

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**RÜZGÂR EROZYONUNUN KONUMSAL DAĞILIMI VE TOPRAK YÜZEYİ
BAĞLANTISALLIĞI ARASINDAKİ ETKİLEŞİMLERİN DOĞRUDAN
ÖLÇÜMLER VE TAHMİN MODELLERİ İLE ARAŞTIRILMASI**

Sema KAPLAN

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

**ANKARA
2021**

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Doktora Tezi

RÜZGÂR EROZYONUNUN KONUMSAL DAĞILIMI VE TOPRAK YÜZEYİ BAĞLANTISALLIĞI ARASINDAKİ ETKİLEŞİMLERİN DOĞRUDAN ÖLÇÜMLER VE TAHMİN MODELLERİ İLE ARAŞTIRILMASI

Sema KAPLAN

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Danışman Prof. Dr. Günay ERPUL

Kurak ve yarı kurak alanlarda sürdürülebilir arazi kullanım uygulamalarının ve yönetim stratejilerinin geliştirilmesine, mevcut ve gelecekteki potansiyel eğilimlerin değerlendirilmesine ihtiyaç vardır. Bu çalışmanın amacı; Orta Anadolu yarı kurak koşullarında buğday ekili ve nadas parsellerinde meydana gelen on bir farklı rüzgâr olayı için rüzgâr erozyonu risklerinin doğrudan ölçümler ve farklı tahmin modelleri ile belirlenmesidir. Bu amaçla BEST sediment tutucular kullanılarak arazide doğrudan ölçümlerle rüzgâr erozyonu şiddeti tespit edilmiştir. İki farklı rüzgâr erozyonu tahmin modeli kullanılarak deneme süresince meydana gelen rüzgâr olayları sonucu oluşan toprak kayıpları tahmin edilmiştir. Jeostatistiksel hesaplamalar sonucu elde edilen yarıvaryogram model parametreleri kullanılarak her iki parselde sediment akış oranına ait maksimum ilişkili uzaklığı etkileyen faktörler belirlenmiştir. Bunun yanı sıra toprak kayıpları üzerinde etkili parametrelerin belirlenmesi ve kayıp oranlarının tahmin edilmesi amacıyla bazı yapay zekâ algoritmalarının işlevliliği test edilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre hem buğday ekili parselde hem de nadas parselinde toprak kayıpları meydana gelmiştir (kg/m^2). Özellikle kışlık hububat ekiminin yapıldığı sonbahar döneminde ekili parselin, bahar döneminde ise nadas parselinin rüzgâr erozyonuna karşı oldukça duyarlı olduğu tespit edilmiştir. Kullanılan tahmin modelleri arasında en iyi sonuçlar kalibrasyon uygulanmış RWEQ modeli ile elde edilmiştir. Model sonuçları, modellerin yerel koşullara göre kalibre edildikten sonra kullanılması gerektiğini, aksi taktirde düşük veya yüksek tahmin sonuçları elde edileceğini göstermiştir. Jeostatistiksel sonuçlara göre sediment akış oranının parseller içerisinde maksimum ilişkili uzaklığını etkileyen en önemli parametre nadas parseli için kapalılık faktörü olurken, ekili parselde bunun rüzgâr hızı ve kapalılık olduğu tespit edilmiştir. Kullanılan uygun yapay zekâ algoritmalarının rüzgâr erozyonu kaynaklı toprak kayıplarının tahmininde kullanılmasına dair umut verici sonuçlar elde edilmiştir.

Şubat 2021, 144 sayfa

Anahtar Kelimeler: Toprak kaybı, rüzgâr erozyonu, BEST sediment tuzağı, tahmin modelleri, konumsal analiz, arazi kullanımı, yapay zekâ

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

INVESTIGATION OF INTERACTIONS BETWEEN SPATIAL DISTRIBUTION OF WIND EROSION AND SOIL SURFACE CONNECTIVITY BY DIRECT MEASUREMENTS AND PREDICTION MODELS

Sema KAPLAN

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Soil Science and Plant Nutrition

Supervisor: Prof. Dr. Günay ERPUL

There is a need for development of sustainable land use practices and management strategies and assessment of potential current and future trends in arid and semi-arid regions. This thesis was conducted to determine wind erosion risks for 11 different wind cases experienced over wheat-planted and fallow lands under semi-arid conditions with the use of direct measurements and different estimation models. BEST® sediment traps were used to determine severity of wind erosion with direct measurements in field. Two different wind erosion estimation models were used to estimate soil loss through wind cases throughout the experiments. The semi-variogram model parameters obtained through geostatistical analyses were used to determine the factors influencing maximum likelihood distance for sediment flow rate of both plots. Efficiency of some artificial intelligence algorithms were also tested to determine the factors effecting soil losses and to estimate soil loss ratios. According to present findings, soil loss was encountered in both wheat-planted and fallow plots (kg/m^2). Wheat-planted plot was found to be quite sensitive to wind erosion in autumn, in which winter cereals are sown and fallow plot was found to be sensitive to wind erosion in spring season. Among the estimation models, calibrated RWEQ model yielded the best outcomes. Model results revealed that models should be calibrated for local conditions, otherwise they may yield lower or greater estimations. According to geostatistical analyses results, cover was identified as the most significant factor influencing maximum likelihood distance for sediment flow rates in fallow plot and wind velocity and cover were identified as the most significant parameters in wheat-planted plot. Promising outcomes were achieved for estimation of wind erosion-induced soil losses with the use of artificial intelligence algorithms.

February 2021, 144 pages

Key Words: Soil loss, soil wind erosion, BEST sediment trap, predictive models, spatial analysis, land use, artificial intelligence

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Çalışmalarım süresince beni daima destekleyen, ilham veren ve hem akademisyenlikleri hem de hayata karşı sergiledikleri dik duruşları ile örnek aldığım danışman hocalarım Prof. Dr. Günay ERPUL'a (Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi) ve Prof. Dr. Mustafa BAŞARAN'a (Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ziraat Fakültesi) planlanan bazı işlerin yolunda gitmediği zamanlarda dahi bana verdikleri güven ve destek için çok teşekkür ederim.

Tez çalışmamın planladığı ilk aşamadan itibaren her soru ve sorunuma çözüm sunmaya çalışan değerli tez izleme komitesi üyesi hocalarım Prof. Dr. Taşkın ÖZTAŞ'a (Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi) ve Prof. Dr. Hasan Sabri ÖZTÜRK'e (Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi) teşekkür ederim. Karşılıklı yaptığımız tartışmalar ve çalışmalarım hakkındaki geri bildirimleri araştırma sonuçlarımı geliştirmemde ve ilerlememde çok büyük yol kat etmemi sağladı.

Araştırmamın önemli bir kısmını arazi çalışmaları oluşturduğu için denemenin her döneminde arazide çok yoğun zamanlar geçirmek zorunda kaldım. Bu süreçte benden desteğini esirgemeyen hocam Dr. Öğr. Üyesi Oğuzhan UZUN'a (Erciyes Üniversitesi Ziraat Fakültesi), çalışma arkadaşlarım Arş. Gör. İhsan Serkan VAROL (Erciyes Üniversitesi Ziraat Fakültesi) ve Arş. Gör. Ahmet SAY'a (Erciyes Üniversitesi Ziraat Fakültesi), Ziraat Yüksek Mühendisi Engin KAYMAZ'a, Öğr. Gör. İhsan GÖLGÜL'e (İzmir Bakırçay Üniversitesi), Arş. Gör. Yusuf Murat KARDEŞ'e (Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi), Metin Biraderoğlu'na (Kayseri Kocasinan Belediyesi), Kenan İnce'ye (Tarım ve Orman Bakanlığı Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü), Ziraat Yüksek Mühendisi Furkan KANARYA'ya destekleri için çok teşekkür ederim.

Ayrıca hem arazide hem de laboratuvara getirdiğim örneklerle çalışırken yardımcı olan Ziraat Mühendisi Yusuf Murat KEÇE'ye, Ziraat Mühendisi Yusuf Can AŞIK'a, Ziraat Yüksek Mühendisi Hanife BULUT'a, Ziraat Mühendisi Serkan KARPUZCU'ya, Ziraat Mühendisi Ekrem AKTAŞ'a, Ziraat Mühendisi Akif Gümüş'e, Ziraat Mühendisi Osman CİNGİ'ye ve bana destek olan adını sayamadığım tüm öğrenci arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Arazide deneme sahasının insansız hava aracı ile fotoğraflarının çekilmesinde destek olan Tugay KEKEÇ'e ve Mehmet Cem ŞEFLEK'e teşekkür ederim.

Tez çalışmalarımızı eş dönemli yürüttüğümüz sevgili arkadaşım Dr. Melis Özge PINAR'a (Tarım ve Orman Bakanlığı Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü) bana bu yolda verdiği moraller, fikirler ve dostluğu için çok teşekkür ederim.

Araştırma sonuçlarımın hesaplanmasında karşılaştığım sorunların çözümü için sonsuz sorularına hep sabırla cevap veren, bunun yanı sıra manevi desteklerini de her an hissettiğim çalışma arkadaşlarım Öğr. Gör. Zeynel Abidin KUŞ'a (Erciyes Üniversitesi Ziraat Fakültesi) ve Arş. Gör. Necati ÇETİN'e (Erciyes Üniversitesi Ziraat Fakültesi) en derin teşekkürlerimi sunarım.

Uzun süren tez çalışmalarım sırasında her zaman yanımda olan ve manevi desteklerini benden asla esirgemeyen çalışma arkadaşlarım ve dostlarım Doç. Dr. Kevser KARAMAN'a (Erciyes Üniversitesi Ziraat Fakültesi), Arş. Gör. Sibel TURAN'a (Erciyes Üniversitesi Ziraat Fakültesi), uzun çalışma saatleri sonrası eve dönüşlerimde beni yemekleri ve gülen yüzü ile bekleyen canım komşum ve arkadaşım Görsel Sanatlar Öğretmeni Çilem URAZ'a çok teşekkür ederim.

Her çıktığım yolda beni sorgusuz sualsiz destekleyen, bu yorucu süreçte kızımın daha fazla yorulmaması için tıpkı bana yaptıkları gibi ona da kol kanat geren annem Hacer, babam Nebi, abim Salih ve kardeşim Semih KARABAĞ'a sonsuz teşekkür ederim.

En son teşekkürüm ise hem çalışma arkadaşım hem de hayat arkadaşım olan Prof. Dr. Mahmut KAPLAN'a ve güzel gözlü kızım Zeynep'e. Tez çalışmalarım süresince hem bir akademisyen olarak yol göstericiliği hem eş hem de bir baba olarak hayatımdaki varlığına ne kadar teşekkür etsem eksik kalacaktır. Kızım Zeynep ise bu süreçte bir yandan daha çok zorlanmama bir yandan ise daha çok özenmeme sebep oldu. Her ikisi de bugün geldiğim noktada hayatımın en önemli itici güçleridir. Çok ama çok teşekkür ederim.

Tez çalışması, kurumum olan Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından FDK-2018-8017 proje koduyla desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkür ederim.

