ÇDR9	4.02	0.86	0.75	688.32***
ÇDR10	3.72	0.85	0.72	301.36***
ÇDR15	3.34	0.86	0.74	662.27***
ÇDR16	2.92	0.85	0.72	291.86***

Toprak özelliklerine ilişkin üç dönem veri setleri kullanılarak oluşturulan doğrusal regresyon modellerine ait standart hata değerleri 1.91 ile 7.38 arasında değişmiştir (Çizelge 4.37). Oluşturulan bir model haricinde çoklu korelasyon katsayısı ve belirleme katsayısı tüm modellerde 0.70'in üzerinde bulunmuştur. F testi değerleri ÇDR5 modelinde $P < 0.001$ düzeyinde önemli, diğer modellerde ise $P < 0.0001$ düzeyinde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 4.37). Bu kapsamda oluşturulan tüm doğrusal regresyon modellerinin istatistiksel kriterleri iyi bir şekilde karşıladığı ve bu modellerin toprak özelliklerinin tahmin edilmesinde regresyon modellerinin kolaylığı göz önüne alındığında kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Tüm veri setleri kullanılarak geliştirilen pedotransfer eşitlikleri belirlendikten sonra test veri seti için de çok değişkenli regresyon performansı geliştirilmiştir. Hem eğitim verisi için hem de test verisi için oluşturulan regresyon modellerinin performans değerlendirmesi sonuçları Çizelge 4.38'de verilmiştir.

Çizelge 4.38. Doğrusal regresyon modellerinin performans değerlendirmesi (üç dönem verileri)

Özellik	Model	Eğitim			Test		
		R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE
ESP	ÇDR1	0.94	1.17	1.91	0.94	1.12	1.65
	ÇDR2	0.70	2.82	4.25	0.69	2.64	3.82
	ÇDR3	0.70	2.82	4.25	0.69	2.64	3.81
	ÇDR4	0.94	1.15	1.89	0.94	1.08	1.63
KDK	ÇDR5	0.90	1.96	3.25	0.91	1.84	3.01
	ÇDR6	0.48	5.28	7.38	0.52	5.11	6.99
TK	ÇDR9	0.75	2.90	4.01	0.78	2.61	3.55
	ÇDR10	0.72	2.66	3.69	0.68	2.79	4.06
SN	ÇDR15	0.74	2.50	3.33	0.73	2.48	3.32
	ÇDR16	0.72	2.31	2.90	0.67	2.44	3.30

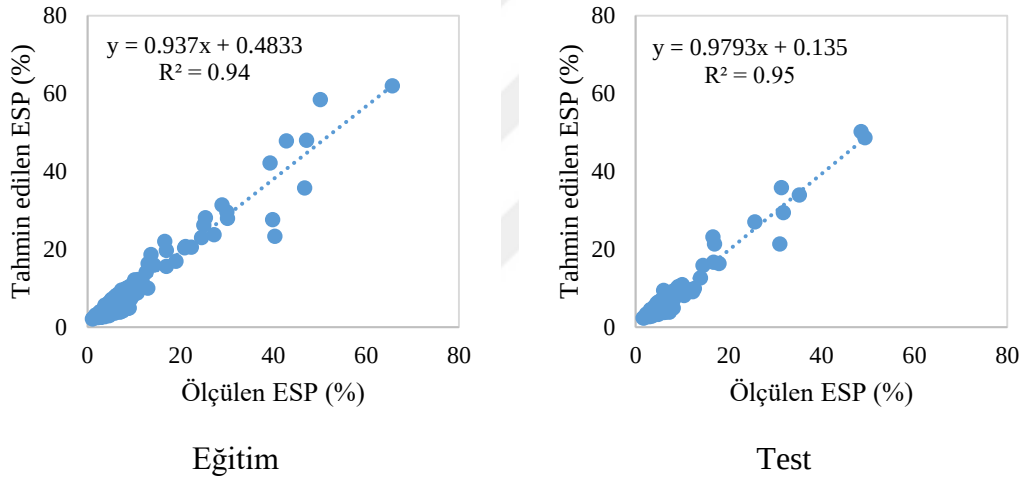
ESP: Değişebilir sodyum yüzdesi, KDK: Katyon değişim kapasitesi (meq 100g⁻¹, TK: Tarla kapasitesi (%), SN: Solma noktası (%)

Hem eğitim hem de test aşamasında ESP değerinin tahmin edilmesi için kurulan doğrusal regresyon modellerinden ÇDR1 modelinin performans göstergeleri diğer modellerden daha iyi bulunmuştur. Bununla birlikte tüm doğrusal regresyon modelleri için performans ölçümlerinin sonuçlarına göre belirleme katsayısı 0.70 ile 0.94 arasında MAE değeri 1.15 ile 2.82 arasında ve RMSE değeri 1.89 ile 4.25 arasında değişim göstermiştir (Çizelge 4.38). Oluşturulan regresyon modellerinin tatmin edici bir performans gösterdiği belirlenmiştir.

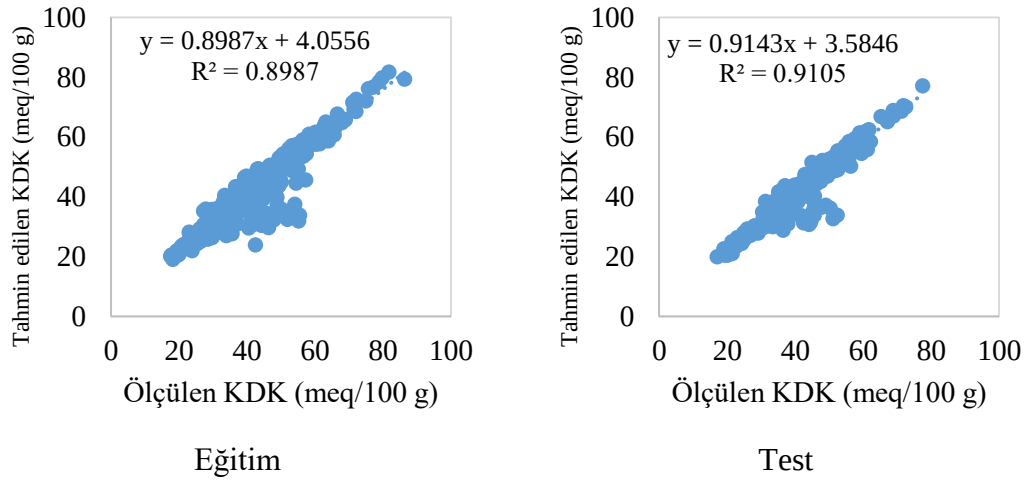
KDK değerinin tahmin edilmesi için kurulan modellerden ÇDR5 modelinin diğer modele göre daha yüksek performans gösterdiği belirlenmiştir.

TK ve SN değerlerinin tahmini için 2'şer adet model kullanılmıştır. Tarla kapasitesi için oluşturulan modellerin belirleme katsayısı testveri seti için 0.72 ile 0.75 arasında, MAE değeri 2.66 ile 2.90 arasında ve RMSE değerleri ise 3.69 ile 4.01 arasında değişmiştir. Oluşturulan ÇDR9 modelinin tarla kapasitesini tahmin etme yeteneği diğer modelden daha iyi bulunmuştur. Solma noktasının tahmin edilmesi için oluşturulan regresyon modellerinin belirleme katsayıları 0.72 ile 0.74 arasında değişmiş ve ÇDR15 modelinin tahmin yeteneği daha yüksek bulunmuştur (Çizelge 4.38).

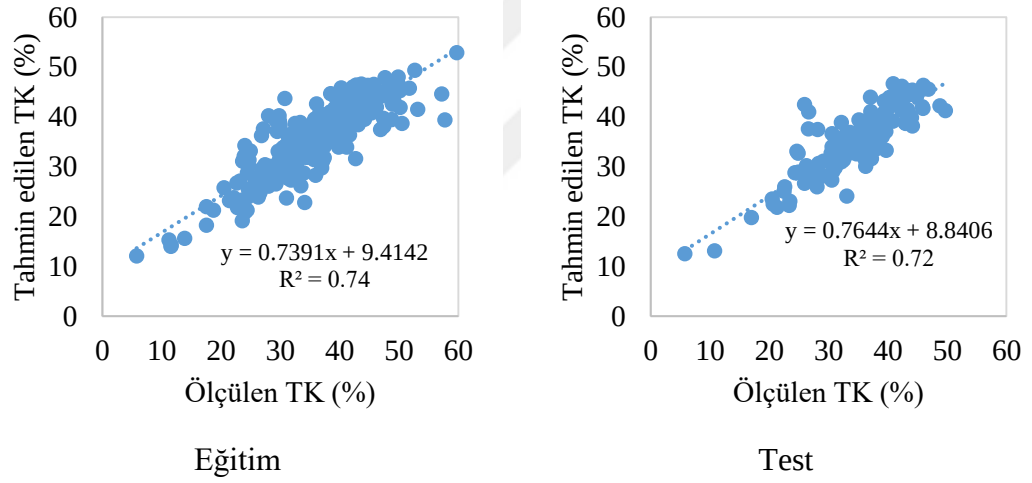
Sonuç olarak çalışma alanı topraklarının bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerinin doğrusal regresyon yöntemi ile tahmin edilmesi amacıyla farklı girdi değişkenleri kullanılarak geliştirilen modeller incelenmiş ve ESP tahmini için en iyi tahmini veren modelin 2016-Nisan dönemi verileri kullanılarak elde edilen ÇDR1 modelinin olduğu belirlenmiştir. KDK değişkeni için en iyi tahmin geliştiren modelin tüm veri seti kullanılarak oluşturulan ÇDR5 modeli olduğu tespit edilmiştir. Tarla kapasitesi için en iyi tahmin yeteneği oluşturan modelin ÇDR7 olduğu, solma noktasının tahmini için ise en iyi tahmini 2016 Nisan dönemi verileri kullanılarak oluşturulan ÇDR13 modeli vermiştir. En iyi performans kriterini sağlayan modellerin gerçek değerleri ile tahmin değerlerinin karşılaştırılması ESP için Şekil 4.81’de, KDK için Şekil 4.82’de, TK için Şekil 4.83’de ve SN için Şekil 4.84’de verilmiştir.



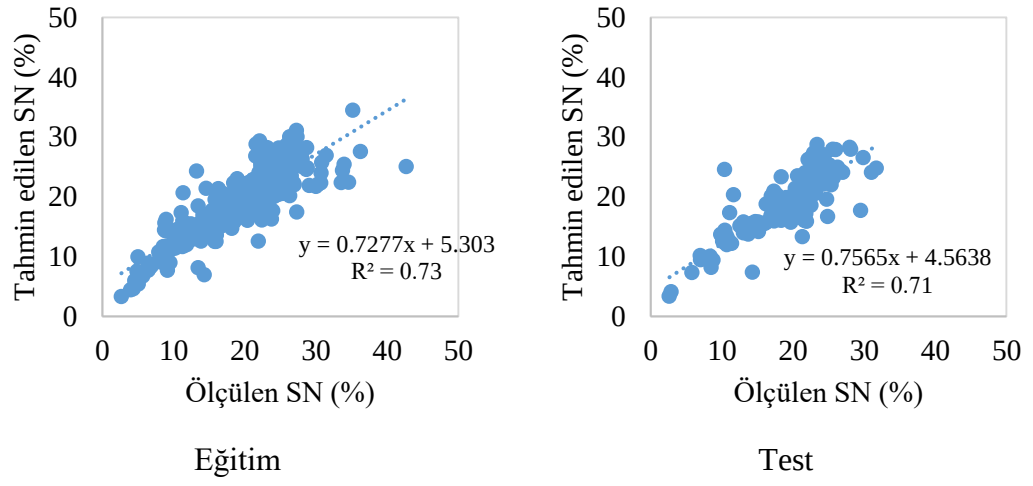
Şekil 4.81. Doğrusal regresyon modeli ile ESP’nin tahmininde en iyi performans kriterleri gösteren ÇDR1’in karşılaştırılması (2016-Nisan)



Şekil 4.82. Doğrusal regresyon modeli ile KDK'nın tahmininde en iyi performans kriterleri gösteren ÇDR5'in karşılaştırılması (tüm veri seti)



Şekil 4.83. Doğrusal regresyon modeli ile TK (%)'nin tahmininde en iyi performans kriterleri gösteren ÇDR7'nin karşılaştırılması (2016-Nisan)



Şekil 4.84. Doğrusal regresyon modeli ile SN (%)’nın tahmininde en iyi performans kriterleri gösteren ÇDR13’ün karşılaştırılması (2016-Nisan)

4.5.3. Yapay sinir ağı ile toprak özelliklerinin tahmin edilmesi

Yapay sinir ağı ile toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerinin tahmin edilmesi amacıyla farklı girdi sayısında ve değişen gizli nöronlar ile en iyi ağ mimarisinin tanımlanması için farklı modeller oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında toprak özelliklerinin modellenmesinde kullanılan YSA mimarisinin gelişimi için seçilen girdi sayısı, gizli katmandaki nöron sayısı, kullanılan eğitim algoritmaları ve transfer fonksiyonları ile model yapılarına ilişkin özet tablo Çizelge 4.39’da verilmiştir.

Çizelge 4.39. YSA modellerinin gelişimi için kullanılan değişkenler

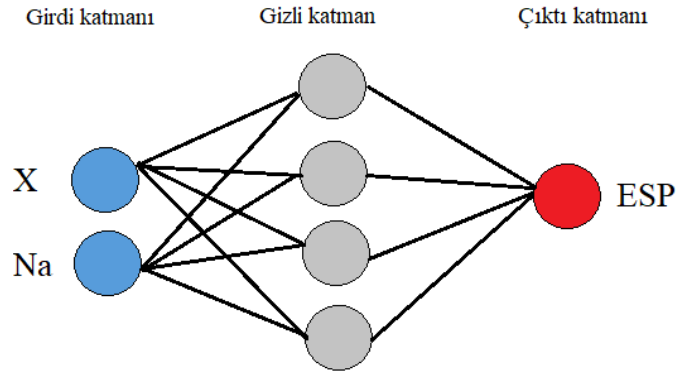
Girdi sayısı	2	3	4
Gizli Katman sayısı	1 veya 2		
Gizli Katmandaki nöron sayısı	3-8 arasında		
Eğitim algoritması	1 Levenberg-Marquardts algoritması (trainlm)		
	2 Scaled Conjugate Gradient backpropagation (trainscg)		
	3 Bayesian Regularization backpropagation (trainbr)		
Transfer fonksiyonu	Gizli katmanda sigmoid (tansig), çıktı katmanında Lineer fonksiyon (purelin)		
Model Yapıları	2-3-1	3-4-1	4-5-1
	2-4-1	3-5-1	4-6-1
	2-5-1	3-6-1	4-7-1
	2-6-1	3-7-1	4-8-1
	2-3-5-1	3-3-5-1	4-3-5-7
	2-5-7-1	3-5-7-1	4-5-7-1

4.5.3.1. Toprakların bazı kimyasal özelliklerinin yapay sinir ağları ile tahmini

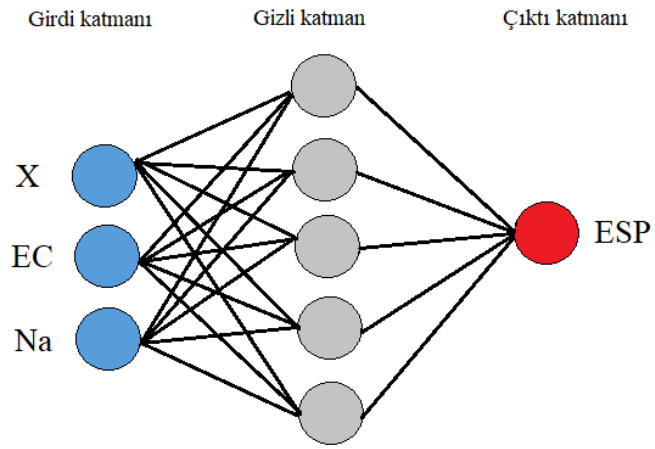
4.5.3.1.1. Yapay sinir ağları ile değişebilir sodyum yüzdesi'nin tahmini

Toprakların değişebilir sodyum yüzdesinin (ESP) belirlenmesi toprak biliminin birçok uygulamasında önemlidir. Toprakların ESP'sinin bilinmesi bu konuda yapılacak iyileştirmenin miktarının tahmin edilmesi ve uygun önleme tedbirlerinin alınması için gereklidir (Keshavarzi vd, 2016). Aynı zamanda topraklarda ESP'nin izlenmesi hem zaman alıcı hem de maliyetlidir. Uzun zaman alan ve doğruluk derecesi yetersiz olan geleneksel belirleme yöntemleri birçok kullanıcı için gittikçe kullanışsız hale gelmeye başlamıştır (Omran, 2008). Keshavarzi vd, (2016) çalışmalarında toprakların ESP'sini hızlı ve güvenilir bir şekilde tespit ve analiz etmek için çevre dostu yöntemlere ihtiyaç olduğunu bildirmiştir. Bu nedenle kolayca ulaşılabilen toprak özellikleri kullanılarak pedotransfer fonksiyonlar ile ESP'nin tahminine yönelik modellerin oluşturulabileceği bildirilmiştir (Farahmand vd, 2012; Keshavarzi vd, 2016).

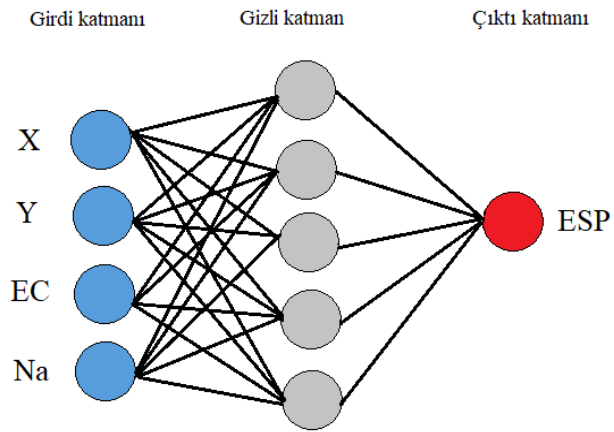
Çalışma alanı topraklarının değişebilir sodyum yüzdesi (ESP) değerlerinin yapay sinir ağları ile tahmin edilmesinde girdi değişkenleri olarak EC, pH, Na, enlem (X) ve boylam (Y) parametreleri alınmış, hem toprağın bazı kimyasal özellikleri hem de örnekleme yapılan noktaların konumsal özellikleri birlikte kullanılmıştır. Çalışma kapsamında 2 farklı veri seti oluşturulmuş ve detayları daha önceki bölümde verilmiştir. Burada da öncelikle 2016 yılı sulama öncesinde araziden elde edilen gerçek veriler kullanılarak modelleme yapılmıştır. Daha sonra ise üç dönem verileri birleştirilerek modeller oluşturulmuştur. Verilerin birimsiz hale getirilmesi, kullanılan aktivasyon fonksiyonu (tansig) –1 ile 1 arasında değerler alması ve eğitimin kalitesini artırmak için veriler hem girdi hem de çıktı parametreleri için 0-1 arasında standardize edilmiştir. Girdi katmanı ve gizli katman arasında aktivasyon fonksiyonu olarak tansig etkinlik fonksiyonu kullanılmıştır. Gizli katman ile çıktı katmanı arasında ise lineer (purelin) etkinlik fonksiyonu kullanılmıştır. Yapay sinir ağları ile ESP tahmini yaparken en iyi sonucu elde etmek amacıyla üç farklı eğitim algoritması (LM, SCG ve BR) ve çeşitli ağ yapıları denenmiştir. Bunlar girdi katmanında 2 girdi kullanılan (X, Na), 3 girdi kullanılan (X, EC, Na) ve 4 girdi kullanılan (X, Y, EC, Na) modellerdir. İki girdili modelin şematik görünümü Şekil 4.85, üç girdili modelin şematik görünümü Şekil 4.86 ve dört girdili modelin şematik görünümü Şekil 4.87'de verilmiştir.



Şekil 4.85. Çok katmanlı yapay sinir ağında (2-4-1) ağ yapısı diyagramı



Şekil 4.86. Çok katmanlı yapay sinir ağında (3-5-1) ağ yapısı diyagramı



Şekil 4.87. Çok katmanlı yapay sinir ağında (4-5-1) ağ yapısı diyagramı

ESP'nin yapay sinir ağı ile tahmin edilmesinde farklı ağ yapısı ve iterasyonlar denenerek en uygun model belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca, farklı iterasyonlarda (30, 50, 70 adım) elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Çeşitli YSA mimarileri, farklı nöronların ve eğitim fonksiyonlarının toprak özelliklerinin doğru bir şekilde tahmin edilmesi için deneme ve hata esasına göre eğitilmiştir. Her model için en uygun YSA mimarileri maksimum performans ölçütleri yani yüksek belirleme katsayısı ve düşük RMSE ve MAE değerlerine göre belirlenmiştir.

Çalışmada öncelikle çok katmanlı yapay sinir ağı ile ESP'nin belirlenmesinde 2016 yılı sulama öncesinde arazi ve laboratuvar çalışmaları sonucunda elde edilen veriler kullanılmıştır. Bu dönemde elde edilen verilerin %70'i eğitim, %20'si test ve %10'u doğrulama veri seti olarak kullanılmıştır.

Levenberg-Marquardt (LM) eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda ESP'nin tahmini için eğitim, test ve doğrulama verilerinden elde edilen sonuçların istatistiksel performans kriterleri Çizelge 4.40'da verilmiştir.

Çizelge 4.40. LM eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda ESP'nin tahmini için geliştirilen YSA modellerinin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (Nisan2016)

Girdi	Ağ Yapısı	İterasyon sayısı	Eğitim			Test			Doğrulama		
			R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE
EC, Na (YSA1)	(2-3-1)	30	0.97	0.97	1.41	0.92	1.28	2.23	0.79	0.82	1.08
		50	0.97	0.97	1.37	0.75	2.16	5.87	0.78	0.83	1.09
		70	0.97	0.95	1.39	0.89	1.34	2.62	0.79	0.81	1.08
	(2-4-1)	30	0.97	0.96	1.40	0.91	1.35	2.39	0.78	0.82	1.10
		50	0.98	0.90	1.23	0.77	2.00	4.70	0.80	0.82	1.08
		70	0.97	0.95	1.39	0.92	1.24	2.15	0.79	0.81	1.07
	(2-5-1)	30	0.98	0.88	1.16	0.67	3.35	12.25	0.79	0.80	1.06
		50	0.97	0.92	1.32	0.83	1.57	3.52	0.79	0.81	1.08
		70	0.98	0.85	1.16	0.57	4.12	16.69	0.79	0.81	1.07
	(2-6-1)	30	0.98	0.87	1.19	0.61	3.53	13.49	0.79	0.83	1.07
		50	0.98	0.89	1.21	0.49	3.59	13.91	0.78	0.83	1.09
		70	0.97	0.93	1.35	0.87	1.53	3.18	0.79	0.81	1.07
	(2-3-5-1)	30	0.98	0.82	1.11	0.65	3.72	14.98	0.80	0.83	1.08
		50	0.98	0.87	1.17	0.46	5.06	24.00	0.78	0.83	1.08
		70	0.97	0.92	1.32	0.88	1.46	2.76	0.75	0.88	1.18
	(2-5-7-1)	30	0.98	0.83	1.12	0.61	2.86	9.62	0.78	0.85	1.12
		50	0.98	0.76	1.01	0.55	6.66	29.94	0.81	0.80	1.06
		70	0.98	0.82	1.09	0.66	1.79	4.77	0.80	0.80	1.06
	(3-4-1)	30	0.92	1.57	2.23	0.93	1.28	1.76	0.95	1.57	2.20
		50	0.92	1.55	2.15	0.93	1.27	1.84	0.93	2.02	3.26
		70	0.92	1.51	2.16	0.94	1.29	1.79	0.93	1.92	2.60
	(3-5-1)	30	0.92	1.56	2.24	0.93	1.34	1.89	0.91	1.95	3.23
		50	0.92	1.53	2.12	0.91	1.31	1.96	0.56	3.29	8.84
		70	0.93	1.45	2.03	0.72	1.79	4.71	0.87	2.19	3.44
	(3-6-1)	30	0.92	1.51	2.14	0.94	1.21	1.65	0.88	1.91	3.23
		50	0.92	1.51	2.19	0.92	1.30	1.90	0.83	2.17	3.89
		70	0.93	1.42	1.98	0.31	2.41	10.18	0.51	3.29	8.85
	(3-7-1)	30	0.93	1.45	2.05	0.92	1.30	2.05	0.95	1.60	2.11
		50	0.93	1.40	1.99	0.90	1.41	2.51	0.69	2.55	5.82
		70	0.93	1.41	2.01	0.76	2.26	7.93	0.52	5.52	21.57
	(3-3-5-1)	30	0.92	1.53	2.13	0.94	1.37	1.99	0.96	1.48	2.02
		50	0.93	1.46	1.99	0.95	1.13	1.45	0.94	1.73	2.41
		70	0.93	1.46	2.09	0.68	2.07	5.43	0.93	1.72	2.36
	(3-5-7-1)	30	0.94	1.36	1.83	0.93	1.26	1.85	0.90	1.88	3.06
		50	0.95	1.24	1.70	0.71	2.73	12.90	0.86	6.37	20.98
		70	0.96	1.18	1.60	0.47	2.60	10.04	0.91	3.79	8.10
X, Y, EC, Na (YSA4)	(4-5-1)	30	0.98	0.82	1.08	0.91	1.14	2.45	0.96	1.23	1.94
		50	0.97	0.92	1.31	0.90	1.17	2.34	0.95	1.31	2.01
		70	0.99	0.74	0.95	0.84	1.37	3.39	0.89	1.55	3.49
	(4-6-1)	30	0.98	0.84	1.12	0.87	1.29	2.60	0.95	1.20	2.04
		50	0.98	0.77	0.98	0.87	1.15	2.44	0.92	1.51	2.61
		70	0.98	0.76	0.96	0.84	1.35	2.99	0.95	1.28	2.07
	(4-7-1)	30	0.98	0.77	1.02	0.88	1.21	2.51	0.92	1.69	2.65
		50	0.98	0.75	0.95	0.84	1.35	3.01	0.94	1.35	2.36
		70	0.98	0.79	1.00	0.90	1.18	2.22	0.94	1.68	2.68
	(4-8-1)	30	0.98	0.76	0.96	0.86	1.26	2.68	0.97	1.18	1.83
		50	0.98	0.78	0.96	0.87	1.29	2.70	0.77	2.80	7.98
		70	0.98	0.76	0.97	0.80	1.40	2.94	0.91	1.76	3.33
	(4-3-5-1)	30	0.97	0.89	1.27	0.91	1.09	2.13	0.95	1.32	2.08
		50	0.99	0.74	0.94	0.88	1.20	2.44	0.96	1.24	2.00
		70	0.98	0.81	1.04	0.86	1.15	2.50	0.97	1.39	2.54
	(4-5-7-1)	30	0.98	0.79	1.11	0.92	1.13	1.93	0.95	1.38	2.08
		50	0.99	0.57	0.76	0.83	1.17	3.01	0.94	1.60	2.93
		70	0.99	0.63	0.81	0.93	1.03	1.78	0.77	2.10	4.34

Levenberg-Marquardt (LM) eğitim algoritması göz önüne alındığında ESP tahmini için oluşturulan tüm modellerin belirleme katsayıları yüksek bulunmuştur. Girdi sayısı arttıkça modelin tahmin yeteneği artmıştır. İki girdili model incelendiğinden en iyi sonuçlar tek gizli katmanlı ağ yapısında (2-4-1) ve 70 iterasyonda ortaya çıkmıştır. Belirleme katsayısı eğitim aşamasında 0.97, test aşamasında 0.92 ve doğrulama aşamasında ise 0.79 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.40). Belirleme katsayısının %80'in üzerinde belirlenmesi önemli bir sonuç olarak ifade edilebilir. Üç girdili model incelendiğinde en iyi sonuçlar tek gizli katmanlı (3-4-1) ağ yapısında ve 30 iterasyon sayısında bulunmuştur. Belirleme katsayısı eğitim aşamasında 0.92, test aşamasında 0.93 ve doğrulama aşamasında ise 0.95 olarak belirlenmiştir. Dört girdili model incelendiğinde ise en iyi sonuçlar iki gizli katman kullanılan (4-5-7-1) ağ yapısında ve 30 iterasyonda bulunmuştur. Bu modelin belirleme katsayısı eğitim aşamasında 0.98, test aşamasında 0.92 ve doğrulama aşamasında ise 0.95 olarak belirlenmiştir. Levenberg-Marquardt (LM) eğitim algoritması için oluşturulan her üç model birlikte değerlendirildiğinde en iyi sonucu 4 girdi değişkeninin kullanıldığı ve iki gizli katman kullanılan model vermiştir. Bu modelin MAE ve RMSE değerleri eğitim veri setinde 0.79 ve 1.11, test veri setinde 1.13 ve 1.93 ve doğrulama veri seti için 1.38 ve 2.08 olarak belirlenmiştir.

Scaled Conjugate Gradient (SCG) eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda ESP'nin tahmini için eğitim, test ve doğrulama verilerinden elde edilen sonuçların istatistiksel performans kriterleri Çizelge 4.41'de verilmiştir.

Çizelge 4.41. SCG eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda ESP'nin tahmini için geliştirilen YSA modellerinin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (Nisan 2016)

Girdi	Ağ Yapısı	İterasyon sayısı	Eğitim			Test			Doğrulama		
			R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE
EC, Na (YSA1)	(2-3-1)	30	0.86	1.66	3.04	0.81	1.96	3.53	0.69	0.99	1.39
		50	0.95	1.19	1.87	0.77	1.92	4.89	0.76	0.86	1.11
		70	0.94	1.26	1.92	0.85	1.65	3.25	0.70	0.88	1.21
	(2-4-1)	30	0.94	1.12	1.93	0.83	1.71	3.14	0.77	0.90	1.18
		50	0.92	1.67	2.35	0.87	1.84	2.86	0.42	1.29	1.67
		70	0.95	1.12	1.77	0.88	1.41	2.66	0.77	0.85	1.16
	(2-5-1)	30	0.62	3.13	5.03	0.47	3.12	5.59	0.05	2.06	2.47
		50	0.95	1.32	1.89	0.81	1.88	3.78	0.67	0.96	1.28
		70	0.95	1.25	1.87	0.87	1.62	2.78	0.72	0.89	1.23
	(2-6-1)	30	0.91	1.62	2.51	0.86	1.78	2.97	0.47	1.23	1.69
		50	0.94	1.38	2.07	0.82	1.96	3.49	0.69	0.97	1.29
		70	0.95	1.12	1.90	0.87	1.48	2.80	0.75	0.87	1.15
	(2-3-5-1)	30	0.90	1.78	2.57	0.70	2.58	5.20	0.37	1.28	1.76
		50	0.90	1.45	2.55	0.71	1.94	4.21	0.71	1.00	1.26
		70	0.87	1.99	2.95	0.71	2.79	4.97	0.38	1.28	1.87
	(2-5-7-1)	30	0.94	1.23	1.96	0.87	1.62	2.84	0.73	0.92	1.29
		50	0.93	1.44	2.17	0.89	1.77	2.86	0.59	1.10	1.44
		70	0.92	1.53	2.28	0.71	2.09	4.38	0.49	1.26	1.74
X, EC, pH (YSA3)	(3-4-1)	30	0.77	2.24	3.71	0.72	2.13	3.78	0.81	2.75	4.05
		50	0.82	2.20	3.35	0.79	2.10	3.67	0.86	2.47	4.36
		70	0.82	2.19	3.28	0.79	1.94	3.03	0.81	2.66	4.23
	(3-5-1)	30	0.85	2.02	3.01	0.85	1.70	2.61	0.74	2.81	4.73
		50	0.88	1.76	2.71	0.90	1.42	2.29	0.91	2.11	3.14
		70	0.87	1.82	2.78	0.91	1.44	2.03	0.89	2.41	3.84
	(3-6-1)	30	0.79	2.30	3.59	0.79	1.96	3.08	0.76	2.87	4.59
		50	0.65	3.08	4.56	0.68	2.73	4.04	0.74	3.94	5.91
		70	0.84	1.95	3.06	0.84	1.74	3.03	0.76	3.50	6.97
	(3-7-1)	30	0.86	2.01	2.95	0.83	1.76	2.71	0.88	2.35	3.36
		50	0.80	2.38	3.48	0.73	2.13	3.40	0.69	3.43	5.33
		70	0.87	1.91	2.80	0.87	1.68	2.40	0.76	2.49	4.69
	(3-3-5-1)	30	0.71	2.64	4.89	0.76	2.29	4.25	0.79	3.06	4.74
		50	0.77	2.24	3.72	0.68	2.13	3.89	0.78	2.92	4.25
		70	0.87	1.80	2.81	0.89	1.45	2.22	0.89	2.25	3.54
	(3-5-7-1)	30	0.81	2.26	3.43	0.80	1.97	2.94	0.27	3.86	8.62
		50	0.88	1.81	2.68	0.90	1.49	2.09	0.86	2.78	5.46
		70	0.88	1.80	2.73	0.89	1.61	2.71	0.90	2.26	3.10
X, Y, EC, Na (YSA4)	(4-5-1)	30	0.90	1.70	2.51	0.88	1.75	2.69	0.90	1.84	2.91
		50	0.94	1.36	1.96	0.91	1.26	2.25	0.92	1.82	2.53
		70	0.84	2.05	3.11	0.78	2.00	3.87	0.85	2.37	3.96
	(4-6-1)	30	0.73	2.54	4.02	0.70	2.31	3.85	0.72	3.49	5.08
		50	0.86	1.91	2.97	0.82	1.78	3.03	0.82	2.80	4.18
		70	0.84	1.96	3.13	0.86	1.64	2.66	0.74	2.90	4.82
	(4-7-1)	30	0.91	1.45	2.27	0.90	1.25	2.12	0.90	1.82	2.86
		50	0.93	1.44	2.06	0.89	1.39	2.17	0.87	2.22	3.28
		70	0.95	1.19	1.76	0.93	1.17	2.05	0.87	2.02	3.45
	(4-8-1)	30	0.79	2.70	3.72	0.78	2.50	3.65	0.74	3.54	4.77
		50	0.90	1.75	2.40	0.86	1.75	3.01	0.88	1.98	3.19
		70	0.90	1.58	2.45	0.86	1.52	3.07	0.87	1.89	3.38
	(4-3-5-1)	30	0.84	2.17	3.11	0.81	1.98	3.23	0.78	2.96	4.27
		50	0.77	2.21	3.69	0.60	2.27	4.65	0.80	2.73	4.17
		70	0.77	2.41	3.76	0.77	2.18	4.41	0.79	2.87	4.38
	(4-5-7-1)	30	0.86	2.06	2.99	0.80	2.03	3.25	0.80	2.83	4.25
		50	0.78	2.42	3.72	0.69	2.37	3.82	0.63	3.50	5.54
		70	0.95	1.29	1.75	0.89	1.29	2.35	0.94	1.66	2.28

Scaled Conjugate Gradient (SCG) eğitim algoritması için oluşturulan modellerin bulunduğu Çizelge 4.41 incelendiğinde iki girdili model için en iyi sonuçlar tek gizli katmanlı ağ yapısında (2-4-1) ve 70 iterasyonda ortaya çıkmıştır. Belirleme katsayısı eğitim aşamasında 0.95, test aşamasında 0.88 ve doğrulama aşamasında ise 0.77 olarak belirlenmiştir. Üç girdili model incelendiğinde en iyi sonuçlar tek gizli katmanlı (3-5-1) ağ yapısında ve 70 iterasyon sayısında bulunmuştur. Belirleme katsayısı eğitim aşamasında 0.87, test aşamasında 0.91 ve doğrulama aşamasında ise 0.89 olarak belirlenmiştir. Dört girdili model incelendiğinde ise en iyi sonuçlar tek gizli katman kullanılan (4-7-1) ağ yapısında ve 30 iterasyonda bulunmuştur. Bu modelin belirleme katsayısı eğitim aşamasında 0.91, test aşamasında 0.90 ve doğrulama aşamasında ise 0.90 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.41 incelendiğinde en yüksek R^2 ve en düşük MAE ve RMSE değerlerine sahip modelin 4 girdi (4-7-1) kullanılarak oluşturulan model olduğu belirlenmiş ve bu değere 30 iterasyon sonucunda ulaşılmıştır. Bu modelin MAE ve RMSE değerleri eğitim veri setinde 1.45 ve 2.27, test veri setinde 1.25 ve 2.12 ve doğrulama veri seti için 1.82 ve 2.86 olarak belirlenmiştir. 4 girdi kullanılarak oluşturulan model, 2 ve 3 girdi kullanılarak oluşturulan modellerden daha iyi sonuç vermiştir.

Bayesian Regularization (BR) eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda ESP'nin tahmini için eğitim, test ve doğrulama verilerinden elde edilen sonuçların istatistiksel performans kriterleri Çizelge 4.42'de verilmiştir.

Çizelge 4.42. BR eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda ESP'nin tahmini için geliştirilen YSA modellerinin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (Nisan-2016)

Girdi	Ağ Yapısı	İterasyon sayısı	Eğitim			Test			Doğrulama		
			R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE
EC, Na (YSA1)	(2-3-1)	30	0.97	1.01	1.49	0.86	1.56	3.06	0.78	0.84	1.13
		50	0.97	1.02	1.49	0.86	1.56	3.03	0.78	0.85	1.14
		70	0.97	1.00	1.41	0.79	1.96	4.84	0.79	0.82	1.09
	(2-4-1)	30	0.97	1.00	1.39	0.73	2.33	6.84	0.78	0.82	1.10
		50	0.97	1.00	1.46	0.83	1.68	3.64	0.79	0.83	1.11
		70	0.97	1.01	1.43	0.81	1.86	4.38	0.78	0.83	1.12
	(2-5-1)	30	0.97	1.02	1.48	0.85	1.60	3.30	0.78	0.84	1.13
		50	0.97	1.02	1.45	0.82	1.74	3.86	0.78	0.84	1.12
		70	0.97	0.96	1.33	0.70	2.59	8.27	0.79	0.82	1.08
	(2-6-1)	30	0.96	1.04	1.69	0.92	1.32	2.51	0.76	0.77	1.10
		50	0.97	0.96	1.34	0.71	2.45	7.49	0.79	0.82	1.09
		70	0.97	1.00	1.40	0.76	2.13	5.70	0.78	0.82	1.10
	(2-3-5-1)	30	0.97	1.00	1.47	0.85	1.60	3.32	0.79	0.85	1.12
		50	0.97	1.02	1.45	0.82	1.78	4.01	0.78	0.84	1.13
		70	0.97	1.01	1.43	0.80	1.87	4.43	0.79	0.84	1.11
	(2-5-7-1)	30	0.97	1.02	1.47	0.84	1.64	3.44	0.78	0.84	1.13
		50	0.97	1.01	1.45	0.82	1.80	4.10	0.79	0.83	1.09
		70	0.97	1.02	1.45	0.82	1.79	4.02	0.78	0.83	1.12
X, EC, pH (YSA3)	(3-4-1)	30	0.91	1.57	2.30	0.94	1.20	1.62	0.94	1.66	2.49
		50	0.92	1.55	2.25	0.95	1.18	1.54	0.91	1.82	2.95
		70	0.92	1.54	2.24	0.95	1.18	1.53	0.92	1.80	2.87
	(3-5-1)	30	0.91	1.55	2.27	0.95	1.18	1.57	0.93	1.68	2.48
		50	0.92	1.55	2.25	0.95	1.18	1.54	0.91	1.81	2.93
		70	0.92	1.53	2.22	0.95	1.16	1.49	0.92	1.75	2.75
	(3-6-1)	30	0.92	1.55	2.24	0.95	1.19	1.53	0.92	1.79	2.88
		50	0.92	1.53	2.23	0.95	1.17	1.49	0.92	1.76	2.76
		70	0.92	1.51	2.21	0.95	1.16	1.48	0.93	1.72	2.67
	(3-7-1)	30	0.91	1.57	2.32	0.94	1.23	1.69	0.95	1.69	2.46
		50	0.91	1.55	2.26	0.95	1.15	1.50	0.92	1.74	2.74
		70	0.92	1.53	2.23	0.95	1.18	1.50	0.93	1.73	2.73
	(3-3-5-1)	30	0.91	1.57	2.26	0.94	1.22	1.59	0.92	1.81	2.97
		50	0.92	1.54	2.23	0.95	1.17	1.52	0.91	1.83	2.87
		70	0.91	1.57	2.28	0.94	1.21	1.59	0.93	1.72	2.54
	(3-5-7-1)	30	0.91	1.56	2.30	0.94	1.20	1.57	0.93	1.65	2.45
		50	0.91	1.56	2.28	0.95	1.19	1.54	0.92	1.76	2.71
		70	0.92	1.55	2.23	0.95	1.17	1.52	0.94	1.67	2.44
X, Y, EC, Na (YSA4)	(4-5-1)	30	0.97	0.92	1.36	0.92	1.09	2.09	0.96	1.22	1.79
		50	0.97	0.94	1.40	0.92	1.04	1.96	0.95	1.38	2.05
		70	0.97	0.92	1.36	0.92	1.09	2.11	0.96	1.22	1.77
	(4-6-1)	30	0.97	0.91	1.35	0.92	1.07	2.09	0.96	1.22	1.82
		50	0.97	0.94	1.41	0.93	1.03	1.96	0.95	1.32	1.99
		70	0.97	0.92	1.36	0.92	1.09	2.10	0.96	1.24	1.80
	(4-7-1)	30	0.96	0.98	1.50	0.93	1.07	2.03	0.96	1.24	1.89
		50	0.97	0.91	1.34	0.92	1.06	2.03	0.96	1.26	1.89
		70	0.97	0.92	1.36	0.92	1.09	2.11	0.96	1.22	1.77
	(4-8-1)	30	0.96	1.00	1.55	0.94	1.00	1.83	0.96	1.24	1.88
		50	0.97	0.95	1.42	0.92	1.05	2.02	0.96	1.24	1.89
		70	0.97	0.94	1.37	0.92	1.08	2.02	0.96	1.26	1.93
	(4-3-5-1)	30	0.97	0.94	1.41	0.91	1.09	2.17	0.96	1.18	1.74
		50	0.97	0.96	1.42	0.92	1.14	2.16	0.96	1.30	1.89
		70	0.97	0.93	1.36	0.90	1.14	2.29	0.96	1.17	1.77
	(4-5-7-1)	30	0.97	0.90	1.32	0.91	1.09	2.06	0.96	1.24	1.86
		50	0.97	0.93	1.35	0.91	1.08	2.04	0.95	1.32	1.98
		70	0.97	0.90	1.24	0.88	1.14	2.32	0.92	1.46	2.69

Bayesian Regularization (BR) eğitim algoritması göz önüne alındığında genel olarak farklı gizli nöronlar ve ağ yapılarının farklı performans ölçütleri arasında eğitim, test ve doğrulama ver setlerinde spesifik bir eğilim olmadığı, birbirine yakın sonuçların bulunduğu belirlenmiştir. Çizelge 4.42 incelendiğinde iki girdili model için en iyi sonuçlar tek gizli katmanlı ağ yapısında (2-3-1) ve 50 iterasyonda ortaya çıkmıştır. Belirleme katsayısı eğitim aşamasında 0.97, test aşamasında 0.86 ve doğrulama aşamasında ise 0.78 olarak belirlenmiştir. Üç girdili model incelendiğinde en iyi sonuçlar tek gizli katmanlı (3-6-1) ağ yapısında ve 50 iterasyon sayısında bulunmuştur. Belirleme katsayısı eğitim aşamasında 0.92, test aşamasında 0.95 ve doğrulama aşamasında ise 0.92 olarak bulunmuştur. Dört girdili model incelendiğinde ise en iyi sonuçlar tek gizli katman kullanılan (4-8-1) ağ yapısında ve 30 iterasyonda bulunmuştur. Bu modelin belirleme katsayısı eğitim aşamasında 0.96, test aşamasında 0.94 ve doğrulama aşamasında ise 0.96 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.42 incelendiğinde en yüksek R^2 ve en düşük MAE ve RMSE değerlerine sahip modelin 4 girdi (4-8-1) kullanılarak oluşturulan model olduğu belirlenmiş ve bu değere 30 iterasyon sonucunda ulaşılmıştır. Bu modelin MAE ve RMSE değerleri eğitim veri setinde 1.00 ve 1.55, test veri setinde 1.00 ve 1.83 ve doğrulama veri seti için 1.24 ve 1.88 olarak belirlenmiştir. 4 girdi kullanılarak oluşturulan model, 2 ve 3 girdi kullanılarak oluşturulan modellerden daha iyi sonuç vermiştir.

Bu bölümde hesaplamalarda kullanılan girdi verisi sayısını arttırmak amacıyla 2016 sulama öncesi ve sonrası ile 2017 yılı sulama öncesi dönem verileri birlikte değerlendirilerek farklı girdi değişkeni ile ESP değerlerinin tahmini için modeller oluşturulmuştur. Bunun için her üç dönemde araziden elde edilen verilerin toplamının %70' i eğitim veri seti, %20'si test veri seti ve %10'u doğrulama veri seti olarak kullanılmıştır. Bu amaçla 2 girdili 2 farklı model, 3 girdili ve 4 girdili modeller oluşturulmuştur. İlk oluşturulan modelde girdi olarak EC ve Na değişkenleri kullanılmıştır. 2 girdi katmanlı olan modelde 3 farklı iterasyon (30, 50, 70) denenmiştir. İkinci olarak oluşturulan 2 girdili modelde EC ve pH özellikleri kullanılmıştır. 3 girdili oluşturulan modelde ise enlem derecesi, EC ve pH özellikleri girdi olarak kullanılmıştır. Oluşturulan dördüncü ve son modelde ise girdi katmanında 4 değişken (enlem derecesi, boylam derecesi, EC ve Na özellikleri) kullanılmıştır. Geliştirilen bu modeller kullanılarak 3 farklı eğitim algoritması ve 3 farklı iterasyon sayısı denenerek bulunan eğitim, test ve doğrulama verilerine ait belirleme katsayısı (R^2), MAE ve RMSE değerleri belirlenmiştir.

Levenberg-Marquardt (LM) eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda ESP değerinin tahmini için oluşturulan 2, 3 ve 4 girdili modellerin eğitim, test ve doğrulama verilerinden elde edilen sonuçların istatistiksel performans kriterleri Çizelge 4.39'da verilmiştir. Levenberg-Marquardt (LM) eğitim algoritması incelendiğinde genel olarak istatistiksel performans bakımından oluşturulan modeller bazında eğitim ve test verileri yakın değerler almıştır. Bu durum verinin eğitim ve test veri setlerinde uygun bir şekilde dağıldığını göstermektedir. Çizelge 4.43 incelendiğinde girdi olarak EC ve Na özelliklerinin kullanıldığı modelin performansı, girdi olarak EC ve pH kullanılan modelin performansından biraz daha yüksek bulunmuştur. İki girdili birinci model için en iyi sonuçlar tek gizli katmanlı ağ yapısında (2-5-1) ve 30 iterasyonda bulunmuştur. Belirleme katsayısı eğitim aşamasında 0.95, test aşamasında 0.94 ve doğrulama aşamasında ise 0.96 olarak belirlenmiştir. Girdi olarak EC ve pH parametrelerinin kullanıldığı modelde ise en iyi sonuçlar yine tek gizli katmanlı ağ yapısında (2-5-1) ve 30 iterasyonda bulunmuştur. Belirleme katsayısı eğitim aşamasında 0.89, test aşamasında 0.86 ve doğrulama aşamasında ise 0.91 olarak bulunmuştur. Üç girdi kullanılan YSA3 modelinin tahmin gücü, YSA2 modelin tahmin gücü ile hemen hemen aynı bulunmuştur. Dört girdili model incelendiğinde ise en iyi sonuçlar tek gizli katman kullanılan (4-7-1) ağ

yapısında ve 70 iterasyonda bulunmuştur. Bu modelin belirleme katsayısı ise eğitim aşamasında 0.97, test aşamasında 0.96 ve doğrulama aşamasında ise 0.97 olarak belirlenmiştir. YSA4 modelinin performansı YSA1 modelinin performansına yakın bulunmuş, girdi olarak eklenen enlem ve boylam özelliklerinin az da olsa performansı iyileştirici katkıda bulunduğu söylenebilir. Toprakların sodyum içeriğinin belirlenmesi EC ve pH özelliklerinin belirlenmesine göre daha zor ve pahalıdır. Bu sonuçlara göre sadece EC ve pH değişkenleri kullanılarak da yüksek doğrulukta ($R^2=0.89$) ESP tahmini gerçekleştirilebilir.