Sema KAPLAN
Ankara Şubat 2021

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI

ETİK.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	iv
SİMGELER DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ÖZETLERİ	6
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	15
3.1 Araştırma Alanı.....	15
3.2 Yöntem	20
3.2.1 Meteorolojik ölçümler	20
3.2.2 Toprak özellikleri ve yüzey ölçümlerine ait parametreler	21
3.2.2.1 Toprak nemi	21
3.2.2.2 Bitki kapallığı ve boyu	21
3.2.2.3 Yüzey pürüzlülüğü	22
3.2.2.4 Doğal agregat dağılımı ve dayanımı	23
3.2.3 Fiziksel ve kimyasal bazı toprak özelliklerinin belirlenmesi:	24
3.2.4 Doğrudan rüzgâr erozyonu ölçümleri.....	24
3.2.4.1 Toplam sediment akışı	24
3.2.5 Tahmin modellerinin kullanılması	26
3.2.5.1 Yenilenmiş Rüzgâr Erozyonu Eşitliği	26
3.2.5.2 Tek Olaylık Rüzgâr Erozyonu Değerlendirme Programı	31
3.2.6 Jeostatistiksel hesaplamalar	34
3.2.7 Biplot analizi.....	35
3.2.8 Yapay zekâ uygulamaları	35
3.2.9 İstatistiksel hesaplamalar	39
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	40
4.1 Araştırma Alanı Temel Bazı Toprak Özellikleri	40

4.2 İklimsel Veriler.....	42
4.3 Doğrudan Rüzgâr Erozyonu Ölçümleri Toplam Kütle Taşınımı Sonuçları	52
4.4 Rüzgâr Erozyonu Model Sonuçları	55
4.5 Jeostatistiksel Sonuçlar	66
4.5.1 Tanımlayıcı istatistikler	66
4.5.2 Jeostatistiksel hesaplamalar	75
4.6 Rüzgâr Erozyonu ve Temel Bileşen Analizleri.....	98
4.7 Yapay Zekâ Sonuçları	111
4.7.1 Sediment akış oranının tahmin edilmesi	117
4.7.2 Bitki Boyunun tahmin edilmesi	123
4.7.3 Kapalılığın tahmin edilmesi	125
4.7.4 Pürüzlülüğün tahmin edilmesi	127
5. SONUÇ	130
KAYNAKLAR	134
ÖZGEÇMİŞ	143

SİMGELER DİZİNİ

μm	Mikrometre
km^2	Kilometrekare
cm	Santimetre
m	Metre
mm	Milimetre
g	Gram
cm^2	Santimetrekare
m^2	Metrekare
$^{\circ}\text{C}$	Santigrat derece
m^3	Metreküp
s^2	Saniye kare
cal	Kalori
kg	Kilogram
ha	Hektar
sa	Saat
Mg	Magnezyum
Ca	Kalsiyum
CaCO_3	Kalsiyum karbonat
%	Yüzde

Kısaltmalar

WEPS	Rüzgâr Erozyonu Tahmin Sistemleri
SWEEP	Tek Olaylık Rüzgâr Erozyonu Değerlendirme Programı
RWEQ	Yenilenmiş Rüzgâr Erozyonu Eşitliği
UDREMİS	Ulusal Dinamik Rüzgâr Erozyonu Modeli ve İzleme Sistemi
ANN	Yapay Sinir Ağı
SVM	Destek Vektör Makineleri
RF	Rastgele Orman Algoritması
MLP	Çok Katmanlı Algılayıcı
GFF	Genelleştirilmiş İleri Besleme
PCA	Temel Bileşen Analizi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Taneciklerin taşınma şekilleri	1
Şekil 3.1 Araştırma alanından genel görünüm	15
Şekil 3.2 Deneme parsellerinin ve deneme deseninin uzaktan görünümü	17
Şekil 3.3 BEST sediment tutucuların ölçüm sistemi üzerindeki görünümü	18
Şekil 3.4 Deneme alanında kurulan meteoroloji istasyonu	20
Şekil 3.5 Çerçeve yöntemi ile bitki kapalılığının belirlenmesi	21
Şekil 3.6 Zincir yöntemi ile toprak pürüzlülüğünün belirlenmesi	22
Şekil 3.7 Doğal agregat dağılımının belirlenmesi	23
Şekil 3.8 Biriken sedimentlerin toplanması	24
Şekil 3.9 RWEQ modeline ait temel parametreler ve alt değişkenler	27
Şekil 3.10 SWEEP model yazılımına ait görüntü	32
Şekil 3.11 SWEEP modeline ait temel parametreler ve alt değişkenler	33
Şekil 4.1 Deneme sahası eğim haritası (%)	41
Şekil 4.2 Deneme periyodu boyunca aylık yağış miktarları (mm)	43
Şekil 4.3 Olay 1'e ait rüzgâr gülü diyagramı ve rüzgâr hızları (m/s)	43
Şekil 4.4 Olay 2'ye ait rüzgâr gülü diyagramı ve rüzgâr hızları (m/s)	44
Şekil 4.5 Olay 3'e ait rüzgâr gülü diyagramı ve rüzgâr hızları (m/s)	45
Şekil 4.6 Olay 4'e ait rüzgâr gülü diyagramı ve rüzgâr hızları (m/s)	46
Şekil 4.7 Olay 5'e ait rüzgâr gülü diyagramı ve rüzgâr hızları (m/s)	47
Şekil 4. 8 Olay 6'ya ait rüzgâr gülü diyagramı ve rüzgâr hızları (m/s)	48
Şekil 4.9 Olay 7'ye ait rüzgâr gülü diyagramı ve rüzgâr hızları (m/s)	49
Şekil 4.10 Olay 8'e ait rüzgâr gülü diyagramı ve rüzgâr hızları (m/s)	50
Şekil 4.11 Olay 9'a ait rüzgâr gülü diyagramı ve rüzgâr hızları (m/s)	50
Şekil 4.12 Olay 10'a ait rüzgâr gülü diyagramı ve rüzgâr hızları (m/s)	51
Şekil 4.13 Olay 11'a ait rüzgâr gülü diyagramı ve rüzgâr hızları (m/s)	51
Şekil 4.14 Nadas parseli Olay 1'de ikinci ölçüm sistemine ait üstel grafik	53
Şekil 4.15 Buğday ekili parselde Olay 6 için SWEEP modelinin ara yüzüne ait görüntü	59
Şekil 4.16 Nadas ve ekili parsel için ölçülen ve tahmin edilen toplam toprak kayıpları arasındaki ilişki	66
Şekil 4.17 Nadas alanı pürüzlülük parametresine ait yarıvaryogramlar	77
Şekil 4.18 Buğday ekili alan pürüzlülük parametresine ait yarıvaryogramlar	79

Şekil 4.19 Nadas parseli kapalılık parametresine ait yarıvaryogramlar.....	81
Şekil 4.20 Nadas parselinde pürüzlülük değerlerine ait kriging haritaları (%).....	86
Şekil 4.21 Buğday ekili parselde pürüzlülük değerlerine ait kriging haritaları (%)	88
Şekil 4.22 Nadas parselinde bitki boyu değerlerine ait kriging haritaları (cm)	89
Şekil 4.24 Nadas parselinde kapalılık değerlerine ait kriging haritaları (%)	91
Şekil 4.25 Buğday ekili parselde kapalılık değerlerine ait kriging haritaları (%).....	92
Şekil 4.26 Nadas parselinde sediment akış oranı değerlerine ait kriging haritaları (kg/m)	93
Şekil 4.27 Buğday ekili parselde sediment akış oranına ait kriging haritaları (kg/m)....	95
Şekil 4.28 Olay 1 için ekili ve nadas parsellerinde Biplot grafiği	99
Şekil 4.29 Olay 2 için ekili ve nadas parsellerinde Biplot grafiği	100
Şekil 4.30 Olay 3 için ekili ve nadas parsellerinde Biplot grafiği	101
Şekil 4.31 Olay 4 için ekili ve nadas parsellerinde Biplot grafiği	102
Şekil 4.32 Olay 5 için ekili ve nadas parsellerinde Biplot grafiği	103
Şekil 4.33 Olay 6 için ekili ve nadas parsellerinde Biplot grafiği	104
Şekil 4.34 Olay yedi için ekili ve nadas parsellerinde Biplot grafiği.....	105
Şekil 4.35 Olay sekiz için ekili ve nadas parsellerinde Biplot grafiği	106
Şekil 4.36 Olay 9 için ekili ve nadas parsellerinde Biplot grafiği	107
Şekil 4.37 Olay10 için ekili ve nadas parsellerinde Biplot grafiği	108
Şekil 4.38 Olay 11 için ekili ve nadas parsellerinde Biplot grafiği	109
Şekil 4.39 Nadas parselinde sediment akış oranının tahmini için çok katmanlı algılayıcı modelinin yapısı	119
Şekil 4.40 Nadas parselinde sediment akış oranının tahmini için PCA'dan sonra oluşan çok katmanlı algılayıcı modelinin yapısı	120
Şekil 4.41 Ekili parselde sediment akış oranının tahmini için çok katmanlı algılayıcı modelinin yapısı	121
Şekil 4.42 Ekili parselde sediment akış oranının tahmini için PCA'dan sonra oluşan çok katmanlı algılayıcı modelinin yapısı	122

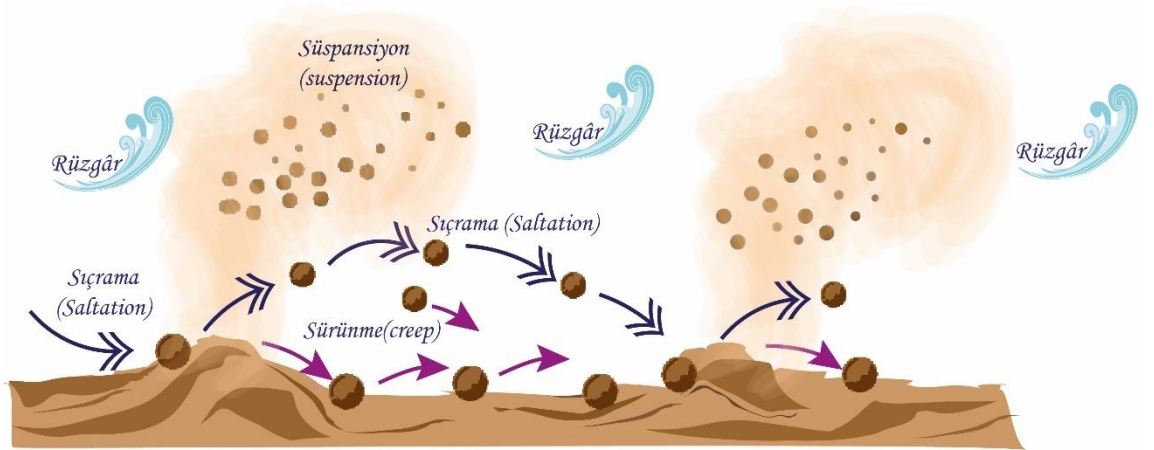
ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 Kayseri ili uzun yıllar iklim verileri (1927-2019).....	19
Çizelge 4.1 Araştırma alanına ait bazı toprak özellikleri sonuçları	40
Çizelge 4.2 Araştırma süresi boyunca her bir rüzgâr erozyonu olayına ait iklimsel parametreler.....	42
Çizelge 4.3 Nadas ve buğday ekili parsellerden taşınan toprak miktarları (kg/ha)	53
Çizelge 4.4 Kalibrasyon parametreleri.....	56
Çizelge 4.5 Nadas ve buğday ekili alana ait RWEQ alt parametre ve model çıktıları ...	56
Çizelge 4.6 Doğrudan ölçüm ve model kıyaslamaları	62
Çizelge 4.7 Ölçülen değerlerin ve tahmin modellerinden hesaplanan verilerin istatistiksel karşılaştırılması	63
Çizelge 4.8 Nadas ve buğday ekili parsellerde her bir rüzgâr erozyonu olayı için pürüzlülük değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler.....	71
Çizelge 4.9 Nadas ve buğday ekili parsellerde her bir rüzgâr erozyonu olayı için bitki boyu değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler.....	72
Çizelge 4.10 Nadas ve buğday ekili parsellerde her bir rüzgâr erozyonu olayı için kapalılık değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler.....	73
Çizelge 4.11 Nadas ve buğday ekili parsellerde her bir rüzgâr erozyonu olayı için sediment akış oranı değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler.....	74
Çizelge 4.12 Nadas alanına ait pürüzlülük değerleri yarıvaryogram model ve parametreleri	75
Çizelge 4.13 Buğday ekili alanına ait pürüzlülük değerleri varyogram parametreleri ...	78
Çizelge 4.14 Nadas alanına ait kapalılık değerleri yarıvaryogram parametreleri.....	80
Çizelge 4.15 Buğday ekili alana ait kapalılık değerleri yarıvaryogram parametreleri ...	82
Çizelge 4.16 Nadas alanına ait noktasal bitki boyu değerleri yarıvaryogram parametreleri	82
Çizelge 4.17 Ekili alana ait noktasal bitki boyu değerleri yarıvaryogram parametreleri	83
Çizelge 4.18 Nadas alanına ait noktasal sediment akış oranı değerleri yarıvaryogram parametreleri	84
Çizelge 4.19 Buğday ekili alanına ait noktasal sediment akış oranı değerleri yarıvaryogram parametreleri.....	85
Çizelge 4.20 Nadas alanı kullanılan parametrelere ait özellikler.....	112
Çizelge 4.21 Nadas alanında kullanılan parametrelere ait özvektör değerleri.....	113
Çizelge 4.22 Ekili alan kullanılan özelliklere ait değerler	115

Çizelge 4.23 Ekili alanda kullanılan parametrelere ait özvektör değerleri	116
Çizelge 4.24 Sediment akış oranı için tasarlanan çok katmanlı algılayıcı (MLP) yapısının sinir ağları parametreleri	118
Çizelge 4.25 Sediment akış oranı için yapay zekâ algoritmalarının tahmin performans sonuçları.....	118
Çizelge 4.26 Bitki boyu için tasarlanan Çok Katmanlı Algılayıcı model yapısının sinir ağları parametreleri	124
Çizelge 4.27 Bitki boyu için yapay zekâ algoritmalarının tahmin performans sonuçları.....	124
Çizelge 4.28 Kapalılık için tasarlanan MLP yapısının sinir ağları parametreleri	126
Çizelge 4.29 Kapalılık için yapay zekâ algoritmalarının tahmin performans sonuçları.....	126
Çizelge 4.30 Pürüzlülük için tasarlanan MLP yapısının sinir ağları parametreleri	128
Çizelge 4.31 Pürüzlülük için yapay zekâ algoritmalarının tahmin performans sonuçları.....	128

1. GİRİŞ

Toprak Dünya'daki tüm canlı yaşamı için değiştirilemez çok önemli bir yere sahiptir. Rüzgâr erozyonu yeni bir tehdit olmasa da günümüzde çevresel bozulmanın en önemli kaynaklarından biri olarak görülmektedir. Bu amaçla kontrol tekniklerinin tasarımı ve değerlendirilme yöntemlerinin geliştirilebilmesi için erozyon sürecinin iyi bilinmesi gerekmektedir. Bu süreçte birçok dinamik faktör söz konusu olduğu için rüzgâr erozyonu süreci karmaşık bir olgu olarak kabul edilmektedir. Rüzgâr erozyonu; rüzgâr gücü ile toprak taneciklerinin parçalanma, taşınma ve birikmesi süreci olarak tanımlanabilir (Gomez vd. 2003). Tarımsal açıdan; üst toprak katmanı ve besin elementleri taşınmakta ve toprakların verim gücü azalmakta veya bütünüyle kaybolmaktadır. Toprak taneciklerinin ilk hareketini başlatan rüzgâr hızına eşik sürüklenme hızı denir. İlk tanecik hareketi ile sürüklenme, saltasyon (sıçrama), süspansiyon (uçma) şeklinde taşınma ve birikme ile sonlanan rüzgâr erozyonu süreci başlamış olur (Şekil 1.1).



Şekil 1.1 Taneciklerin taşınma şekilleri (Blanco-Canqui ve Lal 2008a)

Rüzgâr gücü ile harekete geçen ve sıçrayamayacak kadar ağır olan tanecikler yüzeyde sürünme veya yuvarlanma şeklinde rüzgâr doğrultusunda hareket ederek taşınmaya başlar. Genellikle $> 500 \mu\text{m}$ tanecikler sürüklenme ile taşınır ve toplam taşınan kütlenin %15-25'lik kısmını oluşturur. Sıçrama ile taşınan tanecikler $50\text{-}500 \mu\text{m}$ arasındaki boyuta sahiptirler. Rüzgâr erozyonu içindeki payı %50-70 arasındadır. Sıçrama ile

taneciklerin %60'ı 5 cm mesafeye taşınırken, %90'ı 25 cm ve %1 kısmı ise 1 metreden daha uzak mesafelere taşınabilir. Aslında sürüklenme ve sıçrama ile taşınan tanecikler erozyon sahasında kalırken süspansiyon ile taşınan tanecikler bölgeyi tamamen terk eder. Taşınma yüksekliği bir kaç kilometreyi bulurken taşınma mesafesi binlerce kilometreye ulaşabilmektedir. Toplam rüzgâr erozyonunun **%10'u** süspansiyon şeklinde meydana gelmekte olup <100 µm tanecikler bu süreçten etkilenmektedir.

Evrensel sonuçları olan rüzgâr erozyonu özellikle kurak ve yarı-kurak bölgelerde hakim bozulma süreçlerinden birisidir. Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri (17 Hedef) herkes için daha iyi ve sürdürülebilir bir geleceğe ulaşmak amacıyla 2015 yılında Birleşmiş Milletler 'in önerdiği yollardan biridir. Mevcut nüfus eğilimi dikkate alındığında 2050 yılına kadar dünya nüfusunun dokuz milyarı aşacağı ve bunun sonucunda gıda ve yem taleplerinde %60'lık bir artış olacağı tahmin edilmektedir (FAO 2015). Küresel ölçekte yaklaşık 549 milyon ha alan rüzgâr erozyonu tehdidi ile karşı karşıya olup bunun 296 milyon ha'lık kısmı rüzgâr erozyonundan ciddi oranda etkilenmektedir. (Lal 1990, 2003). Geçtiğimiz yüzyılda Dünya topraklarının üçte birinden fazlası çoğunlukla kurak koşullar ve kuvvetli rüzgâr hızları ya da seyrek bitki koşullarında meydana gelen ve doğal bir süreç olan rüzgâr erozyonuyla karşı karşıya kalmıştır. Meraların aşırı otlatılması, münavebesiz ürün sistemleri, ormansızlaşma, tarım alanlarının uzun süre nadas bırakılması gibi insan kaynaklı baskılar sonucu ise toprak kayıpları hızla artmaktadır.

Erozyon; bitki besin maddesi, organik madde ve ince toprak taneciklerinin kayıplarından dolayı toprak verimliliğinin azalmasına, mikro besin elementlerinin karasal ve denizel ekosistemlerine taşınmasına sebep olur (Griffin and Kellog 2004). Güney Amerika, Avrupa, Asya, Avusturalya, Afrika ve Kuzey Amerika'da yapılmış çalışmalarla bozulmaya uğramış tarım alanları ve otlatılan meraların rüzgâr erozyonu riski de birçok araştırma ile ortaya konulmuştur (Gillieson vd. 1996, Buschiazzo vd. 1999, Dong vd. 2000, Biielders vd. 2000, Goossens vd. 2001).

Yüzey toprağının erozyona uğraması toprağın en verimli kısmı olan organik (humus) ve inorganik (kil mineralleri) kolloidleri uzaklaştırarak toprakların veriminin düşmesine

sebeup olmaktadır. Kil ve organik maddece fakirleşen topraklarda üretkenlik azalarak kaliteli bir toprak için temel olan toprak nitelikleri yok olmaktadır. Verimli toprak katmanının uzaklaşması ile tarım topraklarında gübreleme ihtiyacı büyük oranda artmaktadır. Toprak kaybının yanı sıra sıçrayan taneciklerin fideler ve meyveler üzerindeki aşındırıcı etkisiyle bitkilere zarar vermektedir. Erozyona uğrayan topraklar atmosfere karışarak havayı kirletmekte, görüş mesafesini azaltarak kazalara sebep olmakta, makinelere zarar vermekte ve hayvan ve insan sağlığını tehdit etmektedir. Rüzgâr erozyonu, tarımsal üretim ve doğal kaynakların sürdürülebilirliği açısından hem Türkiye’de hem dünya da giderek daha önemli bir hale gelen ciddi bir sorundur.

Türkiye’nin içinde bulunduğu coğrafi konum, iklim, topografya ve toprak koşulları göz önüne alındığında çölleşme ve kuraklığa karşı oldukça hassas konumdadır (Erpul ve Deviren Saygın 2012). Doğrudan ölçümlerin sınırlı olmasının yanı sıra Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü verilerine göre Türkiye hafiften şiddetli erozyon oranlarına kadar değişen rüzgâr fırtınalarına belirgin şekilde maruz kalan yaklaşık 500,000 ha karasal kumul alanına sahiptir (İnce vd. 2018). İklim değişikliği ile ilgili gelecekteki tahminler ise Türkiye’nin Orta ve Güneydoğu Anadolu ile Akdeniz bölgelerinde artan rüzgâr erozyonu riskine yol açabilecek daha sert kurak dönemlere gireceğini öngörmektedir. Bu durumda Türkiye’nin kurak ve yarı kurak bölgeleri kademeli olarak hava değişimlerine maruz kalacaktır. Gelecekle ilgili bu tür belirsizlikler araştırmacıları rüzgâr erozyonu çalışmalarına daha fazla odaklanmaları konusunda uyarmaktadır (Kaplan vd. 2020, Uzun vd. 2020, Basaran vd. 2017a,b). Bozulma tehdidi altındaki doğal kaynak olan toprakların korunarak kullanılması, toplumların gelişmesi ve kalkınmasının yolundaki en büyük anahtardır. Kalkınma Bakanlığı’nın Onuncu Kalkınma Planı’nda erozyonla mücadele çalışmalarına mevcut durumu ile devam edilmesi halinde dahi tüm alanlarda koruma önlemlerinin yürütülebilmesi ve gerçekleştirilebilmesi için 525 yıla ihtiyaç duyulacağı bildirilmiştir (Anonim 2014).

Yaklaşık 23 milyon ha tarım alanına sahip olan Türkiye’de nadas yapılan kuru tarım alanları 4 milyon ha’dır (Anonim 2020a). Kurak ve yarı-kurak bölgelerdeki yetersiz yağış ve yabancı ot kontrolü ile ilgili kaygılar tarımsal işletmeleri nadas uygulamasına

zorlamaktadır. Nadas sisteminden dolayı kuru tarım alanlarının neredeyse %50'lik kısmı, üretim sezonu boyunca korumasız kalmakta ve nadas süresince yapılan toprak işleme, rüzgâr erozyonunu teşvik ederken, tarımsal mekanizasyona bağlı toz salınımını arttırmaktadır. Bu alanlar iklim, toprak özellikleri ve bitki örtüsü deseni bakımından da farklılıklar göstermektedir. Bu sebeple erozyona maruz bölgelerin her birinde rüzgâr erozyonu mekanizması da farklı işlemektedir.

İklim değişikliği ve kuraklık etkisi ile yarı-kurak iklim kuşaklarında meydana gelen rüzgâr erozyonu sorunu nadas alanlarında daha da önemli olmaya başlamıştır. Türkiye'de kuru koşullarda tarımsal üretim hububat ekimi üzerine yoğunlaşmıştır. Bu durumun en önemli sebebi geleneksel tarımsal üretimde kuru koşullarda hububat üretimi içerisinde nadasın hala önemli düzeyde yeri olmasıdır. Dolayısıyla kuru koşullarda tarım yapılan alanlarda nadas ve ekili alanlar olmak üzere farklı arazi kullanım şekilleri mevcuttur. Nadas sisteminde yılda en az iki defa yabancı ot kontrolü amacıyla kulaklı pulluk ile sürüm yapılırken toprak yüzeyi çoğunlukla bitkisel örtüden yoksun, fakat toprak bünyesine bağlı olarak keseklerden oluşmuş pürüzlülüğe sahiptir. Nadas alanlarında anız bozulup yüzey pürüzlü bırakılarak yağışlardan sonra pürüzlülüğün azaldığı koşullarda ise yüzeyi yeniden pürüzlendirmek amacıyla hâkim rüzgâr yönüne dik sürümler ile toprak yüzeyinin pürüzlendirilmesi sağlanmaktadır. Ekili alanlarda ise iyi bir tohum yatağı hazırlamak için kulaklı pulluk, kazayağı ve diskaro gibi tarımsal mekanizasyon aletleri ile birçok kere toprak işleme yapılmaktadır. Bu uygulamada temel amaç iyi bir tohum yatağı hazırlamaktır, ancak ekim ayından itibaren kardeşlenmenin olacağı nisan ayına kadar oldukça düz, pürüzsüz tarla yüzeyi rüzgâr erozyonuna karşı korunmasız kalabilmektedir. Sonuç olarak mevcut geleneksel sistemde hem nadas hem de ekili alanlar yılın önemli bir kısmını vejetasyon örtüsünden yoksun geçirdiği için rüzgâr erozyonu riski ile karşı karşıyadır. Geleneksel tarım sisteminin veya alternatif kültürel ve mühendislik önlemlerinin geliştirilebilmesi için, her iki arazi kullanım sisteminde de rüzgâr erozyonunun sistematik ölçümlerine, konumsal analizine ve bu parametrelerin davranışlarının bilinmesine ihtiyaç vardır.