Çizelge 4.43. Levenberg-Marquardt (LM) eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda ESP'nin tahmini için geliştirilen YSA modellerinin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (tüm veri seti)

Girdi	Ağ Yapısı	İterasyon sayısı	Eğitim			Test			Doğrulama		
			R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE
EC, Na (YSA1)	(2-3-1)	30	0.95	1.13	1.79	0.93	1.09	1.65	0.96	1.12	1.52
		50	0.95	1.14	1.81	0.94	1.06	1.59	0.96	1.11	1.52
		70	0.95	1.12	1.78	0.93	1.09	1.65	0.96	1.10	1.49
	(2-4-1)	30	0.95	1.13	1.79	0.93	1.10	1.65	0.96	1.12	1.52
		50	0.95	1.12	1.77	0.93	1.09	1.63	0.96	1.12	1.52
		70	0.95	1.11	1.73	0.94	1.09	1.61	0.96	1.17	1.63
	(2-5-1)	30	0.95	1.13	1.78	0.94	1.06	1.55	0.96	1.14	1.61
		50	0.95	1.10	1.72	0.93	1.10	1.64	0.95	1.19	1.71
		70	0.95	1.11	1.76	0.93	1.09	1.63	0.96	1.12	1.55
	(2-6-1)	30	0.95	1.10	1.74	0.93	1.08	1.65	0.95	1.14	1.62
		50	0.95	1.11	1.74	0.93	1.10	1.65	0.96	1.10	1.48
		70	0.95	1.09	1.73	0.94	1.05	1.53	0.96	1.12	1.56
	(2-3-5-1)	30	0.94	1.14	1.83	0.93	1.08	1.63	0.96	1.10	1.50
		50	0.95	1.08	1.65	0.92	1.12	1.77	0.96	1.09	1.46
		70	0.95	1.11	1.74	0.93	1.12	1.64	0.96	1.18	1.64
	(2-5-7-1)	30	0.96	1.08	1.63	0.94	1.07	1.59	0.95	1.19	1.70
		50	0.96	1.07	1.64	0.94	1.04	1.55	0.94	1.24	1.83
		70	0.96	1.06	1.62	0.94	1.05	1.54	0.94	1.23	1.97
EC, pH (YSA2)	(2-3-1)	30	0.88	1.76	2.66	0.85	1.76	2.65	0.91	1.82	2.30
		50	0.88	1.79	2.72	0.84	1.80	2.66	0.90	1.86	2.42
		70	0.88	1.79	2.70	0.84	1.80	2.68	0.91	1.87	2.32
	(2-4-1)	30	0.89	1.73	2.62	0.85	1.75	2.65	0.90	1.90	2.42
		50	0.89	1.74	2.61	0.84	1.78	2.78	0.90	1.86	2.39
		70	0.88	1.75	2.65	0.85	1.76	2.62	0.91	1.80	2.28
	(2-5-1)	30	0.89	1.72	2.63	0.86	1.72	2.52	0.91	1.77	2.24
		50	0.89	1.72	2.60	0.85	1.76	2.70	0.91	1.81	2.28
		70	0.89	1.71	2.61	0.85	1.75	2.59	0.91	1.77	2.24
	(2-6-1)	30	0.89	1.71	2.59	0.86	1.74	2.59	0.91	1.79	2.28
		50	0.89	1.70	2.58	0.84	1.76	2.72	0.91	1.79	2.25
		70	0.89	1.71	2.55	0.83	1.85	2.97	0.87	1.99	2.70
	(2-3-5-1)	30	0.88	1.76	2.66	0.84	1.78	2.64	0.91	1.77	2.27
		50	0.87	1.85	2.76	0.86	1.80	2.54	0.89	1.88	2.45
		70	0.90	1.67	2.48	0.80	1.83	3.02	0.89	2.03	2.80
	(2-5-7-1)	30	0.89	1.70	2.58	0.85	1.78	2.69	0.88	1.94	2.62
		50	0.89	1.70	2.58	0.85	1.72	2.58	0.92	1.75	2.19
		70	0.89	1.66	2.52	0.83	1.82	2.92	0.91	1.79	2.31

Çizelge 4.43. (devamı)Levenberg-Marquardt (LM) eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda ESP'nin tahmini için geliştirilen YSA modellerinin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (tüm veri seti)

Girdi	Ağ Yapısı	İterasyon sayısı	Eğitim			Test			Doğrulama		
			R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE
EC, pH, X (YSA3)	(3-4-1)	30	0.89	1.70	2.55	0.86	1.67	2.58	0.91	1.77	2.26
		50	0.89	1.75	2.55	0.85	1.75	2.67	0.90	1.88	2.38
		70	0.90	1.68	2.50	0.85	1.70	2.58	0.92	1.68	2.18
	(3-5-1)	30	0.89	1.72	2.53	0.85	1.69	2.60	0.90	1.83	2.40
		50	0.89	1.71	2.54	0.86	1.71	2.56	0.90	1.81	2.34
		70	0.88	1.76	2.65	0.85	1.73	2.60	0.90	1.89	2.47
	(3-6-1)	30	0.89	1.73	2.57	0.86	1.68	2.47	0.92	1.68	2.18
		50	0.89	1.70	2.53	0.83	1.73	2.73	0.90	1.83	2.36
		70	0.90	1.67	2.47	0.85	1.64	2.56	0.92	1.69	2.16
	(3-7-1)	30	0.90	1.66	2.43	0.79	1.80	3.03	0.90	1.86	2.39
		50	0.90	1.72	2.50	0.85	1.76	2.71	0.91	1.81	2.30
		70	0.90	1.70	2.50	0.85	1.67	2.63	0.90	1.81	2.34
	(3-3-5-1)	30	0.90	1.68	2.50	0.85	1.67	2.60	0.92	1.68	2.14
		50	0.90	1.68	2.44	0.85	1.69	2.55	0.90	1.82	2.36
		70	0.91	1.63	2.36	0.87	1.68	2.55	0.90	1.81	2.42
	(3-5-7-1)	30	0.90	1.66	2.45	0.86	1.63	2.65	0.91	1.83	2.37
		50	0.92	1.55	2.24	0.71	1.89	4.62	0.89	2.00	2.77
		70	0.90	1.65	2.42	0.85	1.65	2.48	0.91	1.79	2.39
X, Y, EC, Na (YSA4)	(4-5-1)	30	0.96	1.04	1.64	0.95	1.03	1.48	0.97	1.01	1.39
		50	0.96	1.02	1.56	0.96	0.96	1.35	0.96	1.03	1.44
		70	0.96	0.98	1.50	0.95	1.00	1.41	0.97	0.94	1.31
	(4-6-1)	30	0.96	1.01	1.55	0.95	1.01	1.36	0.97	0.96	1.33
		50	0.96	1.06	1.64	0.96	0.96	1.34	0.97	1.01	1.38
		70	0.96	1.02	1.57	0.95	0.98	1.38	0.97	0.98	1.33
	(4-7-1)	30	0.96	1.03	1.61	0.95	1.02	1.41	0.97	0.97	1.37
		50	0.97	0.99	1.43	0.95	0.98	1.39	0.96	1.01	1.53
		70	0.97	0.95	1.38	0.96	0.94	1.33	0.97	0.97	1.32
	(4-8-1)	30	0.96	1.04	1.61	0.95	1.00	1.41	0.97	1.03	1.40
		50	0.97	0.99	1.44	0.95	1.00	1.40	0.96	1.09	1.55
		70	0.97	0.93	1.32	0.95	0.93	1.40	0.96	1.04	1.47
	(4-3-5-1)	30	0.94	1.13	1.83	0.94	1.06	1.62	0.96	1.06	1.46
		50	0.94	1.13	1.83	0.93	1.07	1.65	0.96	1.07	1.46
		70	0.96	1.01	1.58	0.95	0.98	1.41	0.97	1.01	1.40
	(4-5-7-1)	30	0.96	1.03	1.57	0.96	0.93	1.29	0.97	0.95	1.33
		50	0.96	1.02	1.46	0.96	0.95	1.31	0.96	1.06	1.57
		70	0.97	0.88	1.26	0.91	1.05	1.93	0.96	0.98	1.48

Scaled Conjugate Gradient (SCG) eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda ESP değerinin tahmini için oluşturulan 2, 3 ve 4 girdili modellerin eğitim, test ve doğrulama verilerinden elde edilen sonuçların istatistiksel performans kriterleri Çizelge 4.44’de verilmiştir. Çizelge 4.44 incelendiğinde LM algoritmasında olduğu gibi girdi olarak EC ve Na değişkenlerinin kullanıldığı modelin performansı, girdi olarak EC ve pH kullanılan modelin performansından daha yüksek bulunmuştur. YSA1 modeli için en iyi sonuçlar çift gizli katmanlı (2-5-7-1) ağ yapısında ve 50 iterasyon sayısında bulunmuştur. Belirleme katsayısı eğitim aşamasında 0.94, test aşamasında 0.94 ve doğrulama aşamasında ise 0.96 olarak belirlenmiştir. YSA2 modeli incelendiğinde ise en iyi sonuçlar tek gizli katmanlı (2-3-1) ağ yapısında ve 70 iterasyon sayısında bulunmuştur. Belirleme katsayısı eğitim aşamasında 0.86, test aşamasında 0.83 ve doğrulama aşamasında ise 0.88 olarak bulunmuştur. YSA3 modeli incelenecek olursa (3-3-5-1) ağ yapısı ve 70 iterasyon sonucunda en yüksek performans elde edilmiştir. Modelin belirleme katsayısı eğitim, test ve doğrulama veri setleri için sırasıyla 0.88, 0.84, 0.90 olarak bulunmuştur. Dört girdili model incelendiğinde ise (YSA4) en iyi sonuçlar tek gizli katmanlı (4-7-1) ağ yapısında ve 70 iterasyonda bulunmuştur. Bu modelin belirleme katsayısı ise eğitim aşamasında 0.92, test aşamasında 0.91 ve doğrulama aşamasında ise 0.95 olarak belirlenmiştir.

Bayesian Regularization (BR) eğitim algoritması göz önüne alındığında farklı sayıdaki gizli nöronlar ve farklı ağ yapılarının performans ölçütleri arasında eğitim, test ve doğrulama veri setlerinde birbirine yakın sonuçlar bulunmuştur. Çizelge 4.45 incelendiğinde iki girdili model (YSA1) için en iyi sonuçların tek gizli katmanlı (2-3-1) ağ yapısında ve 50 iterasyonda olduğu belirlenmiştir. Belirleme katsayısı eğitim aşamasında 0.95, test aşamasında 0.94 ve doğrulama aşamasında ise 0.96 olarak belirlenmiştir. YSA2 modelinde ise en iyi performans tek gizli katmanlı (2-6-1) ağ yapısında ve 50 itaresyon sayısında ulaşılmıştır. Modelin belirleme kaysayıları eğitim, test ve doğrulama veri setleri için 0.89, 0.86 ve.91 olarak bulunmuştur. Üç girdili model (YSA3) incelendiğinde en iyi sonuçlar tek gizli katmanlı (3-4-1) ağ yapısında ve 70 iterasyon sayısında bulunmuştur. Belirleme katsayısı eğitim aşamasında 0.89, test aşamasında 0.86 ve doğrulama aşamasında ise 0.91 olarak bulunmuştur. Yine burada da modele enlem derecesinin eklenmesi belirleme katsayısını değiştirmemiş ancak RMSE ve MAE değerlerinin çok az da olsa azalmasını sağlamıştır. YSA4

modeli incelendiğinde ise en yüksek istatistik sonuçları tek gizli katman kullanılan (4-6-1) ağ yapısında ve 30 iterasyonda bulunmuştur. Bu modelin belirleme katsayısı eğitim aşamasında 0.96, test aşamasında 0.96 ve doğrulama aşamasında ise 0.97 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.44. Scaled Conjugate Gradient (SCG) eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda ESP'nin tahmini için geliştirilen YSA modellerinin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (tüm veri seti)

Girdi	Ağ Yapısı	İterasyon sayısı	Eğitim			Test			Doğrulama		
			R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE
EC, Na (YSA1)	(2-3-1)	30	0.93	1.30	2.08	0.93	1.13	1.70	0.94	1.32	1.94
		50	0.91	1.30	2.31	0.92	1.12	1.82	0.93	1.35	2.23
		70	0.94	1.15	1.89	0.93	1.10	1.69	0.96	1.09	1.51
	(2-4-1)	30	0.93	1.28	2.01	0.91	1.23	1.87	0.95	1.22	1.64
		50	0.91	1.45	2.32	0.87	1.44	2.31	0.94	1.37	1.78
		70	0.94	1.17	1.85	0.93	1.10	1.63	0.96	1.16	1.54
	(2-5-1)	30	0.92	1.41	2.16	0.91	1.34	1.94	0.92	1.59	2.14
		50	0.94	1.20	1.98	0.93	1.12	1.73	0.96	1.12	1.53
		70	0.92	1.44	2.23	0.91	1.37	1.96	0.93	1.56	2.10
	(2-6-1)	30	0.93	1.23	2.05	0.94	1.05	1.56	0.93	1.28	2.08
		50	0.94	1.19	1.95	0.93	1.09	1.63	0.95	1.14	1.69
		70	0.93	1.35	2.07	0.92	1.24	1.76	0.94	1.45	1.91
	(2-3-5-1)	30	0.84	1.78	3.11	0.82	1.62	2.70	0.87	1.73	2.82
		50	0.90	1.51	2.49	0.91	1.34	1.94	0.92	1.64	2.33
		70	0.87	1.40	2.98	0.92	1.17	1.95	0.83	1.42	3.25
	(2-5-7-1)	30	0.85	1.92	3.05	0.82	1.79	2.68	0.82	2.29	3.31
		50	0.94	1.17	1.87	0.94	1.04	1.56	0.96	1.12	1.58
		70	0.93	1.31	2.05	0.91	1.30	1.88	0.95	1.20	1.67
EC, pH (YSA2)	(2-3-1)	30	0.84	1.98	3.15	0.80	1.88	2.92	0.86	2.14	2.88
		50	0.86	1.93	2.87	0.83	1.88	2.76	0.89	1.98	2.50
		70	0.86	1.90	2.91	0.83	1.80	2.69	0.88	1.97	2.63
	(2-4-1)	30	0.81	2.08	3.36	0.81	1.92	2.85	0.81	2.21	3.28
		50	0.86	1.92	2.89	0.83	1.85	2.76	0.88	2.00	2.64
		70	0.82	2.21	3.36	0.77	2.20	3.41	0.81	2.43	3.49
	(2-5-1)	30	0.70	2.78	4.24	0.71	2.41	3.49	0.63	3.11	4.60
		50	0.82	2.17	3.28	0.78	2.06	3.10	0.83	2.39	3.19
		70	0.77	2.43	3.75	0.74	2.25	3.38	0.73	2.67	3.94
	(2-6-1)	30	0.84	1.95	3.12	0.82	1.90	2.97	0.88	1.98	2.63
		50	0.87	1.82	2.77	0.84	1.81	2.76	0.90	1.89	2.40
		70	0.86	1.90	2.86	0.84	1.86	2.69	0.88	1.99	2.65
	(2-3-5-1)	30	0.65	2.90	4.60	0.58	2.79	4.15	0.64	3.08	4.90
		50	0.69	2.57	4.33	0.66	2.38	3.76	0.55	3.18	5.09
		70	0.86	1.92	2.92	0.83	1.89	2.73	0.89	1.91	2.55
	(2-5-7-1)	30	0.79	2.36	3.55	0.79	2.30	3.11	0.78	2.44	3.55
		50	0.84	1.93	3.08	0.81	1.93	2.96	0.88	1.98	2.60
		70	0.85	1.96	3.02	0.81	2.00	3.00	0.87	2.06	2.73

Çizelge 4.44. (devamı) Scaled Conjugate Gradient (SCG) eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda ESP'nin tahmini için geliştirilen YSA modellerinin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (tüm veri seti)

Girdi	Ağ Yapısı	İterasyon sayısı	Eğitim			Test			Doğrulama		
			R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE
EC, pH, X (YSA3)	(3-4-1)	30	0.80	2.19	3.47	0.74	2.10	3.34	0.76	2.51	3.74
		50	0.84	2.08	3.18	0.81	1.88	2.76	0.86	2.01	2.82
		70	0.86	1.94	2.90	0.83	1.80	2.71	0.89	1.95	2.51
	(3-5-1)	30	0.60	2.87	4.89	0.47	2.57	4.67	0.56	3.04	5.04
		50	0.83	2.15	3.24	0.78	2.09	3.13	0.79	2.48	3.46
		70	0.76	2.69	3.85	0.69	2.60	3.60	0.77	2.82	3.71
	(3-6-1)	30	0.63	3.12	4.77	0.58	2.88	4.25	0.61	3.40	4.89
		50	0.84	2.13	3.06	0.81	2.01	2.81	0.84	2.25	3.02
		70	0.80	2.34	3.52	0.72	2.31	3.39	0.78	2.46	3.61
	(3-7-1)	30	0.81	2.17	3.36	0.77	2.07	3.13	0.78	2.48	3.55
		50	0.85	2.04	3.05	0.81	2.01	2.83	0.85	2.17	2.93
		70	0.87	1.84	2.82	0.84	1.72	2.58	0.88	1.90	2.59
	(3-3-5-1)	30	0.82	2.10	3.42	0.75	2.07	3.52	0.79	2.45	3.65
		50	0.81	2.28	3.40	0.79	2.12	2.98	0.77	2.57	3.65
		70	0.88	1.84	2.73	0.84	1.80	2.66	0.90	1.90	2.38
	(3-5-7-1)	30	0.39	3.59	6.10	0.27	3.18	5.43	0.42	3.64	5.77
		50	0.81	2.13	3.43	0.77	2.01	3.21	0.80	2.41	3.52
		70	0.84	2.05	3.15	0.78	1.96	3.01	0.83	2.18	3.10
X, Y, EC, Na (YSA4)	(4-5-1)	30	0.71	2.82	4.18	0.58	2.84	4.13	0.73	2.72	3.93
		50	0.88	1.88	2.78	0.86	1.79	2.58	0.89	1.95	2.60
		70	0.89	1.75	2.56	0.89	1.50	2.08	0.93	1.57	2.05
	(4-6-1)	30	0.81	2.20	3.36	0.81	1.97	2.81	0.82	2.19	3.19
		50	0.92	1.44	2.18	0.92	1.30	1.78	0.93	1.40	2.13
		70	0.90	1.62	2.50	0.89	1.51	2.16	0.90	1.87	2.60
	(4-7-1)	30	0.76	2.75	3.92	0.70	2.60	3.49	0.79	2.65	3.60
		50	0.84	2.01	3.20	0.77	2.01	3.06	0.84	2.29	3.48
		70	0.92	1.47	2.26	0.91	1.33	1.96	0.95	1.32	1.77
	(4-8-1)	30	0.87	2.00	3.03	0.81	1.93	2.99	0.92	1.70	2.71
		50	0.89	1.68	2.60	0.85	1.59	2.49	0.92	1.49	2.17
		70	0.91	1.49	2.43	0.90	1.31	2.06	0.92	1.63	2.60
	(4-3-5-1)	30	0.68	2.79	4.42	0.56	2.63	4.24	0.59	3.11	4.83
		50	0.87	1.89	2.84	0.85	1.82	2.49	0.89	1.87	2.52
		70	0.87	1.88	2.85	0.82	1.79	2.68	0.88	2.02	3.03
	(4-5-7-1)	30	0.65	2.69	4.59	0.49	2.67	4.60	0.68	2.81	4.36
		50	0.83	2.17	3.24	0.74	2.13	3.29	0.88	1.99	2.80
		70	0.89	1.69	2.53	0.84	1.63	2.54	0.92	1.62	2.14

Çizelge 4.45. Bayesian Regularization (BR) eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda ESP'nin tahmini için geliştirilen YSA modellerinin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (Tüm veri seti)

Girdi	Ağ Yapısı	İterasyon sayısı	Eğitim			Test			Doğrulama		
			R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE
EC, Na (YSA1)	(2-3-1)	30	0.94	1.14	1.84	0.93	1.07	1.63	0.96	1.12	1.53
		50	0.95	1.13	1.81	0.94	1.07	1.62	0.96	1.11	1.51
		70	0.95	1.13	1.81	0.94	1.06	1.60	0.96	1.11	1.52
	(2-4-1)	30	0.94	1.14	1.84	0.94	1.07	1.62	0.96	1.12	1.52
		50	0.95	1.13	1.81	0.93	1.08	1.63	0.96	1.12	1.51
		70	0.95	1.13	1.80	0.93	1.08	1.63	0.96	1.12	1.51
	(2-5-1)	30	0.95	1.13	1.80	0.93	1.08	1.62	0.96	1.12	1.51
		50	0.95	1.13	1.80	0.93	1.08	1.63	0.96	1.12	1.51
		70	0.95	1.14	1.78	0.93	1.09	1.63	0.96	1.15	1.57
	(2-6-1)	30	0.95	1.12	1.77	0.93	1.07	1.62	0.96	1.13	1.54
		50	0.95	1.12	1.75	0.93	1.13	1.71	0.96	1.12	1.55
		70	0.95	1.13	1.78	0.93	1.09	1.63	0.96	1.11	1.53
	(2-3-5-1)	30	0.95	1.14	1.81	0.94	1.05	1.58	0.96	1.12	1.54
		50	0.95	1.13	1.82	0.94	1.05	1.59	0.96	1.11	1.53
		70	0.95	1.13	1.79	0.93	1.09	1.64	0.96	1.11	1.51
	(2-5-7-1)	30	0.95	1.14	1.80	0.93	1.09	1.63	0.96	1.12	1.51
		50	0.95	1.13	1.81	0.94	1.06	1.60	0.96	1.11	1.53
		70	0.95	1.13	1.78	0.93	1.09	1.65	0.96	1.12	1.54
EC, pH (YSA2)	(2-3-1)	30	0.88	1.75	2.65	0.85	1.75	2.65	0.91	1.78	2.24
		50	0.86	1.93	2.87	0.85	1.80	2.52	0.90	1.88	2.47
		70	0.88	1.77	2.70	0.85	1.76	2.62	0.91	1.82	2.32
	(2-4-1)	30	0.86	1.94	2.88	0.85	1.82	2.53	0.90	1.89	2.45
		50	0.88	1.77	2.68	0.85	1.78	2.66	0.91	1.81	2.29
		70	0.88	1.73	2.64	0.85	1.73	2.58	0.91	1.78	2.23
	(2-5-1)	30	0.88	1.76	2.69	0.85	1.75	2.61	0.91	1.74	2.20
		50	0.88	1.77	2.69	0.85	1.77	2.66	0.91	1.81	2.30
		70	0.89	1.72	2.61	0.85	1.74	2.62	0.91	1.84	2.35
	(2-6-1)	30	0.88	1.74	2.64	0.86	1.73	2.55	0.92	1.71	2.16
		50	0.89	1.71	2.61	0.86	1.72	2.54	0.91	1.78	2.28
		70	0.88	1.75	2.65	0.85	1.75	2.62	0.91	1.78	2.26
	(2-3-5-1)	30	0.88	1.79	2.73	0.84	1.78	2.70	0.91	1.87	2.33
		50	0.88	1.74	2.65	0.85	1.74	2.60	0.91	1.77	2.21
		70	0.88	1.72	2.68	0.85	1.71	2.61	0.91	1.71	2.23
	(2-5-7-1)	30	0.89	1.71	2.60	0.85	1.72	2.58	0.91	1.79	2.28
		50	0.89	1.72	2.62	0.86	1.73	2.55	0.91	1.76	2.22
		70	0.89	1.70	2.60	0.86	1.73	2.56	0.91	1.80	2.29

Çizelge 4.45. (devamı) Bayesian Regularization (BR) eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda ESP'nin tahmini için geliştirilen YSA modellerinin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (Tüm veri seti)

Girdi	Ağ Yapısı	İterasyon sayısı	Eğitim			Test			Doğrulama		
			R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE
EC, pH, X (YSA3)	(3-4-1)	30	0.88	1.76	2.68	0.85	1.68	2.53	0.91	1.78	2.28
		50	0.88	1.78	2.66	0.86	1.69	2.51	0.91	1.78	2.28
		70	0.89	1.76	2.62	0.86	1.66	2.49	0.91	1.74	2.25
	(3-5-1)	30	0.89	1.71	2.54	0.86	1.67	2.53	0.91	1.75	2.24
		50	0.89	1.76	2.63	0.86	1.68	2.52	0.91	1.78	2.28
		70	0.89	1.75	2.60	0.86	1.67	2.52	0.90	1.81	2.33
	(3-6-1)	30	0.89	1.73	2.59	0.86	1.69	2.53	0.91	1.79	2.29
		50	0.89	1.71	2.58	0.86	1.68	2.51	0.91	1.78	2.26
		70	0.89	1.72	2.57	0.86	1.69	2.54	0.91	1.78	2.28
	(3-7-1)	30	0.89	1.76	2.62	0.86	1.70	2.55	0.91	1.78	2.29
		50	0.89	1.75	2.60	0.86	1.69	2.54	0.90	1.81	2.33
		70	0.89	1.71	2.57	0.86	1.68	2.52	0.91	1.79	2.27
	(3-3-5-1)	30	0.88	1.78	2.70	0.85	1.73	2.64	0.90	1.86	2.41
		50	0.89	1.75	2.57	0.86	1.70	2.58	0.91	1.79	2.26
		70	0.89	1.71	2.55	0.85	1.70	2.58	0.91	1.80	2.32
	(3-5-7-1)	30	0.89	1.72	2.56	0.86	1.68	2.53	0.91	1.75	2.23
		50	0.89	1.74	2.58	0.86	1.70	2.56	0.91	1.77	2.25
		70	0.89	1.71	2.55	0.86	1.66	2.53	0.91	1.79	2.30
	(4-5-1)	30	0.96	1.04	1.59	0.95	0.99	1.39	0.97	0.99	1.36
		50	0.96	1.03	1.60	0.95	0.98	1.39	0.97	0.99	1.39
		70	0.96	1.04	1.58	0.95	0.98	1.39	0.96	1.02	1.41
	(4-6-1)	30	0.96	1.02	1.56	0.96	0.96	1.31	0.97	0.95	1.33
		50	0.96	1.03	1.57	0.95	0.99	1.41	0.97	1.01	1.40
		70	0.96	1.00	1.54	0.96	0.94	1.33	0.97	0.98	1.35
	(4-7-1)	30	0.96	1.02	1.60	0.95	0.98	1.38	0.97	0.98	1.34
		50	0.96	1.04	1.61	0.95	1.00	1.41	0.97	0.98	1.36
		70	0.96	0.99	1.50	0.96	0.96	1.29	0.97	0.96	1.41
	(4-8-1)	30	0.96	1.02	1.53	0.96	0.95	1.30	0.97	0.97	1.36
		50	0.96	1.03	1.59	0.95	1.01	1.40	0.97	0.99	1.37
		70	0.96	1.02	1.57	0.95	1.01	1.44	0.97	0.98	1.34
	(4-3-5-1)	30	0.95	1.08	1.69	0.95	0.98	1.39	0.97	0.96	1.32
		50	0.96	1.02	1.60	0.95	0.94	1.36	0.96	1.02	1.43
		70	0.96	1.04	1.60	0.95	1.00	1.40	0.97	0.99	1.36
	(4-5-7-1)	30	0.96	1.01	1.55	0.95	1.00	1.43	0.97	0.97	1.34
		50	0.96	1.00	1.55	0.95	1.00	1.39	0.97	0.94	1.31
		70	0.96	1.05	1.64	0.95	1.01	1.45	0.97	1.01	1.40

Çalışma alanı topraklarının değişebilir sodyum yüzdesi (ESP) değerlerinin yapay sinir ağları ile tahmin edilmesi amacıyla farklı ağ yapılarında ve farklı eğitim algoritmaları kullanılarak geliştirilen modeller incelenmiş ve en iyi tahmin yeteneği oluşturan modeller belirlenerek sonuçlar Çizelge 4.46'da özetlenmiştir. Çizelge 4.42'ye göre en yüksek R² değerini ve en düşük MAE ve RMSE değerini veren modelin tüm veri seti kullanıldığında ve 4 girdi kullanılarak oluşturulan YSA4 modelinin olduğu belirlenmiş ve bu sonuca (4-7-1) ağ yapısında 70 iterasyon sayısında ulaşılmıştır.

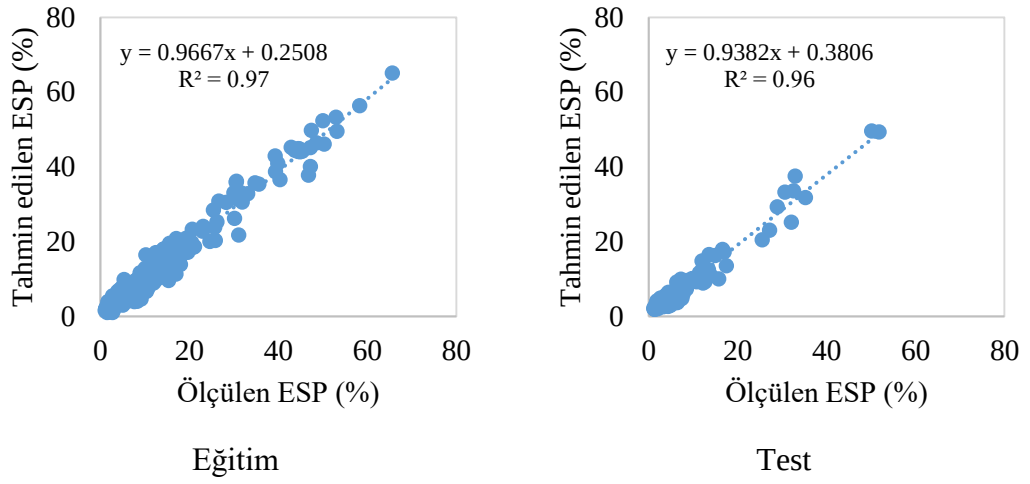
Çizelge 4.46. Değişebilir sodyum yüzdesinin tahmini için oluşturulan modellerin istatistiksel analiz sonuçları

ESP	E.A	Girdi	Ağ Yapısı	İ.S.	Eğitim			Test			Doğrulama		
					R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE
2016-Nisan	lm	YSA4	4-5-7-1	30	0.98	0.79	1.11	0.92	1.13	1.93	0.95	1.38	2.08
	scg	YSA4	4-7-1	30	0.91	1.45	2.27	0.90	1.25	2.12	0.90	1.82	2.86
	br	YSA4	4-8-1	30	0.96	1.00	1.55	0.94	1.00	1.83	0.96	1.24	1.88
Tüm veri seti	lm	YSA4	4-7-1	70	0.97	0.95	1.38	0.96	0.94	1.33	0.97	0.97	1.32
	scg	YSA1	2-5-7-1	50	0.94	1.17	1.87	0.94	1.04	1.56	0.96	1.12	1.58
	br	YSA4	4-6-1	30	0.96	1.02	1.56	0.96	0.96	1.31	0.97	0.95	1.33

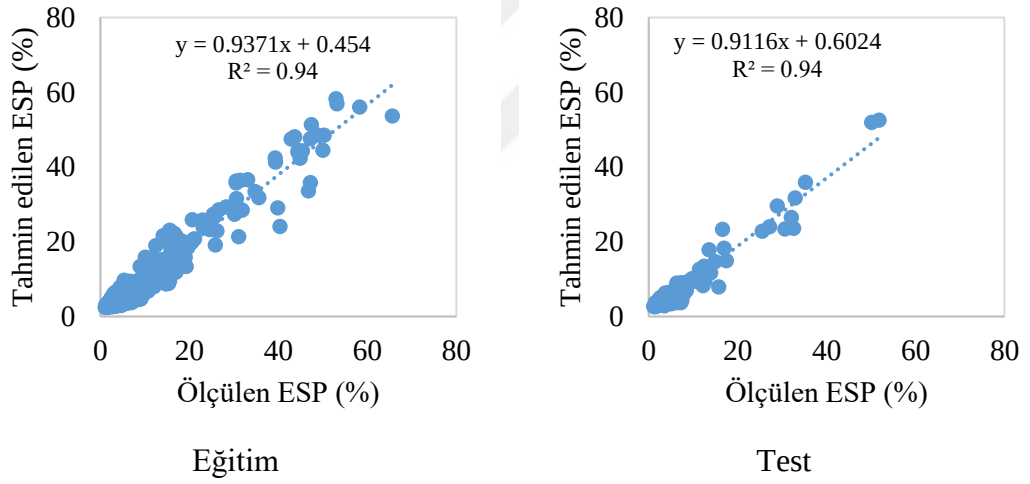
Levenberg-Marquardt algoritmalarının tüm modeller ve gizli nöronlarda tüm istatistiksel kriterleri (R², RMSE, MAE) diğer algoritmalara göre daha iyi bir performans göstermiş ve bunu BR algoritması izlemiştir. En düşük tahmin yeteneği SCG algoritması ile elde edilmiştir.

Kurulan tüm modeller için SCG algoritmasının performans sonuçları LM ve BR algoritmalarının sonuçlarından daha düşük bulunmuştur. Siddiqui vd, (2015) yaptıkları çalışmada toprakların elektriksel direnci ile çeşitli zemin özellikleri (nem içeriği (%), sürtünme açısı ve plastisite indeksi) arasında anlamlı bir ilişki kurmak için regresyon ve YSA modellerini karşılaştırmışlardır. YSA modellerinin regresyon modellerine göre daha iyi tahmin sonuçları verdiğini belirlemişlerdir. Ayrıca YSA modellerinde iki farklı eğitim algoritması (LM ve SCG) kullanmışlar ve LM algoritması ile eğitilen ağların, SCG algoritmasına kıyasla daha düşük RMSE değeri verdiğini bulmuşlardır.

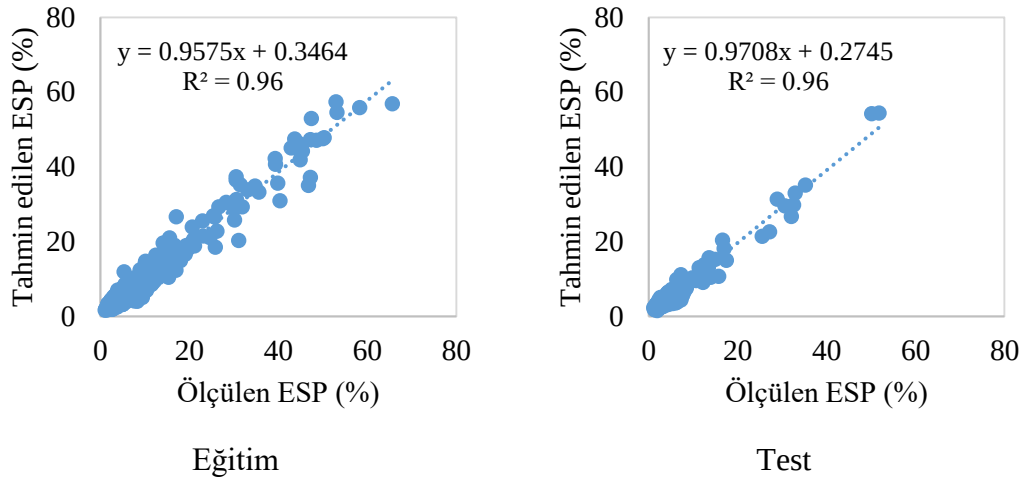
Değişebilir sodyum yüzdesinin yapay sinir ağları kullanılarak tahmin edilmesinde her bir eğitim algoritması için en uygun modeller belirlenmiş ve tahmin edilen ESP değerlerinin hem eğitim hem de test veri ile ölçülen ESP değerlerinin karşılaştırması LM algoritması için Şekil 4.88’de, SCG algoritması için Şekil 4.89’da ve BR algoritması için ise Şekil 4.90’da verilmiştir.



Şekil 4.88. LM eğitim algoritması (4-7-1) ağ yapısında tahmin edilen ESP ile ölçülen ESP değerlerinin karşılaştırılması (YSA4-tüm veri seti)



Şekil 4.89. SCG eğitim algoritması (2-5-7-1) ağ yapısında tahmin edilen ESP ile ölçülen ESP değerlerinin karşılaştırılması (YSA1-tüm veri seti)



Şekil 4.90. BR eğitim algoritması (4-6-1) ağ yapısında tahmin edilen ESP ile ölçülen ESP değerlerinin karşılaştırılması (YSA4-tüm veri seti)

Değişebilir sodyum yüzdesinin yapay sinir ağı ile tahmini için kullanılan ağırlık katsayıları ve bias değerleri Çizelge 4.47’de verilmiştir.

Çizelge 4.47. Girdi katmanı ile gizli katman ve gizli katman ile çıktı katmanı arasındaki ağırlık ve bias değerleri (YSA4 modeli (4-7-1) LM algoritması için)

Gizli katman sinir sayısı	iw								Bias
1	9.919224	2.922974	-1.3206	1.187604					-13.1016
2	-28.9402	1.923102	-1.10222	-2.04538					28.10473
3	-9.79454	-7.5543	-8.01222	-3.70865					14.39512
4	1.234796	-0.40221	26.18139	-17.9969					1.574246
5	0.633766	0.59497	-8.05782	8.23571					-0.34411
6	-0.6611	-0.39196	6.373318	-0.18738					-0.16865
7	-0.39074	-2.96124	-12.5462	5.646818					-2.5341
	iw								Bias
Gizli-Çıktı Katman	1	-2.54297	-0.26159	-0.07245	-0.11444	0.145071	0.169031	5.310717	3.297638

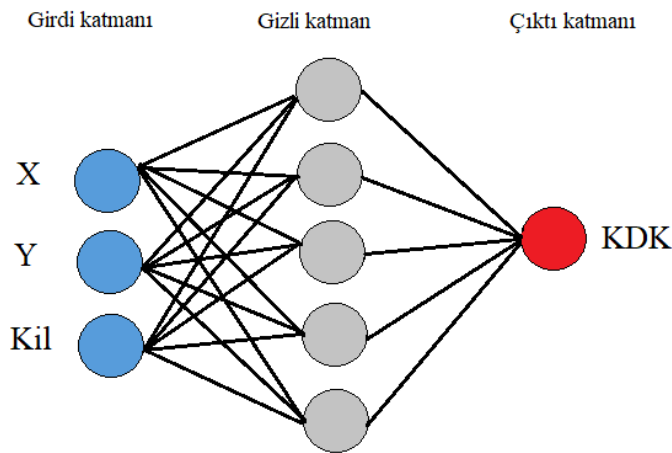
Değişebilir sodyum yüzdesi değerleri, enlem, boylam dereceleri ile EC ve Na değişkenlerine bağlı olarak aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanabilir.

$$\begin{aligned}
 ESP = & ((2/(1+e^{(-2*(X*9.919224+Y*2.922974+EC*-1.3206+Na*1.187604-13.1016))})) - 1) * - \\
 & 2.54297 + ((2/(1+e^{(-2*(X*-28.9402+Y*1.923102+EC*-1.10222+Na*-2.04538+28.10473))})) - 1) * - \\
 & 0.26159 + ((2/(1+e^{(-2*(X*-9.79454+Y*-7.5543+EC*-8.01222+Na*-3.70865+14.39512))})) - 1) * - \\
 & 0.07245 + ((2/(1+e^{(-2*(X*1.234796+Y*-0.40221+EC*26.18139+Na*-17.9969+1.574246))})) - 1) * - \\
 & 0.11444 + ((2/(1+e^{(-2*(X*0.633766+Y*0.59497+EC*-8.05782+Na*8.23571-0.34411))})) - 1) * \\
 & 1 + 0.145071 + ((2/(1+e^{(-2*(X*-0.6611+Y*-0.39196+EC*6.373318+Na*-0.18738-0.16865))})) - 1) * \\
 & 1 + 0.169031 + ((2/(1+e^{(-2*(X*-0.39074+Y*-2.96124+EC*-12.5462+Na*5.646818+5.310717))})) - 1) * - \\
 & 2.5341) + 3.297638
 \end{aligned}$$

4.5.3.1.2. Katyon değişim kapasitesinin yapay sinir ağları ile tahmini

Katyon değişim kapasitesi (KDK), toprak veri tabanlarında ihtiyaç duyulan önemli bir toprak özelliğidir. Bu özellik, besin maddesinin mevcudiyetindeki ve toprak pH'sındaki dalgalanmaları dengelemektedir. KDK'nın ölçülmesi zor olsa da, kolayca ölçülebilen toprak fiziksel ve kimyasal özellikleri ile tahmin edilebileceği bildirilmiştir (Shekofteh vd, 2017). Literatürde yapılan çalışmalarda KDK'nın tahmin edilmesine katkıda bulunduğu bilinen toprak özelliklerinin kil, organik madde ve daha az da olsa silt içeriği olduğu bildirilmiştir (Kashi vd, 2014; Manrique vd, 1991; Parfitt vd, 1995).

Çalışma kapsamında üç dönem (2016 yılı sulama öncesi ve sonrası ile 2017 yılı sulama öncesi) verileri kullanılarak toprakların KDK içerikleri yapay sinir ağları ile tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla farklı eğitim algoritmaları ve gizli nöronlar farklı sayıda kullanılmıştır. Çalışma kapsamında 3 girdili iki farklı model oluşturulmuştur. Model 1'de (YSA5) kullanılan değişkenler, enlem derecesi, boylam derecesi ve toprakların Ca+Mg değerleridir. Oluşturulan diğer modelde (YSA6) kullanılan değişkenler ise enlem, boylam ve kil içeriğidir. Analizde kullanılacak verilerin %70'i eğitim, %20'si test ve %10'u doğrulama veri seti olarak ayrılmıştır. Geliştirilen bu modeller kullanılarak 3 farklı eğitim algoritması ve 3 farklı iterasyon sayısı denenerek bulunan eğitim, test ve doğrulama verilerine ait belirleme katsayısı (R^2), MAE ve RMSE değerleri belirlenmiştir. KDK'nın tahmin edilmesinde üç girdili yapay sinir ağları modeli Şekil 4.91'de verilmiştir.



Şekil 4.91. KDK'nın tahmini için çok katmanlı yapay sinir ağında (3-7-1) ağ yapısı diyagramı

Levenberg-Marquardt (LM) eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda KDK değerinin tahmini için oluşturulan 3 girdili modellerin eğitim, test ve doğrulama verilerinden elde edilen sonuçların istatistiksel performans kriterleri Çizelge 4.48’de verilmiştir.