Rüzgâr erozyonunun önlenmesi için öncelikle risk alalarının tespit edilmesi ve devamlı izlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmanın temel amacı Orta Anadolu koşullarında rüzgâra dik yönde sürümlü nadas koşulları ve buğday ekili alanlarda rüzgâr erozyonu riskinin doğrudan ölçümlerle belirlenmesi, klasik istatistik yöntemler ile her iki arazi kullanım şeklinin karşılaştırılması, sediment akış oranının konumsal analizinin ve külçe etkisi, külçe etkisi-sill oranı ve en önemli varyogram parametrelerinden olan maksimum uzaklığa bağlı ilişki gibi jeostatistiksel parametreler ile regresyon ilişkilerinin ortaya konulmasıdır. Ölçümü yapılan her rüzgâr erozyonu olayı sonrasında ölçülmüş değişken toprak özellikleri, yüzey ve meteorolojik parametreler ile külçe etkisi, külçe etkisi/sill oranı ve maksimum ilişkili uzaklık (h) gibi yarıvaryogram parametreleri arasındaki regresyon ilişkisi uygun model ile hesaplanmıştır. Bitki boyu, kapalılık, pürüzlülük ve sediment akış oranı ilişkilerinin değerlendirilmesinde temel bileşen analizine dayalı biplot grafikleri kullanılmıştır. Sonuç olarak farklı ölçeklerde kullanılabilen istatistiksel ve fiziksel rüzgâr erozyonu modellerinin işlerliği test edilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre uygun yapay zekâ algoritmaları kullanılarak uygun rüzgâr erozyonu olayları için sediment akış oranlarının tahmin edilmesi sağlanmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ÖZETLERİ

Türkiye koşullarında su erozyonu arazi bozulmasının başlıca nedenlerinden biri olarak görülmekle birlikte rüzgâr erozyonu da özellikle kurak ve yarı kurak alanlarda giderek daha fazla artan bir etkiye sahiptir. Özellikle oluşum sıklığı ve büyüklüğünün tehdit edici bir biçimde arttığı kuraklık yıllarında meydana gelen düşük yağışların ve kuvvetli rüzgârların etkisiyle daha zayıf ve az gelişen vejetasyon sonucu bozulmaya yatkın kurak alanlar rüzgâr erozyonundan çok daha ciddi oranda etkilenmektedir. Bunu yanı sıra kurak bölgelerde az girdiden dolayı tercih edilen kuru tarım uygulamaları sonucu kötü toprak yönetimi ve tarımsal uygulamalar kuraklıkla yakından ilgili olan rüzgâr erozyonunun zararlı etkilerini de arttırmaktadır.

Tegen ve Fung (1995) dünya karasal alanlarının %38.4'ünün rüzgâr erozyonundan etkilenen veya etkilenmesi muhtemel alanlar olduğunu bildirmişlerdir. Olsen Seffer (1909) batı Avustralya'da rüzgâr erozyonuna ilişkin ilk doğrudan ölçümleri yapmışlardır. Bagnold (1941) sediment akış üzerine rüzgâr hareketinin süreçlerini akış dinamiği sorunu olarak ele alan ve ilk sıçrama ve sürüklenme ile taşınan sediment miktarlarını ölçen çalışmadır. Kitabında hesaplamalar için kullandığı fizik ve matematik, rüzgâr erozyonu konusunda çalışan herkesin anlayabileceği şekilde açık ve basit şekilde ifade edilmiştir. Chepil ve Milne (1941) ise tarım alanlarında meydana gelen toprak kayıpları ilk defa değerlendiren araştırmacılarıdır. Chepil (1946) Bagnold tipi sediment tuzakları ile tarım alanlarında ölçümler yaparak toprak kayıplarını değerlendirmişlerdir.

Geçmişte Türkiye'nin farklı bölgelerinde şiddetli erozyon vakalarının ciddi etkileri görülmüş ve rüzgâr erozyonunu önlemeye yönelik önemli çalışmalar yapılmıştır. Özellikle İç Anadolu Bölgesi'nde Konya-Ereğli yolu üzerinde yer alan Karapınar'da aşırı otlatma sonucu doğal bitki örtüsünün çoğunlukla yok olmasından dolayı ciddi oranda rüzgâr erozyonu sorunu görülmüştür (Kantarcı vd. 2011). 1960'lı yıllarda meydana gelen şiddetli rüzgâr erozyonu olayları yerel halkı bölgeden göç etmeye zorlamış, özellikle Güney-Güneybatı kesimlerinde şiddetli kuraklık ve sert rüzgâr fırtınaları kalın karasal kumul yataklarını halkın yaşadığı yerlere taşımış ve bu nedenle

insan yaşamını tehdit etmiştir. Bu durum okulların kapanmasına, solunum yolu hastalıkları gibi sağlık sorunlarına neden olmuş, hayvanlar otlatılamamış ve sonuç olarak tarımla geçinen halk bölgeyi terk etmek zorunda kalmıştır. Tarım Bakanlığı Toprak Su Genel Müdürlüğü'nün proje ve uygulamaları ile rüzgâr erozyonundan etkilenen yaklaşık 16000 hektarlık karasal kumul alanları bilim insanları ve araştırmacılar tarafından yürütülen başarılı çalışmalar sonucu rüzgâr erozyonu ile mücadele sonuç vermiş ve kumullar stabilize edilerek kontrol altına alınmıştır (Kantarıcı vd. 2011, Palta vd. 2009)

İnce vd. (2019a,b) Türkiye'de ulusal ölçekte yakın zamanda yapılan risk değerlendirmeleri rüzgâr erozyonunun özellikle ülkenin kurak ve yarı kurak bölgelerinde, tarımsal ve otlak alanların sürdürülebilir toprak ve arazi yönetimine yönelik tehditlerden biri olduğuna dikkat çekmektedir.

Basaran vd. (2017a) nadasa bırakmanın genel tarımın önemli bir bileşenini oluşturduğu Orta Anadolu'nun yarı kurak alanlarında toprak işlemeden kaynaklanan rüzgâr erozyonu ile toprak kayıplarını değerlendirmişlerdir. Toprak kayıplarını pasif BEST sediment tutucularla belirledikleri çalışmada toplam toprak kaybının yağışlı ve kurak sezonda sırasıyla 11.38 kg/ha ve 11.40 kg/ha olduğunu bildirmişlerdir. Araştırmacılar mevcut bulgulara dayanarak nadasa bırakmanın terk edilmesi ve asgari toprak işleme veya ürün rotasyonu gibi geleneksel tarımdan sürdürülebilir toprak ve arazi yönetimi uygulamalarının başlatılması gerektiğini bildirmişlerdir.

Uzun vd. (2017) Orta Anadolu'da nadas koşullarında rüzgâr erozyonunun sediment akış oranı üzerine etkilerini 4 farklı rüzgâr olayı için incelemişlerdir. Araştırmacılar çalışmada % 8-25 arasında farklı bitkisel kapalılık oranlarında sediment akışın da farklılaştığını bildirmişlerdir. Her bir olay için sediment akış oranı sırasıyla 0.0248, 0.0170, 0.019 ve 0.084 kg/m olarak hesaplanmıştır.

Kaplan vd. (2020) farklı yüzey örtüsü oranlarına sahip bitişik iki parsel üzerinde rüzgâr erozyonu ile toprak kayıplarını değerlendirmişlerdir. Yüzey kapalılığının %30 ve %2 olduğu %88 kum bünyeye sahip topraklarda 19 adet BEST sediment tutucu ile sediment

akışı belirlemişlerdir. Kapalılığın yüksek olduğu parselde toplam toprak kaybı 112 kg/m olurken, kapalılığın daha düşük olduğu parselde toplam toprak kaybı 2162 kg/m olarak hesaplanmıştır. Araştırma sonuçlarına göre %30'luk yüzey kapalılığı toplam toprak kaybını ciddi oranda azaltmıştır.

Uzun vd. (2020) kurak koşullarda nadas ve buğday yetiştiriciliğinin yapıldığı komşu iki parselde olay temelli rüzgâr erozyonunu değerlendirmiştir. Araştırma süresince dört rüzgâr erozyonu olayı kaydedilmiş olup sediment akış oranları 0.0015 ile 0.0075 kg/m/saat olarak değişmektedir. Araştırma sonuçlarına göre en yüksek sediment akış oranı komşu parselin neredeyse tamamen yüzey kapalılığına sahip olduğu üçüncü olay sırasında 0.0075 kg/m/sa ile nadas parselinde hesaplanmıştır.

Rüzgâr erozyonunun fiziksel olarak modellenmesi çalışmalarında değerlendirilen parametreler çeşitli biyolojik ve fiziksel değişkenlerden oluşmaktadır. Bu sebeple yüzeydeki bitki örtüsünün parçalanmaya ve taşınmaya karşı olan etkinliği değerlendirilmesi gereken önemli parametrelerden biridir. Bu etkinlik dünya genelinde de pek çok araştırmacı için de çalışma konusu olmuştur (Hagen 1996; Leenders 2006; Visser vd. 2005). Genel olarak bu araştırmacıların hepsi, bitki örtüsünün rüzgâr erozyonundan oluşan toprak kaybını toprak yüzeyini koruyarak azaltma, rüzgâr hızını düşürme ve uçuşan parçacıkları yakalama potansiyeli olduğu sonucuna varmışlardır.

Rüzgâr erozyonu tarımsal arazi ekosistemlerinde ciddi bir bozulma süreci oluşturduğundan gelecekteki potansiyel eğilimlerin değerlendirilmesi ve sürdürülebilir arazi kullanımı uygulamalarını ve yönetim stratejilerini belirlemek oldukça önem arz etmektedir. Rüzgâr erozyonu tahmin modelleri farklı koşullar için farklı araştırmacılar tarafından çalışılmış ancak dinamik birçok parametreyi barındırmasından dolayı model eşitliklerinde hala birçok açığı bulunan bir alandır.

Rüzgâr Erozyonu Tahmin Sistemi (WEPS; Wind Erosion Prediction System) (Hagen, 2001) toprak koruma önlemlerinin parsel ölçeğinde planlanması ve değerlendirilmesi için rüzgâr erozyonu ile taşınan toprak kaybını tahmin etmektedir. WEPS'in bağımsız

bir alt modeli olan Tek Olaylık Rüzgâr Erozyonu Değerlendirme Programı (SWEEP) 2007 yılında tıpkı WEPS gibi Amerikan Tarım Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar Servisi tarafından geliştirilmiştir (Feng ve Sharatt 2009). WEPS ile ilgili hem Amerika Birleşik Devletleri'nde hem de diğer ülkelerde araştırmalar yürütülmüş olmasına rağmen şiddetli rüzgârlar altında farklı arazi koşullarına bağlı toprak kaybını simüle ederek model geçerliliğini test eden sınırlı sayıda çalışma mevcuttur (Funk vd. 2002).

Visser vd. (2005) Sahel'de arazi koşullarında yürüttükleri çalışmada rüzgâr erozyonun konumsal dağılımının tahmin edilmesinde RWEQ ve WEPS modellerinin geçerliliğini test etmek amacıyla bir araştırma yürütmüşlerdir. Araştırma sonuçlarına göre RWEQ Sahel koşullarında maksimum taşıma kapasitesini tahmin etmekte başarısız olurken SWEEP nispeten daha iyi sonuçlar vermiştir. Araştırmacılar WEPS modelin geniş alanlarda da uygulanabilmesi amacıyla modelin bütün alt parametrelerinin formüllerini dinamik model dili olan PCRaster'a çevrilmiştir.

Bohner vd. (2003) Avrupa Birliği tarafından finanse edilen “Avrupa Hafif Bünyeli Topraklarda Rüzgâr Erozyonu Projesi” kapsamında rüzgâr erozyonu risklerinin uzun vadeli konumsal dağılımını tahmin etmek amacıyla bir model tasarlamışlardır. Araştırmacılar model tasarımının mevcut durumda hafif bünyeli topraklarda nem parametresi açısından kısıtlayıcı olduğunu ve farklı bünyeye sahip topraklarda da çalışmaların yapılarak modelin geliştirilmesi gerektiğini bildirmişlerdir.

İnce vd. (2019a) Türkiye'de rüzgâr erozyonu sonucu oluşan toprak kayıplarının zamansal ve konumsal değişimini RWEQ temelli UDREMİS (Ulusal Dinamik Rüzgâr Erozyonu Modeli ve İzleme sistemi) modelini kullanarak tahmin etmişlerdir. Araştırmacılar RWEQ modeline ait parametreler ve alt faktörleri matematiksel olarak analiz etmişler ve ülke ölçeğinde toprak kayıplarını ve rüzgâr erozyonundan etkilenen alanları haritalamışlardır. 30 m x 30 m konumsal çözünürlükle ürettikleri model sonuçları ile sürdürülebilir toprak yönetimi ve sürdürülebilir arazi yönetimi uygulamalarının önceliklendirileceği alanları belirlemişlerdir.

İnce vd. (2019b) rüzgâr erozyonu toprak duyarlılık değişkenlerinin (E_F ve S_{CF}) Türkiye ölçeğinde belirlenmesi ve haritalanması amacıyla RWEQ modelini temel alarak bir araştırma yürütmüşlerdir. Analiz ve haritalama sonuçlarına göre Türkiye topraklarında E_F 0.1132-0.5600 arasında, S_{CF} ise 0.0376-0.7035 arasında değişmektedir.

Rüzgâr erozyonunun ölçülmesi ve sürecin haritalanması taşınma oranının belli bir alan içerisinde rüzgârın aşındırıcı etkisinin ve toprakların aşınabilirliğinin konumsal ve zamansal olarak değişkenliğine bağlı olarak oldukça zordur (Fryrear 1990a,b). Model bir dizi konumsal gözlemi olası bir fonksiyonun rasgele gerçekleştirilmesi olarak kabul eder. Jeostatistik konumsal özellikleri rasgele değişkenler olarak gören bölgesel değişkenler teorisinin pratik uygulamasıdır (Matheron 1971). Yaklaşım rasgele olsa da konumsal veriler esasen belirleyicidir yani varyasyonları o kadar düzensizdir ki bunu ele almanın en iyi yolu rasgele değişkenlermiş gibi davranmaktadır. Bu yaklaşım değişkenin ikinci dereceden sabit olduğunu ve ortalama, varyans ve varyogramın var olduğunu varsaymaktadır. Deneysel varyogramlar bir olasılığın konumsal değişkenliğini haritalamak için jeostatistik tekniğinin en önemli bileşenidir.

Jeoistatistik çevre bilimlerinde kullanıma oldukça uygun bir yöntem olup yaygın olarak kullanılmaktadır (Trangmar vd. 1985, Miller vd. 1988, Oliver 1987, Oliver vd. 1989, Bo vd. 2003, Turgut ve Öztaş 2012, Başbozkurt vd. 2013, Karabulut ve Ünver 2010). Özellikle toprakla ilişkili değişkenlerin konumsal davranışlarının anlaşılması için literatürde sayısız çalışma bulunmaktadır. Fakat rüzgâr erozyonunun izlenmesi ve sediment taşınım mekanizmalarının çözümü konusunda yeterli bir kullanımı bulunmamakla birlikte çalışmalar giderek artmaktadır. Jeostatistik, sediment akış oranının arazi ölçeğinde noktasal ya da blok tabanlı tahminini sağlamada oldukça uygun bir yöntemdir (Uzun vd. 2017). Bu konuda en önemli endişe en uygun örnekleme deseni elde etmek amacıyla yeterince noktada örneklemenin yapılmasıdır. Örneğin Oliver (1987) ve Oliver vd. (1989) örneklenmemiş noktaların tahmin edilebilmesi ve en uygun yarıvaryogram modellerinin elde edilebilmesi için en az 40 noktadan örnekleme yapılması gerektiğini bildirmişlerdir.

Uzun vd. (2017) Orta Anadolu’da nadas koşullarında toprak kayıplarının konumsal dağılımını inceledikleri dört farklı rüzgâr olayında sediment akışın en yüksek ilişkili uzaklığının 19-48 m arasında değiştiğini ve her bir olayda farklı konumsal modellerin oluştuğunu bildirmişlerdir. Araştırma sonuçlarına göre kurak bölgede sediment akışın konumsal değişimi alandaki aşındırıcı rüzgâr hızı ve süresiyle yakından ilişkilidir.

Kaplan vd. (2020) kurak koşullarda komşu parsellerde sediment akış oranının konumsal değişimini olay temelli 19 farklı noktada, grid deneme deseni ile değerlendirdikleri çalışmada rüzgâr erozyonu ile oluşan toprak kayıplarını küresel model kullanarak modellemişlerdir. Sadece bir parselde meydana gelen bir olayda külçe etkisi görülmüştür. Deneme süresince iki rüzgâr olayı yaşanmıştır. Maksimum ilişkili uzaklık her bir parsel için birinci olayda 61 m ve 1 m olurken, ikinci olayda 13 m ve 30 m olarak bildirilmiştir.

Uzun vd. (2020) Orta Anadolu’da kurak koşullarda iki komşu parselde olay temelli rüzgâr erozyonunun konumsal ve zamansal olarak değerlendirilmesi amacıyla yürüttükleri çalışmada 41 noktada sediment akış oranını belirlemişlerdir. Araştırma sonuçlarına göre maksimum ilişkili uzaklık 450 m ile 800 m arasında değişmektedir. Kriging haritaları her iki arazi kullanımı için sediment akış oranı değerlerinin konumsal modellerinin neredeyse tamamen farklı olduğunu göstermiştir.

Chappell vd. (2003) 40 noktada iç içe geçmiş örnekleme desenini kullanarak rüzgâr erozyonuyla meydana gelen toprak kayıplarını araştırmışlardır. Rüzgâr erozyonunun konumsal dağılımını ifade etmek için 25 km²’lik alanda birçok rüzgâr erozyonu olayı ile güvenilir modeller elde etmişlerdir. Araştırma sonuçları rüzgâr enerjisindeki dalgalanmaların dinamik bir rüzgâr erozyonu sisteminin varlığını desteklediğini ifade etmektedir. Ayrıca iç içe geçmiş örnekleme deseninde uygun örnekleme stratejisinin yaklaşık 50 noktada olması gerektiği vurgulanmıştır.

Biplot analizi, iki yönlü verileri grafiksel olarak görüntüleyen, incelenen özellikler arasındaki karşılıklı ilişkileri görselleştirilmesine izin veren çok değişkenli bir analitik tekniktir (Akcura vd. 2011; Yan 2014). Genellikle satır ve sütunlarda yer alan verilerden

hesaplan PC1 ve PC2 eksenleri üzerinden değerlendirme yapılmaktadır (Yan vd. 2000). Ayrıca Biplot, uygulamaların karşılaştırmasını ve farklı özelliklerin seçimini değerlendirmek için kullanılan bir uygulamadır (Yan ve Kang 2003). Biplot analizi, ekonomi, sosyoloji, tıp, mühendislik, genetik ve tarım gibi birçok farklı bilim dallarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Biplot iki yönlü bir tablo tasarımı olup, satır ve sütun faktörlerini grafiksel olarak göstermektedir. Bu analiz metodunda satır ve sütun faktörlerinin hem tek tek kendi arasındaki ilişkileri hem de ikili interaksyonları görsel olarak sergilenebilmektedir (Yan ve Tinker, 2006). Biplot analizi araştırmacıların çalışma sonuçlarını yorumlama ve değerlendirme kolaylığı sağlamaktadır (Yan, 2014). Mirhasani vd. (2019) rüzgâr tüneline beş farklı arazi kullanımında eşik sürtünme hızını ve toprak kayıplarını araştırmışlardır. Temel bileşen analiz sonuçlarına göre eşik sürtünme hızını üç ana bileşen PC1, PC2 ve PC3 sırasıyla %51.6, %20.9 ve %9.7 kotalarıyla kontrol etmiştir. PC1 organik madde, Mg, Ca, silt, sature nem içeriği ve basınç dayanımından oluşmuştur. Genel olarak rüzgâr erozyonunu etkileyen faktörler arasında toprak bünyesi, nem kapsamı, organik madde miktarı değişkenleri erozyonu engelleyici parametreler olarak bildirilmiştir.

Asensio vd. (2016) İspanya’da kurak koşullarda temel bileşen analizini kullanarak organik karbon, yarayışlı potasyum, azot, bünye gibi farklı toprak özellikleri için tünel koşullarında ve doğrudan ölçümlerle rüzgâr erozyonu ile toprak kayıplarını belirlemişlerdir. Temel bileşen analizine ait grafikler toprak özelliklerindeki değişimin %81.01’ini açıklamıştır.

Uzun vadeli toprak koruma planlarının hazırlanabilmesi için zaman alıcı ve maliyetli uygulamaların yerine kullanılabilecek uygulamaların geliştirilmesi oldukça önemlidir. Bu amaçla yapay sinir ağı algoritmaları çevresel modelleme süreçlerinde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır.

Kouchami-Sardoo vd. (2020) seçilen özelliklerin konumsal dağılımının toprak aşınabilirliği üzerindeki etkilerini tahmin etmek amacıyla Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP) algoritmasını kullanmışlardır. Çalışmada, kaymak tabaka, toprak kabuk etmeni, çok ince kum ve çok iri kum, agregat dayanımı ve kalsiyum karbonat değerlerinin

toprak aşınabilirliğini etkileyen önemli parametreler olduğu bildirilmiştir (0.89-0.87 R^2).

Tao vd. (2020), insansız hava aracı kullanarak hiperspektral görüntülerden bitki boyunu tahmin etmişlerdir. Çalışmada tahmin yapmak amacıyla Kısmi en küçük kareler regresyonu (PLSR), yapay sinir ağı (ANN) ve rastgele orman (RF) kullanmışlardır. Hiperspektral görüntülerden bitki boyunun güçlü bir şekilde ($R^2 = 0.97$) tahmin edildiği belirlenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde PLSR en iyi tahmin olurken bunu ANN ve RF izlemiştir.

Besalatpour vd. (2014), Destek Vektör Makineleri (SVM) ve Yapay Sinir Ağları dahil olmak üzere iki öğrenme tekniğini toprak agregatlarının geometrik ortalama çapının tahmini için kullanmışlardır. Araştırma sonuçlarına göre ANN modeli geometrik ortalama çapın tahmininde SVM modeline kıyasla daha yüksek R^2 (0.80) elde etmiştir. Geometrik ortalama çapın tahmininde ANN modelinden ve SVM'den elde edilen hata oranları sırasıyla %6.9 ve %10.6 olarak bildirilmiştir.