Çizelge 4.48. Levenberg-Marquardt (LM) eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda KDK’nın tahmini için geliştirilen YSA modellerinin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (tüm veri seti)

Girdi	Ağ Yapısı	İterasyon sayısı	Eğitim			Test			Doğrulama		
			R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE
X, Y, Ca+Mg (YSA5)	(3-4-1)	30	0.94	1.40	2.57	0.95	1.29	2.28	0.94	1.43	2.50
		50	0.95	1.35	2.37	0.95	1.32	2.22	0.95	1.38	2.29
		70	0.95	1.39	2.33	0.95	1.35	2.28	0.95	1.48	2.29
	(3-5-1)	30	0.93	1.55	2.64	0.94	1.40	2.37	0.94	1.61	2.60
		50	0.94	1.44	2.52	0.95	1.40	2.30	0.94	1.58	2.48
		70	0.93	1.55	2.67	0.95	1.37	2.28	0.94	1.55	2.60
	(3-6-1)	30	0.93	1.53	2.63	0.95	1.37	2.31	0.94	1.54	2.57
		50	0.95	1.38	2.29	0.95	1.33	2.13	0.95	1.43	2.22
		70	0.94	1.43	2.45	0.95	1.33	2.22	0.94	1.54	2.43
	(3-7-1)	30	0.93	1.53	2.62	0.95	1.36	2.26	0.93	1.64	2.66
		50	0.95	1.33	2.23	0.96	1.31	2.09	0.95	1.47	2.26
		70	0.95	1.35	2.28	0.96	1.32	2.12	0.95	1.32	2.18
	(3-3-5-1)	30	0.92	1.63	2.86	0.94	1.49	2.54	0.92	1.63	2.87
		50	0.93	1.58	2.67	0.94	1.49	2.46	0.94	1.59	2.55
		70	0.94	1.53	2.58	0.95	1.41	2.34	0.94	1.62	2.52
	(3-5-7-1)	30	0.95	1.31	2.23	0.95	1.29	2.16	0.96	1.33	2.15
		50	0.95	1.33	2.23	0.95	1.35	2.19	0.95	1.39	2.26
		70	0.96	1.25	2.00	0.95	1.27	2.26	0.96	1.35	2.14
X, Y, Kil (YSA6)	(3-4-1)	30	0.55	5.07	6.88	0.55	4.93	6.67	0.65	4.42	6.08
		50	0.56	5.02	6.81	0.54	5.07	6.80	0.63	4.64	6.26
		70	0.56	5.08	6.81	0.53	5.18	6.86	0.66	4.43	6.00
	(3-5-1)	30	0.57	4.95	6.71	0.53	5.21	6.82	0.62	4.69	6.35
		50	0.57	4.93	6.68	0.54	5.12	6.78	0.62	4.70	6.34
		70	0.58	4.91	6.66	0.54	5.08	6.77	0.64	4.48	6.12
	(3-6-1)	30	0.57	4.95	6.74	0.52	5.16	6.93	0.63	4.49	6.22
		50	0.56	4.98	6.79	0.50	5.23	7.06	0.63	4.52	6.23
		70	0.59	4.83	6.51	0.55	5.07	6.70	0.64	4.61	6.19
	(3-3-5-1)	30	0.55	5.08	6.89	0.53	5.04	6.84	0.66	4.36	6.02
		50	0.57	4.86	6.69	0.52	5.10	6.89	0.63	4.61	6.26
		70	0.58	4.94	6.64	0.53	5.09	6.85	0.63	4.49	6.20
	(3-5-7-1)	30	0.61	4.70	6.35	0.58	4.93	6.48	0.62	4.60	6.29
		50	0.62	4.65	6.34	0.58	4.89	6.46	0.65	4.51	6.07
		70	0.64	4.52	6.11	0.57	4.99	6.59	0.61	4.78	6.45

Çizelge 4.49. Scaled Conjugate Gradient (SCG) eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda KDK'nın tahmini için geliştirilen YSA modellerinin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (tüm veri seti)

Girdi	Ağ Yapısı	İterasyon sayısı	Eğitim			Test			Doğrulama		
			R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE
X, Y, Ca+Mg (YSA5)	(3-4-1)	30	0.82	3.33	4.37	0.83	3.14	4.13	0.84	3.11	4.08
		50	0.86	2.68	3.96	0.88	2.37	3.44	0.83	3.04	4.35
		70	0.87	2.69	3.69	0.88	2.51	3.46	0.87	2.85	3.78
	(3-5-1)	30	0.85	3.00	3.98	0.87	2.77	3.67	0.86	3.02	3.77
		50	0.86	2.64	3.86	0.86	2.72	3.77	0.85	2.98	4.02
		70	0.88	2.48	3.59	0.89	2.30	3.29	0.90	2.34	3.35
	(3-6-1)	30	0.75	3.80	5.07	0.76	3.62	4.91	0.73	4.06	5.37
		50	0.74	4.10	5.27	0.72	4.18	5.40	0.75	4.22	5.21
		70	0.88	2.49	3.61	0.90	2.33	3.29	0.88	2.61	3.64
	(3-7-1)	30	0.70	4.27	5.56	0.75	3.83	5.00	0.72	4.20	5.41
		50	0.84	3.03	4.10	0.87	2.70	3.65	0.84	3.03	4.05
		70	0.88	2.39	3.52	0.89	2.24	3.31	0.88	2.47	3.58
	(3-3-5-1)	30	0.64	4.94	6.18	0.61	4.94	6.22	0.68	4.60	5.83
		50	0.70	4.19	5.63	0.69	4.15	5.54	0.77	3.73	5.04
		70	0.82	3.24	4.34	0.87	2.83	3.64	0.83	3.24	4.27
	(3-5-7-1)	30	0.85	2.92	4.02	0.87	2.69	3.68	0.88	2.67	3.62
		50	0.89	2.58	3.48	0.89	2.47	3.29	0.89	2.58	3.45
		70	0.82	3.29	4.30	0.82	3.34	4.28	0.85	3.20	3.98
X, Y, Kil (YSA6)	(3-4-1)	30	0.53	5.15	7.03	0.51	5.13	6.98	0.61	4.60	6.38
		50	0.49	5.45	7.33	0.50	5.26	7.06	0.61	4.63	6.41
		70	0.49	5.36	7.32	0.49	5.25	7.13	0.58	4.73	6.64
	(3-5-1)	30	0.44	5.64	7.68	0.45	5.60	7.37	0.56	5.00	6.81
		50	0.29	6.33	8.64	0.24	6.57	8.85	0.38	5.94	8.08
		70	0.53	5.08	6.99	0.53	5.02	6.82	0.64	4.38	6.13
	(3-6-1)	30	0.40	5.86	7.92	0.45	5.56	7.41	0.52	5.11	7.16
		50	0.53	5.12	7.04	0.52	5.13	6.92	0.61	4.87	6.45
		70	0.50	5.37	7.24	0.50	5.37	7.03	0.58	4.81	6.62
	(3-3-5-1)	30	0.24	6.73	8.90	0.24	6.46	8.73	0.40	6.00	8.08
		50	0.48	5.31	7.39	0.46	5.41	7.36	0.59	4.74	6.61
		70	0.38	6.05	8.09	0.35	5.91	8.05	0.38	6.11	8.10
	(3-5-7-1)	30	0.45	5.64	7.65	0.44	5.71	7.50	0.54	5.17	6.98
		50	0.46	5.52	7.52	0.49	5.40	7.18	0.58	4.88	6.76
		70	0.51	5.21	7.17	0.47	5.44	7.29	0.58	4.89	6.69

Çizelge 4.50. Bayesian Regularization (BR) eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda KDK'nın tahmini için geliştirilen YSA modellerinin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (tüm veri seti)

Girdi	Ağ Yapısı	İterasyon sayısı	Eğitim			Test			Doğrulama		
			R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE
X, Y, Ca+Mg (YSA5)	(3-4-1)	30	0.92	1.71	2.83	0.94	1.50	2.50	0.93	1.67	2.76
		50	0.94	1.43	2.45	0.95	1.37	2.20	0.95	1.48	2.34
		70	0.94	1.49	2.57	0.95	1.36	2.28	0.94	1.54	2.48
	(3-5-1)	30	0.93	1.68	2.77	0.94	1.46	2.43	0.93	1.63	2.70
		50	0.94	1.48	2.50	0.96	1.33	2.14	0.94	1.58	2.47
		70	0.93	1.51	2.62	0.95	1.34	2.26	0.94	1.61	2.57
	(3-6-1)	30	0.93	1.53	2.62	0.94	1.40	2.36	0.93	1.60	2.63
		50	0.94	1.45	2.52	0.95	1.34	2.22	0.94	1.56	2.52
		70	0.93	1.53	2.63	0.95	1.40	2.33	0.94	1.58	2.57
	(3-7-1)	30	0.94	1.46	2.53	0.95	1.30	2.20	0.94	1.53	2.47
		50	0.94	1.44	2.46	0.96	1.30	2.09	0.94	1.56	2.46
		70	0.94	1.43	2.46	0.95	1.36	2.20	0.94	1.46	2.40
	(3-3-5-1)	30	0.93	1.64	2.74	0.94	1.47	2.43	0.93	1.61	2.65
		50	0.94	1.45	2.51	0.95	1.37	2.25	0.94	1.52	2.47
		70	0.93	1.56	2.69	0.94	1.42	2.37	0.93	1.62	2.62
	(3-5-7-1)	30	0.94	1.46	2.51	0.95	1.33	2.20	0.94	1.45	2.45
		50	0.95	1.33	2.27	0.94	1.41	2.40	0.95	1.38	2.24
		70	0.95	1.35	2.30	0.95	1.31	2.15	0.95	1.38	2.30
	(3-4-1)	30	0.56	4.95	6.75	0.53	5.10	6.80	0.63	4.54	6.23
		50	0.55	5.00	6.83	0.53	5.10	6.85	0.62	4.63	6.31
		70	0.56	4.95	6.75	0.53	5.10	6.81	0.63	4.55	6.23
	(3-5-1)	30	0.54	5.06	6.95	0.55	4.93	6.68	0.65	4.43	6.14
		50	0.55	4.98	6.83	0.53	5.08	6.84	0.63	4.46	6.20
		70	0.54	5.02	6.90	0.56	4.87	6.61	0.65	4.46	6.10
	(3-6-1)	30	0.57	4.92	6.73	0.53	5.10	6.80	0.63	4.56	6.25
		50	0.54	5.04	6.93	0.56	4.89	6.64	0.65	4.43	6.11
		70	0.54	5.05	6.92	0.56	4.89	6.63	0.65	4.41	6.10
	(3-3-5-1)	30	0.55	4.97	6.85	0.53	5.09	6.85	0.64	4.46	6.22
		50	0.54	5.04	6.91	0.54	4.97	6.76	0.64	4.45	6.20
		70	0.59	4.82	6.58	0.53	5.17	6.87	0.63	4.61	6.23
	(3-5-7-1)	30	0.57	4.92	6.70	0.53	5.14	6.83	0.63	4.62	6.26
		50	0.55	5.09	6.87	0.55	5.00	6.67	0.65	4.57	6.19
		70	0.57	4.90	6.68	0.53	5.10	6.81	0.64	4.49	6.17

Levenberg-Marquardt (LM) eğitim algoritması incelendiğinde genel olarak oluşturulan modellerin eğitim ve test veri setlerinin istatistiksel performansları yakın değerler almıştır. Girdi değişkenleri olarak X, Y ve Ca+Mg kullanılan modelin belirleme katsayısı YSA6'nın belirleme katsayısından çok daha yüksek bulunmuştur. KDK'nın tahmini için en iyi performans sonuçları YSA5 kullanılarak (3-7-1) ağ yapısında 50 iterasyon sayısında belirlenmiştir. Bu modelin belirleme katsayısı eğitim aşamasında 0.95, test aşamasında 0.96 ve doğrulama aşamasında ise 0.95 olarak belirlenmiştir. MAE ve RMSE değerleri ise eğitim aşamasında sırasıyla 1.33 ve 2.23, test aşamasında 1.31 ve 2.09 ve doğrulama aşamasında 1.47 ve 2.26 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.48).

Scaled Conjugate Gradient (SCG) eğitim algoritması kullanılarak oluşturulan modeller incelendiğinde de eğitim ve test veri setlerinin performansları birbirine yakın çıkmıştır. YSA5 modeli incelendiğinde en iyi sonuçlar çift gizli katmanlı (3-5-7-1) ağ yapısında ve 50 iterasyon sayısında bulunmuştur. Belirleme katsayısı eğitim aşamasında 0.89, test aşamasında 0.89 ve doğrulama aşamasında ise 0.89 olarak bulunmuştur. MAE ve RMSE değerleri ise eğitim aşamasında sırasıyla 2.58 ve 3.48, test aşamasında 2.47 ve 3.29 ve doğrulama aşamasında 2.58 ve 3.45 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.49).

Bayesian Regularization (BR) eğitim algoritması kullanılarak oluşturulan modeller incelendiğinde de eğitim ve test veri setlerinin performansları birbirine yakın çıkmıştır. En yüksek R^2 , en düşük MAE ve RMSE değerini (3-7-1) ağ yapısında ve 50 iterasyon sayısında elde eden model en iyi tahmini veren model olarak belirlenmiştir (YSA5). Bu modelin belirleme katsayısı eğitim aşamasında 0.94, test aşamasında 0.96 ve doğrulama aşamasında ise 0.94'tür. MAE ve RMSE değerleri ise eğitim aşamasında sırasıyla 1.44 ve 2.46, test aşamasında 1.30 ve 2.09 ve doğrulama aşamasında 1.56 ve 2.46 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.50).

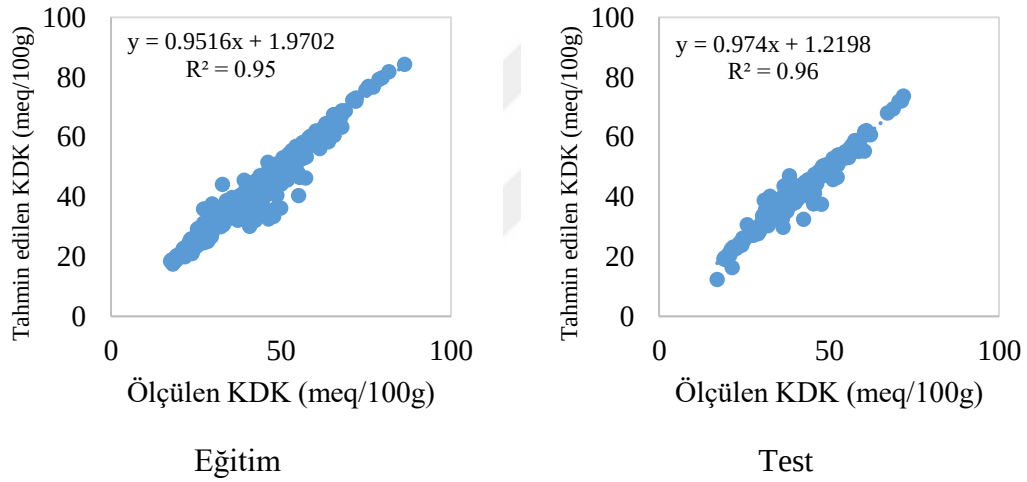
Çalışma alanı topraklarının katyon değişim kapasitesi (KDK) değerlerinin yapay sinir ağları ile tahmin edilmesi amacıyla farklı ağ yapılarında ve farklı eğitim algoritmaları kullanılarak geliştirilen modeller incelenmiş ve en iyi tahmin yeteneği oluşturan modeller belirlenerek sonuçlar Çizelge 4.51'de özetlenmiştir. Çizelge 4.51'e göre en yüksek R^2 değerini ve en düşük MAE ve RMSE değerini veren modelin tek

gizli katmanlı ve 3 girdi değişkeni kullanılan YSA5 modeli olduğu belirlenmiş ve bu sonuca (3-7-1) ağ yapısında 50 iterasyon sayısında ulaşılmıştır.

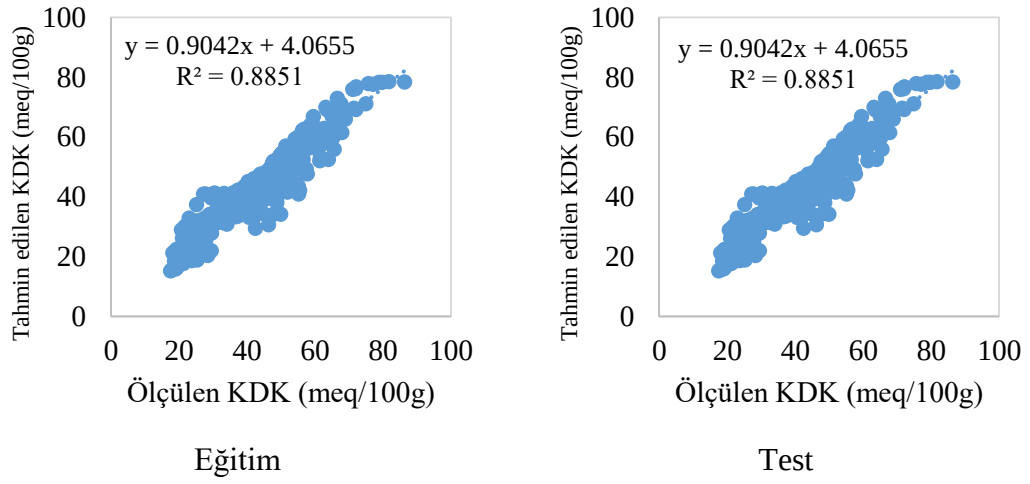
Çizelge 4.51. Katyon değişim kapasitesinin tahmini için oluşturulan modellerin istatistiksel analiz sonuçları

Eğitim A.	Girdi	Ağ Yapısı	İ. S.	Eğitim			Test			Doğrulama		
				R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE
LM	YSA5	3-7-1	50	0.95	1.33	2.23	0.96	1.31	2.09	0.95	1.47	2.26
SCG	YSA5	3-5-7-1	50	0.89	2.58	3.48	0.89	2.47	3.29	0.89	2.58	3.45
BR	YSA5	3-7-1	50	0.94	1.44	2.46	0.96	1.30	2.09	0.94	1.56	2.46

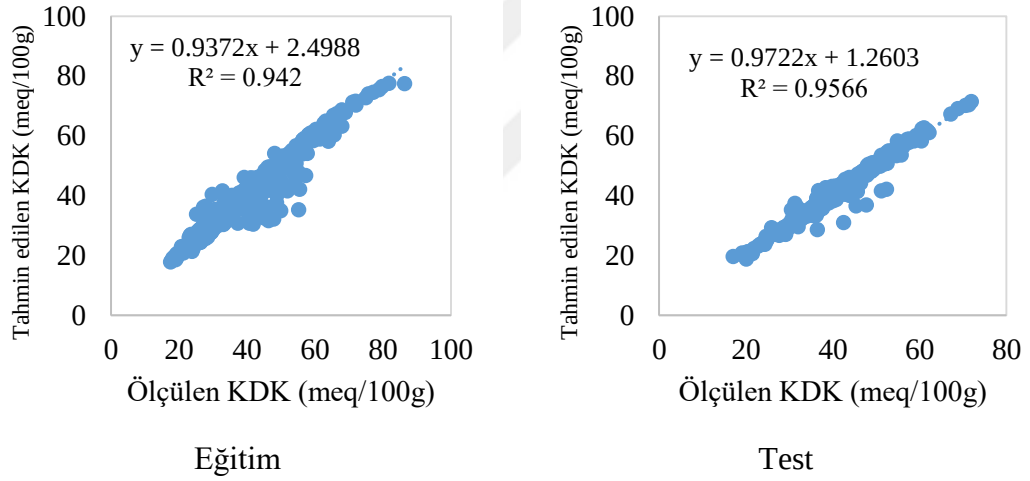
Katyon değişim kapasitesinin yapay sinir ağları kullanılarak tahmin edilmesinde her bir eğitim algoritması için en uygun modeller belirlenmiş ve tahmin edilen KDK değerlerinin hem eğitim hem de test veri ile ölçülen KDK değerleri ile karşılaştırılması LM, SCG ve BR algoritmaları için sırasıyla Şekil 4.92, 4.93 ve 4.94’de verilmiştir.



Şekil 4.92. LM eğitim algoritması (3-7-1) ağ yapısında tahmin edilen KDK (meq/100g) ile ölçülen KDK (meq/100g) değerlerinin karşılaştırılması (YSA5-tüm veri seti)



Şekil 4.93. SCG eğitim algoritması (3-5-7-1) ağ yapısında tahmin edilen KDK (meq/100g) ile ölçülen KDK (meq/100g) değerlerinin karşılaştırılması (YSA5-tüm veri seti)



Şekil 4.94. BR eğitim algoritması (3-7-1) ağ yapısında tahmin edilen KDK (meq/100g) ile ölçülen KDK (meq/100g) değerlerinin karşılaştırılması (YSA5-tüm veri seti)

Kasyon değişim kapasitesi değerlerinin yapay sinir ağları ile tahmini için kullanılan ağırlık katsayıları ve bias değerleri izelge 4.52’de verilmiştir.

Çizelge 4.52. Girdi katmanı ile gizli katman ve gizli katman ile çıktı katman arasındaki ağırlık ve bias değerleri (YSA5 modeli (3-7-1) LM algoritması için)

	Gizli katman sinir sayısı	iw				Bias			
	1	-7.26635	-2.86037	2.171043		9.743838			
	2	-15.031	10.08186	8.863552		7.030233			
Girdi-	3	0.020125	-0.0019	0.589459		-0.351			
Gizli	4	2.50859	4.577485	-2.19914		-3.90591			
Katman	5	1.992052	4.159623	-1.2841		-3.81081			
	6	-1.47612	-3.71565	0.395784		3.747844			
	7	-0.18615	-1.83665	5.507891		2.100682			
					iw		Bias		
Gizli- ıktı Katman	1	1.661033	-0.2008	1.696634	-0.87421	1.889735	1.092566	0.390632	-1.35719

Toprağın kasyon değişim kapasitesi değerleri enlem, boylam dereceleri ve Ca+Mg zelliklerine bağlı olarak aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanabilir.

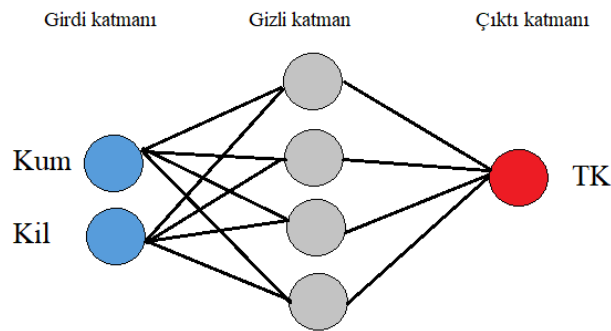
$$\begin{aligned}
 KDK = & ((2/1 + e^{(-2*(X*-7.26635 + Y*-2.86037 + Ca + Mg*2.171043 + 9.743838))}) - 1) * 1.661033) + ((2/1 + e^{(-2*(X*-15.031 + Y*10.08186 + Ca + Mg*8.863552 + 7.030233))}) - 1) * -0.2008 + ((2/1 + e^{(-2*(X*0.020125 + Y*-0.0019 + Ca + Mg*0.589459 - 0.351))}) - 1) * 1.696634) + ((2/1 + e^{(-2*(X*2.50859 + Y*4.577485 + Ca + Mg*-2.19914 - 3.90591))}) - 1) * -0.87421) + ((2/1 + e^{(-2*(X*1.992052 + Y*4.159623 + Ca + Mg*-1.2841 - 3.81081))}) - 1) * 1.889735) + ((2/1 + e^{(-2*(X*-1.47612 + Y*-3.71565 + Ca + Mg*0.395784 + 3.747844))}) - 1) * 1.092566) + ((2/1 + e^{(-2*(X*-0.18615 + Y*-0.18615 + Ca + Mg*5.507891 + 2.100682))}) - 1) * 0.390632) - 1.35719
 \end{aligned}$$

4.5.3.2. Toprakların bazı fiziksel özelliklerinin yapay sinir ağları ile tahmini

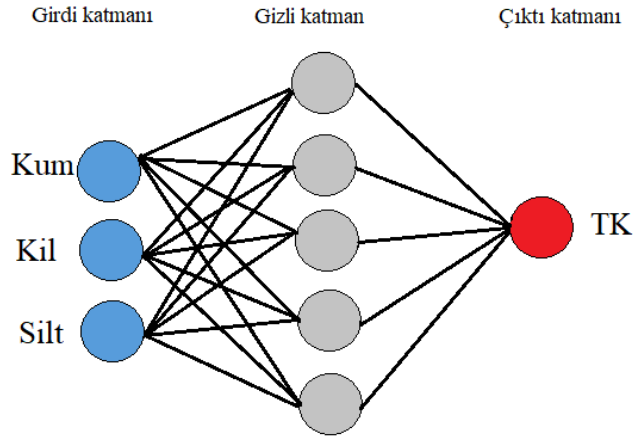
Toprakların fiziksel özelliklerinden tarla kapasitesi ve solma noktasındaki nem içeriklerinin bilinmesi toprak su tutma eğrisi çalışmalarında önemli rol oynamaktadır (Balathandayutham, 2017). Bu özellikler doğrudan ölçülebilmesine rağmen ölçümleri zor, zaman alıcı ve pahalıdır. Bu nedenle kolay ulaşılabilen toprak özellikleri kullanılarak geliştirilen pedotransfer fonksiyonlar ile bu özelliklerin tahmini gerçekleştirilebilir (Fashi, 2016; Jafarnejadi vd, 2012; Sarmadian and Taghizadeh Mehrjardi, 2008). Bu amaçla kullanılan pedotransfer fonksiyonlardan bir tanesi de yapay sinir ağları yöntemidir. Çalışmanın bu bölümünde yapay sinir ağları ile tarla kapasitesi ve solma noktasındaki nem içeriklerinin tahmin edilmesi amacıyla 6 farklı model oluşturulmuş ve farklı eğitim algoritmaları kullanılarak tahmin için en uygun model belirlenmeye çalışılmıştır.

4.5.3.2.1. Tarla kapasitesinin yapay sinir ağları ile tahmini

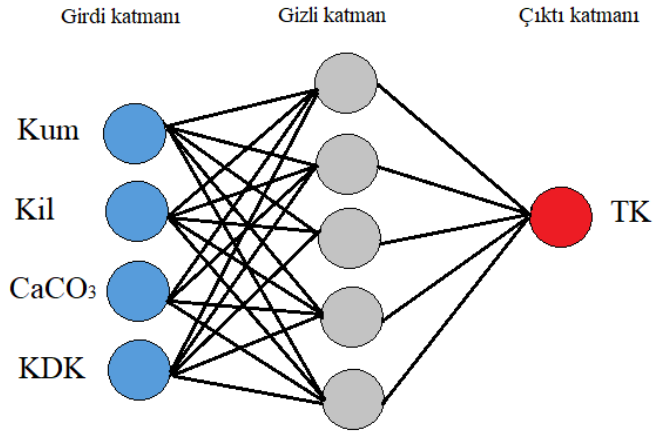
Çalışmada tarla kapasitesinin tahmini için 4, 3 ve 2 girdi değişkenli olmak üzere altı adet model kurulmuştur. İlk olarak 4 girdili iki farklı model kullanılmış ve modellerin birinde kum, kil, CaCO_3 ve KDK değişkenleri, diğerinde ise kum, kil, silt ve hacim ağırlığı değişkenleri kullanılmıştır. Yine üç girdili 2 farklı model kurulmuş ve modellerde kum, kil silt ve diğerinde kum, kil ve hacim ağırlığı değişkenleri kullanılmıştır. Son olarak 2 girdi parametrelili 2 farklı model denenmiş ve girdi olarak kum ve kil, diğerinde ise kil ve organik madde kullanılmıştır. İki girdili modele ilişkin diyagram Şekil 4.95’de, üç girdili modele ilişkin diyagram Şekil 4.96’da ve dört girdili modele ilişkin diyagram Şekil 4.97’de verilmiştir.



Şekil 4.95. TK tahmini için çok katmanlı (2-4-1) ağ yapısı diyagramı



Şekil 4.96. TK tahmini için çok katmanlı (3-5-1) ağ yapısı diyagramı



Şekil 4.97. TK tahmini için çok katmanlı (4-5-1) ağ yapısı diyagramı

Çalışma kapsamında yapay sinir ağları hesaplamalarında kullanılmak üzere 2 farklı veri seti hazırlanmıştır. Bunlardan birincisinde sadece 2016 yılı sulama öncesi dönemdeki veriler kullanılmış, diğerinde ise hem 2016 yılı sulama öncesi ve sonrası hem de 2017 yılı sulama öncesi verilerinin tamamı kullanılarak modeller oluşturulmuş ve buna ilişkin sonuçlar değerlendirilmiştir. Yapay sinir ağları modellemesinde doğrusal regresyon modellemesine benzer şekilde veri bölüşümü gerçekleştirilmiş, verilerin %70'i eğitim, %30'u test için ayrılmıştır.

Modelde kullanılan aktivasyon fonksiyonunun (tansig) -1 ile 1 arasında değerler alması, eğitimin kalitesini artırmak ve verileri birimsiz hale getirmek için veriler $0-1$ arasında standardize edilmiştir. Standardize işlemi yöntem kısmında verilen eşitlik kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çok katmanlı yapay sinir ağları ile model çıktıları $0-$

1 arasında elde edildikten sonra veri yöntem kısmında verilen eşitlik kullanılarak başlangıç değerine geri getirilmiştir.

Oluşturulan modellerde girdi katmanı ve gizli katman arasında aktivasyon fonksiyonu olarak tansig etkinlik fonksiyonu, gizli katman ile çıktı katmanı arasında ise lineer (purelin) etkinlik fonksiyonu kullanılmıştır. Algoritma olarak ise yapay sinir ağlarında sıkça kullanılan LM, SCG ve BR algoritmaları kullanılmıştır. Ayrıca, farklı iterasyonlarda (30, 50, 70 adım) elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Çeşitli YSA mimarileri, farklı nöronların ve eğitim fonksiyonlarının toprak özelliklerinin doğru bir şekilde tahmin edilmesi için deneme ve hata esasına göre eğitilmiştir. Her model için en uygun YSA mimarileri maksimum performans ölçütleri yani yüksek belirleme katsayısı ve düşük RMSE ve MAE değerlerine göre belirlenmiştir.

Çalışmada öncelikle çok katmanlı yapay sinir ağları ile tarla kapasitesinin belirlenmesinde 2016 yılı sulama öncesinde arazi ve laboratuvar çalışmaları sonucunda elde edilen veriler kullanılmıştır. Bu dönemde elde edilen verilerin %70'i eğitim, %20'si test ve %10'u doğrulama veri seti olarak kullanılmıştır.

Levenberg-Marquardt (LM) eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda tarla kapasitesinin tahmini için eğitim, test ve doğrulama verilerinden elde edilen sonuçların istatistiksel performans kriterleri Çizelge 4.53'de verilmiştir. Tarla kapasitesinin tahmini için Scaled Conjugate Gradient (SCG) eğitim algoritması kullanılarak elde edilen performans kriterleri Çizelge 4.54'de ve Bayesian Regularization (BR) eğitim algoritması kullanılarak elde edilen performans kriterleri Çizelge 4.55'de verilmiştir.

Levenberg-Marquardt (LM) eğitim algoritması incelendiğinde elde edilen farklı ağ yapılarında en iyi sonuçlar 4 girdili modellerde bulunmuştur. 2 girdili modeller 3 girdili modellerden daha yüksek performans göstermiştir. Kum, kil, silt ve hacim ağırlığı (YSA12) kullanılarak oluşturulan model beş gizli katman ve 30 iterasyonda en iyi sonuç göstermiştir. Belirleme katsayısı eğitim aşamasında 0.83, test aşamasında ise 0.79 olarak belirlenmiştir. MAE ve RMSE değerleri ise eğitim ve test aşamalarında sırasıyla 2.15, 2.91 ve 2.73, 3.48 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.53).

Scaled Conjugate Gradient (SCG) eğitim algoritması kullanılarak oluşturulan modeller incelendiğinde en iyi sonuçlar kil ve organik maddenin (YSA10) girdi olarak kullanıldığı 2 girdi değişkenli ve beş gizli katman bulunan modelde 30 iterasyon

sonucunda elde edilmiştir. Belirleme katsayısı eğitim aşamasında 0.82, test aşamasında ise 0.74 olarak belirlenmiştir. MAE ve RMSE değerleri ise eğitim ve test aşamalarında sırasıyla 2.06, 2.75 ve 3.08, 4.02 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.54).

Bayesian Regularization (BR) eğitim algoritması kullanılarak oluşturulan modeller incelendiğinde en iyi sonuçlar kum, kil, CaCO_3 , KDK'nın girdi olarak kullanıldığı 4 girdi değişkenli ve altı gizli katman bulunan modelde 50 iterasyon sonucunda elde edilmiştir. Oluşturulan modelin belirleme katsayısı eğitim aşamasında 0.83, test aşamasında ise 0.80 olarak belirlenmiştir. Hata kriterlerine bakıldığında ise MAE ve RMSE değerlerinin eğitim ve test aşamalarında sırasıyla 2.36, 3.30 ve 2.27, 3.12 olarak bulunduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.55).

Her üç eğitim algoritmasında da genel olarak modellerin istatistiksel performansları eğitim ve test verilerinde yakın değerler göstermiştir. Bu durum verinin eğitim ve test veri setlerinde uygun dağıldığını göstermektedir.

Çizelge 4.53. LM eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda Tarla kapasitesinin tahmini için geliştirilen YSA modellerinin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (Nisan-2016)

Girdi	Ağ Yapısı	İterasyon sayısı	Eğitim			Test			Doğrulama		
			R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE
Kum, Kil (YSA7)	(2-3-1)	30	0.77	2.69	3.86	0.76	2.58	3.44	0.76	3.05	4.10
		50	0.77	2.70	3.86	0.77	2.55	3.41	0.76	3.02	4.07
		70	0.77	2.70	3.86	0.76	2.56	3.41	0.76	3.05	4.10
	(2-4-1)	30	0.77	2.68	3.84	0.77	2.53	3.38	0.75	3.06	4.16
		50	0.77	2.71	3.84	0.77	2.51	3.37	0.77	2.99	4.03
		70	0.77	2.68	3.82	0.77	2.55	3.39	0.74	3.12	4.20
	(2-5-1)	30	0.77	2.68	3.79	0.77	2.50	3.39	0.75	3.05	4.19
		50	0.78	2.68	3.78	0.76	2.53	3.40	0.74	3.11	4.22
		70	0.78	2.68	3.78	0.77	2.55	3.37	0.74	3.11	4.21
	(2-6-1)	30	0.77	2.65	3.81	0.77	2.51	3.36	0.75	3.09	4.15
		50	0.78	2.61	3.78	0.77	2.48	3.34	0.74	3.05	4.22
		70	0.78	2.65	3.77	0.76	2.61	3.45	0.76	3.06	4.12
	(2-3-5-1)	30	0.77	2.66	3.80	0.74	2.68	3.58	0.74	3.12	4.24
		50	0.76	2.74	3.90	0.76	2.54	3.43	0.75	3.06	4.15
		70	0.77	2.70	3.85	0.75	2.64	3.53	0.77	2.90	4.03
	(2-5-7-1)	30	0.78	2.61	3.74	0.77	2.49	3.34	0.74	3.16	4.27
		50	0.78	2.58	3.73	0.77	2.53	3.39	0.75	3.04	4.19
		70	0.79	2.56	3.63	0.78	2.47	3.38	0.74	3.14	4.20
Kum, Kil, Silt (YSA8)	(3-4-1)	30	0.73	2.74	3.78	0.78	2.55	3.52	0.82	2.27	3.04
		50	0.73	2.72	3.77	0.80	2.50	3.46	0.81	2.28	3.11
		70	0.73	2.73	3.78	0.79	2.55	3.50	0.82	2.30	3.06
	(3-5-1)	30	0.73	2.75	3.81	0.80	2.47	3.45	0.81	2.29	3.13
		50	0.74	2.69	3.72	0.81	2.46	3.42	0.79	2.48	3.30
		70	0.74	2.65	3.70	0.77	2.62	3.58	0.81	2.43	3.14
	(3-6-1)	30	0.74	2.68	3.72	0.81	2.55	3.46	0.83	2.28	3.00
		50	0.73	2.72	3.78	0.80	2.53	3.48	0.82	2.31	3.09
		70	0.74	2.67	3.69	0.82	2.45	3.32	0.82	2.37	3.08
	(3-7-1)	30	0.74	2.67	3.71	0.79	2.55	3.48	0.82	2.35	3.03
		50	0.73	2.70	3.77	0.81	2.46	3.40	0.80	2.37	3.21
		70	0.74	2.68	3.71	0.81	2.52	3.39	0.82	2.33	3.07
	(3-3-5-1)	30	0.73	2.73	3.79	0.79	2.52	3.49	0.82	2.31	3.08
		50	0.74	2.69	3.70	0.79	2.60	3.49	0.82	2.46	3.06
		70	0.75	2.63	3.67	0.80	2.53	3.45	0.82	2.48	3.11
	(3-5-7-1)	30	0.74	2.70	3.73	0.79	2.62	3.50	0.83	2.27	2.96
		50	0.75	2.63	3.63	0.79	2.55	3.48	0.80	2.59	3.22
		70	0.76	2.59	3.59	0.80	2.65	3.44	0.82	2.49	3.09
Kum, Kil, CaCO ₃ , KDK (YSA9)	(4-5-1)	30	0.83	2.42	3.31	0.78	2.39	3.26	0.76	3.03	4.08
		50	0.83	2.37	3.25	0.80	2.39	3.20	0.76	3.03	4.03
		70	0.84	2.39	3.23	0.77	2.54	3.35	0.77	3.08	4.06
	(4-6-1)	30	0.85	2.30	3.14	0.77	2.55	3.40	0.77	2.98	3.96
		50	0.83	2.48	3.34	0.79	2.41	3.26	0.75	3.04	4.14
		70	0.84	2.32	3.23	0.79	2.41	3.24	0.77	3.06	3.96
	(4-7-1)	30	0.84	2.40	3.20	0.76	2.59	3.45	0.77	2.93	4.00
		50	0.84	2.33	3.20	0.78	2.44	3.29	0.78	2.97	3.91
		70	0.84	2.38	3.19	0.76	2.58	3.44	0.74	3.21	4.26
	(4-8-1)	30	0.84	2.37	3.21	0.77	2.28	3.37	0.75	3.25	4.18
		50	0.85	2.29	3.13	0.78	2.54	3.39	0.77	2.91	3.97
		70	0.85	2.17	3.05	0.79	2.45	3.30	0.79	2.75	3.82
	(4-3-5-1)	30	0.83	2.39	3.29	0.79	2.39	3.24	0.77	2.88	3.97
		50	0.83	2.46	3.31	0.77	2.45	3.31	0.75	3.07	4.09
		70	0.84	2.29	3.17	0.80	2.35	3.17	0.75	3.16	4.15
	(4-5-7-1)	30	0.85	2.23	3.11	0.68	2.66	4.13	0.77	3.04	3.98
		50	0.84	2.28	3.16	0.77	2.57	3.41	0.76	3.16	4.12
		70	0.87	2.16	2.90	0.72	2.69	3.86	0.74	3.36	4.26

Çizelge 4.53. (devamı) LM eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda Tarla kapasitesinin tahmini için geliştirilen YSA modellerinin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (Nisan-2016)

Girdi	Ağ Yapısı	İterasyon sayısı	Eğitim			Test		
			R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE
Kil, Organik madde (YSA10)	(2-3-1)	30	0.83	1.94	2.70	0.72	3.17	4.16
		50	0.83	1.93	2.65	0.66	3.51	4.60
		70	0.83	1.89	2.64	0.73	3.17	4.09
	(2-4-1)	30	0.84	1.85	2.57	0.72	3.23	4.17
		50	0.83	1.90	2.67	0.57	3.72	5.10
		70	0.85	1.79	2.49	0.63	3.61	4.91
	(2-5-1)	30	0.88	1.78	2.24	0.70	3.19	4.30
		50	0.85	1.79	2.49	0.67	3.53	4.43
		70	0.88	1.76	2.28	0.67	3.17	4.46
	(2-6-1)	30	0.85	1.85	2.51	0.61	3.72	4.93
		50	0.85	1.87	2.51	0.70	3.22	4.37
		70	0.86	1.68	2.43	0.72	3.17	4.23
	(2-3-5-1)	30	0.83	1.92	2.67	0.70	3.27	4.31
		50	0.89	1.63	2.19	0.68	3.33	4.44
		70	0.86	1.85	2.45	0.49	3.94	6.26
	(2-5-7-1)	30	0.85	1.77	2.52	0.72	3.25	4.12
		50	0.87	1.60	2.34	0.62	4.68	6.61
		70	0.87	1.53	2.33	0.68	3.35	4.42
Kum, Kil, Hacim ağırlığı (YSA11)	(3-4-1)	30	0.82	2.22	2.96	0.73	2.90	4.09
		50	0.83	2.08	2.88	0.72	2.99	4.26
		70	0.81	2.20	3.06	0.73	2.97	4.00
	(3-5-1)	30	0.81	2.19	3.04	0.79	2.80	3.53
		50	0.77	2.40	3.31	0.76	2.93	3.86
		70	0.83	1.91	2.85	0.78	2.74	3.61
	(3-6-1)	30	0.83	2.01	2.82	0.77	2.91	3.73
		50	0.84	1.99	2.78	0.80	2.68	3.53
		70	0.86	1.72	2.62	0.44	4.34	5.81
	(3-7-1)	30	0.86	1.76	2.55	0.73	3.49	4.18
		50	0.88	1.88	2.44	0.55	4.50	6.12
		70	0.85	1.91	2.67	0.64	3.59	4.99
	(3-3-5-1)	30	0.81	2.31	3.06	0.80	2.44	3.45
		50	0.81	2.19	3.04	0.62	3.97	6.11
		70	0.83	2.09	2.89	0.73	3.28	4.32
	(3-5-7-1)	30	0.88	1.80	2.42	0.60	4.24	7.18
		50	0.87	1.78	2.48	0.66	4.01	4.86
		70	0.93	1.29	1.83	0.53	5.63	7.39
Kum, Kil, Silt, Hacim ağırlığı (YSA12)	(4-5-1)	30	0.83	2.15	2.91	0.79	2.73	3.48
		50	0.85	2.03	2.65	0.58	4.30	6.61
		70	0.83	2.11	2.83	0.70	3.05	4.23
	(4-6-1)	30	0.82	2.09	2.91	0.72	3.06	4.10
		50	0.84	2.06	2.80	0.72	3.10	4.16
		70	0.86	2.01	2.64	0.66	3.57	4.73
	(4-7-1)	30	0.85	1.94	2.68	0.68	4.02	5.21
		50	0.84	1.99	2.76	0.61	3.64	5.06
		70	0.86	1.87	2.64	0.46	5.36	6.74
	(4-8-1)	30	0.86	1.81	2.59	0.70	3.46	4.56
		50	0.84	2.07	2.78	0.71	3.11	4.09
		70	0.87	1.70	2.46	0.60	4.72	6.52
	(4-3-5-1)	30	0.85	1.99	2.70	0.73	2.90	3.99
		50	0.81	2.17	3.05	0.78	2.82	3.56
		70	0.83	2.10	2.87	0.77	2.83	3.65
	(4-5-7-1)	30	0.91	1.61	2.03	0.48	4.52	6.73
		50	0.94	1.24	1.75	0.72	3.37	4.22
		70	0.94	1.25	1.71	0.35	6.52	8.51

Çizelge 4.54. SCG eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda Tarla kapasitesinin tahmini için geliştirilen YSA modellerinin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (Nisan-2016)

Girdi	Ağ Yapısı	İterasyon sayısı	Eğitim			Test			Doğrulama		
			R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE
Kum, Kil (YSA7)	(2-3-1)	30	0.74	2.98	4.07	0.71	2.93	3.81	0.71	3.40	4.53
		50	0.74	2.95	4.11	0.71	2.88	3.79	0.71	3.34	4.50
		70	0.75	2.81	3.96	0.76	2.59	3.46	0.74	3.18	4.25
	(2-4-1)	30	0.71	3.15	4.34	0.70	2.84	3.82	0.67	3.31	4.77
		50	0.74	2.95	4.05	0.72	2.85	3.67	0.68	3.52	4.67
		70	0.76	2.81	3.94	0.75	2.60	3.51	0.72	3.33	4.42
	(2-5-1)	30	0.71	3.14	4.28	0.72	2.78	3.72	0.69	3.42	4.60
		50	0.74	2.92	4.04	0.74	2.71	3.59	0.73	3.24	4.31
		70	0.76	2.80	3.95	0.74	2.62	3.57	0.63	3.81	5.11
	(2-6-1)	30	0.70	3.15	4.35	0.67	3.30	4.10	0.63	3.81	5.11
		50	0.75	2.83	3.97	0.75	2.72	3.56	0.77	3.06	4.05
		70	0.74	2.91	4.08	0.73	2.66	3.64	0.72	3.30	4.44
	(2-3-5-1)	30	0.60	3.59	5.07	0.56	3.35	4.59	0.49	4.06	5.94
		50	0.66	3.48	4.69	0.62	3.21	4.28	0.64	3.58	4.97
		70	0.62	3.61	4.96	0.60	3.18	4.34	0.50	4.17	5.85
	(2-5-7-1)	30	0.73	2.94	4.13	0.73	2.58	3.53	0.69	3.55	4.71
		50	0.71	3.17	4.29	0.71	2.79	3.77	0.69	3.44	4.67
		70	0.76	2.79	3.93	0.75	2.56	3.51	0.70	3.39	4.54
Kum, Kil, Silt (YSA8)	(3-4-1)	30	0.71	2.89	3.96	0.81	2.41	3.30	0.78	2.75	3.58
		50	0.70	2.91	3.98	0.82	2.45	3.28	0.80	2.46	3.25
		70	0.69	3.01	4.05	0.82	2.34	3.20	0.75	2.88	3.69
	(3-5-1)	30	0.61	3.51	4.55	0.72	2.87	3.91	0.74	3.15	3.82
		50	0.71	2.88	3.95	0.78	2.51	3.58	0.80	2.46	3.25
		70	0.71	2.90	3.95	0.82	2.33	3.21	0.79	2.59	3.34
	(3-6-1)	30	0.68	3.06	4.16	0.76	2.69	3.69	0.81	2.35	3.15
		50	0.67	3.13	4.21	0.82	2.52	3.26	0.75	2.81	3.65
		70	0.69	2.98	4.06	0.78	2.65	3.64	0.80	2.39	3.23
	(3-7-1)	30	0.68	3.00	4.11	0.80	2.47	3.38	0.82	2.26	3.10
		50	0.70	2.96	3.98	0.81	2.41	3.34	0.75	2.76	3.66
		70	0.72	2.82	3.85	0.79	2.43	3.47	0.80	2.39	3.23
	(3-3-5-1)	30	0.72	2.83	3.89	0.81	2.35	3.33	0.80	2.48	3.30
		50	0.65	3.21	4.31	0.77	2.54	3.61	0.66	3.28	4.26
		70	0.71	2.87	3.93	0.81	2.42	3.31	0.81	2.43	3.17
	(3-5-7-1)	30	0.68	3.09	4.13	0.75	2.63	3.65	0.82	2.43	3.16
		50	0.70	2.99	4.00	0.74	2.81	3.87	0.80	2.54	3.26
		70	0.71	2.86	3.91	0.79	2.52	3.49	0.82	2.29	3.09
Kum, Kil, CaCO ₃ , KDK (YSA9)	(4-5-1)	30	0.70	3.28	4.39	0.64	3.29	4.27	0.56	4.22	5.52
		50	0.77	2.89	3.85	0.75	2.64	3.50	0.74	3.41	4.23
		70	0.71	3.17	4.34	0.72	2.83	3.81	0.72	3.31	4.36
	(4-6-1)	30	0.66	3.43	4.63	0.60	3.28	4.39	0.59	3.93	5.31
		50	0.77	2.80	3.82	0.75	2.66	3.49	0.75	3.05	4.17
		70	0.74	3.04	4.07	0.71	2.79	3.74	0.66	3.70	4.85
	(4-7-1)	30	0.74	2.97	4.05	0.70	2.93	3.85	0.73	3.34	4.31
		50	0.74	3.02	4.09	0.72	2.85	3.68	0.76	3.39	4.17
		70	0.79	2.75	3.70	0.71	2.77	3.74	0.73	3.33	4.32
	(4-8-1)	30	0.73	3.04	4.16	0.76	2.69	3.58	0.74	3.10	4.23
		50	0.72	3.22	4.23	0.70	2.89	3.83	0.72	3.37	4.39
		70	0.75	2.98	4.03	0.68	2.95	3.99	0.75	3.16	4.17
	(4-3-5-1)	30	0.66	3.42	4.65	0.63	3.10	4.22	0.62	3.79	5.13
		50	0.70	3.26	4.38	0.63	3.04	4.22	0.55	4.04	5.53
		70	0.77	2.87	3.79	0.74	2.70	3.59	0.70	3.43	4.56
	(4-5-7-1)	30	0.71	3.22	4.32	0.68	3.00	3.95	0.65	3.83	5.08
		50	0.80	2.68	3.62	0.71	2.80	3.76	0.75	3.14	4.16
		70	0.72	3.28	4.30	0.63	3.20	4.29	0.65	3.59	4.89

Çizelge 4.54. (devamı) SCG eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda Tarla kapasitesinin tahmini için geliştirilen YSA modellerinin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (Nisan-2016)

Girdi	Ağ Yapısı	İterasyon sayısı	Eğitim			Test		
			R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE
Kil, Organik madde (YSA10)	(2-3-1)	30	0.79	2.25	3.01	0.74	3.20	4.03
		50	0.82	1.95	2.74	0.69	3.36	4.36
		70	0.79	2.11	2.95	0.73	3.08	4.05
	(2-4-1)	30	0.80	2.14	2.89	0.75	3.12	3.90
		50	0.80	2.15	2.91	0.71	3.26	4.21
		70	0.82	2.05	2.74	0.61	3.70	4.89
	(2-5-1)	30	0.82	2.06	2.75	0.74	3.08	4.02
		50	0.80	2.08	2.91	0.67	3.47	4.52
		70	0.82	2.09	2.75	0.67	3.55	4.68
	(2-6-1)	30	0.82	1.95	2.74	0.68	3.38	4.51
		50	0.81	2.10	2.86	0.72	3.21	4.16
		70	0.81	2.05	2.82	0.69	3.49	4.50
	(2-3-5-1)	30	0.76	2.42	3.16	0.70	3.41	4.33
		50	0.76	2.22	3.16	0.67	3.37	4.43
		70	0.81	2.03	2.82	0.73	3.06	4.02
	(2-5-7-1)	30	0.82	2.08	2.74	0.72	3.10	4.11
		50	0.82	2.02	2.79	0.46	4.02	5.90
		70	0.79	2.23	2.99	0.63	4.03	5.22
Kum, Kil, Hacim ağırlığı (YSA11)	(3-4-1)	30	0.68	2.93	3.98	0.73	3.05	4.06
		50	0.69	2.81	3.89	0.74	2.86	3.88
		70	0.76	2.54	3.42	0.72	3.01	4.09
	(3-5-1)	30	0.72	2.74	3.65	0.78	2.61	3.72
		50	0.73	2.71	3.58	0.79	2.58	3.53
		70	0.76	2.48	3.37	0.83	2.29	3.25
	(3-6-1)	30	0.72	2.57	3.67	0.80	2.62	3.40
		50	0.75	2.52	3.45	0.73	2.95	4.16
		70	0.74	2.63	3.51	0.78	2.79	3.63
	(3-7-1)	30	0.73	2.83	3.63	0.68	3.77	4.45
		50	0.74	2.72	3.54	0.70	3.27	4.25
		70	0.78	2.39	3.29	0.72	3.10	4.09
	(3-3-5-1)	30	0.46	3.86	5.11	0.72	3.55	4.32
		50	0.72	2.80	3.70	0.72	3.05	4.01
		70	0.68	2.84	3.94	0.71	3.22	4.16
	(3-5-7-1)	30	0.73	2.62	3.58	0.82	2.68	3.35
		50	0.74	2.60	3.51	0.81	2.64	3.36
		70	0.67	3.17	4.01	0.71	2.98	4.16
Kum, Kil, Silt, Hacim ağırlığı (YSA12)	(4-5-1)	30	0.61	3.41	4.33	0.61	3.96	4.80
		50	0.76	2.53	3.40	0.78	2.49	3.62
		70	0.77	2.61	3.36	0.69	3.22	4.29
	(4-6-1)	30	0.69	3.06	3.88	0.81	2.75	3.45
		50	0.78	2.43	3.23	0.82	2.34	3.27
		70	0.77	2.56	3.33	0.80	2.64	3.41
	(4-7-1)	30	0.76	2.55	3.43	0.79	2.72	3.48
		50	0.74	2.67	3.51	0.78	2.77	3.58
		70	0.75	2.60	3.46	0.79	2.64	3.48
	(4-8-1)	30	0.72	2.85	3.68	0.77	2.99	3.64
		50	0.76	2.59	3.42	0.73	3.40	4.03
		70	0.74	2.70	3.57	0.70	3.13	4.24
	(4-3-5-1)	30	0.75	2.79	3.48	0.77	2.87	3.73
		50	0.73	2.70	3.64	0.80	2.60	3.47
		70	0.75	2.58	3.48	0.82	2.58	3.28
	(4-5-7-1)	30	0.66	3.01	4.04	0.75	3.15	3.82
		50	0.78	2.49	3.25	0.79	2.73	3.56
		70	0.77	2.52	3.38	0.82	2.44	3.25

Çizelge 4.55. BR eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda Tarla kapasitesinin tahmini için geliştirilen YSA modellerinin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (Nisan-2016)