Gholami vd. (2020a), İran'da arazilerin rüzgâr erozyonuna duyarlılığını inceledikleri çalışmada 16 adet gelişmiş regresyon tabanlı makine öğrenmesi yöntemini test etmişlerdir. Rüzgâr erozyonunu kontrol eden 13 faktör haritalanmış ve bu faktörler arasındaki çoklu doğrusal bağlantı (multicollinearity) tolerans katsayısı ve varyans faktörü kullanılarak ölçülmüştür. Model performansları hem eğitim hem de doğrulama veri setleri kullanılarak RMSE, MAE ile değerlendirilmiştir. Sonuçlar beş adet modelin (MLPNN, SGAM, Cforest, BGAM and SGB) rüzgâr erozyonu tehlikesine karşı arazi duyarlılığı için yüksek bir tahmin doğruluğu sağladığını göstermiştir.

Gholami vd. (2020b) sekiz farklı yapay zekâ algoritması ve makine öğreniminde topluluk modellerini kullanarak İran'ın güneybatısında aşınmaya duyarlı alanlarda fırtınadan kaynaklanan tozun kaynağını tahmin etmek amacıyla konumsal olarak haritalamışlardır. Bu amaçla rüzgâr hızı ve yağış gibi iklim özellikleri, hacim ağırlığı, bünye, elektriksel iletkenlik, organik madde, yarayışlı su gibi toprak özellikleri ve arazi kullanımı gibi özellikleri kullanmışlardır. Genel olarak yapay zekâ algoritmaları ve

topluluk modeli için doğruluk %79.1 ile % 99.8 arasında değişmiş olup tozun kaynağının tahmin edilmesinde kullanılan yöntemler harika, çok iyi ve iyi performans sergileyerek gelecekte kullanıma dair umut verici sonuçlar sağlamıştır.

Zhou vd. (2020), çalışmalarında spektral yansıma ve bitki yüksekliğine dayalı makine öğrenme algoritmaları RF ve ANN kullanarak bitki örtüsü ve geleneksel buğday tane verimini ve protein içeriğini arasındaki ilişkiyi tahmin etmeye yönelik model performansları karşılaştırmışlardır. Çalışmada bitki boyu ve reflektanslar kullanılarak tane verimi RF ile R^2 0.80, ANN ile 3 farklı modelde R^2 0.62, 0.63 ve 0.59 olarak tahmin edilmiştir.

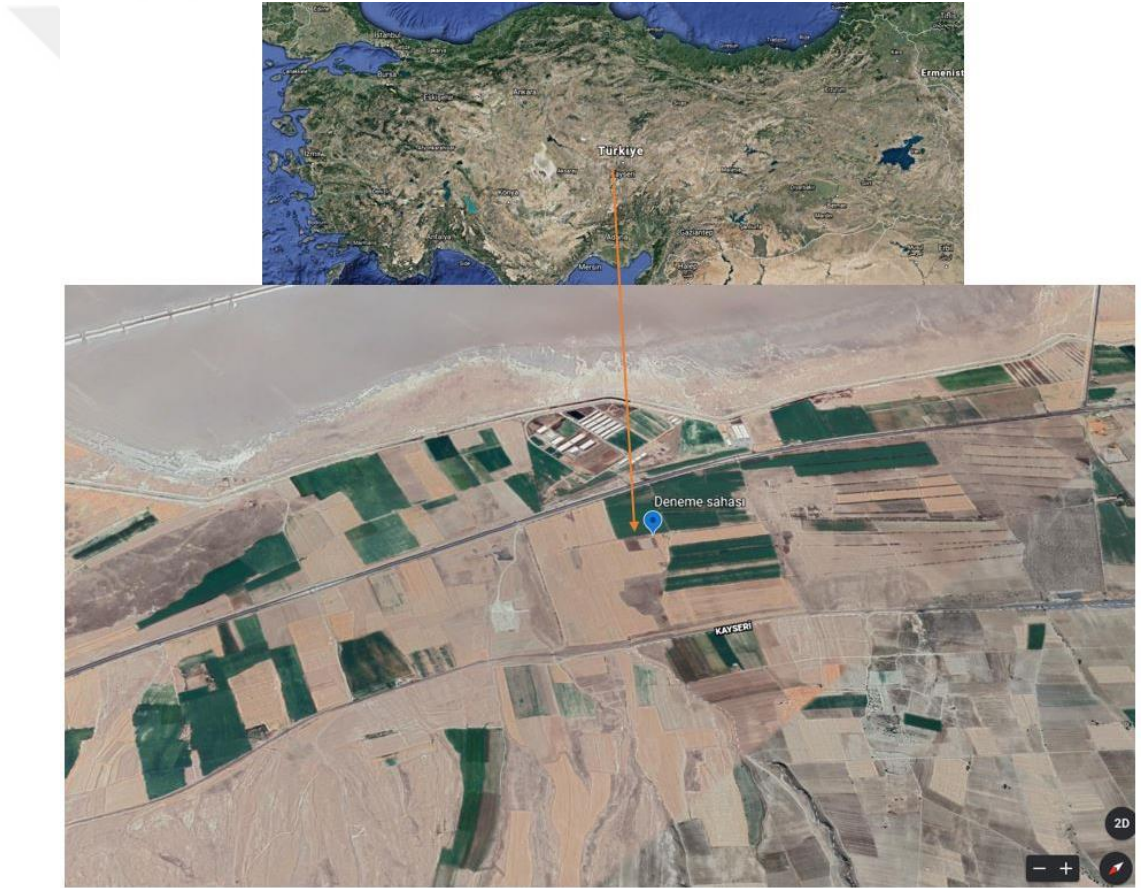
Pandey vd. (2010), mikrodalga verilerini kullanarak ANN ile toprak nemi ve toprak pürüzlülüğünü tahmin etmiştir. alışmalarında iki eğitim algoritması kullanan araştırmacılar eğitim algoritmalı modelin toprak nemi ve yüzey pürüzlülüğü tahmini için diğer modele kıyasla daha uygun tahmin sonuçları verdiğini bildirmişlerdir.

Gholami vd. (2021), İran'ın kuzeyindeki dağlık alanlarda yıllık toprak erozyonu oranlarının konumsal dağılımını değerlendirmek amacıyla erozyon pinlerini ve ANN'i kullanmışlardır. Herhangi bir kayıtlı veri olmayan alanlar için tahmin yapmak amacıyla yedi adet ANN algoritması kullanmışlardır. Araştırma sonuçlarına göre bir ANN algoritması olan genelleştirilmiş ileri besleme ağı (GFF) diğer ANN algoritmalarına kıyasla daha yüksek doğrulukta (R^2 :0.9) sonuçlar verirken bitki kapalılığı diğer girdi parametrelerine göre yıllık toprak kayıpları üzerinde daha etkili olmuştur (R: -0.75-0.85).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Araştırma Alanı

Araştırma alanı Kayseri ili Yeşilhisar ilçesi sınırları içerisinde bulunan, aynı zamanda rüzgâr erozyonu risk alanı olarak da bilinen Yavaş Mevkiidir (Şekil 1). Deneme Erciyes Üniversitesi Tarımsal Araştırmalar Merkezi Yavaş kampüsünde yürütülmüştür. Karasal iklim koşullarının hâkim olduğu bölgede uzun yıllar iklim verilerine (Anonim 2020b) göre yıllık ortalama sıcaklık 11.9 °C ve yıllık ortalama yağış 392 mm'dir (Çizelge 4.1).



Şekil 3.1 Araştırma alanından genel görünüm (Google Earth Kasım 2020)

Deneme, araştırma parselinin belirlenerek komşu parsellerin seçilmesi ve ekim yapılması ile 2017 yılı Ekim ayında başlamıştır. Bu tarihte arazi sınırlarına dikenli tel çekildikten sonra buğday ekimi yapılmış ve komşu parsel nadas için bırakılmıştır. Toprak hazırlığı esnasında buğday ekimi için pullukla derin sürüm ve diskaro ile

yüzeysel sürüm yapıldıktan sonra tapan çekilerek toprak ekime hazır hale getirilmiştir. Dekara 20 kg tohum kullanılacak şekilde ekim mibzerle yapılmıştır. Buğday tarımında 12 kg/da azot, 8 kg/da fosfor olacak şekilde gübreleme yapılmıştır. Fosforlu gübrenin tamamı, azotlu gübrenin ise yarısı ekimle birlikte, kalan yarısı da sapa kalkma döneminde verilmiştir. Nadas parselinde ise sadece mart ayında pullukla sürüm yapılarak toprak devrilmiştir. Ertesi yıl (2018 yılı Mart ayından itibaren) deneme sahasına rüzgâr ölçüm sistemleri kurulduktan sonra ölçümler alınmaya başlanmıştır. Çalışmada birbirine komşu parsellerde nadas ve buğday ekili alanda BEST (Basaran vd. 2011, Basaran vd. 2016) tuzaklar yardımıyla sediment akışı ölçülmüştür (Şekil 3.1). Deneme parselinde 84 adet rüzgâr erozyonu ölçüm düzeneği arazi üzerinde 10x10 m'lik grid oluşturacak biçimde yerleştirilmiştir. Bir yetiştirme sezonu sonunda hasat yapıldıktan sonra komşu parseller değiştirilerek mevcut ekili parsel nadasa bırakılmış ve nadastan çıkan parselde ise ekim ayında toprak hazırlığı sonrası ekim yapılarak ölçümlere devam edilmiştir. Bu sebeple tez çalışması sırasında elde edilen bulgular üç rüzgâr olayı dönemine ayrılarak incelenmiştir. Bu dönemler, ekimden hasada kadar olan ve hasat sonunda parsellerin değiştirilerek rüzgâr erozyonu ölçüm sistemlerinin yeniden kurulması sonucu ölçümlere devam edilen birinci, ikinci ve üçüncü dönem olarak adlandırılmıştır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Deneme parsellerinin ve deneme deseninin uzaktan görünümü



Şekil 3.3 BEST sediment tutucuların ölçüm sistemi üzerindeki görünümü

Sediment tutucular 1 metre boyundaki standart ölçüm sistemi üzerinde 0.07, 0.14, 0.40, 0.60, 0.80 ve 1 m aralıklarla dikey olarak hâkim rüzgâr yönüne dik gelecek şekilde yerleştirilip parseller içerisinde konumlandırılmıştır (Şekil 3.3).

Çizelge 3.1 Kayseri ili uzun yıllar iklim verileri (1927-2019)

Kayseri	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm periyodu (1927-2019)													
Ortalama													
Sıcaklık (°C)	0.1	1.6	5.7	11.2	16	19.9	23.3	23.3	18.8	13.1	7.2	2.4	11.9
Ortalama en													
yüksek sıcaklık (°C)	4.1	6.4	11.4	17.3	22.3	26.6	30.2	30.4	25.9	19.9	13	6.4	17.8
Ortalama en													
düşük sıcaklık (°C)	-3.2	-2.3	0.6	5.3	9.6	12.9	15.8	15.9	11.7	3.5	2.5	-0.8	6.3
Ortalama güneşlenme süresi													
(sa)	2.6	3.8	5.1	6.6	8.5	10	11.3	10.7	9.2	6.7	4.5	2.5	81.5
Ortalama yağışlı													
gün sayısı	12.3	11.2	10.7	11.2	12.3	8.7	3.6	2.7	4	6.9	8.2	11.7	104
Aylık toplam yağış miktarı													
ortalaması (mm)	40.2	35.1	39.1	42.5	51.5	34.4	14.3	12.7	18	27.7	31.5	44.9	392

3.2 Yöntem

3.2.1 Meteorolojik ölçümler

Çalışma alanında iklime dayalı verilerin ölçümü için portatif meteoroloji istasyonu kurulmuştur (Şekil 3.4). Araştırma alanında rüzgâr profilini belirleyebilmek amacıyla meteoroloji istasyonu üzerine farklı yüksekliklerde anemometreler yerleştirilmiştir. Kurulan meteoroloji istasyonu ile atmosfer sıcaklığı, toprak sıcaklığı, yağış, nem, rüzgâr hızı ve rüzgâr yönü her 5 dakika için kaydedilerek araştırma sonuçlarının değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Verilerin aktarımı Campbell scientific CR1000 model veri kaydedici ile yapılmıştır.