Girdi	Ağ Yapısı	İterasyon sayısı	Eğitim			Test			Doğrulama		
			R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE
Kum, Kil (YSA7)	(2-3-1)	30	0.76	2.73	3.90	0.75	2.59	3.49	0.75	3.11	4.18
		50	0.77	2.71	3.87	0.76	2.56	3.43	0.75	3.11	4.18
		70	0.77	2.71	3.87	0.76	2.56	3.43	0.75	3.11	4.18
	(2-4-1)	30	0.77	2.70	3.87	0.76	2.55	3.43	0.75	3.09	4.16
		50	0.77	2.69	3.85	0.76	2.56	3.41	0.75	3.01	4.12
		70	0.77	2.70	3.87	0.76	2.56	3.44	0.75	3.12	4.19
	(2-5-1)	30	0.77	2.70	3.86	0.76	2.55	3.42	0.75	3.11	4.17
		50	0.77	2.71	3.87	0.76	2.56	3.43	0.75	3.11	4.18
		70	0.77	2.71	3.87	0.76	2.56	3.43	0.75	3.11	4.17
	(2-6-1)	30	0.77	2.70	3.86	0.76	2.55	3.42	0.75	3.12	4.19
		50	0.77	2.71	3.87	0.76	2.56	3.43	0.75	3.10	4.16
		70	0.77	2.70	3.86	0.76	2.55	3.42	0.75	3.11	4.18
	(2-3-5-1)	30	0.76	2.72	3.89	0.75	2.58	3.48	0.75	3.09	4.17
		50	0.77	2.71	3.87	0.76	2.56	3.43	0.75	3.09	4.15
		70	0.77	2.71	3.87	0.76	2.55	3.43	0.75	3.11	4.17
	(2-5-7-1)	30	0.76	2.80	3.94	0.74	2.62	3.56	0.74	3.14	4.23
		50	0.76	2.71	3.87	0.76	2.56	3.44	0.75	3.08	4.15
		70	0.77	2.70	3.86	0.76	2.54	3.42	0.75	3.11	4.17
Kum, Kil, Silt (YSA8)	(3-4-1)	30	0.73	2.74	3.79	0.80	2.47	3.44	0.82	2.30	3.07
		50	0.73	2.75	3.80	0.79	2.48	3.46	0.82	2.26	3.04
		70	0.73	2.75	3.80	0.79	2.48	3.46	0.82	2.26	3.03
	(3-5-1)	30	0.73	2.76	3.81	0.80	2.41	3.38	0.82	2.33	3.12
		50	0.73	2.75	3.80	0.79	2.48	3.46	0.82	2.27	3.04
		70	0.73	2.75	3.80	0.79	2.48	3.47	0.82	2.26	3.03
	(3-6-1)	30	0.73	2.75	3.80	0.79	2.48	3.46	0.82	2.26	3.04
		50	0.73	2.75	3.80	0.79	2.48	3.46	0.82	2.27	3.04
		70	0.73	2.75	3.80	0.79	2.48	3.47	0.82	2.26	3.04
	(3-7-1)	30	0.73	2.78	3.82	0.80	2.42	3.40	0.82	2.26	3.04
		50	0.73	2.75	3.80	0.79	2.48	3.47	0.82	2.26	3.04
		70	0.73	2.75	3.80	0.79	2.48	3.47	0.82	2.26	3.04
	(3-3-5-1)	30	0.72	2.78	3.83	0.80	2.40	3.40	0.81	2.37	3.18
		50	0.73	2.74	3.79	0.79	2.48	3.46	0.82	2.24	3.03
		70	0.73	2.75	3.80	0.79	2.48	3.46	0.82	2.27	3.05
	(3-5-7-1)	30	0.73	2.77	3.81	0.80	2.45	3.42	0.82	2.30	3.07
		50	0.73	2.74	3.79	0.80	2.47	3.45	0.82	2.25	3.04
		70	0.73	2.74	3.79	0.80	2.46	3.44	0.82	2.25	3.05
Kum, Kil, CaCO ₃ , KDK (YSA9)	(4-5-1)	30	0.77	2.85	3.84	0.75	2.66	3.55	0.74	3.19	4.25
		50	0.77	2.86	3.84	0.75	2.67	3.55	0.73	3.20	4.27
		70	0.77	2.86	3.84	0.75	2.66	3.55	0.73	3.20	4.27
	(4-6-1)	30	0.81	2.50	3.45	0.80	2.38	3.19	0.77	2.98	4.03
		50	0.83	2.36	3.30	0.80	2.27	3.12	0.78	2.74	3.89
		70	0.77	2.86	3.84	0.75	2.67	3.55	0.73	3.20	4.27
	(4-7-1)	30	0.81	2.56	3.53	0.81	2.29	3.08	0.76	3.10	4.06
		50	0.77	2.86	3.84	0.75	2.67	3.55	0.73	3.20	4.27
		70	0.81	2.52	3.46	0.80	2.34	3.14	0.77	3.00	4.02
	(4-8-1)	30	0.77	2.86	3.84	0.75	2.67	3.55	0.73	3.20	4.28
		50	0.77	2.86	3.84	0.75	2.67	3.56	0.73	3.20	4.28
		70	0.77	2.86	3.84	0.75	2.67	3.55	0.73	3.21	4.28
	(4-3-5-1)	30	0.80	2.62	3.60	0.80	2.31	3.12	0.76	3.20	4.07
		50	0.80	2.57	3.53	0.81	2.28	3.07	0.76	3.08	4.06
		70	0.80	2.56	3.53	0.81	2.27	3.06	0.77	3.07	4.04
	(4-5-7-1)	30	0.79	2.62	3.62	0.79	2.42	3.26	0.76	3.16	4.10
		50	0.81	2.53	3.46	0.80	2.31	3.12	0.77	2.97	4.00
		70	0.86	2.20	3.04	0.77	2.49	3.41	0.77	2.87	3.95

Çizelge 4.55 (devamı) BR eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda Tarla kapasitesinin tahmini için geliştirilen YSA modellerinin eğitim ve test veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (Nisan-2016)

Girdi	Ağ Yapısı	İterasyon sayısı	Eğitim			Test		
			R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE
Kil, Organik madde (YSA10)	(2-3-1)	30	0.80	2.23	2.92	0.74	3.09	3.97
		50	0.80	2.23	2.92	0.74	3.09	3.97
		70	0.80	2.23	2.92	0.74	3.09	3.97
	(2-4-1)	30	0.80	2.23	2.92	0.74	3.09	3.97
		50	0.80	2.22	2.91	0.74	3.07	3.95
		70	0.80	2.23	2.92	0.74	3.10	3.98
	(2-5-1)	30	0.80	2.23	2.92	0.74	3.09	3.97
		50	0.83	1.99	2.69	0.70	3.31	4.34
		70	0.80	2.19	2.87	0.75	2.98	3.88
	(2-6-1)	30	0.81	2.10	2.79	0.74	2.99	3.97
		50	0.80	2.23	2.92	0.74	3.09	3.97
		70	0.83	1.99	2.69	0.70	3.31	4.34
	(2-3-5-1)	30	0.80	2.19	2.90	0.73	3.15	4.03
		50	0.82	2.07	2.75	0.73	3.11	4.06
		70	0.83	1.98	2.68	0.69	3.36	4.40
	(2-5-7-1)	30	0.80	2.18	2.89	0.73	3.15	4.03
		50	0.80	2.19	2.90	0.73	3.15	4.03
		70	0.83	1.97	2.68	0.70	3.34	4.37
Kum, Kil, Hacim ağırlığı (YSA11)	(3-4-1)	30	0.76	2.54	3.39	0.81	2.51	3.31
		50	0.76	2.57	3.42	0.81	2.52	3.34
		70	0.76	2.56	3.42	0.81	2.52	3.34
	(3-5-1)	30	0.76	2.57	3.43	0.81	2.52	3.35
		50	0.76	2.57	3.43	0.81	2.52	3.35
		70	0.76	2.57	3.43	0.81	2.52	3.35
	(3-6-1)	30	0.76	2.57	3.43	0.81	2.53	3.35
		50	0.76	2.57	3.43	0.81	2.53	3.35
		70	0.76	2.57	3.43	0.81	2.53	3.35
	(3-7-1)	30	0.76	2.59	3.43	0.81	2.54	3.37
		50	0.76	2.57	3.43	0.81	2.53	3.35
		70	0.76	2.57	3.43	0.81	2.53	3.35
	(3-3-5-1)	30	0.76	2.53	3.39	0.81	2.51	3.31
		50	0.76	2.53	3.39	0.81	2.51	3.31
		70	0.76	2.53	3.39	0.81	2.51	3.31
	(3-5-7-1)	30	0.76	2.53	3.39	0.81	2.51	3.31
		50	0.76	2.53	3.39	0.81	2.51	3.31
		70	0.76	2.53	3.39	0.81	2.51	3.31
Kum, Kil, Silt, Hacim ağırlığı (YSA12)	(4-5-1)	30	0.76	2.55	3.40	0.81	2.51	3.32
		50	0.77	2.52	3.37	0.82	2.48	3.27
		70	0.77	2.52	3.37	0.82	2.48	3.27
	(4-6-1)	30	0.76	2.56	3.40	0.81	2.51	3.31
		50	0.77	2.52	3.37	0.82	2.48	3.27
		70	0.76	2.53	3.37	0.82	2.49	3.28
	(4-7-1)	30	0.76	2.55	3.41	0.81	2.52	3.32
		50	0.77	2.52	3.37	0.82	2.48	3.27
		70	0.77	2.52	3.37	0.82	2.48	3.27
	(4-8-1)	30	0.76	2.55	3.41	0.81	2.52	3.32
		50	0.76	2.55	3.41	0.81	2.51	3.32
		70	0.76	2.53	3.37	0.82	2.49	3.28
	(4-3-5-1)	30	0.77	2.49	3.34	0.82	2.45	3.25
		50	0.77	2.49	3.34	0.82	2.45	3.25
		70	0.77	2.50	3.34	0.82	2.45	3.25
	(4-5-7-1)	30	0.77	2.50	3.34	0.82	2.45	3.25
		50	0.77	2.50	3.34	0.82	2.45	3.26
		70	0.77	2.50	3.34	0.82	2.45	3.26

Çalışmanın bu aşamasında çok katmanlı yapay sinir ağları ile tarla kapasitesinin belirlenmesinde 2016 yılı sulama öncesi ve sonrası ile 2017 yılı sulama öncesinde arazi ve laboratuvar çalışmaları sonucunda elde edilen veriler birleştirilerek 2 ve 4 girdili modeller oluşturulmuştur. Bu dönemde elde edilen verilerin %70'i eğitim, %30'u test veri seti olarak kullanılmıştır.

Levenberg-Marquardt (LM) eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda tarla kapasitesinin tahmini için oluşturulan 2 ve 4 girdili modellerin eğitim, test ve doğrulama verilerinden elde edilen sonuçların istatistiksel performans kriterleri Çizelge 4.56'da verilmiştir. Levenberg-Marquardt (LM) eğitim algoritması incelendiğinde genel olarak istatistiksel performans bakımından oluşturulan modeller bazında eğitim ve test verileri yakın değerler almıştır. Bu durum verinin eğitim ve test veri setlerinde uygun bir şekilde dağıldığını göstermektedir. Eğitim verilerin en düşük ve en yüksek R^2 değeri sırasıyla 0.75 ve 0.81 iken test verilerinin R^2 değerleri 0.63 ile 0.88 arasında değişim göstermiştir. Kum, kil, $CaCO_3$ ve KDK kullanılarak oluşturulan dört girdili modelin 7 gizli katman ve 50 iterasyonda en iyi sonuç verdiği belirlenmiştir. Bu modelin belirleme katsayısı eğitim aşamasında 0.81, test aşamasında ise 0.88 olarak belirlenmiştir. MAE ve RMSE değerleri ise eğitim ve test aşamalarında sırasıyla 2.49, 3.47 ve 2.00, 2.74 olarak bulunmuştur.

Scaled Conjugate Gradient (SCG) eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda tarla kapasitesinin tahmini amacıyla geliştirilen YSA modellerinin eğitim ve test veri setleri ile elde edilen modellerin istatistiksel performans kriterleri Çizelge 4.57'de verilmiştir. En iyi performans sonuçları 4 girdili modelde 8 gizli katmanda ve 50 iterasyonda elde edilmiştir. Bu modelin belirleme katsayısı eğitim aşamasında 0.76, test aşamasında ise 0.86 olarak belirlenmiştir. MAE ve RMSE değerleri ise eğitim ve test aşamalarında sırasıyla 2.78, 3.88 ve 2.16, 2.90 olarak bulunmuştur.

Bayesian Regularization (BR) eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda geliştirilen YSA modellerinin eğitim ve test veri setleri ile elde edilen modellerin istatistiksel performans kriterleri Çizelge 4.58'de verilmiştir. En iyi performans 4 girdili model ve 7 gizli katmanda, 70 iterasyonda elde edilmiştir. Bu modelin belirleme katsayısı eğitim aşamasında 0.80, test aşamasında ise 0.88'dir.

Çizelge 4.56. Levenberg-Marquardt (LM) eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda tarla kapasitesinin tahmini için geliştirilen YSA modellerinin eğitim ve test veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (tüm veri seti)

Girdi	Ağ Yapısı	İterasyon sayısı	Eğitim			Test		
			R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE
Kum, Kil, CaCO ₃ , KDK (YSA9)	(4-5-1)	30	0.81	2.48	3.48	0.88	2.05	2.76
		50	0.81	2.49	3.48	0.87	2.08	2.78
		70	0.80	2.52	3.53	0.87	2.11	2.81
	(4-6-1)	30	0.81	2.50	3.48	0.87	2.16	2.83
		50	0.80	2.52	3.53	0.87	2.07	2.82
		70	0.81	2.50	3.51	0.87	2.11	2.87
	(4-7-1)	30	0.81	2.52	3.49	0.88	2.03	2.74
		50	0.81	2.49	3.47	0.88	2.00	2.74
		70	0.81	2.51	3.49	0.87	2.19	2.88
	(4-8-1)	30	0.81	2.47	3.43	0.87	2.11	2.84
		50	0.81	2.51	3.46	0.87	2.08	2.79
		70	0.81	2.48	3.45	0.87	2.11	2.81
	(4-3-5-1)	30	0.79	2.61	3.66	0.86	2.16	2.90
		50	0.81	2.47	3.51	0.87	2.08	2.77
		70	0.81	2.51	3.48	0.86	2.21	3.00
	(4-5-7-1)	30	0.81	2.46	3.49	0.88	2.05	2.75
		50	0.81	2.51	3.49	0.87	2.14	2.83
		70	0.83	2.35	3.31	0.87	2.10	2.88
Kil, Organik madde (YSA10)	(2-3-1)	30	0.75	2.50	3.44	0.65	3.16	4.27
		50	0.76	2.48	3.38	0.68	2.99	4.10
		70	0.76	2.48	3.38	0.68	2.99	4.10
	(2-4-1)	30	0.76	2.46	3.34	0.69	2.96	4.01
		50	0.76	2.45	3.38	0.73	2.71	3.71
		70	0.78	2.40	3.24	0.73	2.87	3.74
	(2-5-1)	30	0.77	2.43	3.32	0.69	3.00	4.05
		50	0.78	2.36	3.21	0.70	2.92	3.94
		70	0.79	2.34	3.18	0.72	2.98	3.83
	(2-6-1)	30	0.78	2.35	3.18	0.72	2.94	3.78
		50	0.78	2.42	3.23	0.77	2.66	3.49
		70	0.78	2.39	3.22	0.73	2.75	3.72
	(2-3-5-1)	30	0.78	2.36	3.19	0.79	2.55	3.34
		50	0.79	2.34	3.16	0.63	2.91	4.60
		70	0.80	2.18	3.05	0.75	2.68	3.58
	(2-5-7-1)	30	0.79	2.29	3.11	0.72	2.80	3.81
		50	0.83	2.04	2.82	0.63	3.16	5.07
		70	0.80	2.24	3.04	0.77	2.71	3.45

Çizelge 4.57. Scaled Conjugate Gradient (SCG) eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda Tarla kapasitesinin tahmini için geliştirilen YSA modellerinin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (tüm veri seti)

Girdi	Ağ Yapısı	İterasyon sayısı	Eğitim			Test		
			R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE
Kum, Kil, CaCO ₃ , KDK (YSA9)	(4-5-1)	30	0.58	4.00	5.24	0.71	3.37	4.31
		50	0.74	2.96	4.04	0.84	2.39	3.18
		70	0.71	3.05	4.25	0.83	2.49	3.21
	(4-6-1)	30	0.65	3.55	4.68	0.77	2.89	3.80
		50	0.70	3.19	4.33	0.81	2.66	3.44
		70	0.76	2.79	3.88	0.84	2.26	3.09
	(4-7-1)	30	0.63	3.61	4.82	0.75	2.88	3.92
		50	0.73	3.09	4.13	0.81	2.62	3.44
		70	0.76	2.78	3.90	0.85	2.21	3.05
	(4-8-1)	30	0.71	3.08	4.25	0.81	2.58	3.45
		50	0.76	2.78	3.88	0.86	2.16	2.90
		70	0.76	2.76	3.87	0.84	2.24	3.13
	(4-3-5-1)	30	0.39	4.90	6.21	0.48	4.60	5.66
		50	0.50	4.23	5.61	0.61	3.85	4.93
		70	0.70	3.14	4.40	0.81	2.60	3.42
	(4-5-7-1)	30	0.56	3.94	5.28	0.70	3.24	4.27
		50	0.77	2.73	3.81	0.85	2.24	3.00
		70	0.76	2.80	3.86	0.84	2.34	3.17
Kil, Organik madde (YSA10)	(2-3-1)	30	0.58	3.32	4.44	0.66	3.39	4.25
		50	0.72	2.66	3.63	0.68	2.96	4.08
		70	0.72	2.63	3.63	0.63	3.16	4.41
	(2-4-1)	30	0.73	2.66	3.57	0.67	3.13	4.13
		50	0.72	2.61	3.60	0.64	3.07	4.30
		70	0.73	2.53	3.57	0.72	2.82	3.84
	(2-5-1)	30	0.71	2.63	3.72	0.70	2.87	3.96
		50	0.73	2.56	3.56	0.73	2.80	3.74
		70	0.71	2.61	3.69	0.68	3.01	4.12
	(2-6-1)	30	0.73	2.58	3.54	0.73	2.79	3.77
		50	0.69	2.71	3.84	0.64	3.19	4.34
		70	0.71	2.62	3.70	0.66	3.07	4.24
	(2-3-5-1)	30	0.62	3.17	4.26	0.55	3.46	4.87
		50	0.69	2.81	3.82	0.68	2.94	4.08
		70	0.74	2.47	3.48	0.72	2.78	3.80
	(2-5-7-1)	30	0.64	2.94	4.14	0.54	3.59	4.89
		50	0.68	2.91	3.86	0.68	3.05	4.09
		70	0.75	2.46	3.42	0.73	2.74	3.72

Çizelge 4.58. Bayesian Regularization (BR) eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda Tarla kapasitesinin tahmini için geliştirilen YSA modellerinin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (tüm veri seti)

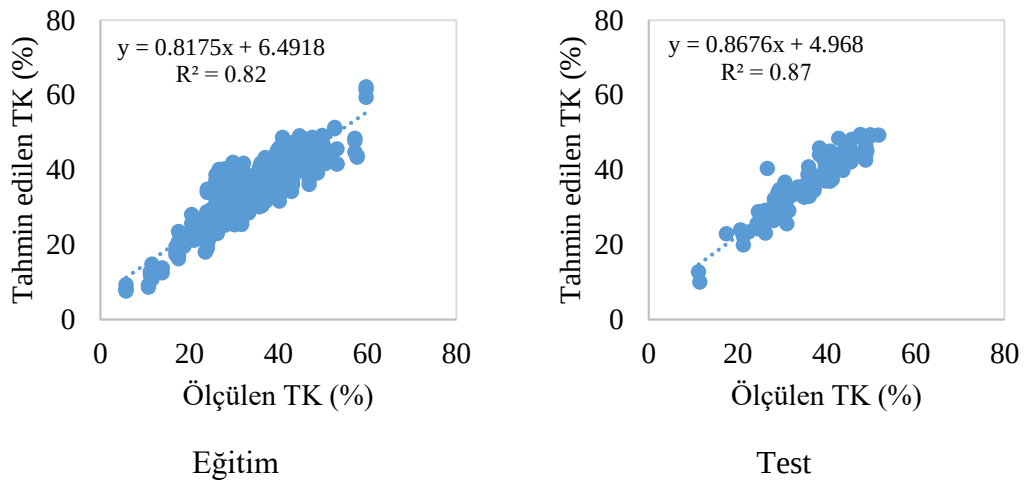
Girdi	Ağ Yapısı	İterasyon sayısı	Eğitim			Test		
			R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE
Kum, Kil, CaCO ₃ , KDK (YSA9)	(4-5-1)	30	0.80	2.56	3.58	0.87	2.03	2.79
		50	0.78	2.65	3.73	0.87	2.11	2.87
		70	0.81	2.49	3.50	0.88	2.04	2.74
	(4-6-1)	30	0.79	2.59	3.64	0.87	2.06	2.83
		50	0.78	2.66	3.73	0.87	2.12	2.87
		70	0.81	2.47	3.46	0.88	2.04	2.75
	(4-7-1)	30	0.80	2.56	3.59	0.87	2.03	2.80
		50	0.80	2.56	3.59	0.87	2.04	2.79
		70	0.80	2.52	3.54	0.88	1.99	2.73
	(4-8-1)	30	0.78	2.66	3.74	0.86	2.12	2.88
		50	0.78	2.65	3.72	0.87	2.11	2.87
		70	0.80	2.53	3.56	0.87	2.05	2.79
	(4-3-5-1)	30	0.78	2.66	3.74	0.86	2.12	2.88
		50	0.79	2.60	3.65	0.87	2.09	2.84
		70	0.79	2.61	3.63	0.87	2.08	2.85
	(4-5-7-1)	30	0.79	2.61	3.66	0.87	2.08	2.85
		50	0.79	2.59	3.64	0.87	2.07	2.82
		70	0.81	2.48	3.48	0.88	2.00	2.75
Kil, Organik madde (YSA10)	(2-3-1)	30	0.74	2.54	3.50	0.71	2.86	3.91
		50	0.74	2.54	3.48	0.72	2.86	3.84
		70	0.74	2.54	3.48	0.72	2.86	3.84
	(2-4-1)	30	0.76	2.50	3.39	0.69	3.03	4.02
		50	0.74	2.54	3.48	0.72	2.86	3.85
		70	0.75	2.52	3.45	0.72	2.84	3.78
	(2-5-1)	30	0.74	2.53	3.48	0.72	2.86	3.83
		50	0.74	2.53	3.48	0.72	2.86	3.85
		70	0.76	2.49	3.37	0.74	2.81	3.66
	(2-6-1)	30	0.74	2.54	3.48	0.72	2.86	3.84
		50	0.74	2.54	3.48	0.71	2.86	3.85
		70	0.74	2.54	3.48	0.72	2.86	3.83
	(2-3-5-1)	30	0.73	2.55	3.54	0.70	2.83	3.94
		50	0.73	2.55	3.54	0.70	2.83	3.94
		70	0.78	2.40	3.21	0.75	2.86	3.63
	(2-5-7-1)	30	0.74	2.55	3.52	0.70	2.87	3.94
		50	0.73	2.55	3.54	0.70	2.83	3.94
		70	0.73	2.55	3.54	0.70	2.84	3.94

Çalışma kapsamında tarla kapasitesinin toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri kullanılarak yapay sinir ağları ile tahmin edilmesi amacıyla yapılan çalışmalar sonucunda farklı ağ yapıları ve farklı eğitim algoritmaları denenerek elde edilen en iyi sonuçlar Çizelge 4.59’da özetlenmiştir. Çizelgeye göre en yüksek R^2 değerini ve en düşük MAE ve RMSE değerini veren modelin tüm veri seti ve LM eğitim algoritması kullanılarak oluşturulan 4 girdi parametrelili 7 gizli katman ve 50 iterasyon sonucunda en iyi performans elde edilmiştir.

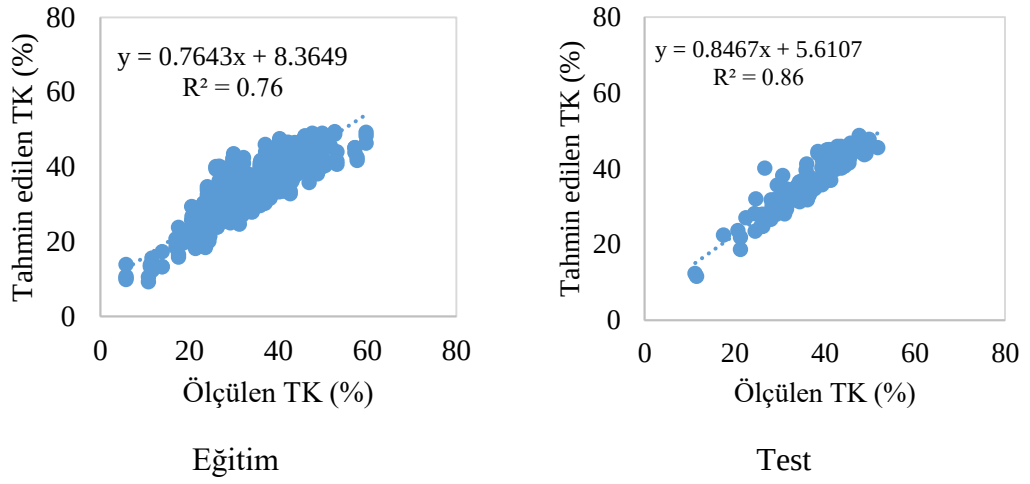
Çizelge 4.59. Tarla kapasitesinin tahmini için oluşturulan modellerin istatistiksel analiz sonuçları

	Eğitim algoritması	Girdi	Ağ Yapısı	İterasyon sayısı	Eğitim			Test		
					R^2	MAE	RMSE	R^2	MAE	RMSE
2016-Nisan	lm	YSA9	4-5-1	50	0.83	2.37	3.25	0.80	2.39	3.20
	scg	YSA10	2-5-1	30	0.82	2.06	2.75	0.74	3.08	4.02
	br	YSA9	4-6-1	50	0.83	2.36	3.30	0.80	2.27	3.12
Tüm veri seti	lm	YSA 9	4-7-1	50	0.82	2.41	3.39	0.87	2.11	2.77
	scg	YSA 9	4-8-1	50	0.76	2.78	3.88	0.86	2.16	2.90
	br	YSA 9	4-7-1	70	0.80	2.52	3.54	0.88	1.99	2.73

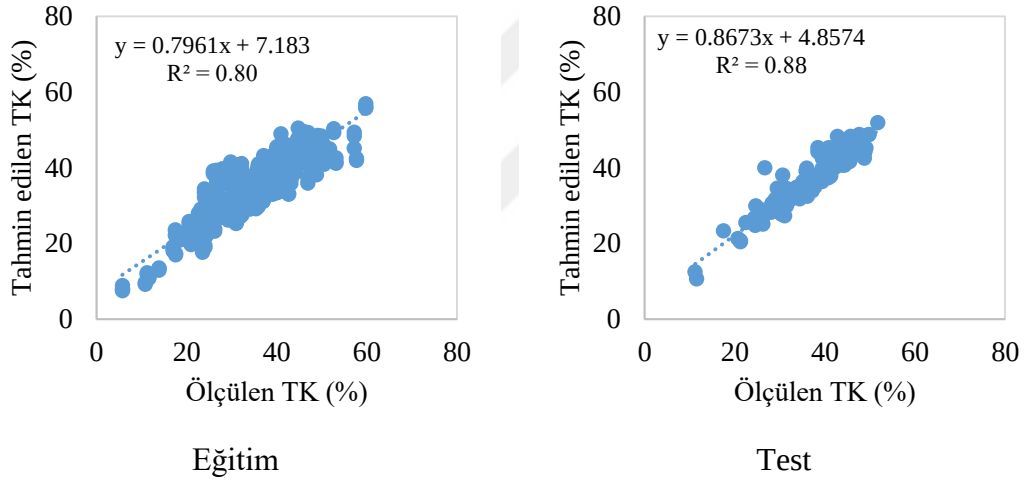
YSA ile tahmin edilen TK değerleri ile ölçülen TK değerlerinin karşılaştırması yapılmış ve saçılım grafikleri LM, SCG ve BR algoritmaları için sırasıyla Şekil 4.98, 4.99 ve 4.100’de verilmiştir.



Şekil 4.98. LM eğitim algoritması (4-7-1) ağ yapısında tahmin edilen TK (%) ile ölçülen TK (%) değerlerinin karşılaştırılması (YSA9-tüm veri seti)



Şekil 4.99. SCG eğitim algoritması (4-8-1) ağ yapısında tahmin edilen TK (%) ile ölçülen TK (%) değerlerinin karşılaştırılması (YSA9-tüm veri seti)



Şekil 4.100. BR eğitim algoritması (4-7-1) ağ yapısında tahmin edilen TK (%) ile ölçülen TK (%) değerlerinin karşılaştırılması (YSA9-tüm veri seti)

Yapay sinir ağırları ile TK tahmini için kullanılan ağırlık katsayıları ve bias değerleri Çizelge 4.60'da verilmiştir.

Çizelge 4.60. Girdi katmanı ile gizli katman ve gizli katman ile çıktı katmanı arasındaki ağırlık ve bias değerleri (YSA9 modeli (4-7-1) LM algoritması için)

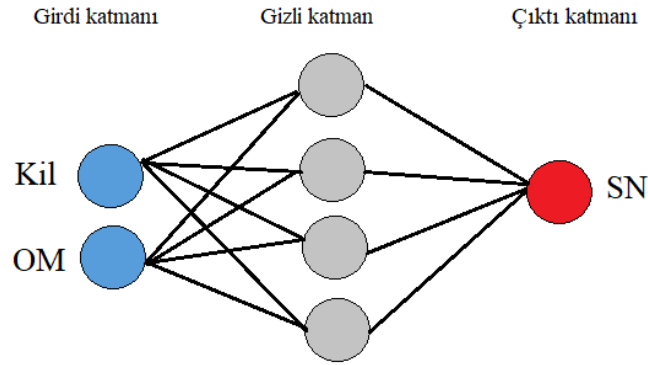
	Gizli katman sinir sayısı	iw							Bias
Girdi- Gizli Katman	1	2.50982	0.415403	0.027928	2.274689				-3.68132
	2	-2.50763	-2.33349	3.392916	7.893201				-1.73473
	3	13.32329	4.134814	9.246678	2.428001				-11.8989
	4	-2.15221	2.376116	3.414623	5.253683				-4.89941
	5	-4.09442	-1.2871	-2.81906	-0.35572				3.561883
	6	-3.38581	-0.57456	-3.05883	-12.8456				5.115982
	7	-12.8111	3.340233	-14.1497	-49.99				29.72646
		iw							Bias
Gizli- Çıktı Katman	1	0.36296	-0.11613	0.09709	0.099306	0.330473	-0.11976	-0.03486	0.793155

Çalışma alanı topraklarının tarla kapasitesi, CaCO_3 , KDK, kum ve kil değişkenlerine bağlı olarak aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanabilir.

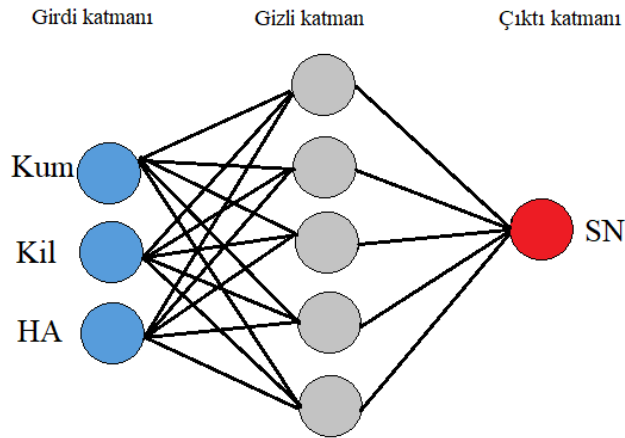
$$\begin{aligned}
 \text{TK} = & ((2/1 + e^{(-2 * (\text{CaCO}_3 * 2.50982 + \text{KDK} * 0.415403 + \text{Kum} * 0.027928 + \text{Kil} * 2.274689 + 0.36296))}) - 1) * - \\
 & 3.68132) + ((2/1 + e^{(-2 * (\text{CaCO}_3 * -2.50763 + \text{KDK} * -2.33349 + \text{Kum} * 3.392916 + \text{Kil} * 7.893201 - 0.11613))}) - 1) * - \\
 & 1.73473) + ((2/1 + e^{(-2 * (\text{CaCO}_3 * 13.32329 + \text{KDK} * 4.134814 + \text{Kum} * 9.246678 + \text{Kil} * 2.428001 + 0.09709))}) - 1) * - \\
 & 11.8989) + ((2/1 + e^{(-2 * (\text{CaCO}_3 * -2.15221 + \text{KDK} * 2.376116 + \text{Kum} * 3.414623 + \text{Kil} * 5.253683 + 0.099306))}) - 1) * - \\
 & 4.89941) + ((2/1 + e^{(-2 * (\text{CaCO}_3 * -4.09442 + \text{KDK} * -1.2871 + \text{Kum} * -2.81906 + \text{Kil} * -0.35572 + 0.330473))}) - 1) * \\
 & 3.561883) + ((2/1 + e^{(-2 * (\text{CaCO}_3 * -3.38581 + \text{KDK} * -0.57456 + \text{Kum} * -3.05883 + \text{Kil} * -12.8456 - 0.11976))}) - 1) * \\
 & 5.115982) + ((2/1 + e^{(-2 * (\text{CaCO}_3 * -12.8111 + \text{KDK} * 3.340233 + \text{Kum} * -14.1497 + \text{Kil} * -49.99 - 0.03486))}) - 1) * \\
 & 29.72646) + 0.793155
 \end{aligned}$$

4.5.3.2.2. Solma noktasının yapay sinir ağı ile tahmini

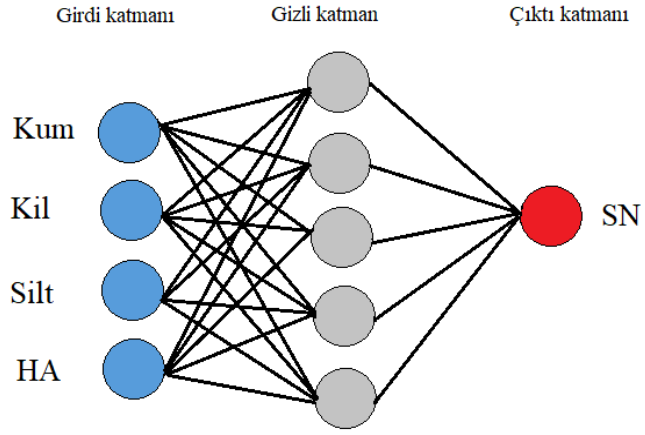
Çalışma alanı topraklarının solma noktasının tahmini için 4, 3 ve 2 girdi parametrelili olmak üzere altı adet model kurulmuştur. Tarla kapasitesinin belirlenmesinde kullanılan girdi değişkenleri solma noktasının belirlenmesinde de kullanılmıştır. İlk olarak 4 girdili iki farklı model kullanılmış ve modellerin birinde kum, kil, CaCO₃ ve KDK, diğerinde ise kum, kil, silt ve hacim ağırlığı değerleri kullanılmıştır. Üç girdili 2 farklı model kurulmuş ve bu modellerde kum, kil, silt ve diğerinde kum, kil ve hacim ağırlığı değerleri kullanılmıştır. Son olarak 2 girdi parametrelili 2 farklı model belirlenmiş ve girdi olarak kum ve kil, diğerinde ise kil ve organik madde kullanılmıştır. İki girdili modele ilişkin diyagram Şekil 4.101’de, üç girdili modele ilişkin diyagram Şekil 4.102’de ve dört girdili modele ilişkin diyagram Şekil 4.103’de verilmiştir.



Şekil 4. 101. SN tahmini için çok katmanlı (2-4-1) ağ yapısı diyagramı



Şekil 4.102. SN tahmini için çok katmanlı (3-5-1) ağ yapısı diyagramı



Şekil 4.103. SN tahmini için çok katmanlı (4-5-1) ağ yapısı diyagramı

Çalışma kapsamında yapay sinir ağları hesaplamalarında kullanılmak üzere 2 farklı veri seti hazırlanmıştır. İlk olarak 2016 yılı sulama öncesi dönemdeki veriler model geliştirmek için kullanılmış, daha sonra ise hem 2016 yılı sulama öncesi ve sonrası verileri hem de 2017 yılı sulama öncesi verilerinin tamamı kullanılarak modeller oluşturulmuş ve buna ilişkin sonuçlar değerlendirilmiştir.

Farklı girdi değişkenleri kullanılarak 3 farklı ağ yapısı denenmiş ve toprakların solma noktasının tahmini için en uygun model belirlenmeye çalışılmıştır. Levenberg-Marquardt (LM) eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda solma noktasının tahmini için eğitim, test ve doğrulama verilerinden elde edilen sonuçların istatistiksel performansları Çizelge 4.61’de, Scaled Conjugate Gradient (SCG) eğitim algoritması kullanılarak elde edilen sonuçların istatistiksel performansları Çizelge 4.62’de ve Bayesian Regularization (BR) eğitim algoritması kullanılarak elde edilen sonuçların istatistiksel performansları ise Çizelge 4.63’de verilmiştir.

Çizelge 4.61. LM eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda Solma noktasının tahmini için geliştirilen YSA modellerinin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (Nisan-2016)

Girdi	Ağ Yapısı	İterasyon sayısı	Eğitim			Test			Doğrulama		
			R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE
Kum, Kil (YSA13)	(2-3-1)	30	0.76	2.36	3.28	0.80	1.92	2.53	0.63	2.93	4.26
		50	0.75	2.37	3.30	0.81	1.86	2.48	0.63	2.86	4.29
		70	0.76	2.31	3.26	0.82	1.83	2.41	0.64	2.79	4.22
	(2-4-1)	30	0.76	2.28	3.23	0.83	1.77	2.36	0.63	2.82	4.27
		50	0.76	2.32	3.24	0.81	1.88	2.45	0.60	2.95	4.43
		70	0.77	2.27	3.22	0.83	1.83	2.39	0.63	2.80	4.25
	(2-5-1)	30	0.77	2.31	3.21	0.83	1.79	2.37	0.62	2.85	4.33
		50	0.77	2.25	3.17	0.84	1.78	2.33	0.64	2.79	4.23
		70	0.77	2.29	3.22	0.82	1.85	2.40	0.61	2.90	4.40
	(2-6-1)	30	0.76	2.32	3.25	0.83	1.80	2.35	0.63	2.83	4.28
		50	0.77	2.30	3.23	0.83	1.81	2.35	0.66	2.72	4.10
		70	0.76	2.29	3.24	0.82	1.89	2.45	0.61	2.98	4.38
	(2-3-5-1)	30	0.77	2.30	3.17	0.84	1.77	2.35	0.63	2.73	4.30
		50	0.77	2.29	3.20	0.83	1.81	2.37	0.63	2.83	4.29
		70	0.77	2.28	3.20	0.82	1.86	2.42	0.61	2.83	4.38
	(2-5-7-1)	30	0.77	2.26	3.18	0.82	1.88	2.43	0.63	2.85	4.27
		50	0.76	2.29	3.23	0.83	1.80	2.38	0.62	2.84	4.31
		70	0.77	2.23	3.17	0.82	1.89	2.37	0.65	2.87	4.17
Kum, Kil, Silt (YSA14)	(3-4-1)	30	0.78	1.98	2.85	0.78	2.42	3.17	0.68	2.45	3.33
		50	0.78	1.98	2.86	0.78	2.44	3.20	0.67	2.50	3.38
		70	0.79	1.99	2.82	0.77	2.46	3.23	0.67	2.52	3.35
	(3-5-1)	30	0.78	1.97	2.85	0.77	2.48	3.23	0.66	2.57	3.40
		50	0.78	1.98	2.85	0.78	2.43	3.18	0.67	2.49	3.36
		70	0.78	1.98	2.85	0.77	2.45	3.22	0.67	2.51	3.38
	(3-6-1)	30	0.78	2.00	2.86	0.78	2.50	3.17	0.67	2.52	3.39
		50	0.79	1.97	2.83	0.78	2.43	3.15	0.68	2.46	3.34
		70	0.79	1.96	2.82	0.77	2.49	3.25	0.67	2.49	3.37
	(3-7-1)	30	0.78	2.01	2.86	0.78	2.52	3.20	0.66	2.49	3.43
		50	0.79	1.97	2.81	0.77	2.49	3.22	0.68	2.52	3.36
		70	0.79	1.97	2.83	0.78	2.37	3.17	0.67	2.47	3.35
	(3-3-5-1)	30	0.79	1.98	2.82	0.78	2.46	3.18	0.67	2.59	3.42
		50	0.80	1.95	2.77	0.77	2.47	3.20	0.69	2.48	3.27
		70	0.78	2.01	2.85	0.79	2.47	3.13	0.68	2.51	3.32
	(3-5-7-1)	30	0.79	1.98	2.82	0.79	2.41	3.11	0.69	2.53	3.30
		50	0.79	1.95	2.82	0.78	2.39	3.18	0.69	2.45	3.31
		70	0.80	1.94	2.72	0.76	2.55	3.34	0.68	2.46	3.33
Kum, Kil, CaCO ₃ , KDK (YSA15)	(4-5-1)	30	0.84	2.02	2.63	0.81	1.85	2.49	0.56	3.14	4.69
		50	0.83	2.04	2.77	0.81	1.86	2.47	0.65	2.90	4.16
		70	0.83	2.06	2.76	0.80	1.97	2.55	0.62	2.89	4.31
	(4-6-1)	30	0.83	2.06	2.73	0.82	1.82	2.40	0.64	2.85	4.21
		50	0.83	2.05	2.77	0.78	2.01	2.84	0.65	2.90	4.13
		70	0.85	1.92	2.55	0.80	1.92	2.60	0.57	3.20	4.62
	(4-7-1)	30	0.84	2.03	2.69	0.83	1.81	2.42	0.63	3.05	4.30
		50	0.86	1.91	2.51	0.79	1.91	2.59	0.61	3.05	4.40
		70	0.86	1.89	2.49	0.79	1.96	2.59	0.63	2.94	4.25
	(4-8-1)	30	0.85	1.94	2.57	0.83	1.77	2.42	0.65	2.85	4.17
		50	0.86	1.81	2.46	0.82	1.80	2.41	0.52	3.27	5.05
		70	0.85	1.92	2.55	0.70	2.15	3.52	0.64	2.90	4.23
	(4-3-5-1)	30	0.85	1.95	2.58	0.82	1.89	2.44	0.65	2.91	4.14
		50	0.86	1.89	2.52	0.81	1.86	2.46	0.56	3.05	4.80
		70	0.84	2.03	2.67	0.83	1.85	2.43	0.64	2.75	4.19
	(4-5-7-1)	30	0.86	1.89	2.51	0.80	1.89	2.54	0.60	2.95	4.45
		50	0.85	1.94	2.56	0.78	2.00	2.71	0.64	2.99	4.21
		70	0.88	1.73	2.32	0.68	2.35	3.27	0.62	3.23	4.46

Çizelge 4.61. (devamı) LM eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda Solma noktasının tahmini için geliştirilen YSA modellerinin eğitim ve test veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (Nisan-2016)

Girdi	Ağ Yapısı	İterasyon sayısı	Eğitim			Test		
			R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE
Kil, Organik madde (YSA16)	(2-3-1)	30	0.83	1.70	2.10	0.77	2.17	2.77
		50	0.83	1.70	2.10	0.76	2.22	2.82
		70	0.83	1.64	2.08	0.70	2.24	3.17
	(2-4-1)	30	0.82	1.64	2.13	0.72	2.40	3.17
		50	0.83	1.63	2.05	0.68	2.50	3.30
		70	0.83	1.68	2.09	0.68	2.59	3.37
	(2-5-1)	30	0.84	1.66	2.02	0.67	2.75	3.48
		50	0.85	1.58	1.96	0.69	2.55	3.23
		70	0.85	1.53	1.95	0.68	2.40	3.33
	(2-6-1)	30	0.84	1.59	2.01	0.59	2.79	3.88
		50	0.85	1.53	1.97	0.65	2.55	3.44
		70	0.85	1.52	1.93	0.66	2.47	3.43
	(2-3-5-1)	30	0.87	1.44	1.81	0.61	2.98	3.77
		50	0.82	1.67	2.12	0.73	2.25	3.09
		70	0.89	1.31	1.65	0.45	4.04	6.40
	(2-5-7-1)	30	0.88	1.32	1.72	0.50	2.65	4.28
		50	0.90	1.27	1.61	0.63	2.82	3.54
		70	0.95	0.76	1.19	0.51	3.61	4.67
Kum, Kil, Hacim ağırlığı (YSA17)	(3-4-1)	30	0.81	1.85	2.49	0.68	2.23	3.58
		50	0.81	1.92	2.49	0.72	1.94	3.22
		70	0.83	1.79	2.39	0.68	2.31	3.43
	(3-5-1)	30	0.81	1.81	2.51	0.67	2.36	3.44
		50	0.82	1.83	2.45	0.65	2.42	3.66
		70	0.88	1.54	1.99	0.55	3.00	4.51
	(3-6-1)	30	0.84	1.76	2.31	0.40	3.43	5.10
		50	0.82	1.74	2.44	0.70	2.16	3.36
		70	0.84	1.59	2.30	0.65	3.09	4.11
	(3-7-1)	30	0.83	1.76	2.36	0.60	2.57	3.82
		50	0.81	1.78	2.52	0.55	2.65	4.28
		70	0.85	1.66	2.20	0.51	3.21	4.54
	(3-3-5-1)	30	0.77	1.99	2.73	0.70	2.29	3.22
		50	0.88	1.57	1.97	0.54	3.19	4.55
		70	0.89	1.45	1.87	0.56	2.84	4.35
	(3-5-7-1)	30	0.94	0.92	1.43	0.13	5.08	9.27
		50	0.93	1.16	1.57	0.27	4.82	6.83
		70	0.95	0.86	1.34	0.46	3.96	5.54
Kum, Kil, Silt, Hacim ağırlığı (YSA18)	(4-5-1)	30	0.82	1.81	2.44	0.53	3.34	5.17
		50	0.88	1.51	1.96	0.47	3.51	5.21
		70	0.82	1.84	2.41	0.70	2.20	3.32
	(4-6-1)	30	0.83	1.75	2.39	0.67	2.32	3.50
		50	0.84	1.70	2.27	0.44	2.93	4.90
		70	0.83	1.76	2.41	0.63	2.46	3.64
	(4-7-1)	30	0.85	1.66	2.21	0.55	2.63	4.05
		50	0.91	1.27	1.73	0.50	3.56	4.79
		70	0.86	1.61	2.15	0.45	3.43	4.89
	(4-8-1)	30	0.80	1.92	2.57	0.62	2.72	3.75
		50	0.86	1.58	2.17	0.54	3.10	4.11
		70	0.83	1.68	2.40	0.64	2.86	3.78
	(4-3-5-1)	30	0.83	1.75	2.35	0.69	2.09	3.34
		50	0.88	1.48	1.97	0.66	2.46	3.55
		70	0.89	1.41	1.87	0.57	2.80	4.28
	(4-5-7-1)	30	0.83	1.73	2.36	0.65	2.60	3.45
		50	0.93	1.02	1.56	0.31	4.50	5.73
		70	0.92	1.21	1.60	0.52	3.39	4.78

Çizelge 4.62. SCG eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda Solma noktasının tahmini için geliştirilen YSA modellerinin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (Nisan-2016)

Girdi	Ağ Yapısı	İterasyon sayısı	Eğitim			Test			Doğrulama		
			R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE
Kum, Kil (YSA13)	(2-3-1)	30	0.74	2.49	3.41	0.79	1.97	2.63	0.62	3.06	4.35
		50	0.69	2.77	3.73	0.74	2.19	2.86	0.61	3.24	4.38
		70	0.73	2.49	3.44	0.79	2.02	2.63	0.61	3.08	4.39
	(2-4-1)	30	0.73	2.56	3.45	0.77	2.04	2.68	0.62	3.15	4.34
		50	0.75	2.36	3.30	0.81	1.87	2.47	0.61	2.87	4.38
		70	0.74	2.48	3.39	0.80	1.91	2.50	0.64	2.95	4.19
	(2-5-1)	30	0.70	2.75	3.68	0.73	2.26	2.91	0.56	3.63	4.64
		50	0.75	2.40	3.35	0.78	2.03	2.62	0.63	2.91	4.24
		70	0.75	2.37	3.33	0.79	1.96	2.58	0.66	2.81	4.11
	(2-6-1)	30	0.74	2.48	3.39	0.78	2.02	2.63	0.60	2.99	4.47
		50	0.74	2.42	3.38	0.81	1.74	2.46	0.64	2.81	4.21
		70	0.76	2.34	3.26	0.82	1.83	2.42	0.61	2.90	4.38
	(2-3-5-1)	30	0.70	2.71	3.79	0.77	2.22	3.01	0.50	3.39	5.08
		50	0.73	2.54	3.48	0.77	2.04	2.73	0.60	2.96	4.47
		70	0.74	2.44	3.42	0.79	1.95	2.61	0.66	2.84	4.08
	(2-5-7-1)	30	0.73	2.58	3.48	0.80	1.84	2.52	0.64	3.02	4.21
		50	0.73	2.59	3.45	0.79	2.06	2.61	0.63	3.00	4.26
		70	0.74	2.46	3.37	0.79	2.03	2.58	0.58	3.18	4.54
Kum, Kil, Silt (YSA14)	(3-4-1)	30	0.76	2.14	3.00	0.77	2.52	3.26	0.64	2.61	3.58
		50	0.76	2.15	3.01	0.76	2.58	3.30	0.66	2.62	3.44
		70	0.77	2.05	2.91	0.76	2.57	3.31	0.66	2.56	3.38
	(3-5-1)	30	0.76	2.15	3.02	0.79	2.40	3.15	0.66	2.63	3.42
		50	0.77	2.05	2.92	0.77	2.56	3.29	0.66	2.55	3.41
		70	0.76	2.15	2.98	0.79	2.39	3.15	0.62	2.70	3.60
	(3-6-1)	30	0.75	2.21	3.04	0.77	2.57	3.26	0.65	2.57	3.44
		50	0.78	2.01	2.88	0.77	2.50	3.23	0.67	2.48	3.33
		70	0.77	2.03	2.91	0.76	2.52	3.30	0.66	2.55	3.40
	(3-7-1)	30	0.74	2.27	3.11	0.77	2.60	3.23	0.65	2.64	3.48
		50	0.77	2.10	2.95	0.76	2.60	3.33	0.64	2.67	3.61
		70	0.77	2.07	2.93	0.77	2.53	3.26	0.66	2.57	3.43
	(3-3-5-1)	30	0.63	2.82	3.70	0.73	2.85	3.75	0.55	3.08	3.89
		50	0.77	2.06	2.93	0.75	2.69	3.43	0.63	2.61	3.58
		70	0.77	2.06	2.91	0.78	2.44	3.20	0.65	2.62	3.45
	(3-5-7-1)	30	0.64	2.76	3.71	0.64	3.31	4.13	0.52	3.12	4.35
		50	0.77	2.10	2.95	0.77	2.45	3.26	0.65	2.61	3.46
		70	0.77	2.07	2.93	0.77	2.58	3.27	0.66	2.58	3.40
Kum, Kil, CaCO ₃ , KDK (YSA15)	(4-5-1)	30	0.70	2.85	3.65	0.68	2.44	3.15	0.61	3.48	4.40
		50	0.70	2.87	3.64	0.73	2.33	2.88	0.57	3.71	4.60
		70	0.73	2.65	3.47	0.80	2.01	2.62	0.61	3.19	4.44
	(4-6-1)	30	0.67	2.93	3.89	0.74	2.30	2.97	0.57	3.73	4.70
		50	0.76	2.51	3.27	0.79	1.98	2.59	0.61	3.02	4.44
		70	0.78	2.28	3.10	0.79	2.01	2.60	0.66	2.91	4.11
	(4-7-1)	30	0.76	2.48	3.27	0.73	2.27	2.91	0.62	3.46	4.32
		50	0.75	2.39	3.30	0.79	2.02	2.55	0.64	3.01	4.18
		70	0.76	2.47	3.26	0.79	2.02	2.57	0.66	2.87	4.11
	(4-8-1)	30	0.75	2.50	3.32	0.79	1.98	2.57	0.65	3.01	4.13
		50	0.77	2.43	3.22	0.80	1.93	2.51	0.65	3.10	4.14
		70	0.74	2.52	3.37	0.77	2.13	2.72	0.62	3.12	4.30
	(4-3-5-1)	30	0.72	2.72	3.54	0.75	2.16	2.82	0.59	3.32	4.50
		50	0.67	2.91	3.81	0.70	2.15	3.06	0.61	3.32	4.38
		70	0.76	2.48	3.30	0.80	1.86	2.48	0.65	3.02	4.18
	(4-5-7-1)	30	0.74	2.61	3.44	0.76	2.05	2.76	0.59	3.38	4.47
		50	0.78	2.30	3.16	0.80	2.00	2.58	0.64	2.98	4.22
		70	0.77	2.27	3.20	0.82	1.80	2.42	0.66	2.80	4.11

Çizelge 4.62 (devamı) SCG eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda Solma noktasının tahmini için geliştirilen YSA modellerinin eğitim ve test veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (Nisan-2016)

Girdi	Ağ Yapısı	İterasyon sayısı	Eğitim			Test		
			R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE
Kil, Organik madde (YSA16)	(2-3-1)	30	0.72	2.16	2.65	0.73	2.58	3.06
		50	0.81	1.75	2.19	0.72	2.29	3.13
		70	0.80	1.72	2.26	0.68	2.44	3.46
	(2-4-1)	30	0.77	1.90	2.42	0.73	2.23	3.03
		50	0.79	1.74	2.32	0.69	2.55	3.27
		70	0.80	1.74	2.23	0.70	2.36	3.15
	(2-5-1)	30	0.74	2.07	2.60	0.74	2.44	2.98
		50	0.72	2.08	2.69	0.63	2.90	3.53
		70	0.79	1.88	2.34	0.73	2.28	3.04
	(2-6-1)	30	0.64	2.42	3.02	0.62	2.92	3.68
		50	0.76	1.92	2.46	0.67	2.59	3.51
		70	0.80	1.84	2.27	0.70	2.63	3.30
	(2-3-5-1)	30	0.60	2.43	3.20	0.59	3.02	3.99
		50	0.68	2.20	2.88	0.61	2.75	3.69
		70	0.72	2.11	2.66	0.66	2.68	3.61
	(2-5-7-1)	30	0.75	1.95	2.52	0.62	2.99	3.64
		50	0.75	1.92	2.52	0.67	2.74	3.42
		70	0.82	1.70	2.12	0.67	2.64	3.41
Kum, Kil, Hacim ağırlığı (YSA17)	(3-4-1)	30	0.70	2.41	3.23	0.56	3.02	4.07
		50	0.73	2.35	3.11	0.53	3.19	4.30
		70	0.68	2.44	3.32	0.56	3.12	4.13
	(3-5-1)	30	0.72	2.32	3.16	0.65	2.84	3.72
		50	0.71	2.45	3.23	0.62	2.90	3.89
		70	0.71	2.35	3.21	0.59	3.01	3.97
	(3-6-1)	30	0.68	2.44	3.35	0.59	2.83	3.89
		50	0.68	2.47	3.32	0.64	2.90	3.84
		70	0.68	2.50	3.32	0.41	3.62	4.64
	(3-7-1)	30	0.69	2.34	3.26	0.63	2.91	3.76
		50	0.73	2.20	3.05	0.42	4.11	5.23
		70	0.69	2.42	3.29	0.48	3.45	4.53
	(3-3-5-1)	30	0.62	2.84	3.57	0.56	3.06	4.19
		50	0.78	1.99	2.71	0.70	2.17	3.26
		70	0.72	2.32	3.04	0.64	2.78	3.78
	(3-5-7-1)	30	0.60	2.83	3.65	0.61	2.94	3.85
		50	0.73	2.32	2.98	0.69	2.59	3.54
		70	0.73	2.33	3.00	0.59	2.73	3.87
Kum, Kil, Silt, Hacim ağırlığı (YSA18)	(4-5-1)	30	0.73	2.26	2.99	0.61	2.92	3.77
		50	0.74	2.18	2.91	0.73	1.98	3.14
		70	0.75	2.18	2.85	0.70	2.35	3.28
	(4-6-1)	30	0.65	2.68	3.40	0.65	2.76	3.61
		50	0.76	2.20	2.84	0.65	2.63	3.57
		70	0.78	2.08	2.73	0.66	2.42	3.64
	(4-7-1)	30	0.73	2.26	2.96	0.69	2.26	3.35
		50	0.73	2.19	2.98	0.70	2.33	3.35
		70	0.78	1.99	2.69	0.68	2.31	3.47
	(4-8-1)	30	0.66	2.72	3.55	0.63	3.27	4.13
		50	0.76	2.19	2.83	0.69	2.46	3.46
		70	0.79	1.97	2.63	0.72	2.13	3.18
	(4-3-5-1)	30	0.68	2.56	3.27	0.65	2.49	3.46
		50	0.74	2.23	2.92	0.69	2.37	3.37
		70	0.76	2.11	2.81	0.60	2.87	3.99
	(4-5-7-1)	30	0.71	2.54	3.13	0.65	2.72	3.58
		50	0.70	2.47	3.16	0.67	2.25	3.38
		70	0.78	2.03	2.71	0.73	2.27	3.24

Çizelge 4.63. BR eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda Solma noktasının tahmini için geliştirilen YSA modellerinin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (Nisan-2016)

Girdi	Ağ Yapısı	İterasyon sayısı	Eğitim			Test			Doğrulama		
			R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE
Kum, Kil (YSA13)	(2-3-1)	30	0.76	2.37	3.30	0.81	1.86	2.45	0.63	2.83	4.24
		50	0.76	2.36	3.29	0.82	1.86	2.45	0.64	2.82	4.22
		70	0.76	2.36	3.29	0.82	1.86	2.45	0.64	2.82	4.22
	(2-4-1)	30	0.75	2.39	3.32	0.81	1.89	2.50	0.64	2.86	4.22
		50	0.75	2.39	3.32	0.81	1.88	2.49	0.63	2.87	4.25
		70	0.76	2.36	3.29	0.82	1.86	2.44	0.64	2.82	4.22
	(2-5-1)	30	0.75	2.40	3.34	0.81	1.90	2.51	0.64	2.86	4.21
		50	0.76	2.36	3.29	0.82	1.86	2.45	0.64	2.82	4.22
		70	0.76	2.36	3.29	0.82	1.86	2.44	0.64	2.82	4.22
	(2-6-1)	30	0.75	2.39	3.33	0.81	1.89	2.49	0.63	2.87	4.24
		50	0.75	2.37	3.31	0.81	1.88	2.47	0.64	2.85	4.22
		70	0.76	2.36	3.29	0.82	1.86	2.45	0.64	2.82	4.22
	(2-3-5-1)	30	0.75	2.38	3.30	0.82	1.83	2.43	0.63	2.86	4.27
		50	0.76	2.35	3.29	0.82	1.83	2.43	0.64	2.80	4.23
		70	0.76	2.35	3.29	0.81	1.86	2.49	0.64	2.80	4.23
	(2-5-7-1)	30	0.75	2.38	3.31	0.81	1.86	2.49	0.63	2.86	4.27
		50	0.76	2.36	3.29	0.82	1.83	2.43	0.64	2.80	4.23
		70	0.76	2.35	3.29	0.82	1.83	2.43	0.64	2.80	4.23
Kum, Kil, Silt (YSA14)	(3-4-1)	30	0.78	2.02	2.88	0.78	2.48	3.20	0.67	2.52	3.37
		50	0.78	2.03	2.89	0.78	2.49	3.20	0.67	2.52	3.37
		70	0.78	2.03	2.88	0.78	2.48	3.20	0.67	2.52	3.37
	(3-5-1)	30	0.78	2.05	2.90	0.78	2.49	3.20	0.66	2.52	3.42
		50	0.78	2.02	2.88	0.78	2.47	3.20	0.67	2.52	3.37
		70	0.78	2.03	2.89	0.78	2.49	3.21	0.67	2.51	3.37
	(3-6-1)	30	0.78	2.03	2.89	0.78	2.49	3.20	0.67	2.52	3.37
		50	0.78	2.01	2.87	0.77	2.49	3.22	0.66	2.53	3.41
		70	0.78	2.03	2.88	0.78	2.48	3.20	0.67	2.52	3.37
	(3-7-1)	30	0.78	2.02	2.88	0.78	2.48	3.20	0.67	2.52	3.37
		50	0.78	2.03	2.88	0.78	2.48	3.20	0.67	2.52	3.37
		70	0.78	2.03	2.88	0.78	2.48	3.20	0.67	2.52	3.37
	(3-3-5-1)	30	0.78	2.01	2.88	0.78	2.46	3.20	0.67	2.53	3.37
		50	0.78	1.99	2.87	0.78	2.46	3.21	0.67	2.51	3.38
		70	0.78	2.00	2.87	0.77	2.50	3.24	0.66	2.52	3.40
	(3-5-7-1)	30	0.78	2.03	2.90	0.78	2.49	3.22	0.66	2.54	3.40
		50	0.78	2.03	2.89	0.77	2.50	3.23	0.66	2.53	3.40
		70	0.78	2.02	2.88	0.77	2.50	3.23	0.66	2.53	3.40
Kum, Kil, CaCO ₃ , KDK (YSA15)	(4-5-1)	30	0.79	2.29	3.08	0.82	1.88	2.39	0.66	2.87	4.11
		50	0.80	2.22	2.99	0.82	1.83	2.39	0.66	2.85	4.11
		70	0.81	2.15	2.89	0.83	1.84	2.40	0.65	2.87	4.15
	(4-6-1)	30	0.79	2.30	3.09	0.82	1.86	2.38	0.66	2.87	4.11
		50	0.81	2.18	2.93	0.82	1.84	2.41	0.65	2.87	4.12
		70	0.81	2.16	2.90	0.83	1.83	2.40	0.66	2.83	4.11
	(4-7-1)	30	0.79	2.29	3.07	0.82	1.88	2.39	0.66	2.87	4.11
		50	0.81	2.18	2.92	0.82	1.84	2.41	0.65	2.86	4.12
		70	0.81	2.17	2.90	0.83	1.84	2.41	0.66	2.84	4.12
	(4-8-1)	30	0.79	2.29	3.08	0.82	1.88	2.39	0.66	2.87	4.11
		50	0.81	2.16	2.90	0.83	1.84	2.39	0.65	2.87	4.15
		70	0.81	2.17	2.90	0.83	1.84	2.41	0.65	2.85	4.13
	(4-3-5-1)	30	0.79	2.31	3.08	0.82	1.88	2.40	0.66	2.87	4.11
		50	0.79	2.25	3.05	0.82	1.89	2.43	0.66	2.84	4.09
		70	0.79	2.23	3.03	0.82	1.88	2.45	0.66	2.90	4.11
	(4-5-7-1)	30	0.78	2.34	3.13	0.83	1.82	2.35	0.65	2.85	4.14
		50	0.79	2.27	3.06	0.82	1.89	2.42	0.66	2.85	4.09
		70	0.79	2.21	3.03	0.82	1.90	2.49	0.65	2.89	4.12

Çizelge 4.63 (devamı) BR eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda Solma noktasının tahmini için geliştirilen YSA modellerinin eğitim ve test veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (Nisan-2016)

Girdi	Ağ Yapısı	İterasyon sayısı	Eğitim			Test		
			R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE
Kil, Organik madde (YSA16)	(2-3-1)	30	0.81	1.72	2.21	0.71	2.31	3.17
		50	0.81	1.72	2.21	0.71	2.31	3.17
		70	0.81	1.72	2.21	0.71	2.31	3.17
	(2-4-1)	30	0.81	1.73	2.20	0.71	2.38	3.24
		50	0.81	1.72	2.21	0.71	2.31	3.17
		70	0.81	1.72	2.21	0.71	2.31	3.17
	(2-5-1)	30	0.81	1.72	2.21	0.71	2.31	3.17
		50	0.81	1.72	2.21	0.71	2.31	3.17
		70	0.81	1.72	2.21	0.71	2.31	3.17
	(2-6-1)	30	0.81	1.72	2.21	0.71	2.31	3.17
		50	0.81	1.72	2.21	0.71	2.31	3.17
		70	0.81	1.72	2.21	0.71	2.31	3.17
	(2-3-5-1)	30	0.81	1.72	2.19	0.71	2.37	3.20
		50	0.81	1.72	2.21	0.71	2.33	3.18
		70	0.81	1.72	2.19	0.71	2.37	3.20
	(2-5-7-1)	30	0.81	1.73	2.21	0.71	2.33	3.18
		50	0.81	1.72	2.21	0.71	2.33	3.18
		70	0.81	1.72	2.21	0.71	2.33	3.18
Kum, Kil, Hacim ağırlığı (YSA17)	(3-4-1)	30	0.75	2.20	2.88	0.67	2.57	3.47
		50	0.75	2.20	2.88	0.67	2.57	3.47
		70	0.75	2.20	2.88	0.67	2.57	3.48
	(3-5-1)	30	0.75	2.21	2.88	0.67	2.57	3.47
		50	0.75	2.20	2.88	0.67	2.57	3.47
		70	0.75	2.21	2.88	0.67	2.57	3.47
	(3-6-1)	30	0.75	2.20	2.88	0.67	2.57	3.47
		50	0.75	2.20	2.88	0.67	2.57	3.47
		70	0.75	2.20	2.88	0.67	2.57	3.47
	(3-7-1)	30	0.75	2.20	2.88	0.67	2.57	3.47
		50	0.75	2.20	2.88	0.67	2.57	3.47
		70	0.75	2.20	2.88	0.67	2.57	3.47
	(3-3-5-1)	30	0.75	2.20	2.87	0.68	2.51	3.44
		50	0.76	2.10	2.82	0.71	2.26	3.29
		70	0.75	2.20	2.87	0.68	2.52	3.45
	(3-5-7-1)	30	0.75	2.20	2.87	0.68	2.52	3.45
		50	0.75	2.20	2.87	0.68	2.52	3.44
		70	0.75	2.20	2.87	0.68	2.52	3.45
Kum, Kil, Silt, Hacim ağırlığı (YSA18)	(4-5-1)	30	0.75	2.19	2.86	0.67	2.57	3.49
		50	0.75	2.19	2.86	0.67	2.57	3.49
		70	0.75	2.19	2.86	0.67	2.57	3.49
	(4-6-1)	30	0.75	2.19	2.87	0.67	2.56	3.49
		50	0.75	2.19	2.86	0.67	2.57	3.48
		70	0.75	2.19	2.86	0.67	2.57	3.48
	(4-7-1)	30	0.75	2.19	2.86	0.67	2.57	3.48
		50	0.75	2.19	2.86	0.67	2.57	3.48
		70	0.75	2.19	2.86	0.67	2.57	3.49
	(4-8-1)	30	0.75	2.19	2.86	0.67	2.57	3.48
		50	0.75	2.19	2.86	0.67	2.57	3.48
		70	0.75	2.19	2.86	0.67	2.57	3.49
	(4-3-5-1)	30	0.75	2.19	2.85	0.68	2.53	3.46
		50	0.75	2.19	2.85	0.68	2.52	3.46
		70	0.75	2.19	2.85	0.68	2.53	3.46
	(4-5-7-1)	30	0.75	2.19	2.85	0.68	2.53	3.46
		50	0.75	2.19	2.86	0.68	2.52	3.46
		70	0.75	2.19	2.85	0.68	2.53	3.46

Levenberg-Marquardt (LM) eğitim algoritması incelendiğinde genel olarak oluşturulan modellerin eğitim ve test veri setlerinin istatistiksel performansları yakın değerler almıştır. Bu durum verinin eğitim ve test veri setlerinde uygun bir şekilde dağıldığını göstermektedir. Eğitim verilerin en düşük ve en yüksek R^2 değeri sırasıyla 0.75 ve 0.88 iken test verilerinin R^2 değerleri 0.68 ile 0.84 arasında değişim göstermiştir. Alternatif modellerden veri temini bakımından en basit olanı, kum ve kil'in girdi setinin oluşturduğu 2 girdili model olan YSA13 modelidir. Diğer modellerle karşılaştırıldığında 5 gizli katman 50 iterasyonda en iyi tahmin sonucunu veren model olarak belirlenmiştir. Bu modelin belirleme katsayısı eğitim aşamasında 0.77, test aşamasında ise 0.84 olarak belirlenmiştir. MAE ve RMSE değerleri ise eğitim ve test aşamalarında sırasıyla 2.25, 3.17 ve 1.78, 2.33 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.61).

Scaled Conjugate Gradient (SCG) eğitim algoritması kullanılarak oluşturulan modeller incelendiğinde de eğitim ve test veri setlerinin performansları birbirine yakın çıkmıştır. Girdi katmanında 4 değişken kullanılarak oluşturulan YSA15'in performans kriterleri, 2 girdi kullanılan YSA16'nın performans kriterlerinden daha yüksek bulunmuştur. En iyi performans sonuçları (4-5-7-1) ağ yapısında ve 70 iterasyonda elde edilmiştir. Bu modelin belirleme katsayısı eğitim aşamasında 0.77, test aşamasında ise 0.82 olarak belirlenmiştir. MAE ve RMSE değerleri ise eğitim ve test aşamalarında sırasıyla 2.27, 3.20 ve 1.80, 2.42 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.62).

Bayesian Regularization (BR) eğitim algoritması kullanılarak oluşturulan modeller incelendiğinde de eğitim ve test veri setlerinin performansları birbirine yakın çıkmıştır. En yüksek R^2 , en düşük MAE ve RMSE değerini (4-5-1) ağ yapısında ve 70 iterasyon sayısında elde eden model en iyi tahmini veren model olarak belirlenmiştir. Bu modelin belirleme katsayısı eğitim aşamasında 0.81, test aşamasında ise 0.83'dür. MAE ve RMSE değerleri ise eğitim ve test aşamalarında sırasıyla 2.15, 2.89 ve 1.84, 2.40 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.63).

Çalışmanın bu aşamasında çok katmanlı yapay sinir ağları ile solma noktasının tahmin edilmesinde kullanılmak üzere çalışma kapsamında her üç dönemde (2016 yılı sulama öncesi, sonrası ve 2017 yılı sulama öncesi) arazi ve laboratuvar çalışmaları sonucunda elde edilen veriler birleştirilerek 2 ve 4 girdili modeller oluşturulmuştur. Bu dönemde elde edilen verilerin %70'i eğitim, %30'u test veri seti olarak kullanılmıştır.

Bu amaçla oluşturulan YSA15 modelinde kum, kil, CaCO_3 ve KDK değişkenleri ve YSA16 modelinde ise kil ve organik madde özellikleri kullanılmıştır. Oluşturulan bu modeller kullanılarak araştırma alanı topraklarının solma noktası değerleri için elde edilen LM algoritması için R^2 , MAE ve RMSE değerleri Çizelge 4.64'de, SCG algoritması için Çizelge 4.65'de ve BR algoritması için ise Çizelge 4.66'da verilmiştir. LM algoritması için Çizelge 4.64 incelendiğinde en yüksek R^2 ve en düşük RMSE ve MAE değerlerini veren modelin 2 girdi değişkeni kullanılarak oluşturulan YSA16 modeli olduğu görülmektedir. Gizli katmandaki nöron sayısı 5 ve 30 iterasyonda elde edilmiştir. Eğitim ve test veri setlerinin R^2 değerleri sırasıyla 0.73 ve 0.76 olarak bulunmuştur. SCG algoritması için Çizelge 4.65 incelendiğinde en yüksek performans kriterini gösteren modelin 2 girdili ve 2 ara katman kullanılan model olduğu (2-5-7-1) ve 70 iterasyon sonucunda elde edildiği görülmektedir. Buna göre eğitim ve test verileri için R^2 değerleri sırasıyla 0.70 ve 0.77 olarak belirlenmiştir. Bayesian regularization algoritması için Çizelge 4.66 incelendiğinde ise kil ve organik maddenin girdi olarak kullanıldığı iki ara katmanlı model (2-5-7-1) en iyi sonuç veren model olarak tespit edilmiştir. En yüksek R^2 ve en düşük MAE ve RMSE değerlerine 50 iterasyonda ulaşılmıştır. Buna göre MAE ve RMSE değerleri eğitim ve test aşamalarında sırasıyla 2.14, 2.93 ve 2.07, 2.61 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.64. Levenberg-Marquardt (LM) eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda Solma noktasının tahmini için geliştirilen YSA modellerinin eğitim ve test veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (tüm veri seti)

Girdi	Ağ Yapısı	İterasyon sayısı	Eğitim			Test		
			R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE
Kum, Kil, CaCO ₃ , KDK (YSA15)	(4-5-1)	30	0.72	5.74	6.46	0.76	5.92	6.58
		50	0.72	5.76	6.48	0.75	5.96	6.63
		70	0.71	5.72	6.47	0.74	6.00	6.70
	(4-6-1)	30	0.71	5.76	6.48	0.76	6.00	6.66
		50	0.71	5.75	6.51	0.73	6.00	6.72
		70	0.72	5.77	6.48	0.73	5.97	6.66
	(4-7-1)	30	0.72	5.73	6.47	0.76	5.90	6.58
		50	0.72	5.73	6.46	0.75	5.89	6.58
		70	0.71	5.75	6.50	0.74	6.00	6.71
	(4-8-1)	30	0.72	5.73	6.45	0.75	5.90	6.60
		50	0.72	5.75	6.47	0.76	5.91	6.57
		70	0.72	5.76	6.47	0.76	5.96	6.61
	(4-3-5-1)	30	0.71	5.74	6.47	0.74	5.93	6.64
		50	0.70	5.75	6.49	0.75	5.89	6.55
		70	0.71	5.84	6.59	0.72	6.18	6.91
	(4-5-7-1)	30	0.72	5.73	6.44	0.77	5.86	6.51
		50	0.72	5.74	6.47	0.75	5.81	6.50
		70	0.71	5.75	6.50	0.76	5.97	6.62
Kil, Organik madde (YSA16)	(2-3-1)	30	0.71	2.12	2.89	0.79	2.05	2.62
		50	0.71	2.18	2.89	0.77	2.18	2.76
		70	0.71	2.10	2.87	0.79	2.15	2.64
	(2-4-1)	30	0.70	2.15	2.94	0.75	2.19	2.89
		50	0.71	2.10	2.88	0.80	2.09	2.62
		70	0.71	2.16	2.88	0.72	2.35	3.06
	(2-5-1)	30	0.73	1.98	2.76	0.76	2.27	2.78
		50	0.74	2.00	2.71	0.74	2.34	2.93
		70	0.73	2.11	2.77	0.79	2.17	2.62
	(2-6-1)	30	0.73	2.05	2.76	0.74	2.31	2.94
		50	0.75	2.02	2.66	0.77	2.24	2.75
		70	0.73	1.98	2.76	0.82	1.96	2.46
	(2-3-5-1)	30	0.72	2.11	2.83	0.81	2.00	2.48
		50	0.77	1.95	2.57	0.75	2.19	2.86
		70	0.73	1.99	2.77	0.81	1.96	2.47
	(2-5-7-1)	30	0.75	1.99	2.65	0.77	2.26	2.76
		50	0.82	1.73	2.26	0.55	2.62	4.08
		70	0.75	1.97	2.68	0.74	2.30	3.05

Çizelge 4.65. Scaled Conjugate Gradient (SCG) eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda Solma noktasının tahmini için geliştirilen YSA modellerinin eğitim ve test veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (tüm veri seti)

Girdi	Ağ Yapısı	İterasyon sayısı	Eğitim			Test		
			R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE
Kum, Kil, CaCO ₃ , KDK (YSA15)	(4-5-1)	30	0.66	5.84	6.69	0.74	5.79	6.46
		50	0.67	5.79	6.60	0.69	5.97	6.82
		70	0.71	5.85	6.57	0.77	5.98	6.62
	(4-6-1)	30	0.59	5.88	6.86	0.59	6.10	7.11
		50	0.66	5.71	6.57	0.73	5.68	6.47
		70	0.69	5.78	6.56	0.72	5.97	6.75
	(4-7-1)	30	0.60	5.92	6.92	0.68	5.96	6.82
		50	0.66	5.88	6.74	0.67	6.19	7.09
		70	0.70	5.81	6.56	0.74	5.92	6.65
	(4-8-1)	30	0.69	5.83	6.56	0.73	5.94	6.66
		50	0.71	5.76	6.48	0.76	5.86	6.54
		70	0.69	5.79	6.57	0.70	6.01	6.81
	(4-3-5-1)	30	0.39	6.25	7.49	0.42	6.20	7.51
		50	0.51	5.98	7.15	0.59	5.80	6.90
		70	0.71	5.83	6.57	0.78	5.68	6.37
	(4-5-7-1)	30	0.50	6.02	7.21	0.62	5.93	6.90
		50	0.72	5.77	6.46	0.77	5.86	6.49
		70	0.69	5.78	6.57	0.70	5.97	6.78
Kil, Organik madde (YSA16)	(2-3-1)	30	0.66	2.27	3.12	0.78	2.16	2.72
		50	0.66	2.36	3.10	0.76	2.27	2.85
		70	0.69	2.19	2.99	0.80	2.12	2.66
	(2-4-1)	30	0.67	2.32	3.08	0.80	2.10	2.66
		50	0.63	2.51	3.25	0.66	2.72	3.33
		70	0.65	2.35	3.16	0.72	2.40	3.03
	(2-5-1)	30	0.66	2.41	3.13	0.74	2.37	2.92
		50	0.66	2.24	3.12	0.77	2.24	2.77
		70	0.66	2.42	3.12	0.71	2.51	3.07
	(2-6-1)	30	0.64	2.29	3.21	0.78	2.12	2.73
		50	0.69	2.17	2.98	0.79	2.09	2.65
		70	0.67	2.22	3.06	0.78	2.17	2.76
	(2-3-5-1)	30	0.66	2.30	3.10	0.75	2.30	2.88
		50	0.60	2.49	3.38	0.70	2.53	3.17
		70	0.66	2.35	3.12	0.72	2.48	3.03
	(2-5-7-1)	30	0.69	2.20	2.98	0.79	2.07	2.62
		50	0.64	2.47	3.21	0.72	2.49	3.02
		70	0.70	2.07	2.92	0.77	2.14	2.73

Çizelge 4.66. Bayesian Regularization (BR) eğitim algoritması kullanılarak farklı ağ yapıları ve iterasyonlarda Solma noktasının tahmini için geliştirilen YSA modellerinin eğitim ve test veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (tüm veri seti)

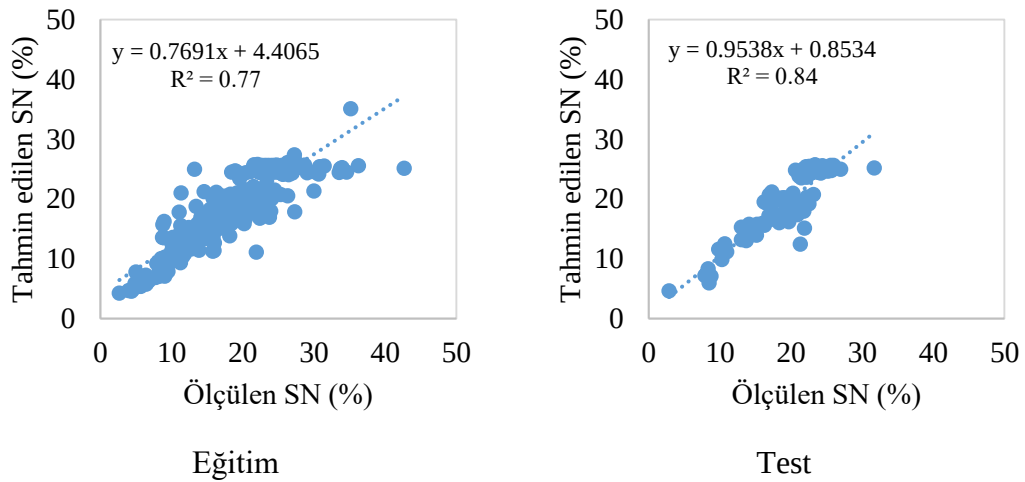
Girdi	Ağ Yapısı	İterasyon sayısı	Eğitim			Test		
			R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE
Kum, Kil, CaCO ₃ , KDK (YSA15)	(4-5-1)	30	0.71	5.73	6.47	0.74	5.93	6.63
		50	0.71	5.77	6.51	0.74	5.92	6.63
		70	0.72	5.75	6.48	0.75	5.93	6.62
	(4-6-1)	30	0.71	5.77	6.50	0.74	5.97	6.67
		50	0.71	5.77	6.51	0.74	5.92	6.64
		70	0.72	5.74	6.46	0.76	5.89	6.54
	(4-7-1)	30	0.71	5.84	6.57	0.74	6.03	6.72
		50	0.71	5.76	6.49	0.74	5.94	6.64
		70	0.72	5.71	6.44	0.75	5.86	6.56
	(4-8-1)	30	0.71	5.77	6.51	0.74	5.91	6.63
		50	0.71	5.78	6.51	0.74	5.93	6.64
		70	0.71	5.74	6.47	0.75	5.92	6.60
	(4-3-5-1)	30	0.70	5.78	6.53	0.74	5.92	6.64
		50	0.71	5.76	6.49	0.74	5.96	6.65
		70	0.71	5.73	6.48	0.73	5.95	6.69
	(4-5-7-1)	30	0.71	5.75	6.48	0.73	6.00	6.71
		50	0.71	5.77	6.51	0.74	5.93	6.63
		70	0.72	5.74	6.46	0.75	5.91	6.58
Kil, Organik madde (YSA16)	(2-3-1)	30	0.69	2.20	2.97	0.79	2.12	2.66
		50	0.70	2.16	2.93	0.79	2.11	2.62
		70	0.70	2.16	2.93	0.79	2.11	2.62
	(2-4-1)	30	0.69	2.20	2.96	0.79	2.11	2.66
		50	0.70	2.16	2.93	0.79	2.11	2.62
		70	0.70	2.16	2.93	0.79	2.11	2.62
	(2-5-1)	30	0.69	2.20	2.97	0.79	2.12	2.66
		50	0.70	2.16	2.93	0.79	2.11	2.62
		70	0.70	2.16	2.93	0.79	2.11	2.62
	(2-6-1)	30	0.69	2.20	2.98	0.79	2.12	2.66
		50	0.69	2.20	2.97	0.79	2.12	2.66
		70	0.70	2.16	2.93	0.79	2.11	2.62
	(2-3-5-1)	30	0.69	2.18	2.97	0.79	2.09	2.64
		50	0.70	2.14	2.92	0.79	2.10	2.62
		70	0.72	2.09	2.83	0.78	2.18	2.70
	(2-5-7-1)	30	0.69	2.19	2.98	0.79	2.09	2.64
		50	0.70	2.14	2.93	0.79	2.07	2.61
		70	0.71	2.13	2.91	0.78	2.14	2.68

Çalışma alanı topraklarının solma noktasının yapay sinir ağları ile tahmin edilmesi amacıyla geliştirilen modeller sonucunda farklı ağ yapıları ve farklı eğitim algoritmaları denenerek elde edilen en iyi sonuçlar Çizelge 4.67’de özetlenmiştir. Çizelge ye göre en yüksek R^2 değerini ve en düşük MAE ve RMSE değerini veren modelin 2016 yılı sulama öncesi dönemdeki veriler kullanılarak oluşturulan ve 4 girdi değişkeni olan YSA15 modeli olduğu belirlenmiş ve bu sonuca (4-5-1) ağ yapısında 70 iterasyon sayısında ulaşılmıştır.

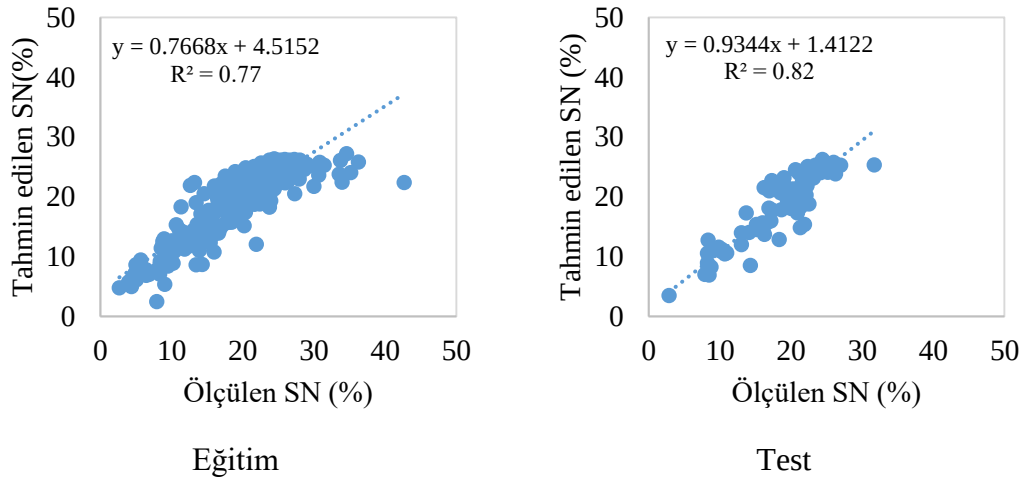
Çizelge 4.67. Solma noktasının tahmini için oluşturulan modellerin istatistiksel analiz sonuçları

SN	Eğitim algoritması	Girdi	Ağ Yapısı	İterasyon sayısı	Eğitim			Test		
					R^2	MAE	RMSE	R^2	MAE	RMS E
2016-Nisan	lm	YSA13	2-5-1	50	0.77	2.25	3.17	0.84	1.78	2.33
	scg	YSA15	4-5-7-1	70	0.77	2.27	3.20	0.82	1.80	2.42
	br	YSA15	4-5-1	70	0.81	2.15	2.89	0.83	1.84	2.40
Tüm veri seti	lm	YSA16	2-5-1	30	0.73	1.98	2.76	0.76	2.27	2.78
	scg	YSA16	2-5-7-1	70	0.70	2.07	2.92	0.77	2.14	2.73
	br	YSA16	2-5-7-1	50	0.70	2.14	2.93	0.79	2.07	2.61

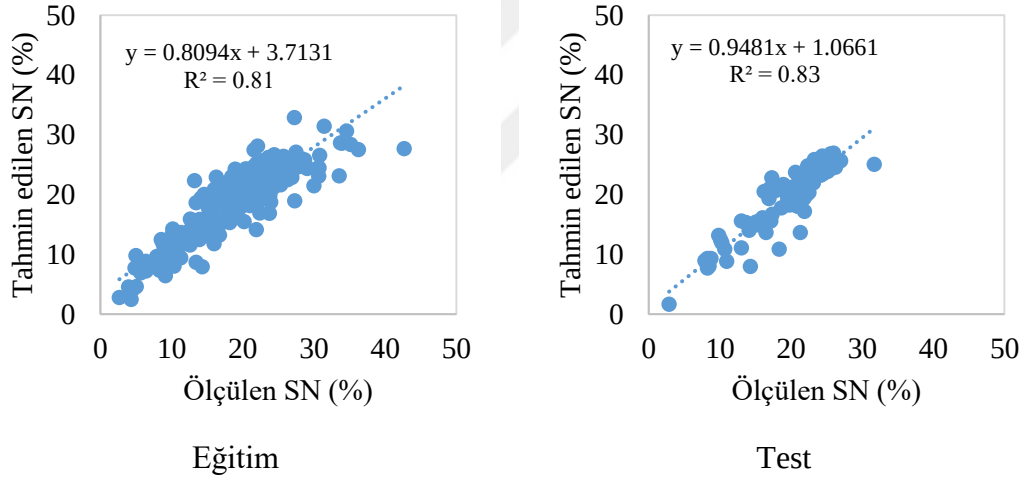
YSA ile tahmin edilen SN değerleri ile ölçülen SN değerlerinin karşılaştırması yapılmış ve LM, SCG ve BR algoritmaları için en uygun modellerin eğitim ve test verilerinin saçılım grafikleri sırasıyla Şekil 4.104, 4.105 ve 4.106’da verilmiştir.



Şekil 4.104. LM eğitim algoritması (2-5-1) ağ yapısında tahmin edilen SN (%) ile ölçülen SN (%) değerlerinin karşılaştırılması (YSA13-2016Nisan)



Şekil 4.105. SCG eğitim algoritması (4-5-7-1) ağ yapısında tahmin edilen SN (%) ile ölçülen SN (%) değerlerinin karşılaştırılması (YSA15-2016Nisan)



Şekil 4.106. BR eğitim algoritması (4-5-1) ağ yapısında tahmin edilen SN (%) ile ölçülen SN (%) değerlerinin karşılaştırılması (YSA15-2016Nisan)

Solma noktasının yapay sinir ağı ile tahmininde kullanılan ağırlık katsayıları ve bias değerleri Çizelge 4.68’de verilmiştir.

Çizelge 4.68. Girdi katmanı ile gizli katman ve gizli katman ile çıktı katmanı arasındaki ağırlık ve bias değerleri (YSA15 modeli (4-5-1) BR algoritması için)

	Gizli katman sinir sayısı		iw				Bias
	1	-0.95398	-2.02018	1.079982	0.035417		1.03476
Girdi-	2	-0.01162	-0.4796	-0.96213	1.283682		-0.40365
Gizli	3	-0.67958	-0.93969	0.347267	-0.20958		1.203057
Katman	4	0.155866	0.640013	-1.03499	0.982332		-0.44936
	5	0.024115	-0.03934	-0.23671	-0.03382		0.139947
			iw				Bias
Gizli- Çıktı	1	1.00931	-0.80404	-1.19253	1.401168	0.284228	0.592594
Katman							

Çalışma alanı topraklarının solma noktası, CaCO_3 , KDK, kum ve kil değişkenlerine bağlı olarak aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanabilir.

$$\begin{aligned}
 \text{SN} = & ((2/1 + e^{(-2 * (\text{CaCO}_3 * -0.95398 + \text{KDK} * -2.02018 + \text{Kum} * 1.079982 + \text{Kil} * 0.035417 + 1.00931))}) - \\
 & 1) * 1.03476) + ((2/1 + e^{(-2 * (\text{CaCO}_3 * -0.01162 + \text{KDK} * -0.4796 + \text{Kum} * -0.96213 + \text{Kil} * 1.283682 - 0.80404))}) - \\
 & 1) * -0.40365) + ((2/1 + e^{(-2 * (\text{CaCO}_3 * -0.67958 + \text{KDK} * -0.93969 + \text{Kum} * 0.347267 + \text{Kil} * -0.20958 - 1.19253))}) - \\
 & 1) * 1.203057) + ((2/1 + e^{(-2 * (\text{CaCO}_3 * 0.155866 + \text{KDK} * 0.640013 + \text{Kum} * -1.03499 + \text{Kil} * 0.982332 + 1.401168))}) - \\
 & 1) * -0.44936) + ((2/1 + e^{(-2 * (\text{CaCO}_3 * 0.024115 + \text{KDK} * -0.03934 + \text{Kum} * -0.23671 + \text{Kil} * -0.03382 + 0.284228))}) - \\
 & 1) * 0.139947) + 0.592594
 \end{aligned}$$

4.5.4. Bulanık yapay sinir ağıları (ANFIS) ile toprak özelliklerinin tahmin edilmesi

Çalışmanın bu aşamasında toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerinin tahmininde bulanık yapay sinir ağlarının (ANFIS) uygulanabilirliği araştırılmıştır. Yapay Sinir Ağları (ANN) ve Bulanık yapay sinir ağıları (ANFIS), daha kolay temin edilebilen verilerden toprak özelliklerinin tahmin edilmesi için bir alternatif sunmaktadır (Ghorbani vd, 2015). Burada toprakların kimyasal özelliklerinden ESP ve KDK, fiziksel özelliklerinden ise TK ve SN'nin tahmini için modeller oluşturulmuştur. Pedotransfer ve yapay sinir ağıları modellerinin oluşturulmasında kullanılan veri seti ve girdi değişkenleri burada da kullanılmıştır. ANFIS sisteminde her bir girdi değişkeni bulanık kurallar oluşturmak için 1. katmandaki çeşitli sınıf değerlerine kümelenebilir ve her bir bulanık kural katman 2'de iki veya daha fazla üyelik fonksiyonu kullanılarak oluşturulabilir (Seyedmohammadi vd, 2016). Çalışmada oluşturulan ANFIS modelleri, üyelik fonksiyonu açısından doğrusal ve sabit olarak ele alınmıştır. Hem doğrusal hem de sabit fonksiyon tipinde her bir girdinin üyelik fonksiyon sayısı ve şekli üçgen, yamuk ve gausiyan olarak seçilmiştir. Girdi verilerini sınıflandırmak ve kural oluşturmak için çeşitli yöntemler önerilmiştir. Bunlardan en yaygın olanları ızgaraya bölme (grid partition) ve çıkarıcı bulanık kümelerdir (subtractive fuzzy clustering). Bu çalışmada ızgaraya bölme yöntemi dikkate alınmıştır. Bulanık çıkarım sisteminin eğitimi için hibrid algoritma uygulanmıştır. Bulanık çıkarım sistemi eğitildikten sonra test ve doğrulama verileri ile modellerin doğruluğu test edilmiştir.

4.5.4.1. Toprakların kimyasal özelliklerinin ANFIS ile tahmin edilmesi

Çalışma kapsamında bulanık yapay sinir ağıları ile tahmin edilen toprağın kimyasal özellikleri, ESP ve KDK değişkenleridir. Burada da öncelikle 2016 yılı sulama öncesinde araziden elde edilen gerçek veriler kullanılarak modelleme yapılmıştır. Daha sonra ise üç dönem verileri birleştirilerek modeller oluşturulmuştur.

4.5.4.1.1. Değişebilir sodyum yüzdesinin ANFIS ile tahmini

Bulanık yapay sinir ağıları ile toprakların değişebilir sodyum yüzdesinin tahmin edilmesinde dört farklı model uygulanmıştır. ANFIS1'de toprakların elektriksel iletkenliği (EC) ve sodyum içeriği (Na), ANFIS2'de EC ve pH, ANFIS3'te örnekleme

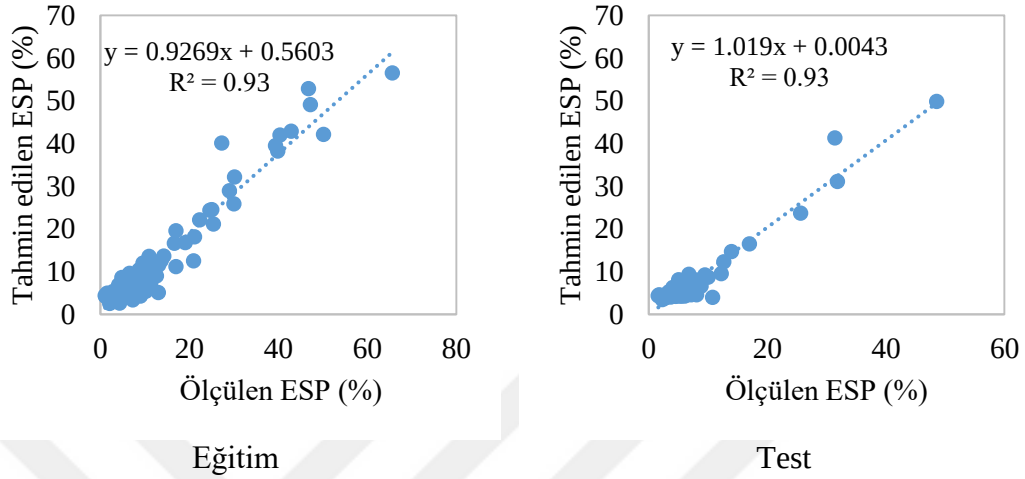
yapılan noktaların enlem derecesi, EC ve pH ve son oluşturulan modelde (ANFIS4) ise enlem ve boylam dereceleri ile EC ve Na içeriği kullanılmıştır. ANFIS1 ve ANFIS2 modellerinde iki tane girdi, ANFIS3’de üç ve ANFIS4’de ise dört tane girdi değişkeni kullanılmıştır. Çalışma kapsamında 2016 yılı Nisan dönemi verileri kullanılarak oluşturulan modellerin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin istatistiksel performansları Çizelge 4.69’da verilmiştir.