Şekil 3.4 Deneme alanında kurulan meteoroloji istasyonu

3.2.2 Toprak özellikleri ve yüzey ölçümlerine ait parametreler

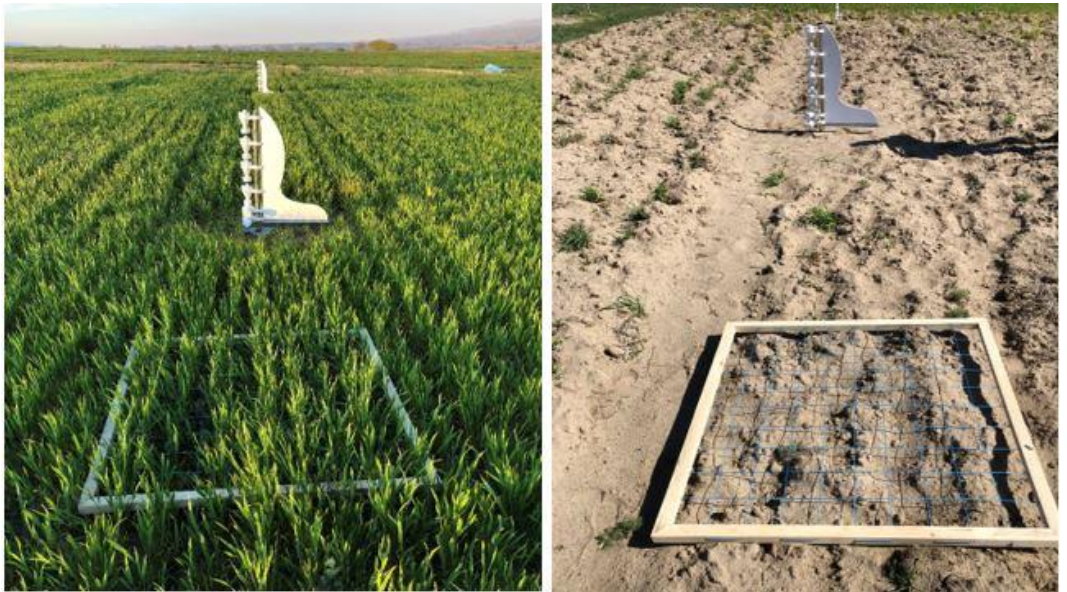
Toprak özellikleri ve yüzey ölçümlerine ait parametreler ölçüm alınan her rüzgâr erozyonu olayından sonra yeniden örneklenerek belirlenmiştir.

3.2.2.1 Toprak nemi

Toprakların özellikle yüzey nem içerikleri rüzgâra karşı gösterdikleri duyarlılık açısından oldukça önemlidir. Araştırmada toprakların nemi Time Domain Reflectometer ile anlık hacimsel ölçülmüş aynı zamanda rüzgâr kesme hızının neme duyarlı olmasından dolayı 0-3 cm toprak derinliğinden alınan bozulmuş toprak örneklerinde de ağırlıkça nem tayini yapılmıştır.

3.2.2.2 Bitki kapalılığı ve boyu

Toprakların rüzgâr erozyonuna dayanımını artıran faktörlerden biri olan bitki yoğunluğunu tespit etmek amacıyla her rüzgâr olayından sonra çerçeve yöntemi uygulanarak bitki kapalılığı ve boyu tespit edilmiştir (Şekil 3.5) (Babalık 2004).



Şekil 3.5 Çerçeve yöntemi ile bitki kapalılığının belirlenmesi

3.2.2.3 Yüzey pürüzlülüğü

Yüzey pürüzlülüğü rüzgâr erozyonu açısından en etkili parametrelerden bir tanesidir. Agregatlar ve toprak yüzeyindeki bitki kalıntıları toprağın rüzgâra karşı dayanımında önemli faktörlerdir. Bu çalışmada yüzey pürüzlülüğünü belirlemek amacıyla zincir yöntemi kullanılmıştır (Saleh 1993). Zincir yönteminde sürüme paralel ve dik ölçümler alınarak Eşitlik (3.1) ile hesaplama yapılmıştır (Şekil 3.6).

$$R = \left(1 - \frac{L_2}{L_1}\right) \cdot 100 \quad (3.1)$$

Eşitlikte;

R : Yüzey pürüzlülüğü (%)

L_1 : Düz yüzeydeki zincir uzunluğu (cm)

L_2 : Pürüzlü yüzeydeki zincir uzunluğu (cm)



Şekil 3.6 Zincir yöntemi ile toprak pürüzlülüğünün belirlenmesi

3.2.2.4 Doğal agregat dağılımı ve dayanımı

Toprak agregatlarının mekanik bir kuvvete karşı kırılma dayanımına kuru agregat dayanıklılığı denir (Skidmore and Powers 1982). Doğal durumdaki kuru toprak örneklerinde agregat dağılımları Eşitlik (3.2) yardımıyla kuru eleme aleti ile belirlenmiştir (Deviren Saygın, 2013; Chepil, 1952, 1962; Chepil ve Bisal, 1943). Örneklerin doğal agregat dağılımlarını belirlemek amacıyla 8, 5, 4, 2, 1, 0.5, 0.25, 0.125 ve 0.063 mm çaplarında elekler kullanılmıştır.

$$\sum_1^i DAD_i = \frac{m_i}{A} \times 100 \quad (3.2)$$

Eşitlikte;

DAD_i: i. Elek çapı için hesaplanan tane büyüklüğü (%),

m_i: i. Elek üzerinde kalan örnek miktarı (g)

A: Toprak örneğinin toplam ağırlığı (g)



Şekil 3.7 Doğal agregat dağılımının belirlenmesi

3.2.3 Fiziksel ve kimyasal bazı toprak özelliklerinin belirlenmesi:

Toprak örneklerinde model alt parametrelerinden olan organik madde kapsamı (Nelson ve Sommers 1982), kireç yüzdesi kalsimetre yöntemi ile (% CaCO_3) (Çağlar 1958), bünye hidrometre yöntemi ile (Bouyoucos 1951), toprak reaksiyonu ve elektriksel iletkenlik (Anonymous 1954), hacim ağırlığı (Richards 1954) analizleri temel toprak özelliklerini ortaya koymak ve model alt parametrelerini hesaplamak amacıyla yapılmıştır.

3.2.4 Doğrudan rüzgâr erozyonu ölçümleri

Araştırma süresince arazide saltifon ya da sensit bulunmadığı için her bir rüzgâr olayında eşik rüzgâr hızının 5 m/s olduğu kabul edilerek rüzgâr erozyonunun başlama ve bitiş süresi arazide kurulu meteoroloji istasyonunda bulunan veri kaydediciden elde edilen veriler doğrultusunda tahmin edildi (Kaplan vd. 2020; Basaran vd. 2017a,b).

3.2.4.1 Toplam sediment akışı

Toplam sediment kayıplarını belirlemek amacıyla her bir rüzgâr olayından sonra biriken sedimentler toplanmış ve yerine yeni kapaklar takılmıştır (Şekil 3.8). Çalışmada sediment akışı oranını hesaplamak amacıyla sırasıyla Eşitlik 3.3, 3.4 , 3.5 ve 3.6 kullanılmıştır.



Şekil 3.8 Biriken sedimentlerin toplanması

- Her bir sediment tutucu yüksekliği (z) için sediment akış (q_z , kg/m²) Eşitlik (3.3) ile hesaplanmıştır.

$$q_z = \frac{m}{A} \quad (3.3)$$

Eşitlikte;

m: Belirli yükselikteki tuzakta tutulan toprak miktarı (kg)

A: BEST sediment tutucunun giriş ağzı alanı (m²)

- Toprak yüzeyinden 100 cm yüksekliğe kadar olan sediment taşınımının düşey dağılımı ($q_{z.exp}$, kg/m²) Eşitlik (3.4) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$q_{z.exp} = q_0 e^{-\alpha z} \quad (3.4)$$

Eşitlikte;

q_0 : Tuzağın yerleştirildiği her bir yükseklik için sediment akış oranı (kg)

α : Üstel fonksiyonun eğim faktörü

- Sediment akış oranı her bir tuzak yükseliği için Eşitlik (3.5) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$Q = \int_0^h q_{z.exp} dz \quad (3.5)$$

Eşitlikte;

h: En yüksek BEST sediment tutucu yüksekliği (m)

- Her bir rüzgâr erozyonu ölçüm sistemi için sediment akış ordain Eşitlik (3.6) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$Q_t = \frac{Q}{\eta} \quad (3.6)$$

Eşitlikte;

η : tuzak etkinliği (0.90) (Youssef 2013; Basaran vd. 2011)

T: rüzgâr erozyonu olay süresi

3.2.5 Tahmin modellerinin kullanılması

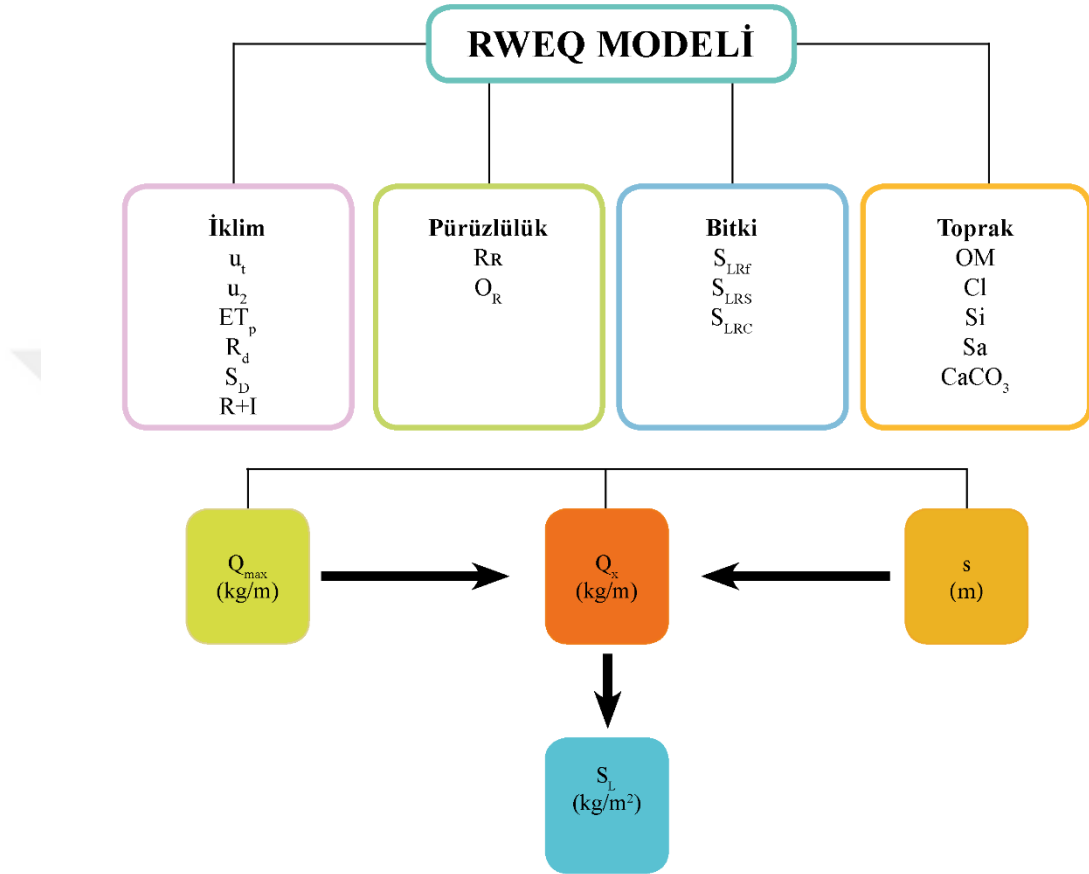
Rüzgâr erozyon modelleri toprak erozyonunu değerlendirmek ve arazi yönetim uygulamalarını belirleyerek erozyonu kontrol altına almak için önemli araçlardır. Yenilenmiş rüzgâr eşitliği (RWEQ) ve Tek Olaylık Rüzgâr Erozyonu Değerlendirme Programı (SWEEP) rüzgârla taşınan toprak kayıplarını belirlemek amacıyla geliştirilmişlerdir. Bu çalışmada RWEQ ve SWEEP modellerinin nadas ve ekili parsellerde meydana gelen rüzgâr olaylarında toprak kaybını simüle etmekteki performansları test edilmiştir.