EC ve Na özelliklerinin girdi olarak kullanıldığı ANFIS1’in eğitim ve test veri setlerinde doğrusal model 3*3 üyelik fonksiyon sayısı ve gaussiyen üyelik fonksiyon tipinde en yüksek performans ($R^2=0.98$, RMSE=1.02; $R^2=0.90$, RMSE=2.36) göstermiştir. Doğrulama veri setinde ise en yüksek performans doğrusal modelde üçgen üyelik fonksiyon tipinde bulunmuştur ($R^2=0.79$, RMSE=1.10). Girdi olarak EC ve pH değişkenlerinin kullanıldığı ANFIS2’de eğitim ve doğrulama veri setlerinde doğrusal model 4*4 üyelik fonksiyon sayısı ve gaussiyen üyelik fonksiyon tipinde en yüksek performans elde edilmiştir. Test veri setinde ise yine doğrusal modelde 3*3 üyelik fonksiyon sayısında ve gaussiyen tipinde en yüksek R^2 (0.91) ve en düşük RMSE ve MAE bulunmuştur. ANFIS2’de kullanılan parametrelere enlem derecesinin eklenerek oluşturulduğu ANFIS3 modeli incelenecek olursa genel olarak eğitim, test ve doğrulama veri setleri ANFIS2’den daha yüksek performans göstermiştir. Eğitim veri seti doğrusal modelde 4*4*4 üyelik fonksiyon sayısında ve gaussiyen fonksiyon tipinde en yüksek performans gösterirken, test ve doğrulama veri setleri sabit modelde 3*3*3 üyelik fonksiyon sayısında sırasıyla üçgen ve yamuk fonksiyon tipinde en yüksek performansı göstermiştir. Modele ulaşılması kolay olan enlem derecesinin eklenmesi olumlu katkı sağlamıştır. ANFIS1’de kullanılan parametrelere enlem ve boylam derecelerinin eklenmesiyle oluşturulan 4 girdi değişkenli ANFIS4 modeli incelendiğinde, her üç veri setinde de 4*4*4*4 üyelik fonksiyon sayısında yamuk tipi yüksek performans göstermiştir. ANFIS4’ün performansı 2 girdili ANFIS1’in performansından daha düşük bulunmuştur. Genel olarak çalışma alanı topraklarının ESP değerlerinin tahmini için 2016 yılı Nisan dönemi verileri kullanılarak oluşturulan modeller incelendiğinde EC, pH ve enlem derecesinin kullanıldığı ANFIS3 modeli sabit modelde 3*3*3 üyelik fonksiyon sayısı üçgen üyelik fonksiyon tipinde en yüksek performans değerine sahip olmuştur (Çizelge 4.69).

Çizelge 4.69. Bulanık yapay sinir ağları (ANFIS) kullanılarak farklı üyelik fonksiyon ve sayıları ile ESP'nin tahmini için geliştirilen modellerin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (Nisan-2016)

Model	Üyelik fonk. sayısı	Üyelik fonk. tipi	Eğitim			Test			Doğrulama		
			R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE
ANFIS1	Doğrusal model										
	3*3	Üçgen	0.98	0.82	1.10	0.86	1.21	2.32	0.79	0.82	1.10
		Yamuk	0.98	0.80	1.08	0.84	1.50	3.35	0.78	0.83	1.10
		Gausiyan	0.98	0.77	1.02	0.90	1.16	2.36	0.78	0.83	1.10
	4*4	Üçgen	0.99	0.74	0.94	0.90	1.31	2.46	0.78	0.88	1.14
		Yamuk	0.98	0.76	1.04	0.76	1.58	3.83	0.80	0.83	1.07
		Gausiyan	0.99	0.72	0.92	0.80	1.41	3.45	0.80	0.82	1.06
	Sabit model										
	3*3	Üçgen	0.97	1.01	1.48	0.77	1.58	3.86	0.77	0.81	1.11
		Yamuk	0.96	1.04	1.54	0.88	1.16	2.21	0.73	0.85	1.21
		Gausiyan	0.97	0.95	1.33	0.88	1.14	2.39	0.78	0.85	1.15
	4*4	Üçgen	0.97	0.96	1.34	0.90	1.32	2.39	0.79	0.80	1.10
		Yamuk	0.96	1.09	1.58	0.83	1.51	3.51	0.74	0.90	1.20
		Gausiyan	0.98	0.89	1.19	0.90	1.27	2.48	0.79	0.83	1.11
ANFIS2	Doğrusal model										
	3*3	Üçgen	0.94	1.45	2.03	0.90	1.59	2.45	0.51	1.27	1.64
		Yamuk	0.95	1.36	1.84	0.92	1.59	2.55	0.51	1.33	1.78
		Gausiyan	0.95	1.37	1.83	0.91	1.39	2.21	0.53	1.27	1.65
	4*4	Üçgen	0.96	1.27	1.70	0.91	1.65	2.39	0.66	1.16	1.41
		Yamuk	0.96	1.24	1.69	0.82	2.11	3.43	0.66	1.07	1.29
		Gausiyan	0.96	1.21	1.68	0.91	1.63	2.45	0.66	1.05	1.29
	Sabit model										
	3*3	Üçgen	0.93	1.56	2.21	0.88	1.84	3.08	0.62	1.15	1.37
		Yamuk	0.91	1.71	2.45	0.88	1.75	2.89	0.44	1.56	1.98
		Gausiyan	0.93	1.53	2.18	0.83	1.99	3.59	0.55	1.18	1.47
	4*4	Üçgen	0.94	1.44	2.00	0.93	1.69	2.75	0.61	1.11	1.37
		Yamuk	0.94	1.43	1.96	0.91	1.74	2.95	0.59	1.08	1.37
		Gausiyan	0.94	1.42	2.00	0.93	1.62	2.67	0.62	1.09	1.33
ANFIS3	Doğrusal model										
	3*3*3	Üçgen	0.96	1.14	1.58	0.71	2.45	10.16	0.82	3.71	8.72
		Yamuk	0.96	1.15	1.56	0.85	1.25	1.84	0.92	3.00	6.83
		Gausiyan	0.97	1.03	1.42	0.77	1.19	2.19	0.79	2.09	3.77
	4*4*4	Üçgen	0.97	0.89	1.29	0.41	11.88	53.60	0.64	3.04	5.92
		Yamuk	0.97	0.96	1.43	0.82	1.38	2.58	0.81	3.32	6.27
		Gausiyan	0.98	0.82	1.22	0.68	3.28	15.28	0.76	4.67	11.16
	Sabit model										
	3*3*3	Üçgen	0.93	1.47	2.09	0.93	1.18	1.81	0.92	2.03	3.05
		Yamuk	0.91	1.59	2.29	0.91	1.37	2.01	0.93	1.66	2.61
		Gausiyan	0.93	1.45	2.08	0.91	1.27	2.20	0.92	2.00	3.35
	4*4*4	Üçgen	0.95	1.20	1.66	0.71	5.10	24.98	0.94	2.17	4.22
		Yamuk	0.92	1.48	2.24	0.91	1.37	2.05	0.93	1.83	2.71
		Gausiyan	0.96	1.16	1.61	0.65	3.44	16.79	0.92	2.21	3.50
ANFIS4	Doğrusal model										
	3*3*3*3	Üçgen	0.96	0.82	1.49	0.65	2.46	3.93	0.32	7.91	20.05
		Yamuk	0.97	0.92	1.44	0.71	2.72	4.32	0.84	2.27	3.37
		Gausiyan	0.98	0.68	1.14	0.62	7.34	28.81	0.06	4.73	13.79
	4*4*4*4	Üçgen	0.99	0.34	0.74	0.04	5.15	10.17	0.01	6.17	10.98
		Yamuk	0.99	0.31	0.65	0.04	5.64	10.55	0.15	6.81	14.46
		Gausiyan	0.99	0.30	0.67	0.10	6.58	12.23	0.47	8.68	20.96
	Sabit model										
	3*3*3*3	Üçgen	0.90	1.57	2.46	0.78	1.98	3.00	0.11	4.06	9.42
		Yamuk	0.78	1.98	3.59	0.65	2.49	5.18	0.77	2.61	4.10
		Gausiyan	0.90	1.57	2.46	0.28	1.98	3.46	0.28	3.11	6.57
	4*4*4*4	Üçgen	0.95	0.99	1.72	0.36	3.22	6.09	0.26	2.20	4.43
		Yamuk	0.86	1.55	2.88	0.79	1.88	2.55	0.80	2.81	4.47
		Gausiyan	0.95	0.99	1.66	0.16	0.31	8.06	0.75	6.40	24.46

En iyi istatistiksel performans elde edilen ANFIS3'ün hem eğitim hem de test veri setlerinde elde edilen tahmin değerlerinin gerçek değerlerle karşılaştırılması Şekil 4.107'de verilmiştir.



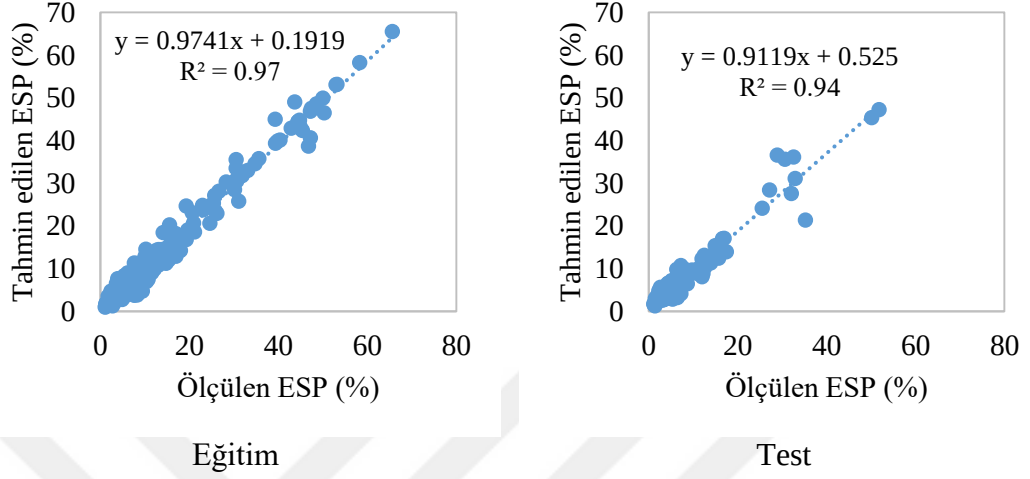
Şekil 4.107. Bulanık yapay sinir ağları ile ESP tahmininde en iyi performans kriterleri gösteren ANFIS3'ün karşılaştırılması (2016-Nisan)

Çalışma kapsamında üç dönem verileri kullanılarak oluşturulan modellerin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin istatistiksel performansları Çizelge 4.70'de verilmiştir. ANFIS1'in eğitim, test ve doğrulama veri setlerinde en iyi performans doğrusal modelde 3*3 üyelik fonksiyon sayısında ve üçgen üyelik tipinde elde edilmiştir. ANFIS2 için en iyi performans doğrusal modelde 3*3 üyelik fonksiyon sayısında ve üçgen tipi fonksiyonda belirlenmiştir. Üç girdinin kullanıldığı ANFIS3'de ise en yüksek performans yine doğrusal modelde 3*3*3 fonksiyon sayısında ve üçgen fonksiyon tipinde belirlenmiştir. X, Y koordinatları ve EC, Na değişkenleri ile kurulan ANFIS4'de ise en yüksek performans sabit modelde 4*4*4*4 üyelik sayısında ve üçgen üyelik fonksiyon tipinde bulunmuştur. Çalışma süresinde elde edilen 3 dönem verileri ile oluşturulan veri seti kullanıldığında ESP için en iyi tahmin modeli Çizelge 4.70'de görüldüğü gibi X, Y koordinatları, EC ve Na özelliklerinin girdi olarak kullanıldığı modelden elde edilmiştir (ANFIS4). En iyi istatistiksel performans üyelik fonksiyonu üçgen olan modelden elde edilmiştir. Üçgen üyelik fonksiyonlu modelde eğitim veri setinde belirleme katsayısı (R^2) 0.97, tahmin hatasının standart sapması (RMSE) 1.24 olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.70. Bulanık yapay sinir ağları (ANFIS) kullanılarak farklı üyelik fonksiyon ve sayıları ile ESP'nin tahmini için geliştirilen modellerin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (tüm veri seti)

Model	Üyelik fonk. sayısı	Üyelik fonk. tipi	Eğitim			Test			Doğrulama		
			R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE
ANFIS1	Doğrusal model										
	3*3	Üçgen	0.95	1.09	1.71	0.93	1.09	1.64	0.96	1.15	1.58
		Yamuk	0.95	1.10	1.70	0.94	1.08	1.53	0.95	1.18	1.68
		Gausiyan	0.95	1.07	1.67	0.94	1.08	1.57	0.85	1.43	4.09
	4*4	Üçgen	0.96	1.04	1.61	0.94	1.08	1.58	0.95	1.12	1.70
		Yamuk	0.96	1.07	1.65	0.93	1.16	1.85	0.96	1.15	1.60
		Gausiyan	0.96	1.03	1.56	0.93	1.09	1.70	0.95	1.14	1.62
	Sabit model										
	3*3	Üçgen	0.95	1.14	1.81	0.94	1.06	1.61	0.96	1.13	1.56
		Yamuk	0.88	1.86	2.74	0.88	1.64	2.28	0.84	2.24	3.08
		Gausiyan	0.94	1.29	1.98	0.93	1.17	1.71	0.94	1.38	1.91
	4*4	Üçgen	0.95	1.11	1.74	0.94	1.07	1.60	0.95	1.17	1.63
		Yamuk	0.90	1.68	2.48	0.88	1.58	2.29	0.90	1.84	2.35
		Gausiyan	0.94	1.19	1.86	0.93	1.10	1.71	0.95	1.19	1.71
ANFIS2	Doğrusal model										
	3*3	Üçgen	0.89	1.72	2.62	0.86	1.73	2.54	0.92	1.73	2.13
		Yamuk	0.88	1.80	2.69	0.85	1.80	2.61	0.82	2.05	2.89
		Gausiyan	0.89	1.69	2.57	0.85	1.75	2.62	0.88	1.78	2.32
	4*4	Üçgen	0.90	1.66	2.50	0.77	1.87	3.27	0.70	2.28	5.29
		Yamuk	0.90	1.67	2.50	0.80	1.90	3.26	0.89	1.87	2.49
		Gausiyan	0.90	1.65	2.46	0.77	1.93	3.44	0.84	2.01	2.98
	Sabit model										
	3*3	Üçgen	0.87	1.88	2.78	0.85	1.82	2.60	0.90	1.88	2.44
		Yamuk	0.87	1.86	2.77	0.84	1.84	2.62	0.90	1.89	2.42
		Gausiyan	0.88	1.79	2.70	0.85	1.76	2.57	0.90	1.91	2.42
	4*4	Üçgen	0.89	1.72	2.62	0.86	1.71	2.51	0.88	1.80	2.39
		Yamuk	0.89	1.74	2.63	0.85	1.72	2.57	0.87	1.95	2.71
		Gausiyan	0.89	1.68	2.57	0.85	1.72	2.57	0.84	2.06	3.81
ANFIS3	Doğrusal model										
	3*3*3	Üçgen	0.91	1.57	2.28	0.84	1.70	2.54	0.92	1.69	2.24
		Yamuk	0.91	1.61	2.35	0.78	1.79	3.04	0.78	2.20	3.78
		Gausiyan	0.92	1.52	2.20	0.83	1.75	2.81	0.89	1.90	2.67
	4*4*4	Üçgen	0.93	1.46	2.09	0.80	1.73	2.68	0.82	1.93	3.11
		Yamuk	0.93	1.46	2.08	0.74	1.99	3.58	0.79	2.08	3.43
		Gausiyan	0.94	1.34	1.92	0.75	1.81	3.05	0.80	2.11	3.33
	Sabit model										
	3*3*3	Üçgen	0.89	1.77	2.56	0.86	1.67	2.52	0.91	1.81	2.33
		Yamuk	0.88	1.78	2.64	0.82	1.77	2.77	0.89	1.88	2.48
		Gausiyan	0.90	1.68	2.46	0.86	1.65	2.55	0.91	1.78	2.28
	4*4*4	Üçgen	0.90	1.64	2.46	0.84	1.65	2.62	0.76	2.20	5.11
		Yamuk	0.90	1.69	2.48	0.84	1.70	2.60	0.87	1.98	2.73
		Gausiyan	0.91	1.60	2.35	0.84	1.82	3.42	0.84	2.25	4.49
ANFIS4	Doğrusal model										
	3*3*3*3	Üçgen	0.98	0.75	1.06	0.88	1.11	2.19	0.94	1.12	1.96
		Yamuk	0.98	0.79	1.10	0.78	1.54	3.59	0.93	1.13	2.03
		Gausiyan	0.98	0.70	0.98	0.67	1.44	4.10	0.92	1.13	2.09
	4*4*4*4	Üçgen	0.99	0.61	0.87	0.85	1.02	1.87	0.96	1.06	1.54
		Yamuk	0.99	0.60	0.86	0.90	1.20	2.31	0.84	2.28	3.19
		Gausiyan	0.99	0.55	0.75	0.75	1.42	3.81	0.94	1.23	1.79
	Sabit model										
	3*3*3*3	Üçgen	0.97	0.97	1.40	0.96	0.97	1.32	0.89	1.41	3.15
		Yamuk	0.90	1.76	2.50	0.87	1.70	2.31	0.92	1.26	2.49
		Gausiyan	0.97	1.00	1.42	0.96	0.98	1.35	0.83	1.38	3.23
	4*4*4*4	Üçgen	0.97	0.87	1.24	0.94	0.99	1.61	0.95	1.06	1.64
		Yamuk	0.92	1.48	2.13	0.91	1.43	1.96	0.89	1.85	2.50
		Gausiyan	0.98	0.86	1.21	0.86	1.08	2.27	0.95	1.14	1.80

Üç dönem verileri kullanılarak hazırlanan modeller sonucunda en iyi istatistiksel performans gösteren ANFIS4'ün hem eğitim hem de test veri setlerinde elde edilen tahmin değerlerine ait saçılım grafikleri Şekil 4.108'de verilmiştir.



Şekil 4.108. Bulanık yapay sinir ağları ile ESP tahmininde en iyi performans kriterleri gösteren ANFIS4'ün karşılaştırılması (Tüm veri)

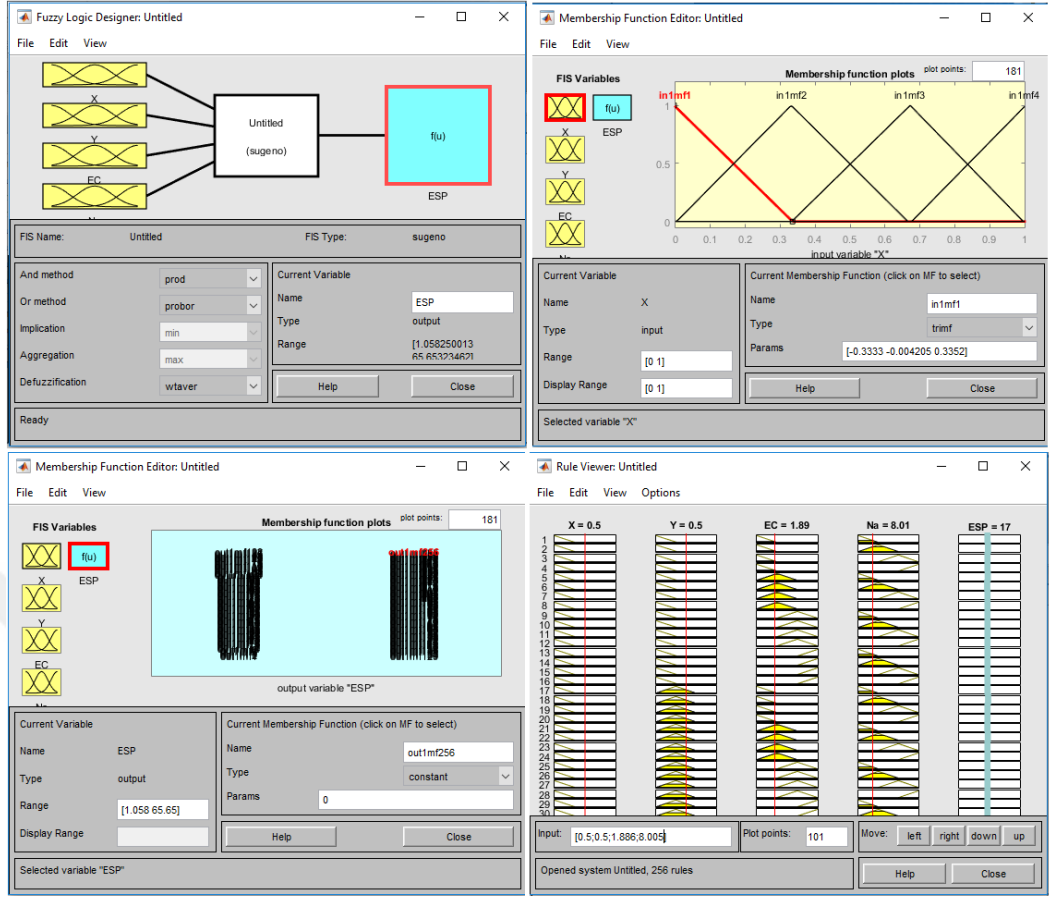
ANFIS4'ün üçgen üyelik fonksiyonları için oluşturulan Matlab ara yüz model oluşumu ve kuralları Şekil 4.109'de verilmiştir. Her bir girdi setinin üyelik fonksiyonu 4 olduğuna göre 256 tane kural oluşturulmuştur. ANFIS4 için Matlabda oluşturulan kurallar aşağıdaki gibidir.

Eğer $X=m1X$ VE $Y=m1Y$ VE $EC=m1EC$ VE $Na=m1Na$ İSE $ESP=m1ESP$
 Eğer $X=m2X$ VE $Y=m2Y$ VE $EC=m2EC$ VE $Na=m2Na$ İSE $ESP=m2ESP$

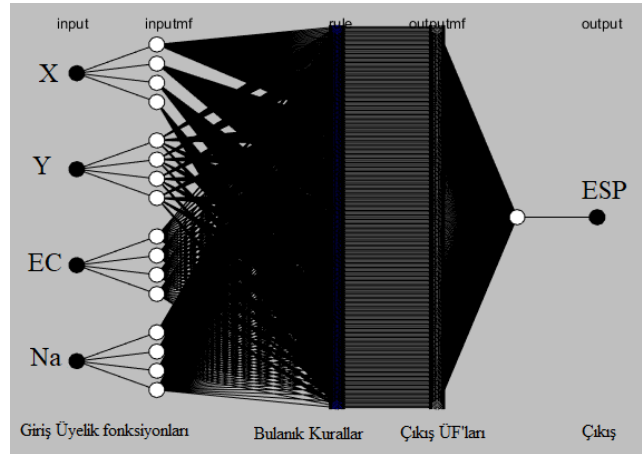
·
·
·

Eğer $X=m4X$ VE $Y=m4Y$ VE $EC=m4EC$ VE $Na=m4Na$ İSE $ESP=m256ESP$

Örnek olarak ANFIS4'ün matlab arayüz gösterimi Şekil 4.110'de verilmiştir.



Şekil 4.109. Bulanık yapay sinir ağları ile ESP'nin tahmininde ANFIS4 için kullanılan üyelik fonksiyonları ve kuralları



Şekil 4.110. ESP'nin bulanık yapay sinir ağları ile tahmini için oluşturulan model yapısı (ANFIS4)

4.5.4.1.2. Katyon değişim kapasitesinin ANFIS ile tahmini

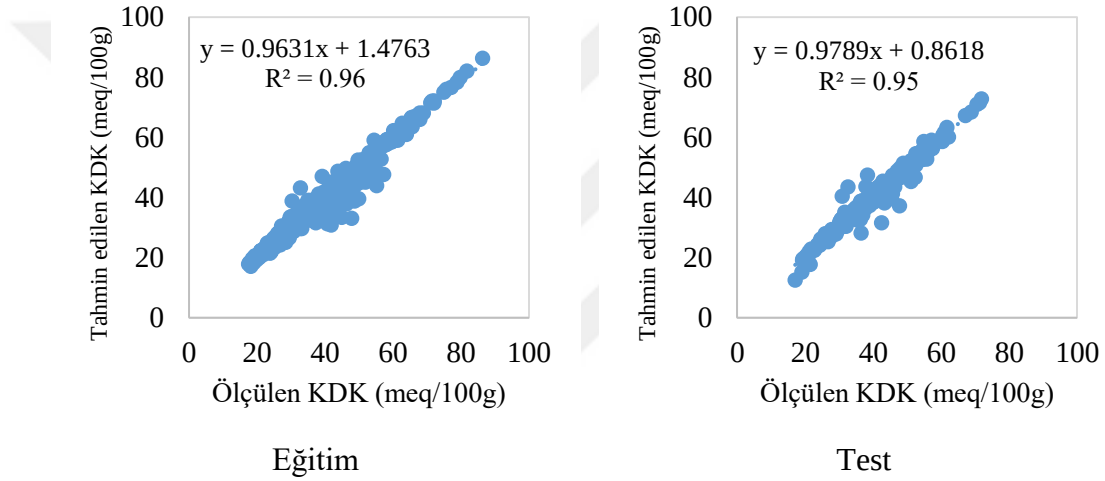
Çalışma alanı topraklarının katyon değişim kapasitesi bulanık yapay sinir ağları kullanılarak modellenmiştir. Bu amaçla girdi değişkenleri farklı olan 2 adet model kurulmuştur. Girdi veri seti olarak ise 3 dönem verileri birlikte kullanılmıştır. Kurulan 1. Modelde (ANFIS5) girdi olarak örnekleme noktalarının X ve Y koordinatları ile Ca+Mg özelliği, diğer kurulan model de ise (ANFIS6) X, Y koordinatları ile toprakların kil içerikleri kullanılmıştır. Bu kapsamda oluşturulan modellerin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin istatistiksel performansları Çizelge 4.71’de verilmiştir. ANFIS5’in eğitim, test ve doğrulama veri setlerinde doğrusal modelde 3*3*3 üyelik fonksiyonu sayısı ile gaussiyen üyelik fonksiyon tipinde en yüksek performans elde edilmiştir (Çizelge 4.71). Eğitim veri seti için $R^2=0.96$, RMSE=1.93, test veri seti için $R^2=0.95$ ve RMSE=2.13 ve doğrulama veri seti için $R^2=0.95$ ve RMSE=2.19 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.71. Bulanık yapay sinir ağları (ANFIS) kullanılarak farklı üyelik fonksiyon ve sayıları ile KDK’nın tahmini için geliştirilen modellerin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (tüm veri seti)

Model	Üyelik fonk. sayısı	Üyelik fonk. tipi	Eğitim			Test			Doğrulama		
			R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE
ANFIS5	Doğrusal model										
	3*3*3	Üçgen	0.96	1.26	2.11	0.96	1.28	2.01	0.94	1.55	2.57
		Yamuk	0.95	1.32	2.27	0.63	1.71	7.50	0.95	1.55	2.34
		Gausiyan	0.96	1.19	1.93	0.95	1.30	2.13	0.95	1.37	2.19
	4*4*4	Üçgen	0.94	1.42	2.55	0.95	1.30	2.25	0.94	1.46	2.45
		Yamuk	0.80	3.27	4.52	0.81	3.23	4.39	0.93	1.43	2.77
		Gausiyan	0.94	1.60	2.60	0.95	1.50	2.30	0.95	1.44	2.41
	Sabit model										
	3*3*3	Üçgen	0.97	1.06	1.81	0.95	1.30	2.15	0.93	1.55	2.62
		Yamuk	0.97	1.03	1.72	0.95	1.26	2.35	0.82	3.25	4.39
		Gausiyan	0.98	0.95	1.58	0.94	1.31	2.52	0.93	1.69	2.64
	4*4*4	Üçgen	0.95	1.31	2.36	0.95	1.31	2.22	0.93	1.56	2.66
		Yamuk	0.84	3.30	4.13	0.85	3.19	3.89	0.84	3.39	4.06
		Gausiyan	0.94	1.53	2.42	0.95	1.47	2.29	0.94	1.65	2.50
ANFIS6	Doğrusal model										
	3*3*3	Üçgen	0.64	4.56	6.17	0.57	5.01	6.57	0.59	4.85	6.57
		Yamuk	0.65	4.47	6.08	0.55	5.20	6.74	0.57	4.93	6.76
		Gausiyan	0.65	4.46	6.07	0.57	4.96	6.55	0.58	4.79	6.71
	4*4*4	Üçgen	0.70	4.12	5.62	0.58	4.92	6.51	0.54	5.15	7.02
		Yamuk	0.68	4.19	5.79	0.60	4.78	6.37	0.58	4.85	6.72
		Gausiyan	0.71	4.04	5.48	0.59	4.86	6.45	0.52	5.37	7.25
	Sabit model										
	3*3*3	Üçgen	0.56	4.94	6.79	0.55	4.96	6.67	0.64	4.47	6.14
		Yamuk	0.50	5.30	7.26	0.50	5.32	7.05	0.60	4.88	6.54
		Gausiyan	0.56	4.95	6.81	0.55	5.00	6.72	0.64	4.56	6.18
	4*4*4	Üçgen	0.63	4.56	6.25	0.56	4.90	6.62	0.61	4.76	6.44
		Yamuk	0.59	4.74	6.52	0.58	4.83	6.47	0.62	4.58	6.30
		Gausiyan	0.63	4.55	6.26	0.57	4.87	6.55	0.61	4.84	6.46

ANFIS6’da ise en yüksek performans doğrusal modelde 4*4*4 üyelik fonksiyon sayısı ve yamuk fonksiyon tipinde elde edilmiş ve eğitim veri seti için belirleme katsayısı 0.68, test veri seti için 0.60 ve doğrulama veri seti için ise 0.58 olarak bulunmuştur. Tahmin hatasının standart sapması (RMSE) ise eğitim, test ve doğrulama verileri için sırasıyla 5.79, 6.37 ve 6.72 meq/100 g olarak bulunmuştur. Bu değerler ANFIS5’in hata değerlerinden daha yüksek, belirleme katsayısı ise çok daha düşüktür.

Bu kapsamda en iyi istatistiksel performans elde edilen ANFIS5’in hem eğitim hem de test veri setlerinde elde edilen tahmin değerlerinin gerçek değerlerle karşılaştırılması Şekil 4.111’de verilmiştir.



Şekil 4.111. Bulanık yapay sinir ağları ile KDK tahmininde en iyi performans kriterleri gösteren ANFIS5’in karşılaştırılması (Tüm veri)

4.5.4.2. Toprakların fiziksel özelliklerinin ANFIS modeli ile tahmin edilmesi

Çalışma kapsamında bulanık yapay sinir ağları ile tahmin edilen toprakların fiziksel özellikleri, tarla kapasitesi ve solma noktasındaki nem içerikleridir. Burada da öncelikle 2016 yılı sulama öncesinde araziden elde edilen gerçek veriler kullanılarak modelleme yapılmış, daha sonra ise üç dönem verileri birleştirilerek modeller kurulmuştur.

4.5.4.2.1. Tarla kapasitesinin ANFIS ile tahmini

Çalışmada tarla kapasitesinin tahmini için farklı girdi parametreleri kullanılarak altı adet model oluşturulmuştur. Girdi olarak toprakların tekstür özellikleri, CaCO_3 , KDK, organik madde ve hacim ağırlığı özellikleri kullanılmıştır. Çizelge 4.72’de modellerde kullanılan girdi değişkenleri verilmiştir.

Çizelge 4.72. Tarla kapasitesinin modellenmesinde kullanılan girdi verileri

Model	Girdi değişkenleri						
	Kum	Kil	Silt	CaCO_3	KDK	Organik madde	Hacim ağırlığı
ANFIS7	+	+					
ANFIS8	+	+	+				
ANFIS9	+	+		+	+		
ANFIS10		+				+	
ANFIS11	+	+					+
ANFIS12	+	+	+				+

Çalışma kapsamında 2016 yılı Nisan dönemi verileri kullanılarak oluşturulan modellerin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin istatistiksel performansları Çizelge 4.73’de verilmiştir.

Çalışmanın bu aşamasında ANFIS7 hem eğitim, hem de test ve doğrulama verilerinde en yüksek performansı doğrusal modelde 3*3 üyelik fonksiyon sayısı ile gausiyan (R^2 :0.78; R^2 :0.77; R^2 :0.76) fonksiyon tipinde vermiştir. RMSE değerleri eğitim, test ve doğrulama veri setleri için sırasıyla 3.75, 3.35 ve 4.06 olmuştur. Tekstür özellikleri kullanılarak oluşturulan ANFIS8 için en yüksek performans yine doğrusal modelde 3*3*3 üyelik fonksiyon sayısında ve üçgen fonksiyon tipinde gerçekleşmiştir. Eğitim, test ve doğrulama veri setleri için doğrulama katsayısı sırasıyla 0.78, 0.72 ve 0.74 olarak belirlenmiştir. Eğitim ve doğrulama veri setlerinin RMSE değerleri ANFIS7’nin RMSE değerlerinden daha düşük, test veri setinde ise daha yüksek bulunmuştur. Dört girdi kullanılarak oluşturulan ANFIS9 için sabit modelde 3*3*3*3 üyelik fonksiyon sayısında ve gausiyan modelde en yüksek performans değeri elde edilmiştir. ANFIS9 için en uygun bulunan modelin belirleme katsayıları eğitim, test ve doğrulama veri setleri için sırasıyla 0.86, 0.68 ve 0.77 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.73).

Çizelge 4.73. Bulanık yapay sinir ağları (ANFIS) kullanılarak farklı üyelik fonksiyon ve sayıları ile TK'nın tahmini için geliştirilen modellerin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (Nisan-2016)

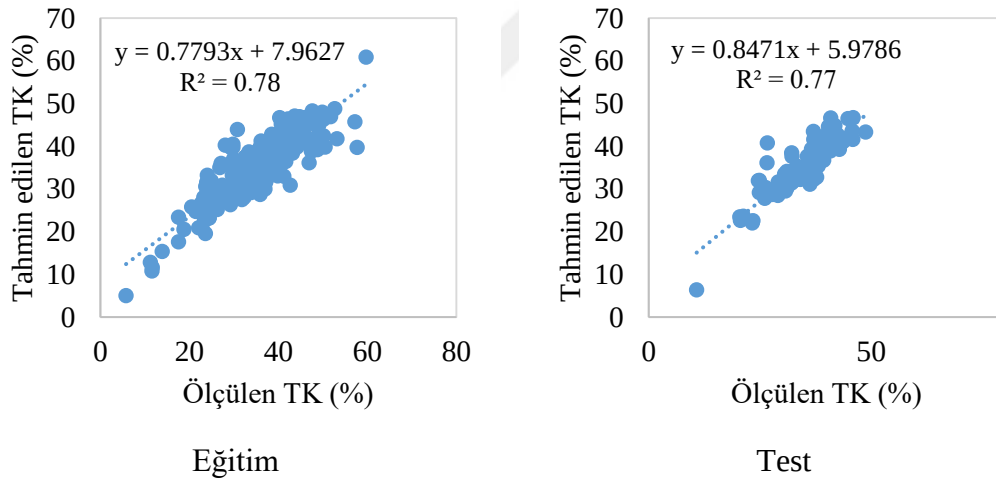
Model	Üyelik fonk. sayısı	Üyelik fonk. tipi	Eğitim			Test			Doğrulama		
			R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE
ANFIS7	Doğrusal model										
	3*3	Üçgen	0.78	2.59	3.75	0.77	2.57	3.40	0.65	3.05	4.15
		Yamuk	0.77	2.69	3.82	0.77	2.45	3.35	0.72	3.21	4.39
		Gausiyan	0.78	2.62	3.75	0.77	2.49	3.35	0.76	2.95	4.06
	4*4	Üçgen	0.78	2.59	3.71	0.77	2.53	3.38	0.64	3.12	4.23
		Yamuk	0.79	2.54	3.69	0.77	2.52	3.38	0.76	2.99	4.09
		Gausiyan	0.79	2.54	3.70	0.77	2.52	3.39	0.74	3.11	4.24
	Sabit model										
	3*3	Üçgen	0.76	2.76	3.91	0.75	2.60	3.48	0.76	2.98	4.05
		Yamuk	0.69	3.31	4.44	0.66	3.00	4.04	0.72	3.16	4.43
		Gausiyan	0.76	2.77	3.94	0.75	2.62	3.48	0.76	3.07	4.10
	4*4	Üçgen	0.76	2.72	3.88	0.76	2.58	3.45	0.72	3.28	4.36
Yamuk		0.73	3.07	4.14	0.73	2.71	3.65	0.69	3.42	4.60	
Gausiyan		0.77	2.71	3.86	0.76	2.50	3.40	0.73	3.14	4.29	
ANFIS8	Doğrusal model										
	3*3*3	Üçgen	0.78	2.55	3.69	0.72	2.62	3.53	0.74	2.76	3.56
		Yamuk	0.78	2.48	3.66	0.72	2.52	3.43	0.48	3.62	5.41
		Gausiyan	0.78	2.46	3.64	0.68	2.67	3.70	0.64	3.06	4.27
	4*4*4	Üçgen	0.80	2.29	3.45	0.65	2.76	3.82	0.60	2.97	4.46
		Yamuk	0.80	2.32	3.53	0.64	2.76	3.95	0.63	3.06	4.21
		Gausiyan	0.80	2.25	3.46	0.57	2.94	4.91	0.57	3.29	4.72
	Sabit model										
	3*3*3	Üçgen	0.77	2.61	3.76	0.74	2.52	3.35	0.68	2.93	4.02
		Yamuk	0.72	2.99	4.11	0.68	2.76	3.63	0.68	2.99	4.02
		Gausiyan	0.72	2.99	4.11	0.68	2.76	3.63	0.68	2.99	4.02
	4*4*4	Üçgen	0.78	2.52	3.65	0.75	2.42	3.33	0.63	3.10	4.35
Yamuk		0.75	2.78	3.87	0.70	2.67	3.60	0.61	3.26	4.49	
Gausiyan		0.78	2.54	3.68	0.70	2.67	3.65	0.61	3.27	4.49	
ANFIS9	Doğrusal model										
	3*3*3*3	Üçgen	0.91	1.51	2.33	0.53	3.51	5.13	0.55	3.71	4.89
		Yamuk	0.91	1.51	2.44	0.24	5.58	11.62	0.50	4.49	6.07
		Gausiyan	0.94	1.28	1.98	0.60	3.31	4.64	0.42	4.21	5.59
	4*4*4*4	Üçgen	0.95	0.98	1.85	0.36	5.47	8.41	0.42	6.28	8.16
		Yamuk	0.94	1.21	1.96	0.55	4.56	7.63	0.47	6.57	9.05
		Gausiyan	0.96	0.95	1.54	0.32	5.50	7.65	0.33	8.11	13.08
	Sabit model										
	3*3*3*3	Üçgen	0.86	2.15	3.02	0.57	2.81	4.90	0.75	3.10	4.16
		Yamuk	0.81	2.58	3.48	0.65	2.84	4.23	0.71	3.14	4.46
		Gausiyan	0.86	2.11	3.03	0.68	2.67	4.05	0.77	2.92	4.00
	4*4*4*4	Üçgen	0.88	1.86	2.75	0.34	3.96	6.63	0.40	4.56	5.97
Yamuk		0.85	2.14	3.13	0.49	4.33	9.57	0.58	4.54	6.42	
Gausiyan		0.91	1.59	2.40	0.18	4.69	8.73	0.48	4.09	5.56	

Çizelge 4.73. (devamı) Bulanık yapay sinir ağları (ANFIS) kullanılarak farklı üyelik fonksiyon ve sayıları ile TK'nın tahmini için geliştirilen modellerin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (Nisan-2016)

Model	Üyelik fonk. sayısı	Üyelik fonk. tipi	Eğitim			Test		
			R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE
ANFIS10	Doğrusal model							
	3*3	Üçgen	0.82	2.10	3.07	0.46	3.44	4.77
		Yamuk	0.80	2.04	3.18	0.30	4.49	6.91
		Gausiyan	0.85	1.95	2.82	0.57	3.45	4.66
	4*4	Üçgen	0.85	1.80	2.79	0.64	3.27	4.20
		Yamuk	0.87	1.75	2.56	0.56	3.83	5.42
		Gausiyan	0.90	1.55	2.25	0.62	3.19	4.07
	Sabit model							
	3*3	Üçgen	0.77	2.51	3.45	0.59	3.11	4.29
		Yamuk	0.71	2.81	3.91	0.65	2.93	3.70
		Gausiyan	0.76	2.60	3.54	0.59	3.13	4.23
	4*4	Üçgen	0.78	2.41	3.38	0.66	2.89	3.88
		Yamuk	0.76	2.58	3.54	0.66	2.64	3.73
		Gausiyan	0.79	2.32	3.33	0.73	2.69	3.43
ANFIS11	Doğrusal model							
	3*3*3	Üçgen	0.95	0.94	1.48	0.04	9.37	16.09
		Yamuk	0.94	0.94	1.68	0.30	9.71	14.40
		Gausiyan	0.98	0.59	0.91	0.01	15.17	24.56
	4*4*4	Üçgen	1.00	0.10	0.21	0.53	7.06	9.29
		Yamuk	0.96	0.59	1.06	0.42	7.06	9.34
		Gausiyan	1.00	0.03	0.05	0.45	6.39	8.58
	Sabit model							
	3*3*3	Üçgen	0.82	2.09	2.95	0.70	3.25	4.57
		Yamuk	0.82	2.09	2.92	0.60	3.71	5.32
		Gausiyan	0.85	1.87	2.69	0.63	3.56	5.42
	4*4*4	Üçgen	0.90	1.07	1.72	0.40	4.49	6.11
		Yamuk	0.86	1.42	2.11	0.52	3.31	5.10
		Gausiyan	0.94	0.92	1.34	0.27	5.22	6.96
ANFIS12	Doğrusal model							
	3*3*3*3	Üçgen	1.00	0.21	0.37	0.29	9.15	12.33
		Yamuk	0.99	0.39	0.80	0.32	10.20	13.55
		Gausiyan	1.00	0.08	0.15	0.12	9.56	14.03
	4*4*4*4	Üçgen	1.00	0.03	0.05	0.45	8.81	11.94
		Yamuk	1.00	0.10	0.29	0.35	10.78	14.25
		Gausiyan	1.00	0.03	0.06	0.35	18.92	28.62
	Sabit model							
	3*3*3*3	Üçgen	0.90	1.35	2.15	0.67	5.05	9.24
		Yamuk	0.84	1.81	2.73	0.40	5.70	9.26
		Gausiyan	0.93	1.11	1.78	0.40	6.50	12.42
	4*4*4*4	Üçgen	0.98	0.41	0.91	0.46	9.01	14.51
		Yamuk	0.89	1.29	2.28	0.43	6.15	12.37
		Gausiyan	0.99	0.32	0.55	0.01	18.24	30.40

Kil ve organik maddenin girdi olarak kullanıldığı ANFIS10’da hem eğitim hem de test veri setinde en yüksek performans sabit modelde 4*4 fonksiyon sayısı ile gaussiyen ($R^2:0.79$; $R^2:0.73$) fonksiyon tipi verirken, ANFIS11’de yine sabit modelde en yüksek performans, 3*3*3 fonksiyon sayısı ile eğitim veri setinde ($R^2:0.82$), test veri setinde ($R^2:0.70$) belirleme katsayıları elde edilmiş ve üçgen fonksiyon tipinde olduğu belirlenmiştir. ANFIS 12’de ise diğer modellere benzer şekilde en yüksek performans 3*3*3*3 fonksiyon sayısında ve üçgen fonksiyon tipinde elde edilmiştir (Çizelge 4.73).

Tarla kapasitesinin ANFIS ile modellenmesi amacıyla oluşturulan 6 model birlikte değerlendirildiğinde en düşük performansı ANFIS12 modeli vermiştir. Bu modelin belirleme katsayısı eğitim veri setinde 0.90 iken test veri setinde 0.67 olarak belirlenmiştir. Oluşturulan modeller içerisinde en yüksek performans ise ANFIS7 ile elde edilmiştir. Buna modele ilişkin eğitim ve test veri setlerine ait saçılım grafikleri Şekil 4.112’de verilmiştir.



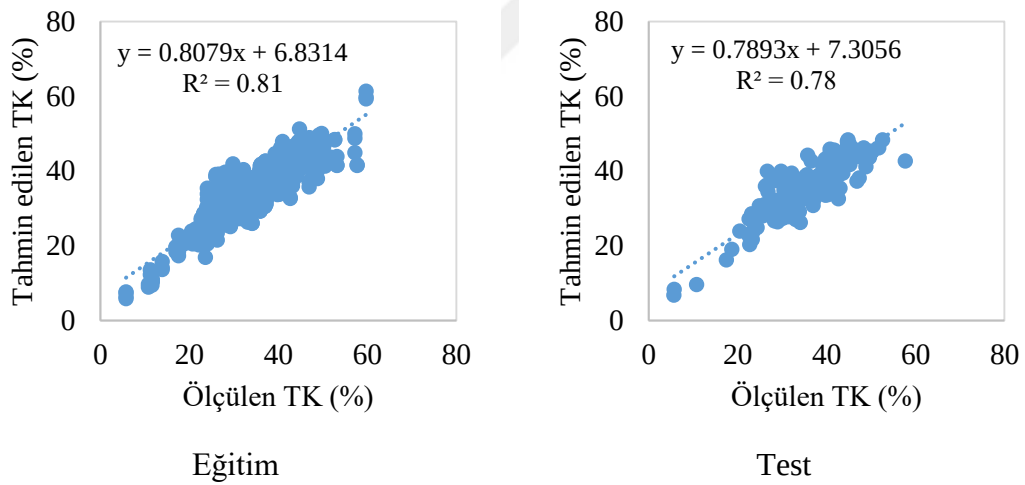
Şekil 4.112. Bulanık yapay sinir ağları ile TK (%) tahmininde en iyi performans kriterleri gösteren ANFIS7’nin karşılaştırılması (2016-Nisan)

Çalışma kapsamında TK’nın ANFIS ile tahmini için üç dönem verileri kullanılarak oluşturulan modellerin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin istatistiksel performansları Çizelge 4.74’de verilmiştir. Bu kapsamda 4 girdili ve 2 girdili iki farklı model oluşturulmuştur. ANFIS9’un eğitim, test ve veri setlerinde en iyi performans sabit modelde 3*3*3*3 fonksiyon sayısında ve üçgen fonksiyon tipinde elde edilmiştir. Bu modelin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin belirleme

katsayıları sırasıyla 0.81, 0.78 ve 0.88 olarak belirlenmiştir. Tahmin hatasının standart sapması (RMSE) değerleri ise sırasıyla 3.49, 3.46 ve 2.71 olarak bulunmuştur. 2016 yılı nisan dönemi verileri kullanılarak oluşturulan Model 9 ile kıyaslandığında veri sayısının artması modelin tahmin yeteneğini arttırmıştır.

Kil ve organik maddenin girdi olarak kullanıldığı ANFIS10 için eğitim ve test veri setleri için en yüksek performans doğrusal modelde 4*4 fonksiyon sayısında ve gausiyan fonksiyon tipinde elde edilmiştir. Oluşturulan bu modelin eğitim ve test veri setlerindeki R^2 değerleri sırasıyla 0.82 ve 0.73 olarak bulunmuştur. RMSE değerleri ise sırasıyla 2.95 ve 3.87 olarak belirlenmiştir. 2016 yılı verileri kullanılarak hazırlanan ANFIS10 ile karşılaştırıldığında eğitim verisinin performansı yükselmiş, test verisinin performansı ise nispeten aynı kalmıştır (Çizelge 4.74).

Bu aşamada tüm veri seti kullanılarak oluşturulan iki modelden en iyi sonucu veren modele ilişkin eğitim ve test verilerine ait saçılım grafikleri Şekil 4.113’de verilmiştir.



Şekil 4.113. Bulanık yapay sinir ağları ile TK (%) tahmininde en iyi performans kriterleri gösteren ANFIS9’un karşılaştırılması (tüm veri seti)

Çizelge 4.74. Bulanık yapay sinir ağları (ANFIS) kullanılarak farklı üyelik fonksiyon ve sayıları ile TK'nın tahmini için geliştirilen modellerin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (tüm veri seti)

Model	Üyelik fonk. sayısı	Üyelik fonk. tipi	Eğitim			Test			Doğrulama		
			R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE
ANFIS9	Doğrusal model										
	3*3*3*3	Üçgen	0.85	2.16	3.06	0.73	2.84	3.89	0.82	2.34	3.31
		Yamuk	0.85	2.07	3.05	0.63	3.06	4.79	0.72	2.76	4.53
		Gausiyan	0.86	2.03	2.94	0.68	3.06	4.35	0.76	2.68	3.94
	4*4*4*4	Üçgen	0.90	1.63	2.54	0.60	3.52	4.99	0.76	2.78	3.90
		Yamuk	0.88	1.82	2.78	0.24	3.99	10.73	0.59	3.24	5.30
		Gausiyan	0.88	1.81	2.77	0.28	3.96	9.73	0.56	3.31	5.59
	Sabit model										
	3*3*3*3	Üçgen	0.81	2.50	3.49	0.78	2.54	3.46	0.88	1.99	2.71
		Yamuk	0.79	2.67	3.68	0.73	2.84	3.82	0.85	2.24	2.99
		Gausiyan	0.82	2.45	3.42	0.78	2.59	3.45	0.87	2.09	2.86
	4*4*4*4	Üçgen	0.83	2.25	3.26	0.74	2.66	3.74	0.79	2.40	3.62
		Yamuk	0.81	2.48	3.50	0.75	2.74	3.68	0.61	2.93	5.98
		Gausiyan	0.84	2.21	3.17	0.76	2.64	3.59	0.81	2.34	3.41
ANFIS10	Doğrusal model										
	3*3	Üçgen	0.78	2.35	3.19	0.71	2.91	3.79			
		Yamuk	0.79	2.27	3.15	0.77	2.64	3.48			
		Gausiyan	0.79	2.33	3.14	0.73	2.95	3.73			
	4*4	Üçgen	0.80	2.24	3.07	0.75	2.90	3.83			
		Yamuk	0.81	2.16	2.98	0.63	2.97	4.43			
		Gausiyan	0.82	2.14	2.95	0.73	2.85	3.87			
	Sabit model										
	3*3	Üçgen	0.76	2.45	3.39	0.75	2.71	3.58			
		Yamuk	0.74	2.51	3.49	0.73	2.88	3.77			
		Gausiyan	0.77	2.41	3.29	0.74	2.74	3.67			
	4*4	Üçgen	0.76	2.41	3.33	0.76	2.73	3.55			
		Yamuk	0.73	2.56	3.57	0.72	2.84	3.85			
		Gausiyan	0.77	2.36	3.28	0.73	2.84	3.75			

4.5.4.2.2. Solma noktasının ANFIS ile tahmini

Çalışma kapsamında solma noktasının ANFIS ile tahmin edilmesi amacıyla farklı girdi parametrelerinin kullanıldığı altı adet model oluşturulmuştur. Modellerde girdi olarak kullanılan özellikler tarla kapasitesinin tahmini için kullanılan parametrelerdir. Bu amaçla modellerde kullanılan girdi değişkenleri Çizelge 4.75’de verilmiştir.

Çizelge 4.75. Solma noktasının modellenmesinde kullanılan girdi verileri

Model	Girdi değişkenleri						
	Kum	Kil	Silt	CaCO ₃	KDK	Organik madde	Hacim ağırlığı
ANFIS 13	+	+					
ANFIS 14	+	+	+				
ANFIS 15	+	+		+	+		
ANFIS 16		+				+	
ANFIS 17	+	+					+
ANFIS 18	+	+	+				+

Çalışmada öncelikle 2016 yılı Nisan dönemi verileri kullanılarak oluşturulan modellerin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin istatistiksel performansları Çizelge 4.76’da verilmiştir.

Bu amaçla oluşturulan modellerin belirleme katsayıları ANFIS18 haricinde birbirine yakın çıkmış ve eğitim veri setinde 0.77 ile 0.87 arasında, test veri setinde 0.77 ile 0.83 arasında ve doğrulama veri setinde ise 0.75 ile 0.82 arasında değişmiştir. Solma noktasının tahmininde kum, kil ve silt içeriğinin kullanıldığı ANFIS14 hem eğitim, hem de test ve doğrulama veri setinde en yüksek performansı doğrusal modelde 3*3*3 fonksiyon sayısı ile üçgen fonksiyon tipinde göstermiştir. Eğitim, test ve doğrulama veri setleri için belirleme katsayıları sırasıyla 0.79, 0.84 ve 0.82 olmuştur. RMSE değerleri ise 3.08, 2.32 ve 3.02 olarak belirlenmiştir. En kötü performansı ise 4 girdi değişkeninin kullanıldığı ANFIS18 göstermiştir. Eğitim ve test veri setine ait belirleme katsayısı sırası ile 0.92, 0.33 olarak belirlenmiştir. RMSE değerleri ise eğitim ve test veri seti için 1.60 ve 9.65 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.76).

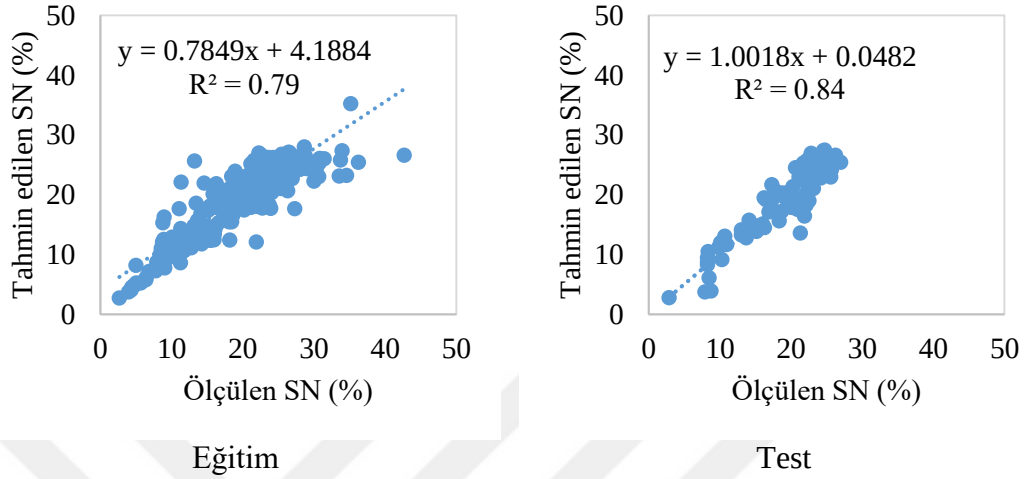
Çizelge 4.76. Bulanık yapay sinir ağları (ANFIS) kullanılarak farklı üyelik fonksiyon ve sayıları ile SN'nin tahmini için geliştirilen modellerin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (Nisan-2016)

Model	Üyelik fonk. sayısı	Üyelik fonk. tipi	Eğitim			Test			Doğrulama		
			R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE
ANFIS13	Doğrusal model										
	3*3	Üçgen	0.77	2.30	3.21	0.81	1.93	2.47	0.70	2.70	3.81
		Yamuk	0.77	2.24	3.18	0.83	1.81	2.38	0.73	2.48	3.65
		Gausiyan	0.77	2.23	3.18	0.83	1.83	2.39	0.74	2.58	3.59
	4*4	Üçgen	0.79	2.15	3.07	0.75	2.12	2.89	0.77	2.50	3.38
		Yamuk	0.77	2.23	3.18	0.82	1.85	2.38	0.75	2.57	3.52
		Gausiyan	0.78	2.19	3.10	0.83	1.78	2.34	0.60	2.80	4.46
	Sabit model										
	3*3	Üçgen	0.76	2.36	3.29	0.82	1.87	2.44	0.73	2.55	3.65
		Yamuk	0.76	2.37	3.29	0.82	1.84	2.44	0.73	2.56	3.63
		Gausiyan	0.76	2.35	3.29	0.81	1.87	2.48	0.72	2.55	3.72
	4*4	Üçgen	0.76	2.29	3.23	0.82	1.89	2.45	0.73	2.59	3.65
Yamuk		0.77	2.36	3.23	0.82	1.83	2.42	0.73	2.55	3.61	
Gausiyan		0.77	2.30	3.20	0.82	1.85	2.39	0.76	2.56	3.47	
ANFIS14	Doğrusal model										
	3*3*3	Üçgen	0.79	2.15	3.05	0.83	1.80	2.35	0.78	2.42	3.28
		Yamuk	0.79	2.11	3.08	0.83	1.92	2.37	0.60	2.93	4.41
		Gausiyan	0.79	2.14	3.08	0.83	1.85	2.36	0.69	2.72	3.86
	4*4*4	Üçgen	0.82	1.92	2.85	0.76	2.14	2.75	0.75	2.61	3.53
		Yamuk	0.79	2.05	3.02	0.79	1.98	2.53	0.77	2.41	3.28
		Gausiyan	0.80	2.04	2.97	0.81	1.99	2.52	0.76	2.59	3.35
	Sabit model										
	3*3*3	Üçgen	0.76	2.30	3.23	0.83	1.77	2.34	0.71	2.58	3.76
		Yamuk	0.75	2.31	3.32	0.82	1.89	2.42	0.72	2.48	3.68
		Gausiyan	0.77	2.25	3.19	0.82	1.85	2.42	0.79	2.38	3.15
	4*4*4	Üçgen	0.79	2.14	3.08	0.84	1.85	2.32	0.82	2.17	3.02
Yamuk		0.76	2.32	3.27	0.80	2.08	2.57	0.80	2.47	3.16	
Gausiyan		0.78	2.20	3.13	0.83	1.84	2.35	0.83	2.19	2.89	
ANFIS15	Doğrusal model										
	3*3*3*3	Üçgen	0.93	1.10	1.71	0.63	2.78	3.92	0.82	2.46	3.08
		Yamuk	0.93	1.16	1.78	0.36	3.42	5.77	0.65	3.02	4.23
		Gausiyan	0.95	0.99	1.50	0.29	4.10	7.94	0.28	5.75	8.47
	4*4*4*4	Üçgen	0.96	0.77	1.35	0.36	5.09	8.46	0.29	5.38	7.86
		Yamuk	0.95	0.91	1.49	0.08	5.55	13.78	0.14	6.68	10.26
		Gausiyan	0.97	0.70	1.11	0.30	5.29	9.37	0.26	9.00	16.23
	Sabit model										
	3*3*3*3	Üçgen	0.87	1.79	2.42	0.78	2.02	2.64	0.81	2.44	3.20
		Yamuk	0.80	2.06	2.97	0.71	1.95	3.19	0.84	2.15	2.93
		Gausiyan	0.87	1.75	2.37	0.72	2.00	3.01	0.77	2.53	3.39
	4*4*4*4	Üçgen	0.91	1.34	1.98	0.52	3.32	5.15	0.65	3.23	4.06
Yamuk		0.87	1.74	2.40	0.76	2.00	2.62	0.73	2.90	3.67	
Gausiyan		0.93	1.19	1.72	0.77	2.39	3.23	0.73	3.20	4.01	

Çizelge 4.76. (devamı) Bulanık yapay sinir ağları (ANFIS) kullanılarak farklı üyelik fonksiyon ve sayıları ile SN'nin tahmini için geliştirilen modellerin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (Nisan-2016)

Model	Üyelik fonk. sayısı	Üyelik fonk. tipi	Eğitim			Test		
			R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE
ANFIS16	Doğrusal model							
	3*3	Üçgen	0.84	1.49	2.00	0.77	1.92	2.58
		Yamuk	0.89	1.24	1.70	0.72	2.52	3.06
		Gausiyan	0.86	1.46	1.90	0.45	3.51	6.11
	4*4	Üçgen	0.90	1.17	1.56	0.67	2.83	3.46
		Yamuk	0.90	1.12	1.59	0.73	2.22	3.04
		Gausiyan	0.93	0.98	1.34	0.37	3.77	4.98
	Sabit model							
	3*3	Üçgen	0.83	1.63	2.10	0.82	2.10	2.59
		Yamuk	0.82	1.63	2.12	0.77	2.47	2.95
		Gausiyan	0.83	1.64	2.08	0.79	2.34	2.78
	4*4	Üçgen	0.84	1.57	2.03	0.71	2.55	3.19
Yamuk		0.84	1.53	2.00	0.74	2.45	3.26	
Gausiyan		0.85	1.56	1.94	0.76	2.47	3.01	
ANFIS17	Doğrusal model							
	3*3*3	Üçgen	0.96	0.73	1.14	0.12	6.63	8.81
		Yamuk	0.92	1.03	1.62	0.19	5.59	9.43
		Gausiyan	0.96	0.70	1.12	0.01	22.96	53.51
	4*4*4	Üçgen	1.00	0.20	0.38	0.24	13.77	27.40
		Yamuk	0.96	0.73	1.17	0.35	5.54	7.71
		Gausiyan	1.00	0.05	0.12	0.04	15.71	25.12
	Sabit model							
	3*3*3	Üçgen	0.82	1.73	2.36	0.71	2.62	3.55
		Yamuk	0.68	2.31	3.24	0.76	2.23	3.02
		Gausiyan	0.84	1.57	2.24	0.77	1.97	2.74
	4*4*4	Üçgen	0.89	1.24	1.86	0.57	3.65	4.81
Yamuk		0.84	1.56	2.28	0.60	3.37	5.03	
Gausiyan		0.93	0.96	1.50	0.36	6.55	11.33	
ANFIS18	Doğrusal model							
	3*3*3*3	Üçgen	0.98	0.46	0.77	0.01	11.96	17.57
		Yamuk	0.99	0.37	0.68	0.02	14.35	25.55
		Gausiyan	1.00	0.18	0.32	0.01	29.90	58.99
	4*4*4*4	Üçgen	1.00	0.01	0.01	0.14	6.96	9.30
		Yamuk	0.99	0.20	0.47	0.00	23.04	42.97
		Gausiyan	1.00	0.03	0.07	0.00	10.54	17.77
	Sabit model							
	3*3*3*3	Üçgen	0.93	0.92	1.48	0.21	5.25	7.62
		Yamuk	0.83	1.47	2.39	0.38	4.19	5.59
		Gausiyan	0.93	0.96	1.46	0.14	5.07	7.00
	4*4*4*4	Üçgen	0.99	0.27	0.57	0.00	16.16	24.96
Yamuk		0.92	0.94	1.60	0.33	5.30	9.65	
Gausiyan		0.99	0.20	0.48	0.00	18.38	29.35	

2016 yılı Nisan dönemi verileri kullanılarak oluşturulan modeller içerisinde en yüksek performansa sahip modele (Model14) ilişkin eğitim ve test veri setlerine ait saçılım grafikleri Şekil 4.114’de verilmiştir.



Şekil 4.114. Bulanık yapay sinir ağları ile SN (%) tahmininde en iyi performans kriterleri gösteren Model14’ün karşılaştırılması (2016-Nisan)

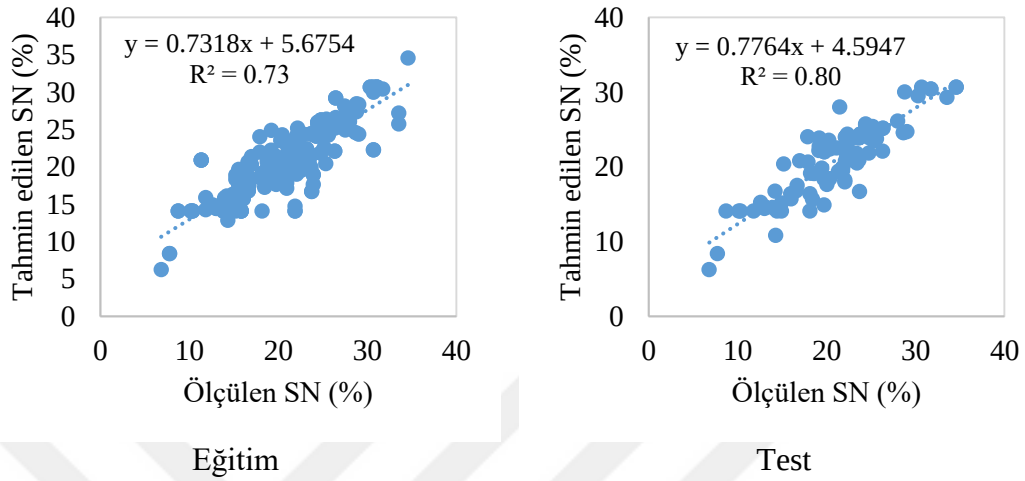
Çalışma kapsamında solma noktasının ANFIS ile tahmini için üç dönem verileri kullanılarak oluşturulan modellerin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin istatistiksel performansları Çizelge 4.77’de verilmiştir. Bu kapsamda 4 girdili ve 2 girdili iki farklı model oluşturulmuştur. ANFIS15’in eğitim, test ve veri setlerinde en iyi performans sabit modelde 3*3*3 fonksiyon sayısında ve gausiyan fonksiyon tipinde elde edilmiştir. Bu modelin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin belirleme katsayıları sırasıyla 0.81, 0.76 ve 0.87 olarak belirlenmiştir. Tahmin hatasının standart sapması (RMSE) değerleri ise sırasıyla 2.82, 3.11 ve 2.48 olarak bulunmuştur. 2016 yılı nisan dönemi verileri kullanılarak oluşturulan ANFIS15 ile kıyaslandığında daha düşük tahmin yeteneği geliştirmiştir.

Son olarak oluşturulan model (ANFIS16) incelendiğinde en yüksek performansı sabit modelde 4*4 üyelik fonksiyon sayısında ve yamuk fonksiyon tipinde göstermiştir. Bu modelin eğitim ve test veri setlerindeki R^2 değerleri sırasıyla 0.73 ve 0.80 olarak bulunmuştur. RMSE değerleri ise sırasıyla 2.77 ve 2.58 olarak belirlenmiştir. 2016 yılı verileri kullanılarak oluşturulan Model 16 ile karşılaştırıldığında daha düşük hata değerleri elde edilmiştir.

Çizelge 4.77. Bulanık yapay sinir ağları (ANFIS) kullanılarak farklı üyelik fonksiyon ve sayıları ile SN'nin tahmini için geliştirilen modellerin eğitim, test ve doğrulama veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması (tüm veri seti)

		Eğitim			Test			Doğrulama			
		R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE	
ANFIS15	Doğrusal model										
	3*3*3*3	Üçgen	0.87	1.68	2.34	0.71	2.45	3.47	0.84	1.98	2.67
		Yamuk	0.86	1.72	2.48	0.65	2.53	3.84	0.65	2.25	4.38
		Gausiyan	0.87	1.67	2.38	0.69	2.53	3.68	0.85	1.90	2.64
	4*4*4*4	Üçgen	0.90	1.36	2.05	0.34	3.26	7.49	0.75	2.18	3.46
		Yamuk	0.88	1.52	2.26	0.06	5.16	20.46	0.54	3.04	5.65
		Gausiyan	0.90	1.34	2.02	0.35	3.87	8.12	0.61	2.75	4.67
	Sabit model										
	3*3*3*3	Üçgen	0.80	2.07	2.89	0.73	2.35	3.30	0.87	1.83	2.49
		Yamuk	0.78	2.14	3.06	0.72	2.36	3.37	0.83	1.90	2.81
		Gausiyan	0.81	2.00	2.82	0.76	2.19	3.11	0.87	1.81	2.48
	4*4*4*4	Üçgen	0.84	1.84	2.65	0.73	2.31	3.34	0.83	1.99	2.80
		Yamuk	0.80	2.07	2.89	0.67	2.59	3.64	0.80	2.25	3.01
		Gausiyan	0.84	1.83	2.61	0.73	2.28	3.35	0.85	1.93	2.58
ANFIS16	Doğrusal model										
	3*3	Üçgen	0.73	2.02	2.78	0.71	2.30	2.99			
		Yamuk	0.72	2.03	2.85	0.78	2.08	2.60			
		Gausiyan	0.74	1.98	2.70	0.74	2.34	2.82			
	4*4	Üçgen	0.79	1.86	2.48	0.72	2.27	2.95			
		Yamuk	0.77	1.84	2.57	0.74	2.25	2.94			
		Gausiyan	0.80	1.77	2.39	0.51	2.92	4.71			
	Sabit model										
	3*3	Üçgen	0.70	2.17	2.95	0.78	2.12	2.69			
		Yamuk	0.67	2.33	3.08	0.78	2.21	2.77			
		Gausiyan	0.71	2.14	2.90	0.79	2.09	2.64			
	4*4	Üçgen	0.71	2.08	2.86	0.80	2.07	2.56			
		Yamuk	0.73	1.98	2.77	0.80	2.05	2.58			
		Gausiyan	0.72	2.02	2.81	0.79	2.10	2.64			

Bu aşamada tüm veri seti kullanılarak oluşturulan iki modelden en iyi sonucu veren modele (ANFIS16) ilişkin eğitim ve test verilerine ait saçılım grafikleri Şekil 4.115’de verilmiştir.



Şekil 4.115. Bulanık yapay sinir ağları ile SN (%) tahmininde en iyi performans kriterleri gösteren ANFIS16’nın karşılaştırılması (tüm veri seti)

4.5.5. Toprak özelliklerinin tahmini için oluşturulan Pedotransfer, Yapay sinir ağları ve Bulanık yapay sinir ağları modellerinin genel karşılaştırması

Çalışmada toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerinin tahmin edilmesi amacıyla 2016-Nisan dönemi verileri için ayrı ve 2016-Nisan, 2016-Eylül ve 2017-Nisan dönemi verilerinin birlikte kullanıldığı tüm veri setleri için ayrı modeller oluşturulmuş, 3 farklı yöntemle göre 18 farklı model incelenmiş ve her bir yöntemle ait en iyi performansı gösteren modeller özetlenmiştir.

Öncelikle toprakların bazı kimyasal özelliklerinin tahmini için oluşturulan modeller incelenmiştir. Çalışma alanı topraklarının 2 farklı (ESP ve KDK) kimyasal özelliğinin tahmin edilmesi amacıyla geliştirilen tüm modellerin genel karşılaştırılması için performans ölçümlerinin sonuçları Çizelge 4.78’de verilmiştir.

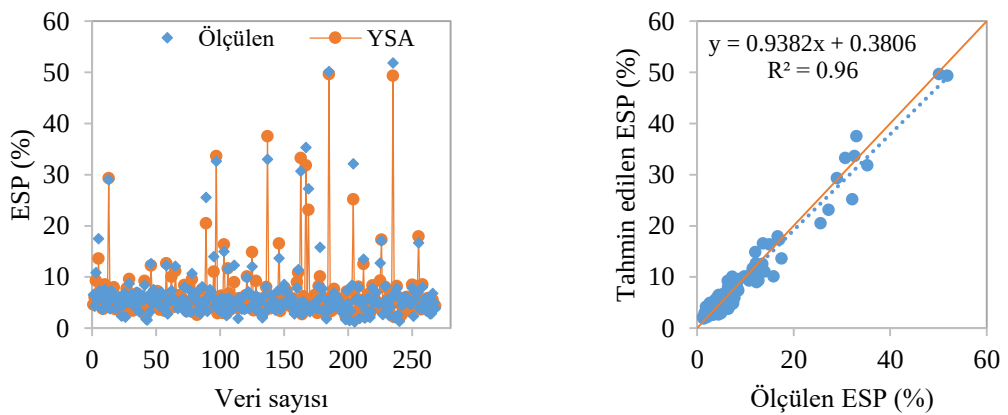
Çizelge 4.78. Toprakların kimyasal özelliklerinin tahmini için geliştirilen pedotransfer, YSA ve ANFIS modellerinin performans değerlendirmesi

Özellik	Model	Eğitim			Test		
		R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE
ESP	ÇDR1 (Nisan-2016)	0.94	1.15	1.95	0.95	1.05	1.61
	ÇDR2 (Nisan-2016)	0.73	2.77	4.03	0.81	2.52	3.42
	ÇDR3 (Nisan-2016)	0.73	2.78	4.02	0.81	2.50	3.40
	ÇDR4 (Nisan-2016)	0.94	1.15	1.94	0.95	1.05	1.61
	YSA1 (tüm veri)	0.94	1.17	1.87	0.94	1.04	1.56
	YSA2 (tüm veri)	0.86	1.97	2.88	0.82	1.92	2.81
	YSA3 (Nisan-2016)	0.92	1.53	2.23	0.95	1.17	1.49
	YSA4 (tüm veri)	0.96	1.00	1.51	0.96	0.95	1.28
	ANFIS1 (tüm veri)	0.95	1.09	1.71	0.93	1.09	1.64
	ANFIS2 (tüm veri)	0.94	1.19	1.86	0.93	1.10	1.71
	ANFIS3 (Nisan-2016)	0.93	1.47	2.09	0.93	1.18	1.81
	ANFIS4 (tüm veri)	0.97	0.87	1.24	0.94	0.99	1.61
KDK (meq/100 g)	ÇDR5 (tüm veri)	0.90	1.96	3.25	0.91	1.84	3.01
	ÇDR6 (Nisan-2016)	0.49	4.74	6.10	0.45	4.58	5.84
	YSA5 (tüm veri)	0.95	1.35	2.30	0.96	1.26	2.01
	YSA6 (tüm veri)	0.62	4.65	6.34	0.58	4.89	6.46
	ANFIS5 (tüm veri)	0.96	1.19	1.93	0.95	1.30	2.13
	ANFIS6 (tüm veri)	0.68	4.19	5.79	0.60	4.78	6.37

Çizelge 4.78 incelendiğinde girdi olarak Na değişkeninin kullanıldığı Model1 ve Model4, pH değişkeninin kullanıldığı Model2 ve Model3' e göre her üç yöntemde de daha yüksek performans göstermiştir. Yöntemlerin performansları birbirine yakın çıkmış, ancak doğrusal regresyon modellerinden ÇDR2 ve ÇDR3 modellerinde en düşük performans gözlenmiştir. En yüksek performans tüm veri seti kullanılarak oluşturulan 4 girdi değişkenli modelde yapay sinir ağları yöntemi ile elde edilmiştir. Bunu sırasıyla ANFIS ve ÇDR modelleri izlemiştir. İki girdi parametresine (EC, Na) ilave olarak noktaların koordinatlarının da modele eklenmesi, oluşturulan modelin performansını arttırmıştır. Ayrıca çalışmada önerilen doğrusal regresyon modellerinin kullanıcıların tercihinine göre çalışma alanı topraklarının ESP içeriğinin tahmin edilmesinde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Burada ÇDR modellerinin YSA modelleri üzerindeki önemli avantajıda dikkat çekmiştir. Çünkü ÇDR modelleri YSA modelleri ile kıyaslandığında kullanıcılar için kolayca yorumlanabilen ve ulaşılabilen açık denklemlere sahiptir. Genel sonuçlara dayanarak tüm YSA ve ANFIS modellerinin ESP'nin tahmini için kullanılabileceği ve bunu takiben ÇDR1 modelinin veri mevcudiyetine ve basitliğine göre çalışma alanı toprakları için kullanılabileceği önerilmiştir.

Robbins ve Meyer (1990), Avustralya'nın sodik ve yüksek oranda yıpranmış topraklarında pH ve EC'den ESP'yi tahmin etmiş ve bu tekniğin ekonomik ve zaman açısından verimli olduğunu, potansiyel olarak pH ve EC verisinden ESP'nin hesaplanabildiğini bildirmişlerdir. Bu çalışmada da EC ve pH değişkenleri kullanılarak yapılan ESP tahmininde ANFIS yöntemi ile yüksek belirleme katsayısı ve düşük RMSE değeri ile tahmin elde edilmiştir. Al-Busaidi ve Cookson (2003), Umman'da tuzlu topraklar için EC'ye dayalı bir denklem önermiştir. Keshavarzi vd, (2016) toprakların ESP'sini toprağın kolay elde edilen özelliklerinden tahmin etmek amacıyla bazı modeller geliştirmişler ve bu amaçla YSA ve ANFIS modellerini karşılaştırmışlardır. Modellerde girdi verisi olarak EC, kil ve pH değişkenlerini kullanmışlardır. ESP'nin dolaylı tahmini için ANFIS modellerinin YSA modellerinden daha yüksek belirleme katsayısı ve daha düşük RMSE değerleri verdiğini belirlemişlerdir. Barzegar vd, (2016)'da ANFIS modellerinin YSA modellerinden daha iyi sonuç vermesinin nedeninin girdinin üyelik fonksiyonları aracılığıyla bulanıklaşmasının etkisiyle ilişkili olabileceğini bildirmişlerdir.

Şekil 4.116'da çalışma alanı topraklarının laboratuvar çalışmaları sonucunda hesaplanan ESP değerleri ile farklı tahmin yöntemlerin karşılaştırılması sonucunda ESP tahmini için en yüksek performansı gösteren modelin sonuçlarının karşılaştırmalı grafikleri verilmiştir. Grafikten de görüleceği üzere birçok test noktasında ölçülen ve tahmin edilen değerlerin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir.

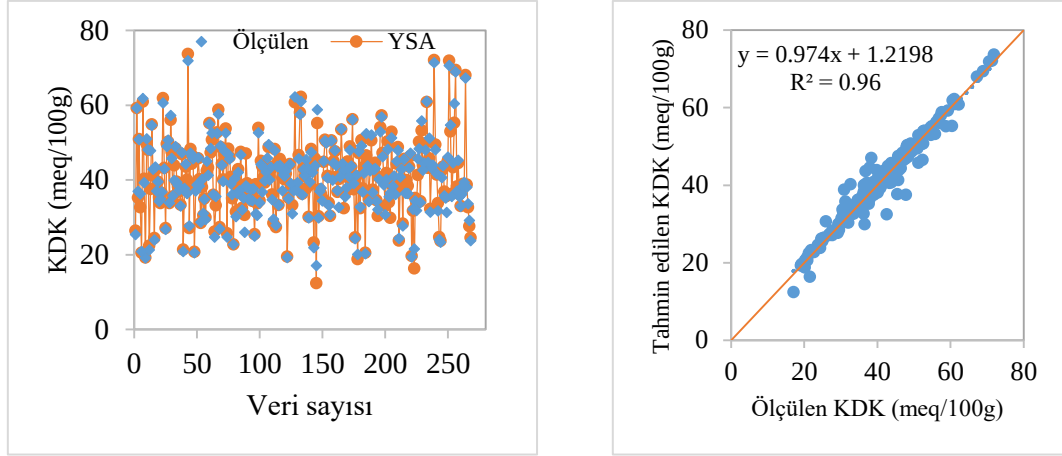


Şekil 4.116. Test veri seti için en uygun YSA modeli (YSA4) ile ölçülen ve tahmin edilen ESP değerlerinin karşılaştırılması

Çalışma alanı topraklarının bir diğer tahmin edilen özelliği ise toprakların katyon değişim kapasitesidir. Bu amaçla 2 farklı girdi seti ile 2 farklı model oluşturulmuş ve üç farklı yönteme göre performanslarının karşılaştırılması Çizelge 4.78’de verilmiştir. Çizelge 4.78 incelendiğinde girdi olarak örnekleme noktalarının koordinatları ve Ca+Mg değişkenlerinin kullandığı modeller yüksek belirlenem katsayıları ile yüksek doğrulukta tahmin geliştirmiştir. Literatürde birçok çalışmada (Kalkhajeh vd, 2012; McBratney vd, 2002; Seyedmohammadi vd, 2016; Shekofteh vd, 2017) önerildiği gibi girdi olarak kil özelliğinin kullandığı model ise 0.68 belirleme katsayısı ile bulanık yapay sinir ağları yönteminde ANFIS6 modelinde en iyi tahmin geliştirilmiştir. Seyedmohammadi vd, (2016) yaptıkları çalışmada Kuzey İranın Guilan eyaletindeki çeltik topraklarının KDK’sını tahmin etmek için pedotransfer fonksiyonlar geliştirmişlerdir. Bu amaçla çok değişkenli doğrusal regresyon, çok değişkenli doğrusal olmayan regresyon, yapay sinir ağları ve bulanık yapay sinir ağları yöntemlerini karşılaştırmışlardır. Girdi değişkeni olarak organik karbon ve kil içeriğini kullanmışlardır. Sonuçlar ileri beslemeli yapay sinir ağlarının diğer modellere kıyasla daha güvenilir tahminlere sahip olduğunu ve mühendislik çabalarını ve zamanı azalttığı için toprağın KDK içeriğinin tahmininde kabul edilebilir doğrulukla yeni bir metodoloji sağladığını bildirmişlerdir. Ayrıca YSA modellerinin genellikle daha fazla uygulanabilir olması nedeniyle doğrusal regresyon modellerinden daha yüksek performans göstermesinin beklenen bir durum olduğunu ifade etmişlerdir.

Shekofteh vd, (2017) pedotransfer fonksiyonlar türetmek ve toprağın KDK’sını tahmin etmek için ANFIS ve doğrusal regresyon tekniklerini kullanmışlardır. Toprağın KDK’sını etkileyen özellikleri seçmek için bir hibrid algoritma geliştirmişlerdir (ACO-ANFIS). Buna göre İranın yarı kurak bir bölgesinde tarım alanı topraklarının KDK’nı en çok 5 özelliğin etkilediğini ve bunların organik madde, hacim ağırlığı, kil, kum ve pH içeriği olduğunu bildirmişlerdir. Sonuç olarak ise ANFIS yönteminin ($R^2=0.91$) regresyon yönteminden ($R^2=0.74$) daha yüksek doğrulukla tahmin geliştirdiği belirlenmiştir.

Şekil 4.117’de test veri setleri için en uygun olarak belirlenen YSA modelinden elde edilen KDK değerlerine ait sonuçların karşılaştırmalı grafikleri verilmiştir. Grafikten de görüleceği üzere birçok test noktasında ölçülen ve tahmin edilen değerler birbirine çok yakın bulunmuştur.



Şekil 4.117. Test veri seti için en uygun YSA modeli (YSA 5) ile ölçülen ve tahmin edilen KDK değerlerinin karşılaştırılması

Çalışma kapsamında tahmin modeli geliştirilen toprakların fiziksel özellikleri ise tarla kapasitesi ile solma noktasındaki nem içerikleridir. Çalışma alanı topraklarının fiziksel özelliklerinin tahmin edilmesi amacıyla geliştirilen tüm modellerin genel karşılaştırılması için performans ölçümlerinin sonuçları Çizelge 4.79’da verilmiştir.

Çalışma alanı topraklarının tarla kapasitesindeki nem içeriğinin tahmin edilmesi amacıyla üç farklı yöntem kullanılarak (doğrusal regresyon, yapay sinir ağları ve bulanık yapay sinir ağları yöntemleri) geliştirilen modeller incelendiğinde YSA ve ANFIS modellerinin tahmin yetenekleri birbirine yakın çıkmış, doğrusal regresyon modellerinin ise daha düşük bulunmuştur. Çizelge 4.79 incelendiğinde en yüksek performans gösteren modelin tüm verilerin kullanıldığı ve girdi katmanında dört değişkenin bulunduğu YSA 9 modeli olduğu belirlenmiştir. Bu modelin girdi katmanında kum, kil, CaCAO_3 ve KDK parametleri kullanılmıştır. Girdi katmanında sadece kum ve kil içeriğinin kullanıldığı YSA 7 modeli de eğitim ve test veri setlerinde sırasıyla 0.79 ve 0.78 belirleme katsayısı ile modeli iyi derecede temsil etmiştir. Tarla kapasitesinin tahmininde girdi değişkeni olarak hacim ağırlığının kullanıldığı model (YSA11) ile kullanılmadığı model (YSA7) arasında önemli bir fark bulunmadığı belirlenmiştir. Hacim ağırlığı değerlerinin arazi koşullarında belirlenmesi zor ve zaman alıcı olduğundan veri temini bakımından en basit olan YSA7 modelinin kullanılması daha pratik olacaktır.

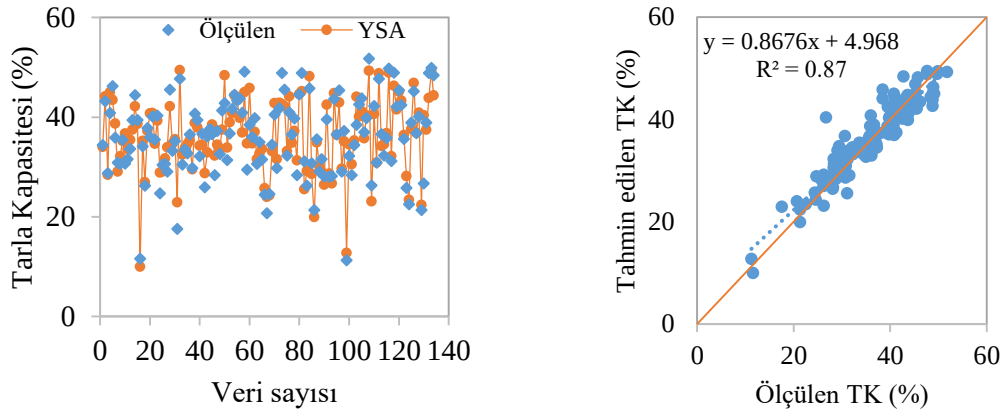
Çizelge 4.79. Toprakların fiziksel özelliklerinin tahmini için geliştirilen pedotransfer, YSA ve ANFIS modellerinin performans değerlendirmesi

Özellik	Model	Eğitim			Test		
		R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE
TK (%)	ÇDR7	0.74	2.97	4.08	0.72	2.88	3.91
	ÇDR8	0.74	2.97	4.08	0.72	2.88	3.91
	ÇDR9	0.77	2.86	3.84	0.74	2.85	3.81
	ÇDR10	0.61	3.30	4.50	0.78	2.29	2.98
	ÇDR11	0.76	2.61	3.43	0.80	2.56	3.40
	ÇDR12	0.76	2.61	3.43	0.80	2.56	3.40
	YSA7 (Nisan-2016)	0.79	2.56	3.63	0.78	2.47	3.38
	YSA8 (Nisan-2016)	0.76	2.59	3.59	0.80	2.65	3.44
	YSA9 (tüm veri)	0.81	2.49	3.47	0.87	2.11	2.77
	YSA10 (Nisan-2016)	0.82	2.06	2.75	0.74	3.08	4.02
	YSA11 (Nisan-2016)	0.81	2.31	3.06	0.80	2.44	3.45
	YSA12 (Nisan-2016)	0.83	2.15	2.91	0.79	2.73	3.48
	ANFIS7 (Nisan-2016)	0.78	2.62	3.75	0.77	2.49	3.35
	ANFIS8 (Nisan-2016)	0.78	2.55	3.69	0.72	2.62	3.53
	ANFIS9 (tüm veri)	0.81	2.50	3.49	0.78	2.54	3.46
	ANFIS10 (Nisan-2016)	0.79	2.32	3.33	0.73	2.69	3.43
	ANFIS11 (Nisan-2016)	0.82	2.09	2.95	0.70	3.25	4.57
	ANFIS12 (Nisan-2016)	0.90	1.35	2.15	0.67	5.05	9.24
SN (%)	ÇDR13	0.73	2.58	3.48	0.71	2.41	3.29
	ÇDR14	0.73	2.58	3.48	0.71	2.41	3.29
	ÇDR15	0.76	2.50	3.25	0.73	2.31	3.17
	ÇDR16	0.67	2.59	3.35	0.63	2.28	2.75
	ÇDR17	0.73	2.30	3.01	0.62	2.91	3.71
	ÇDR18	0.73	2.30	3.01	0.62	2.91	3.71
	YSA13 (Nisan-2016)	0.77	2.25	3.17	0.84	1.78	2.33
	YSA14 (Nisan-2016)	0.79	1.98	2.82	0.79	2.41	3.11
	YSA15 (Nisan-2016)	0.81	2.15	2.89	0.83	1.85	2.41
	YSA16 (tüm veri)	0.73	1.98	2.76	0.76	2.27	2.78
	YSA17 (Nisan-2016)	0.81	1.92	2.49	0.72	1.94	3.22
	YSA18 (Nisan-2016)	0.82	1.84	2.41	0.70	2.20	3.32
	ANFIS13 (Nisan-2016)	0.77	2.23	3.18	0.82	1.85	2.38
	ANFIS14 (Nisan-2016)	0.79	2.14	3.08	0.84	1.85	2.32
	ANFIS15 (Nisan-2016)	0.87	1.79	2.42	0.78	2.02	2.64
	ANFIS16 (Nisan-2016)	0.83	1.63	2.10	0.82	2.10	2.59
	ANFIS17 (Nisan-2016)	0.84	1.57	2.24	0.77	1.97	2.74
	ANFIS18 (Nisan-2016)	0.92	0.94	1.60	0.33	5.30	9.65

Balathandayutham vd, (2017) tarla kapasitesi ve solma noktasındaki nem içeriğini tahmin etmek için YSA ve pedotransfer fonksiyonları kullanmışlardır. Girdi olarak kum, kil, silt, karbon içeriği ve hacim ağırlığı değişkenlerini kullanmışlardır. Sonuçlar gizli katmanda beş nöron bulunan YSA modelinin çok değişkenli regresyon modeline göre TK ve SN'deki nem içeriğini tahmin etmede daha iyi performans gösterdiği belirlenmiştir. YSA modelinin değişkenler arasındaki doğrusal olmayan ilişkiyi daha iyi yakalayabildiği için daha uygun olduğu ifade edilmiştir. Sonuç olarak YSA modellerinin doğrusal olmayan fonksiyonları modelleyebildiğini ve doğrusal regresyondan daha iyi performans gösterdiğini ifade etmişlerdir.

Cemek vd, (2015) Bafra ovasında toprakların TK ve SN içeriklerinin yapay zeka modelleri ile tahmin edilmesi amacıyla yaptıkları çalışmada 296 adet toprak örneği kullanmışlardır. Modellerde girdi olarak kum, kil, silt ve KDK değişkenlerini kullanmışlardır. Çalışmada farklı yapay sinir ağları algoritmaları (MLP, RBNN, GRNN), çok değişkenli doğrusal regresyon ve ANFIS modellerini TK ve SN'deki nem içeriğini tahmin etmek amacıyla karşılaştırmışlardır. Çalışmada TK'deki nem içeriğinin belirlenmesi için ANFIS modelinin, SN'daki nem içeriğinin belirlenmesinde ise YSA modellerinin daha doğru sonuç verdiği belirlenmiştir. Sonuç olarak YSA modellerinin farklı toprak tiplerinin TK ve SN'daki nem içeriğini tahmin etmek için etkili bir araç olduğunu bildirmişlerdir.

Şekil 4.118'de çalışma alanı topraklarının gerçek tarla kapasitesi değerleri ile farklı tahmin yöntemlerin karşılaştırılması sonucunda TK tahmini için en yüksek performansı gösteren modelin sonuçlarının karşılaştırmalı grafikleri verilmiştir. Grafik incelendiğinde birçok test noktasında ölçülen ve tahmin edilen değerlerin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir.

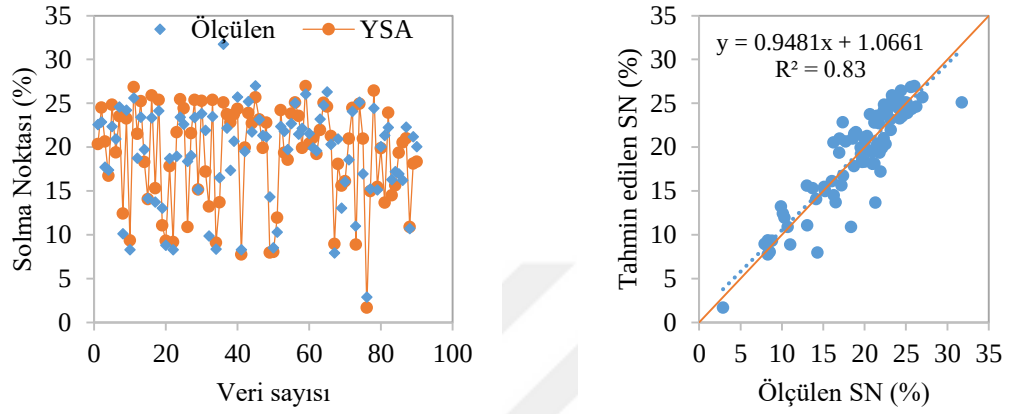


Şekil 4.118. Test veri seti için en uygun YSA modeli (YSA9) ile ölçülen ve tahmin edilen TK (%) değerlerinin karşılaştırılması

Çalışma alanı topraklarının solma noktasının tahmin edilmesi amacıyla kullanılan yöntemler (doğrusal regresyon, yapay sinir ağları ve bulanık yapay sinir ağları yöntemleri) incelendiğinde tarla kapasitesindeki nem içeriğinin tahmininde olduğu gibi YSA ve ANFIS modellerinin tahmin yetenekleri doğrusal regresyon yöntemine göre daha yüksek bulunmuştur.

Çizelge 4.79 incelendiğinde en yüksek performans gösteren modelin 2016-Nisan dönemi verilerinin kullanılarak oluşturulduğu ve girdi katmanında dört değişkenin bulunduğu YSA15 modeli olduğu belirlenmiştir. Bu modelin girdi katmanında kum, kil, CaCO_3 ve KDK değişkenleri kullanılmıştır. Girdi katmanında sadece kum ve kil içeriğinin kullanıldığı YSA13 modelinin eğitim ve test veri setlerinde sırasıyla 0.77 ve 0.84 belirleme katsayısı ile iyi derecede tahmin sağlanmıştır. Solma noktasının tahmininde girdi değişkeni olarak hacim ağırlığının kullanıldığı model (YSA17) de kullanılmadığı model (YSA13) e göre eğitim veri setinin performansı artmış, test veri setinin ise azalmıştır. Burada da yine solma noktasının tahmininde hacim ağırlığı değerlerinin belirlenmesi zor ve zaman alıcı olduğundan veri temini bakımından en basit olan YSA13 modelinin kullanılması daha pratik olacaktır. Jafarnejadi vd, (2012) yaptıkları çalışmada Khuzestan eyaleti topraklarında tarla kapasitesi ve solma noktasındaki nem içeriklerini YSA ve çok değişkenli doğrusal regresyonlar (ÇDR) kullanarak tahmin etmeyi amaçlamışlardır. Modellerde girdi değişkeni olarak tekstür, CaCO_3 , organik madde ve jips kullanmışlardır. Sonuçlar YSA yönteminin TK ve SN'daki nem içeriğini doğrusal regresyon yönteminden daha doğru şekilde tahmin edebildiğini göstermiştir.

Şekil 4.119’da çalışma alanı topraklarının gerçek solma noktası değerleri ile farklı tahmin yöntemlerin karşılaştırılması sonucunda solma noktasının tahmini için en yüksek performansı gösteren model sonuçlarının karşılaştırmalı grafikleri verilmiştir. Grafik incelendiğinde birçok test noktasında ölçülen SN ile tahmin edilen SN değerlerin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 4.119. Test veri seti için en uygun YSA modeli (YSA15) ile ölçülen ve tahmin edilen solma noktası değerlerinin karşılaştırılması

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında Bafra ovası sağ sahilde sulamaların yapıldığı yaklaşık 10000 ha'lık bir alanda toprakların sulama açısından önemli bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiş ve bu özelliklerin alansal ve zamansal dağılımları jeostatistiksel yöntemler ile analiz edilmiştir. Bu amaçla 2010 ve 2016 yıllarında sulama öncesi ve sonrası dönemde, 2017 yılında ise sulama öncesi dönemde toprak örnekleme yapılmıştır. Ayrıca çalışmada farklı arazi kullanımlarının (çeltik, sebze ve mera) toprak özellikleri üzerine olası etkileri araştırılmıştır. Son olarak arazi koşullarında ölçülmesi ve belirlenmesi zor olan toprak özelliklerinin tahmin edilmesinde güncel bilgi ve tekniklerden yararlanılmış, doğrusal regresyon, yapay sinir ağları ve bulanık yapay sinir ağları gibi pedotransfer fonksiyonların kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Öncelikle değişkenlere ait tanımlayıcı istatistikler yapılmış, sonrasında ise jeostatistiksel yöntemler ile değişkenlere ilişkin varyogramlar ve çapraz doğrulamalar yapılarak ordinary kriging enterpolasyon yöntemi ile alansal dağılım haritaları oluşturulmuştur.

Çalışmada jeostatistik yöntemler ile elde edilen semivariogram modellerine göre örnekler arasında mesafeye bağlı olarak bir değişim olduğu belirlenmiştir. Çalışma alanı topraklarının range mesafesi fiziksel özellikleri için 760 m ile 31100 m arasında, kimyasal özellikleri için ise 650 m ile 31100 m arasında değişmiştir.

Çalışma alanı topraklarının hem fiziksel hem de kimyasal özelliklerinin nugget etki varyansı hacim ağırlığı haricinde genel olarak yüksek bulunmuştur. Nugget etki varyansının yüksek olması çalışmada seçilen örnekleme aralığının özelliklerin uzaysal değişimini modellemede yetersiz kaldığını göstermektedir. Çalışma alanının çok geniş olması, toprak özelliklerinin kısa mesafelerde çok değişkenlik göstermesi ve örnek sayısının düşük olması nugget etki varyansının yüksek olmasına neden olmuştur. Nugget etkinin azaltılması için daha kısa mesafelerde örnekleme yapılmalıdır. Çalışma alanında toprakların fiziksel özellikleri ile ilgili çalışma yapılacaksa örnekleme aralığının 760 m'den daha kısa, kimyasal özelliklerle ilgili çalışma yapılacak ise 650 m'den daha kısa aralıklarla örnekleme yapılması önerilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre belirtilen alanda bundan sonra yapılacak çalışmalarda örnek sayısının artırılması

jeostatistiksel tahminlerde daha iyi sonuç alınacağını düşündürmektedir. Bu nedenle bu alandaki çalışmalarda örnek sayısının artırılması önerilmektedir. Ayrıca, nugget varyasyonun düşürülmesi için örnekleme planının birbirine yakın örnekleri de içerecek şekilde hazırlanması kriglemedeki hatayı düşürecektir.

Toprakların EC değeri beş dönem ve dört derinlikte de en yüksek mera topraklarında bulunmuştur. Çalışma alanında bulunan çayır meraların hemen hepsi taban mera niteliğinde olup yılın, yaklaşık 4-5 ayı boyunca su altında kalmaktadır. Bölgede ekonomik değere sahip meralarda mera yönetim birlikleri kurulmuştur. Meraların EC değerlerinin diğer alanlara göre daha yüksek olmasına, zaten tuzlu olan bir su kaynağı (mevsimlere göre değişkenlik göstermekle birlikte yaklaşık 2 dS/m) ile sulanmasının ve bu suyun uzun süre toprakta tutulmasının neden olduğu düşünülmektedir.

Çalışma alanı topraklarının EC değerleri 5 dönem birlikte değerlendirildiğinde 0.12 dS/m ile 6.31 dS/m arasında değişmiştir. 2016 yılı sulama öncesi dönemde ortalama EC değeri 0.63 dS/m iken, 2016 yılı sulama sonrasında artarak 0.74 dS/m olmuştur. Tarımsal uygulamaların sona erdiği hasat sonrası dönemden bir sonraki yılın sulama öncesi dönemine kadar geçen sürede kış yağışları ile birlikte kök bölgesindeki tuzlar yıkanmış ve EC değerleri 0.56 dS/m'ye düşmüştür. Dönemler arasındaki değişim istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0.01$). Tüm alanda, yüzey ve yüzey altı topraklarının tanımlayıcı istatistikleri incelendiğinde, çalışma alanı topraklarında tuzluluk sorununun bulunmadığı anlaşılmaktadır.

Çalışma alanı topraklarının ESP değerleri %1.20 ile %72.76 arasında değişmiştir. Çalışma alanının büyük bölümünde az sodik özellik gösteren alanların olduğu tespit edilmiştir. Sodikliğin çalışma alanının doğusuna doğru arttığı ve genel olarak alt katmanlara doğru sodiklik sorunda artış olduğu belirlenmiştir. 2016 yılı sulama sonrası dönem ile 2017 yılı sulama öncesi dönemleri arasında toprak özelliklerinde meydana gelen değişimi belirlemek için yapılan t testi sonuçlarına göre topraklarının EC, Na ve ESP değerleri, yani tuzlulukla ilgili özelliklerin mevsimsel değişimleri $P<0.01$, pH, CaCO_3 ve organik madde'nin değişimlerinin ise $P<0.05$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir. Topraklarda EC haricinde CaCO_3 , KDK ve organik madde gibi özelliklerin kısa sürede mevsimsel olarak

değişmesi beklenmemelidir. Buradaki farklar topraktaki değişimden ziyade, örneklemede yapılan eratik hatadan kaynaklanmış olabilir.

Çalışma alanından farklı yıllarda ve dönemlerde yapılmış olan örnekleme sonuçlarına bağlı olarak toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerinin alansal yapılarında zaman içerisinde meydana gelen değişimler belirlenmiştir. Burada esas önemli olan nokta alansal değişimin meydana geldiği bölgeleri belirlemek ve değişimin ne yönde gerçekleştiğini ortaya koymaktır. Çalışma alanı topraklarının özelliklerinde zaman içerisinde meydana gelen değişimin nedenlerini açıklarken uygulanan tarımsal faaliyetlerin, bölgede yetiştirilen bitki deseni, uygulanan sulama suyu miktarı, kalitesi ve uygulanış şeklinin, toprak ve su ilişkilerinin göz önüne alındığı kapsamlı bir çalışmanın faydalı olacağı düşünülmektedir.

Çalışma kapsamında yapılan korelasyon analizleri ve özelliklerin uzaysal dağılım haritaları incelendiğinde tuzluluk, sodiklik, Na, KDK, tekstür, TK ve SN değişkenlerinin yönetimi ile ilgili uygulamaların daha çok Doğu-Batı yönünde planlanmasının, alkalileşme ve CaCO_3 ile ilgili yönetim uygulamalarının ise toprak derinliği ile birlikte izlenmesinin yararlı olacağı belirlenmiştir.

Bu çalışma ile sulama açısından önemli olan tuzluluk, alkalilik, sodyum ve sodiklik gibi özelliklerin zaman içerisinde ve bitki desenine göre değişimler gösterdiği açıkça ortaya konulmuştur. Bu açıdan bakıldığında yoğun tarımsal faaliyet yapılan çalışma alanı ve benzeri alanlarda izleme ve değerlendirmelerin devam edilmesi önerilmektedir. Ayrıca bu konuda iklimsel parametreler ile sulama rejimlerinin de takip edilmesi çalışmalara ilave katkı sağlayacaktır.

Çalışma alanının doğusunda tuzluluğun ve alkaliliğin yüksek olduğu alanlar ile sodik alanların varlığı belirlenmiştir. Bu alanlarda sulama mevsiminde buharlaşma ile çözünebilir tuzların yukarı taşınmasının takibi için yeraltı suyu tuzluluğu ve derinliğinin düzenli olarak izlenmesi önemlidir. Tarım arazilerinin sulamaya hazır hale getirilmesi, aşırı su kullanımının önüne geçilmesi, yüksek taban suyu, tuzluluk, sodiklik ve alkalilik gibi problemlerin ortadan kaldırılabilmesi için öncelikle çiftçilerin sulama konusunda bilgilendirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla ilgili kurum ve kuruluşların bir araya gelerek sulama konusunda eğitim verilmesinin yararlı olacağı düşünülmektedir.

Çalışma kapsamında oluşturulan alansal ve zamansal dağılım haritaları, çiftçi koşullarında yapılan sulama uygulamalarının toprak özellikleri üzerine etkisinin izlenmesine olanak sağlamaktadır. Ayrıca toprak özelliklerinin belirlenmesi ovada ilerleyen zamanlarda yapılması planlanan toplulaştırma projelerine katkı sağlayacaktır. Halihazırda sağ sahilde sulama ve drenaj çalışmaları tamamlanmıştır. Ancak sulamanın yoğun olarak yapıldığı dönemlerde ovanın denize yakın kısımlarında suyun ulaştırılamadığı yerler bulunmaktadır. Bu bölgelerde çiftçi imkanları ile derinliği 8-10 m arasında değişen kuyulardan sulama yapılmaktadır. Düşük kalitedeki sulama sularının uzun süre kullanımlarından kaynaklanacak problemlerin önüne geçilmesi, sulama ve drenaj projelerinden maksimum faydanın sağlanabilmesi için sulama ve drenaj çalışmalarının arazi toplulaştırma çalışmaları ile birlikte yürütülmesi gerekmektedir. Sulama ve drenaj çalışmalarının tamamlandığı alanlarda ise yeniden revize çalışmaları yapılarak bu alanda arazi toplulaştırmasının yapılması ülkemizin su ve toprak kaynaklarının yönetimi için önem arz etmektedir.

Çalışmada, analizlerle belirlenmesi zor, maliyetli ve zaman alıcı olan toprak özelliklerinin tahmin edilmesinde çok değişkenli doğrusal regresyon, YSA ve ANFIS modellerinin kullanılabilme potansiyeli araştırılmıştır. Modellerinin performansları karşılaştırıldığında genel olarak YSA ve ANFIS model sonuçlarının birbirine yakın olduğu, regresyon modellerine göre ise daha yüksek doğrulukta tahmin gerçekleştirdiği belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre çalışma alanı topraklarının fiziksel ve kimyasal özelliklerinin tahmininde YSA ve ANFIS yöntemleri başarılı sonuçlar vermiş ve bu özelliklerin tahmininde her iki yöntemin de etkili bir şekilde kullanılabileceği belirlenmiştir. Özellikle YSA modellerinin diğer modellere kıyasla daha güvenilir tahminlere sahip olduğu, mühendislik çaba, zaman ve fonları azaltarak toprakların fiziko-kimyasal özelliklerini tahmin etmek için kabul edilebilir doğrulukta bir metodoloji ve çalışma için bilimsel bir temel sağlayabildiği belirlenmiştir. Ayrıca önerilen YSA modelleri toprak özelliklerinin benzer koşullara sahip diğer alanlarda da tahmin edilmesine yardımcı olabilecektir. Toprak özelliklerinin doğrudan ölçümünün zorluğu nedeniyle, gelecekteki çalışmalarda YSA, ANFIS gibi nöron-bulanık modellerin kullanılması, modellerin ve kuralların optimizasyonu için ise genetik algoritma kullanılması önerilebilir.

Uzaktan algılama, toprak özelliklerinin hızlı ve doğru tahmini için yararlı bir araçtır. Aynı zamanda çevreyi kirletmeyen, zamandan tasarruf sağlayan kullanışlı bir yöntemdir. İleride yapılacak çalışmalarda, yapay zeka modellerinde girdi parametresi olarak uzaktan algılama verilerinin kullanılması farklı toprak özelliklerinin sürekli ve geniş ölçekli alansal değişkenliklerinin izlenmesine katkı sağlayacaktır.

Bu çalışma kapsamında toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerinin tahmini için geliştirilen ve önerilen yapay zeka modellerinin, çalışmanın yapıldığı alanda veya toprak özelliklerin benzer aralıklarda değiştiği alanlarda kullanılması durumunda daha az maliyetle, kısa zamanda yüksek doğrulukta tahmin gerçekleştirileceği ve su-toprak kaynaklarının yönetimi hususunda karar vericilere destek sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Aali, K. A., Parsinejad, M. and Rahmani, B. (2009). Estimation of saturation percentage of soil using multiple regression, ANN, and ANFIS techniques. *Computer and Information Science*, 2(3), 127.
- Abd-Elwahed, M. S. (2005). Assessment of Soil Salinity Problems in Agricultural Areas Through Spatial and Temporal Remote Sensing. Doctoral Dissertation, The University of Arizona.
- Abu, S. and Malgwi, W. (2011). Spatial variability of soil physico-chemical properties in Kadawa Irrigation Project in Sudan Savanna Agroecology of Nigeria. *International Journal of Agricultural Research*, 6(10), 714-735.
- Ahmed, Z. and Iqbal, J. (2014). Evaluation of Landsat TM5 multispectral data for automated mapping of surface soil texture and organic matter in GIS. *European Journal of Remote Sensing*, 47(1), 557-573.
- Akbarzadeh, A. and Mehrjardi, R. T. (2010). Spatial Distribution of Some Soil Properties, Using Geostatistical Methods in Khezrabad Region (Yazd) of Iran. *ProEnvironment Promediu*, 3(5).
- Akbaş, F. (2004). Entisol Ordusuna Ait Bir Arazide Bazı Toprak Özelliklerinin Değişiminin Geleneksel ve Jeostatistiksel Yöntemlerle Belirlenmesi. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi Tokat*.
- Akbaş, F., ve Yıldız, H. (2004). Toprak Özelliklerinin Haritalanmasında Jeostatistiksel Tekniklerin Kullanımı. Paper presented at the 3. Coğrafi Bilgi Sistemleri.
- Akgül, M., Öztaş, T. ve Canbolat, M. (1995). Atatürk Üniversitesi topraklarında tekstürel değişimin jeostatistiksel yöntemlerle belirlenmesi. *Akalın Toprak ve Çevre Semp. I*, 82-91.
- Akramkhanov, A. and Vlek, P. L. (2012). The assessment of spatial distribution of soil salinity risk using neural network. *Environmental monitoring and assessment*, 184(4), 2475-2485.
- Al-Busaidi, A. and Cookson, P. (2003). Salinity–pH relationships in calcareous soils. *Journal of Agricultural and Marine Sciences [JAMS]*, 8(1), 41-46.
- Albaradeya, I., Hani, A. and Shahrour, I. (2011). WEPP and ANN models for simulating soil loss and runoff in a semi-arid Mediterranean region. *Environmental monitoring and assessment*, 180(1-4), 537-556.
- Anonim. (1974). Kızılırmak Havzası Toprakları. *Toprak Su Genel Müdürlüğü Yayınları*, 286.
- Anonim. (2003). Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Bafra Şube Müdürlüğü 2003 yılı değerlendirme raporu. Samsun.
- Anonim. (2018). Toprak Su Kaynakları. <http://www.dsi.gov.tr/toprak-ve-su-kaynaklari>.
- Anonymous. (2010). Soil Test Interpretations. <http://www.waterwise.nsw.gov.au/care/soil/ssu/tests/tests6.htm> (12.12.2010).
- Anonymous. (2018a). How Kriging works. <http://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/3d-analyst/how-kriging-works.htm> (1.06.2018).
- Anonymous. (2018b). Mathworks Documentation. <https://uk.mathworks.com/help/nnet/ref/trainlm.html> (1.06.2018).
- Anonymous. (2018c). Semi-Variogram: Nugget, Range and Sill. <https://gisgeography.com/semi-variogram-nugget-range-sill/> (1.06.2018).

- Arslan, H., Tasan, M., Yildirim, D., Koksall, E. S. and Cemek, B. (2014). Predicting field capacity, wilting point, and the other physical properties of soils using hyperspectral reflectance spectroscopy: two different statistical approaches. *Environmental monitoring and assessment*, 186(8), 5077-5088.
- Arslan, H. ve Yildirim, D. (2011). Bafra Ovasındaki Drenaj Kanallarının Su Kalitelerinin Çok Değişkenli İstatistiksel Analizler ile Değerlendirilmesi. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2011(2).
- Attaeian, B., Farokhzadeh, B., Akhzari, D. and Sourı, M. (2015). Comparing interpolation methods for estimating spatial distribution of topsoil pH and EC (Case Study: Karimabad Rangelands, Hamadan Province, Iran). *ECOPERSIA*, 3(4), 1145-1159.
- Ayan, A. (2007). Kızılırmak Deltası'nda Doğal Kaynak Kullanımı.
- Aydıralp, C. and Cresser, M. (2003). The background levels of heavy metals in vertisols under Mediterranean type of climate in the region of Turkey. *Journal of Central European Agriculture*, 4(4).
- Balathandayutham, K., Valliammai, A. and Krishnaveni, M. (2017). Evaluation of artificial neural network and regression PTFs in estimation soil hydraulic properties. *Agriculture Update*, 12(TECHSEAR-4), 1105-1112. doi:10.15740
- Barzegar, R., Adamowski, J. and Moghaddam, A. A. (2016). Application of wavelet-artificial intelligence hybrid models for water quality prediction: a case study in Aji-Chay River, Iran. *Stochastic environmental research and risk assessment*, 30(7), 1797-1819.
- Başkan, O. (2004). Gölbaşı yöresi topraklarının mühendislik, fiziksel özellik ilişkilerinde jeoistatistik uygulaması. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Ankara.
- Baykal, N. ve Beyan, T. (2004). Bulanık mantık ilke ve temelleri: Bıçaklar Kitabevi.
- Bayrak, F. (1997). Bafra Ovası Koşullarında İkinci Ürün Mısır'ın Su Tüketimi TC Başbakanlık Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü. Samsun Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, Genel Yayın(91).
- Ben-Dor, E., Patkin, K., Banin, A. and Karnieli, A. (2002). Mapping of several soil properties using DAIS-7915 hyperspectral scanner data-a case study over clayey soils in Israel. *International Journal of Remote Sensing*, 23(6), 1043-1062.
- Bernard, U. L. and Boguslaw, U. (2002). Spatial variability of soil particle size distribution in Poland. Paper presented at the 17. World congress of soil science,, Bangkok (Thailand), 14-21 Aug 2002.
- Bhunja, G. S., Shit, P. K. and Maiti, R. (2016). Comparison of GIS-based interpolation methods for spatial distribution of soil organic carbon (SOC). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*.
- Bilgin, F. ve Özalp, M. (2016). Yükselti değişimlerinin orman üstü meraların vejetasyon yapısı ve toprak özellikleri üzerine etkilerinin irdelenmesi. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 17(2), 135-147.
- Biröl, M. (2011). Tarla İçi Toprak Özellikleri ve Silaj Mısır Veriminin Değişkenliklerinin Jeoistatistiksel Modellenmesi. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Tokat*, 83.
- Blake, G. R. and Hartge, K. (1986). Bulk Density1. *Methods of Soil Analysis: Part 1—Physical and Mineralogical Methods(methodsofsoilan1)*, 363-375.

- Bogunovic, I., Pereira, P. and Brevik, E. C. (2017). Spatial distribution of soil chemical properties in an organic farm in Croatia. *Science of the Total Environment*, 584, 535-545.
- Bouma, J. (1989). Using Soil Survey Data for Quantitative Land Evaluation. *Advances in Soil Science*, 9, 177-213.
- Bouyoucos, G. J. (1951). A recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of the soils. *Agronomy Journal*, 43(9), 343-348.
- Bruce, R. C. and Rayment, G. (1982). Analytical methods and interpretations used by the Agricultural Chemistry Branch for soil and land use surveys: Queensland Department of Primary Industries.
- Burrough, P. A., McDonnell, R. A. and Lloyd, C. D. (2015). *Principles of geographical information systems*: Oxford University Press.
- Büyüköner, E. (2007). Investigation of the changes in physical and chemical properties of the soils under different land use.
- Cambardella, C., Moorman, T., Parkin, T., Karlen, D., Novak, J., Turco, R. and Konopka, A. (1994). Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Society of America Journal*, 58(5), 1501-1511.
- Cass, A. (1999). Interpretation of some soil physical indicators for assessing soil physical fertility. In 'Soil analysis: An interpretation manual'. (Eds KI Peverill, LA Sparrow, DJ Reuter) pp. 95-102. Fds KI Peverill, LA Sparrow, DJ Reuter, 95-102.
- Çavuşlu, M. A., Becerikli, Y. ve Karakuzu, C. (2012). Levenberg-Marquardt Algoritması ile YSA Eğitiminin Donanımsal Gerçeklenmesi. *Türkiye Bilişim Vakfı Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi*, 5, no. 1, 2012.
- Cemek, B., Arslan, H., Guler, M. and Kucuktopcu, E. (2015). Estimation of field capacity and permanent wilting point using artificial neural networks. Paper presented at the 2nd ICSAE 2015, International Conference on Sustainable Agriculture and Environment, September 30-October 03, 2015, Konya, Turkey. *Proceedings book*, volume I and II.
- Cemek, B., Güler, M. ve Arslan, H. (2006). Bafra ovası sağ sahil sulama alanındaki tuzluluk dağılımının coğrafi bilgi sistemleri (CBS) kullanılarak belirlenmesi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 37(1), 63-72.
- Cemek, B., Güler, M., Kılıç, K., Demir, Y. and Arslan, H. (2007). Assessment of spatial variability in some soil properties as related to soil salinity and alkalinity in Bafra plain in northern Turkey. *Environmental monitoring and assessment*, 124(1-3), 223-234.
- Chandra, L., Gupta, S., Pande, V. and Singh, N. (2016). Impact of forest vegetation on soil characteristics: a correlation between soil biological and physico-chemical properties. *3 Biotech*, 6(2), 188.
- Clayton, V. D. (2002). Geostatistical reservoir modeling. *Applied Geostatistics*.
- Cömert, Z. and Kocamaz, A. F. (2017). A study of artificial neural network training algorithms for classification of cardiocography signals. *Bitlis Eren University Journal of Science and Technology*, 7(2), 93-103.
- Corwin, D. and Lesch, S. (2005). Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. *Computers and electronics in agriculture*, 46(1-3), 11-43.
- Cresser, S. (2003). The background levels of heavy metals in vertisols under Mediterranean type of climate in the region of Turkey. *Journal of Central European Agriculture*, 4(4).

- Da Silva, I. N., Spatti, D. H., Flauzino, R. A., Liboni, L. H. B. and dos Reis Alves, S. F. (2017). *Artificial Neural Networks*: Springer.
- Dahmardeh, M., Keshtegar, B. and Piri, J. (2017). Assessment chemical properties of soil in intercropping using ANN and ANFIS models. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 23(2), 265-273.
- Das, B., Sarathjith, M., Santra, P., Sahoo, R., Srivastava, R., Routray, A. and Ray, S. (2015). Hyperspectral remote sensing: opportunities, status and challenges for rapid soil assessment in India. *Current science*, 108(5), 860.
- Delhomme, J. (1978). Kriging in the hydrosociences. *Advances in water resources*, 1, 251-266.
- Demir, Y., Erşahin, S., Güler, M., Cemek, B., Günel, H. and Arslan, H. (2009). Spatial variability of depth and salinity of groundwater under irrigated ustifluvents in the Middle Black Sea Region of Turkey. *Environmental monitoring and assessment*, 158(1-4), 279-294.
- Dinç, U., Senol, S., Cangir, C., Dinç, A. O., Akça, E., Dingil, M., . . . Kapur, S. (2005). Soil survey and soil database of Turkey. *Soil Resources of Europe*., 371-375.
- Easson, G. L. (1996). The integration of artificial neural networks and geographic information systems for engineering geological mapping. Doctoral Dissertation, University of Missouri, Rolla.
- Erşahin, S. (1999). Aluviyal bir tarlada bazı fiziksel ve kimyasal toprak özelliklerinin uzaysal (Spatial) değişkenliğinin belirlenmesi. *Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 13(19), 34-41.
- Farahmand, A., Oustan, S., Jafarzadeh, A. and Asgharzad, A. (2012). Salinity and sodicity parameters in some salt-affected soils of the Tabriz plain. *Water Soil Sci (Agric Sci)*, 22, 1-15.
- Fashi, F. H. (2016). Evaluation of adaptive neural-based fuzzy inference system approach for estimating saturated soil water content. *Modeling Earth Systems and Environment*, 2(4), 197.
- Fausett, L. V. (1994). *Fundamentals of neural networks: architectures, algorithms, and applications* (Vol. 3): Prentice-hall Englewood Cliffs.
- Filgueira, R., Fournier, L., Sarli, G., Aragon, A. and Rawls, W. (1999). Sensitivity of fractal parameters of soil aggregates to different management practices in a Phaeozem in central Argentina. *Soil and Tillage Research*, 52(3-4), 217-222.
- Franzmeier, D. P. (1977). *Soil Characterization in Indiana: Field and laboratory procedures*. I (Vol. 943): Purdue University Agricultural Experiment Station.
- Ghorbani, H., Kashi, H., Hafezi Moghadas, N. and Emamgholizadeh, S. (2015). Estimation of soil cation exchange capacity using multiple regression, artificial neural networks, and adaptive neuro-fuzzy inference system models in Golestan Province, Iran. *Communications in soil science and plant analysis*, 46(6), 763-780.
- Gill, S. M. (2012). Temporal variability of soil hydraulic properties under different soil management practices. (Doctoral Dissertation Guelph, Ontario, Canada), University of Guelph,
- Gökbülak, F. (1993). Otlatmanın Toprağın Hidro-Fiziksel Özellikleri ve Otlak Vegetasyonu Üzerine Etkileri. Yüksek Lisans Tezi (basılmamış), İÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 55.
- Göl, C., Ünver, İ. ve Özhan, S. (2004). Çankırı Eldivan yöresinde arazi kullanma türleri ile yüzey toprağı nemi arasındaki ilişkiler. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*. Seri: A(2), 17-29.

- Goovaerts, P. (1998). Geostatistical tools for characterizing the spatial variability of microbiological and physico-chemical soil properties. *Biology and Fertility of soils*, 27(4), 315-334.
- Güler, M., Arslan, H., Cemek, B. and Erşahin, S. (2014). Long-term changes in spatial variation of soil electrical conductivity and exchangeable sodium percentage in irrigated mesic ustifluvents. *Agricultural Water Management*, 135, 1-8.
- Guo, P.-T., Wu, W., Sheng, Q.-K., Li, M.-F., Liu, H.-B. and Wang, Z.-Y. (2013). Prediction of soil organic matter using artificial neural network and topographic indicators in hilly areas. *Nutrient cycling in agroecosystems*, 95(3), 333-344.
- Harada, Y. and Inoko, A. (1975). Cation-exchange properties of soil organic matter: I. Effects of conditions for the measurement on cation-exchange capacity values of humic acid preparations. *Soil science and plant nutrition*, 21(4), 361-369.
- Hazelton, P. and Murphy, B. (2016). *Interpreting soil test results: What do all the numbers mean? : CSIRO publishing.*
- Hazneci, E. ve Kızılaslan, H. (2017). Samsun ili Bafra ilçesinde sulama birliği çiftçi ilişkileri ve çiftçilerin sulama suyu kullanım karakteristikleri. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 32(1), 23-34.
- İç, S. (2015). Çarşamba Ovası Sol Sahil Topraklarında Yorgunluk Parametrelerinin Belirlenmesi Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 186.
- Iqbal, J., Thomasson, J. A., Jenkins, J. N., Owens, P. R. and Whisler, F. D. (2005). Spatial Variability Analysis of Soil Physical Properties of Alluvial Soils This study was in part supported by The National Aeronautical and Space Administration funded Remote Sensing Technology Center at Mississippi State University. *Soil Science Society of America Journal*, 69(4), 1338-1350.
- Isaaks, E. H. and Srivastava, R. M. (1989). *An introduction to applied geostatistics.* Retrieved from
- Jafarnejadi, A., Abbssayyad, G., Arshad, R. R. and Davami, A. (2012). Pedotransfer functions development for field capacity and permanent wilting points using artificial neural networks and regression models. *Int J Agric*, 2, 1079-1084.
- Jafarzadeh, A., Pal, M., Servati, M., FazeliFard, M. and Ghorbani, M. (2016). Comparative analysis of support vector machine and artificial neural network models for soil cation exchange capacity prediction. *International journal of environmental science and technology*, 13(1), 87-96.
- Jain, A. and Kumar, A. (2006). An evaluation of artificial neural network technique for the determination of infiltration model parameters. *Applied Soft Computing*, 6(3), 272-282.
- Jang, J.-S. (1993). ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system. *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*, 23(3), 665-685.
- Jonson, R. A. and Wichern, D. W. (1992). *Applied multivariate statistical analysis.* In: Prentice Hall Inc.
- Journel, A. G. (1989). *Lesson I: Statistics Review and Notations: Wiley Online Library.*
- Kacar, B. (1994). Bitki ve toprağın kimyasal analizleri. 3: Toprak Analizleri Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Eğitim Araştırma ve Geliştirme Vakfı Yayınları No: 3. In: Ankara.
- Kalkhajeh, Y. K., Arshad, R. R., Amerikhah, H. and Sami, M. (2012). Comparison of multiple linear regressions and artificial intelligence-based modeling

- techniques for prediction the soil cation exchange capacity of Aridisols and Entisols in a semi-arid region. *Australian journal of agricultural engineering*, 3(2), 39.
- Karagül, R. (1994). Trabzon-Söğütlüdere havzasında farklı arazi kullanım şekilleri altındaki toprakların bazı özellikleri ve erozyon eğilimlerinin araştırılması. Doktora Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Kashi, H., Emamgholizadeh, S. and Ghorbani, H. (2014). Estimation of soil infiltration and cation exchange capacity based on multiple regression, ANN (RBF, MLP), and ANFIS models. *Communications in soil science and plant analysis*, 45(9), 1195-1213.
- Kayri, M. (2016). Predictive abilities of bayesian regularization and Levenberg–Marquardt algorithms in artificial neural networks: a comparative empirical study on social data. *Mathematical and Computational Applications*, 21(2), 20.
- Keshavarzi, A., Bagherzadeh, A., Omran, E.-S. E. and Iqbal, M. (2016). Modeling of soil exchangeable sodium percentage using easily obtained indices and artificial intelligence-based models. *Modeling Earth Systems and Environment*, 2(3), 130.
- Keshavarzi, A., Sarmadian, F., Labbafi, R. and Ahmadi, A. (2011). Developing pedotransfer functions for estimating field capacity and permanent wilting point using fuzzy table look-up scheme. *Computer and Information Science*, 4(1), 130.
- Keshavarzi, A., Sarmadian, F., Omran, E.-S. E. and Iqbal, M. (2015). A neural network model for estimating soil phosphorus using terrain analysis. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 18(2), 127-135.
- Keshavarzi, A., Sarmadian, F., Shiri, J., Iqbal, M., Tirado-Corbalá, R. and Omran, E.-S. E. (2017). Application of ANFIS-based subtractive clustering algorithm in soil Cation Exchange Capacity estimation using soil and remotely sensed data. *Measurement*, 95, 173-180.
- Kulshreshtha, S., Devenda, H., Dhindsa, S. and Singh, R. (2003). Studies on causes and possible remedies of water and soil pollution in Sanganer town of Pink city. *Indian Journal of Environmental Sciences*, 7(1), 47-52.
- Kumar, S., Lal, R. and Lloyd, C. D. (2012). Assessing spatial variability in soil characteristics with geographically weighted principal components analysis. *Computational Geosciences*, 16(3), 827-835.
- Lakzian, A., Aval, M. B. and Gorbazadeh, N. (2010). Comparison of pattern recognition, artificial neural network and pedotransfer functions for estimation of soil water parameters. *Notulae Scientia Biologicae*, 2(3), 114.
- Li, J. and Heap, A. D. (2008). A Review of Spatial Interpolation Methods for Environmental Scientists. *Geoscience Australia, Record:23(GPO Box 378,)*, 137.
- Li, Y., Chen, D., White, R., Zhu, A. and Zhang, J. (2007). Estimating soil hydraulic properties of Fengqiu County soils in the North China Plain using pedo-transfer functions. *Geoderma*, 138(3-4), 261-271.
- Liao, W., Tang, D., Wang, X. and Cheng, X. (2015). Soil quality status of different land-use types in Shiqu County, China. Paper presented at the International Symposium on Energy Science and Chemical Engineering (ISESCE 2015).
- Liu, C.-W., Lin, K.-H. and Kuo, Y.-M. (2003). Application of factor analysis in the assessment of groundwater quality in a blackfoot disease area in Taiwan. *Science of the Total Environment*, 313(1-3), 77-89.

- López-Granados, F., Jurado-Expósito, M., Atenciano, S., García-Ferrer, A., de la Orden, M. S. and García-Torres, L. (2002). Spatial variability of agricultural soil parameters in southern Spain. *Plant and Soil*, 246(1), 97-105.
- Manrique, L., Jones, C. and Dyke, P. (1991). Predicting cation-exchange capacity from soil physical and chemical properties. *Soil Science Society of America Journal*, 55(3), 787-794.
- Marquardt, D. W. (1963). An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters. *Journal of the society for Industrial and Applied Mathematics*, 11(2), 431-441.
- Martel, Y., De Kimpe, C. and Laverdiere, M. (1978). Cation-exchange Capacity of Clay-rich Soils in Relation to Organic Matter, Mineral Composition, and Surface Area 1. *Soil Science Society of America Journal*, 42(5), 764-767.
- Materechera, S. and Mkhabela, T. (2001). Influence of land-use on properties of a ferralitic soil under low external input farming in southeastern Swaziland. *Soil and Tillage Research*, 62(1-2), 15-25.
- McBratney, A. B., Minasny, B., Cattle, S. R. and Vervoort, R. W. (2002). From pedotransfer functions to soil inference systems. *Geoderma*, 109(1-2), 41-73.
- Medvedev, V. (2011). Physical properties and spatial distribution of the plowpan in different arable soils. *Eurasian soil science*, 44(12), 1364-1372.
- Merdun, H., Çınar, Ö., Meral, R. and Apan, M. (2006). Comparison of artificial neural network and regression pedotransfer functions for prediction of soil water retention and saturated hydraulic conductivity. *Soil and Tillage Research*, 90(1-2), 108-116.
- Miháliková, M., Başkan, O. and Dengiz, O. (2015). Capability of different interpolation models and pedotransfer functions to estimate soil hydraulic properties in Büyükçay Watershed. *Environmental Earth Sciences*, 74(3), 2425-2437.
- Minasny, B. and McBratney, A. (2002). The neuro-m method for fitting neural network parametric pedotransfer functions. *Soil Science Society of America Journal*, 66(2), 352-361.
- Minasny, B., McBratney, A., Brough, D. and Jacquier, D. (2011). Models relating soil pH measurements in water and calcium chloride that incorporate electrolyte concentration. *European Journal of Soil Science*, 62(5), 728-732.
- Mohanty, M., Sinha, N. K., Painuli, D., Bandyopadhyay, K., Hati, K., Reddy, K. S. and Chaudhary, R. (2015). Modelling soil water contents at field capacity and permanent wilting point using artificial neural network for Indian soils. *National Academy Science Letters*, 38(5), 373-377.
- Møller, M. F. (1993). A scaled conjugate gradient algorithm for fast supervised learning. *Neural networks*, 6(4), 525-533.
- Moore, G. A. (2001). *Soilguide (Soil guide): A handbook for understanding and managing agricultural soils*.
- Motaghian, H. and Mohammadi, J. (2011). Spatial estimation of saturated hydraulic conductivity from terrain attributes using regression, kriging, and artificial neural networks. *Pedosphere*, 21(2), 170-177.
- Mousavi, S. M., Alavi, A. H., Gandomi, A. H. and Mollahasani, A. (2011). Nonlinear genetic-based simulation of soil shear strength parameters. *Journal of earth system science*, 120(6), 1001-1022.
- Mulla, D. and McBratney, A. (2000). *Soil Spatial Variability*. In *Handbook of Soil Science*: CRC Press.

- Najafi, M. and Givi, J. (2006). Evaluation of prediction of bulk density by artificial neural network and PTFs. Paper presented at the 10th Iranian Soil Science Congress, Karaj.
- Najjar, Y. and Zhang, X. C. (2000). Characterizing the 3D stress-strain behavior of sandy soils: A neuro-mechanistic approach. In Numerical methods in geotechnical engineering (pp. 43-57).
- Olea, R. A. (1982). Optimization of the High Plains aquifer observation network, Kansas: Kansas Geological Survey.
- Olorunfemi, I., Fasinmirin, J. and Ojo, A. (2016). Modeling cation exchange capacity and soil water holding capacity from basic soil properties. *Eurasian Journal Of Soil Science (Ejss)*, 5(4), 266-274.
- Omran, E. E. (2008). Is soil science dead and buried? Future image in the world of 10 billion people. *Catrina*, 3(2), 59-68.
- Ozalp, M., Erdogan Yuksel, E. and Yuksek, T. (2016). Soil property changes after conversion from forest to pasture in Mount Sacinka, Artvin, Turkey. *Land Degradation and Development*, 27(4), 1007-1017.
- Öztekin, T. and Erşahin, S. (2006). Saturated hydraulic conductivity variation in cultivated and virgin soils. *Turkish journal of agriculture and forestry*, 30(1), 1-10.
- Parfitt, R., Giltrap, D. and Whitton, J. (1995). Contribution of organic matter and clay minerals to the cation exchange capacity of soils. *Communications in soil science and plant analysis*, 26(9-10), 1343-1355.
- Parthasarathy, U. (2010). Importance of GIS in Agriculture. In: *Agricultural Finance Corporation Ltd.*
- Qiang, L., Jiheng, Z., Yiyang, Z., Wenfang, T., Zhengyan, Z., Yan, X. and Xiaoying, L. (2011). Study on spatial distribution of soil available microelement in Qujing tobacco farming area, China. *Procedia Environmental Sciences*, 10, 185-191.
- Rab, M., Chandra, S., Fisher, P., Robinson, N., Kitching, M., Aumann, C. and Imhof, M. (2011). Modelling and prediction of soil water contents at field capacity and permanent wilting point of dryland cropping soils. *Soil Research*, 49(5), 389-407.
- Ravikumar, P. and Somashekar, R. (2014). Spatial distribution of macronutrients in soils of Markandeya river basin, Belgaum (d), Karnataka (s), India. *Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences*, 4(2), 81-94.
- Rhoades, J. and Chanduvi, F. (1999). Soil salinity assessment: Methods and interpretation of electrical conductivity measurements (Vol. 57): Food and Agriculture Org.
- Richards, L. (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington: United States Salinity Laboratory, 1954. 160p. USDA. *Agriculture Handbook*, 60.
- Robbins, C. and Meyer, W. (1990). Calculating pH from EC and SAR values in salinity models and SAR from soil and bore water pH and EC data. *Soil Research*, 28(6), 1001-1011.
- Robbins, C. W. (1984). Sodium adsorption ratio-exchangeable sodium percentage relationships in a high potassium saline-sodic soil. *Irrigation Science*, 5(3), 173-179.

- Robertson, G. P., Klingensmith, K. M., Klug, M. J., Paul, E. A., Crum, J. R. and Ellis, B. G. (1997). Soil resources, microbial activity, and primary production across an agricultural ecosystem. *Ecological Applications*, 7(1), 158-170.
- Rosemary, F., Indraratne, S., Weerasooriya, R. and Mishra, U. (2017). Exploring the spatial variability of soil properties in an Alfisol soil catena. *Catena*, 150, 53-61.
- Saffari, M., Yasrebi, J., Sarikhani, F., Gazni, R., Moazallahi, M., Fathi, H. and Emadi, M. (2009). Evaluation of Artificial Neural Network models for prediction of spatial variability of some soil chemical properties. *Research Journal of Biological Sciences*, 4(7), 815-820.
- Sağlam, M. (2008). Gökhöyük tarım işletmesinde yaygın toprak serilerinde bazı kalite göstergelerinin uzaysal değişkenliğinin jeostatistiksel yöntemlerle incelenmesi. Doktora tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Sağlam, M., Dengiz, O., Özyazıcı, M. A., Erkoçak, A. ve Türkmen, F. (2014). Faktör Analizi ile Minimum Veri Setinin Oluşturulması ve Haritalanması: Samsun İli Örneği. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 51(2).
- Sağlam, M., Öztürk, H., Erşahin, S. and Özkan, A. (2011). Spatial variation of soil physical properties in adjacent alluvial and colluvial soils under Ustic moisture regime. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 8(2), 4261-4280.
- Salehi, A. and Zahedi Amiri, G. (2005). Study of physical and chemical soil properties variations using principal component analysis method in the forest, North of Iran. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 3(2), 131-137.
- Sangün, L. (2007). Temel Bileşenler Analizi, Ayırma Analizi, Kümeleme Analizleri ve Ekolojik Verilere Uygulanması Üzerine Bir Araştırma. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Su Ürünleri Anabilim Dalı Doktora Tezi, Adana 12s.
- Sarmadian, F. and Taghizadeh Mehrjardi, R. (2008). Modeling of some soil properties using artificial neural network and multivariate regression in Gorgan Province, North of Iran. *Global Journal of Environmental Research*, 2(1), 30-35.
- Saxton, K. E. and Rawls, W. J. (2006). Soil water characteristic estimates by texture and organic matter for hydrologic solutions. *Soil Science Society of America Journal*, 70(5), 1569-1578.
- Sedaghat, A., Bayat, H. and Sinegani, A. S. (2016). Estimation of soil saturated hydraulic conductivity by artificial neural networks ensemble in smectitic soils. *Eurasian soil science*, 49(3), 347-357.
- Şengönül, K., Ömer, K., Palta, Ş. ve Şensoy, H. (2009). Bartın Uluyayla yöresindeki mera vejetasyonunun bazı kantitatif özelliklerinin saptanması ve ekolojik yapının belirlenmesi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 11(16).
- Şengöz, N., ve Özdemir, G. (2016). Temel Bileşenler Analizi Ve K-Ortalama Kümeleme Yönteminin Birlikte Kullanımı: Bir Örnek Uygulama-Combined Use Of Principal Component Analysis And K-Clustering Method: A Case Study. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 8(15), 85-94.
- Şenol, C. (2010). Yapay sinir ağı ve bulanık mantık hibrit yapı ve algoritmalarının geliştirilmesi. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı, 91, İstanbul.

- Seyedmohammadi, J., Esmaeelnejad, L. and Ramezanpour, H. (2016). Determination of a suitable model for prediction of soil cation exchange capacity. *Modeling Earth Systems and Environment*, 2(3), 156.
- Shekofteh, H., Ramazani, F. and Shirani, H. (2017). Optimal feature selection for predicting soil CEC: Comparing the hybrid of ant colony organization algorithm and adaptive network-based fuzzy system with multiple linear regression. *Geoderma*, 298, 27-34.
- Shit, P. K., Bhunia, G. S. and Maiti, R. (2016). Spatial analysis of soil properties using GIS based geostatistics models. *Modeling Earth Systems and Environment*, 2(2), 107.
- Siddiqui, F. I., Pathan, D. M., Osman, S. B. A. B. S., Pinjaro, M. A. and Memon, S. (2015). Comparison between regression and ANN models for relationship of soil properties and electrical resistivity. *Arabian Journal of Geosciences*, 8(8), 6145-6155.
- Sila, A., Pokhariyal, G. and Shepherd, K. (2017). Evaluating regression-kriging for mid-infrared spectroscopy prediction of soil properties in western Kenya. *Geoderma Regional*, 10, 39-47.
- Singh, K. K., Colvin, T., Erbach, D. and Mughal, A. (1992). Tilth index: an approach to quantifying soil tilth. *Transactions of the ASAE*, 35(6), 1777-1785.
- Slattery, W., Conyers, M. and Aitken, R. (1999). Soil pH, aluminium, manganese and lime requirement. *Soil analysis: an interpretation manual*, 103-128.
- Smith, C., Hadas, A., Dan, J. and Koyumdjisky, H. (1985). Shrinkage and Atterberg limits in relation to other properties of principal soil types in Israel. *Geoderma*, 35(1), 47-65.
- Soyer, Ö. (2011). Bilecik ili değişik yörelerinde ormandan açılan arazilerin bazı toprak özelliklerinde meydana gelen değişimlerin araştırılması. *Artvin Çoruh Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*,
- Sposito, G. (2008). *The chemistry of soils*: Oxford university press.
- Tan, K. and Dowling, P. (1984). Effect of organic matter on CEC due to permanent and variable charges in selected temperate region soils. *Geoderma*, 32(2), 89-101.
- Taşan, M. (2017). Samsun İli Alaçam İlçesi Kıyı Bölgesi Çeltik Alanlarının Sulanmasında Yeraltı Suyu Kullanımının Toprak-Su Özellikleri ve Deniz Suyu Girişimine Etkilerinin Farklı Enterpolasyon Yöntemleri ile Değerlendirilmesi. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi*, 267.
- Taşova, H., ve Akın, A. (2013). Marmara Bölgesi topraklarının bitki besin maddesi kapsamalarının belirlenmesi, veri tabanının oluşturulması ve haritalanması. *Toprak Su Dergisi*, 2(2).
- Taylor, R. (1990). Interpretation of the correlation coefficient: a basic review. *Journal of diagnostic medical sonography*, 6(1), 35-39.
- Tiwari, N., Sihag, P. and Ranjan, S. (2017). Modeling of infiltration of soil using adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS). *J Eng Technol Educ*, 11(1), 13-21.
- Trangmar, B. B., Yost, R. S. and Uehara, G. (1985). Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. In *Advances in agronomy* (Vol. 38, pp. 45-94): Elsevier.
- Tripathi, R., Nayak, A., Shahid, M., Raja, R., Panda, B., Mohanty, S., . . . Sahoo, R. (2015). Characterizing spatial variability of soil properties in salt affected

- coastal India using geostatistics and kriging. *Arabian Journal of Geosciences*, 8(12), 10693-10703.
- Vieira, S., Hatfield, J., Nielsen, D. and Biggar, J. (1983). Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. *Hilgardia*, 51(3), 1-75.
- Wani, M. A., Shaista, N. and Wani, Z. M. (2017). Spatial Variability of Some Chemical and Physical Soil Properties in Bandipora District of Lesser Himalayas. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 45(4), 611-620.
- Webster, R. (2001). Statistics to support soil research and their presentation. *European Journal of Soil Science*, 52(2), 331-340.
- Webster, R. and Oliver, M. A. (2001). *Geostatistics for environmental scientists (Statistics in Practice)*.
- Yao, R.-J., Yang, J.-S., Wu, D.-H., Li, F.-R., Gao, P. and Wang, X.-P. (2015). Evaluation of pedotransfer functions for estimating saturated hydraulic conductivity in coastal salt-affected mud farmland. *Journal of Soils and Sediments*, 15(4), 902-916.
- Young, F. J., Hammer, R. D. and Maatta, J. M. (1992). Confidence intervals for soil properties based on differing statistical assumptions. *Conference on Applied Statistics in Agriculture, 4th Annual Conference Proceedings*.
- Yurtseven, E. ve Güngör, Y. (1990). Değişik Tuzluluk Düzeylerindeki Sulama Sularının Toprak Tuzlulaşmasına Etkisi. *Doğa Tr. J. Of Agriculture and Forestry*, 14, 555-561.
- Yurtseven, E., Öztürk, H. S., Avcı, S., Altınok, S. ve Selenay, M. F. (2012). Farklı Sulama suyu kalitesi ve yıkama oranı uygulamalarında profil tuzluluğunun değişimi. *Toprak Su Dergisi*, 1(1).
- Yurtseven, E. ve Sönmez, B. (1996). Sulama suyu tuzluluğunun domates verimine ve toprak tuzluluğuna etkisi. *Tr. J. of Agriculture and Forestry*, 20(1), 27-33.
- Zhang, Y. (2011). *Introduction to Geostatistics-Course Notes*. Dept. of Geology and Geophysics, University of Wyoming.
- Zhao, Z., Chow, T. L., Rees, H. W., Yang, Q., Xing, Z. and Meng, F.-R. (2009). Predict soil texture distributions using an artificial neural network model. *Computers and electronics in agriculture*, 65(1), 36-48.
- Zou, P., Yang, J., Fu, J., Liu, G. and Li, D. (2010). Artificial neural network and time series models for predicting soil salt and water content. *Agricultural Water Management*, 97(12), 2009-2019.

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Sevda TAŞAN

Doğum Yeri : Anamur

Doğum Tarihi : 30.12.1987

Eğitim Durumu

Lise: : Bozyazı-Tekmen Lisesi-Bozyazı (2004)

Lisans : Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü (2009)

Yüksek Lisans : Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı (2012)

Çalıştığı Kurumlar ve Yıl

Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi (2009-2012)

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi (2012- halen devam ediyor)

Yayınlar

Taşan, S., Şimşek, H., Ünlükara, A., Küçüktopçu, E. and Cemek, B., (2017). Estimation of soil salinity by artificial neural networks of grasspea (*Lathyrus sativus* L.) plant growing in greenhouse conditions. International Conference on Computational and Statistical Methods in Applied Sciences (COSTAS), 9-11 Kasım 2017, Samsun.

Taşan, M., **Taşan, S.,** Demir, Y. ve Arslan, H., (2018). Yeraltı Suyu Bor İçeriğinin Farklı Enterpolasyon Yöntemleri ile Değerlendirilmesi. Uluslararası Su ve Çevre Kongresi, SUCEV2018 Bildiriler Kitabı, 22-24 Mart 2018, Bursa.