Araştırmada RWEQ ve SWEEP modeli için gerekli parametreler hem doğrudan ölçülmüş hem de empirik modeller ile hesaplanmıştır. Bu amaçla nadas ve buğday ekili olmak üzere iki farklı arazi koşulunda rüzgâr erozyonu ölçülmüştür.

3.2.5.1 Yenilenmiş rüzgâr erozyonu eşitliği

Rüzgâr Erozyonu Eşitliği (WEQ: Wind Erosion Equation), Woodruff ve Siddoway (1965) tarafından geliştirilmiş daha sonra ise gözden geçirilmiş ve “Yenilenmiş Rüzgâr Erozyonu Eşitliği” (RWEQ) olarak tanımlanmıştır. RWEQ, arazi ölçeğinde toprak yüzeyinden 2 m yüksekliğe kadar belirli aralıklarla rüzgâr erozyonu toprak kayıplarının tahminini yapmaktadır. Rüzgâr erozyonu ölçüm çalışmalarının yapıldığı alanlarda RWEQ’in kullanılabilmesi için, bu modelin 4 ana etmeninin ve alt parametrelerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu etmenler toprak özellikleri, bitki örtüsü kapallılığı ve yüksekliği, pürüzlülük, toprak nem içeriği ve toprak yüzeyinde oluşan logaritmik rüzgâr profilinde oluşacak konumsal değişimler ve arazi kullanımı şeklinde sıralanabilir (Şekil 3.9). Bu çalışma kapsamında RWEQ tahmin modeli kullanılmıştır (Fryrear vd. 1998). RWEQ model hesaplama sonuçlarına bağlı olarak Youssef vd. (2012)’ün benzer toprak

koşullarında geliştirdikleri kalibrasyon parametreleri kullanılarak korelasyonlar yeniden incelenmiştir.



Şekil 3.9 RWEQ modeline ait temel parametreler ve alt değişkenler

RWEQ ana etmenleri:

RWEQ ile maksimum taşıma kapasitesi, maksimum taşınmanın olduğu kritik arazi uzunluğu ve toprak kayıpları hesaplanırken iklim faktörü, toprak duyarlılık faktörü; yüzey kabuk faktörü, arazi pürüzlülük faktörü ve yüzeyde bulunan bitki faktörü ana parametrelerini kullanılır.

- x mesafesinde taşınan toplam toprak miktarı (Q_x ; kg/m) Eşitlik (3.7) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$Q_x = Q_{maks} \left[1 - e^{-\left(\frac{x}{s}\right)^2} \right] \quad (3.7)$$

Eşitlikte;

Q_x : x mesafesinde taşınan toplam toprak miktarı (kg/m)

Q_{maks} : Maksimum taşıma kapasitesi (kg/m)

X: alanın aşınmaz kenarından rüzgâr erozyonuna olan uzaklığı (m)

S: azami taşıma kapasitesinin %63'üne ulaşma noktası ya da kritik alan uzunluğudur (m)

Rüzgârla taşınan toprak miktarının arazi uzunluğuna bağlı olarak artması ve S mesafesinde en yüksek değere ulaşması beklenmektedir. Bununla birlikte toplam taşınan miktar arazi uzunluğu ile sınırlıdır ve arazi uzunluğu S'den büyük olduğunda taşınma miktarı azalmaya başlar. Bu kavram saltasyon veya süspansiyonun hâkim olduğu erozyon süreçleri için geçerlidir (Bagnold 1941, Chepil ve Milne 1941, Gillette vd 1996). Bu sebeple RWEQ süspansiyonun erozyon sürecine hâkim olabileceği bölgelerde sınırlı uygulamaya sahip olabilmektedir.

- Birim alandan taşınan toprak miktarı (S_L ; kg/m^2) Eşitlik (3.8) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$S_L = \frac{2x}{s^2} Q_{maks} e^{-\left(\frac{x}{s}\right)^2} \quad (3.8)$$

Eşitlikte;

S_L : birim alandan taşınan toprak kaybıdır (kg/m^2)

- Maksimum taşıma kapasitesi (kg/m) Eşitlik (3.9) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$s = 150.71 (W_f \times E_f \times S_{CF} \times K' \times C_{OG})^{-0.3711} \quad (3.9)$$

Eşitlikte;

W_F : İklim faktörü

E_F : Toprak duyarlılık faktörü

S_{CF} : Yüzey kabuk faktörü

K' : Arazi pürüzlülük faktörü

C_{OG} : Yüzeyde bulunan bitki faktörü

İklim faktörünün hesaplanması

İklim faktörü; rüzgâr faktörüne, toprak nemine, kar kaplama faktörü, hava yoğunluğuna ve yer çekimi ivmesine bağlıdır. Hesaplanmasında Eşitlik (3.10) kullanılmıştır.

$$W_F = \frac{\sum_{i=1}^N U_2(U_2 - U_t)^2 \times N_d \times \rho}{N \times g} \times S_w \times S_D \quad (3.10)$$

Eşitlikte;

W_F : İklim faktörü (kg/m)

u_2 : 2 m yükseklikte rüzgâr hızı (m/s)

u_t : 2 m yükseklikte eşik rüzgâr hızı (m/s) (5 m/s üzerinde esen rüzgâr hızları esas alınır)

N : Rüzgâr hız gözlemlerinin sayısı

N_d : İlgili zaman aralığındaki günlerin sayısı

ρ : Hava yoğunluğu ($\rho = 1,2754 \text{ kg/m}^3$)

g : Yerçekimi ivmesi ($9,81 \text{ m/s}^2$)

S_w : Toprak nemi

S_D : Kar örtü faktörü

Toprak nem faktörünün hesaplanması:

Nem faktörünün hesaplanmasında Eşitlik (3.11) kullanılmıştır.

$$S_w = \frac{ET_p - (R + I) \frac{R_d}{N_d}}{ET_p} \quad 3.11)$$

Eşitlikte;

ET_p : Potansiyel evapotranspirasyon (mm)

R_d : Yağış miktarı ve/veya sulanan gün sayısı ($R + I$)

N_d : İlgili zaman aralığındaki günlerin sayısıdır

$$ET_p = 0.0162 \left(\frac{SR}{58.5} \right) \times (DT + 17.8) \quad (3.12)$$

SR: Hesaplama dönemindeki toplam solar radyasyon (cal/cm^2)

DT: Ortalama sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)

Toprak duyarlılık faktörünün hesaplanması

Toprak duyarlılık faktörünün hesaplanmasında Eşitlik (3.13) kullanılmıştır.

$$EF = \frac{29.09 + 0.31 Sa + 0.17Si + 0.33 \frac{Sa}{Cl} - 2.59 SOM - 0.95CaCO_3}{100} \quad (3.13)$$

Eşitlikte;

Sa: Araştırma alanı topraklarının kum içeriği (%)

Cl: Araştırma alanı topraklarının kil içeriği (%)

SOM: Araştırma alanı topraklarının organik madde içeriği (%)

$CaCO_3$: Araştırma alanı topraklarının kireç içeriği (%)

Toprak kabuk faktörünün hesaplanması

Kabuk faktörünün hesaplanmasında Eşitlik (3.14) kullanılmıştır.

$$SCF = \frac{1}{1 + 0.0066(Cl)^2 + 0.21(SOM)^2} \quad (3.14)$$

Toprak pürüzlülük faktörünün hesaplanması

Pürüzlülük faktörü Eşitlik (3.15) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$K = e^{(1.86KrRc-2.41KrRc^{0.934}-0.124Crr)} \quad (3.15)$$

Eşitlikte;

Rc: Rüzgâr yönü için düzeltme faktörü

Kr: Sırt pürüzlülük faktörü

Crr: Rastgele pürüzlülük

Toprak yüzeyi bitki faktörünün hesaplanması

Bitki faktörü Eşitlik (3.16) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$COG = e^{(-0.0438(SC))} + e^{(-0.3444(SA^{0.6413}))} + e^{(-5.614(CC^{0.7366}))} \quad (3.16)$$

Eşitlikte;

SC: Bitki artığı ile kaplı yüzey alanı (%)

SA: Dik gövde alan indeksi (m²/m²)

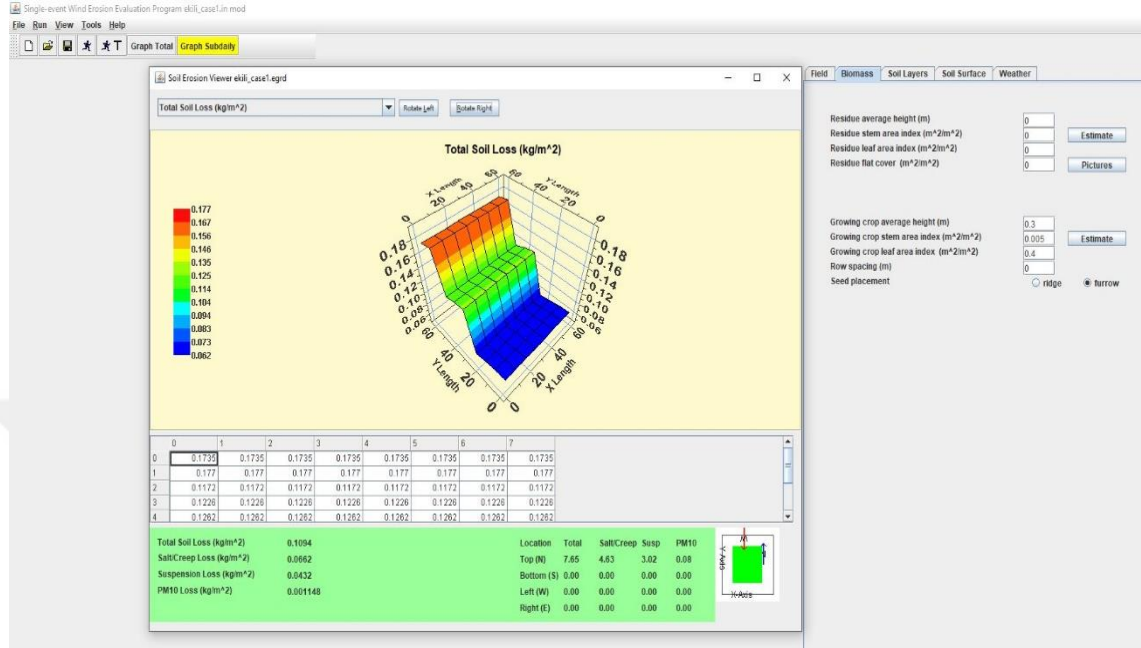
CC: Büyüyen bitki ile kapalı alan (%)

3.2.5.2 Tek olaylık rüzgâr erozyonu değerlendirme programı

Tez çalışması kapsamında olay temelli rüzgâr erozyonu değerlendirmeleri için geliştirilmiş modellerden biri olan Tek Olaylık Rüzgâr Erozyonu Değerlendirme Programı (SWEEP) kullanılmıştır. SWEEP rüzgâr erozyonu oluşumunda etkili olan süreçlere dayandırılmaktadır. Bu modele göre rüzgâr hızı, taneciklerin sıçrama ile harekete geçmesi süreci için gerekli eşik hızından daha fazla olduğunda erozyon başlamaktadır.

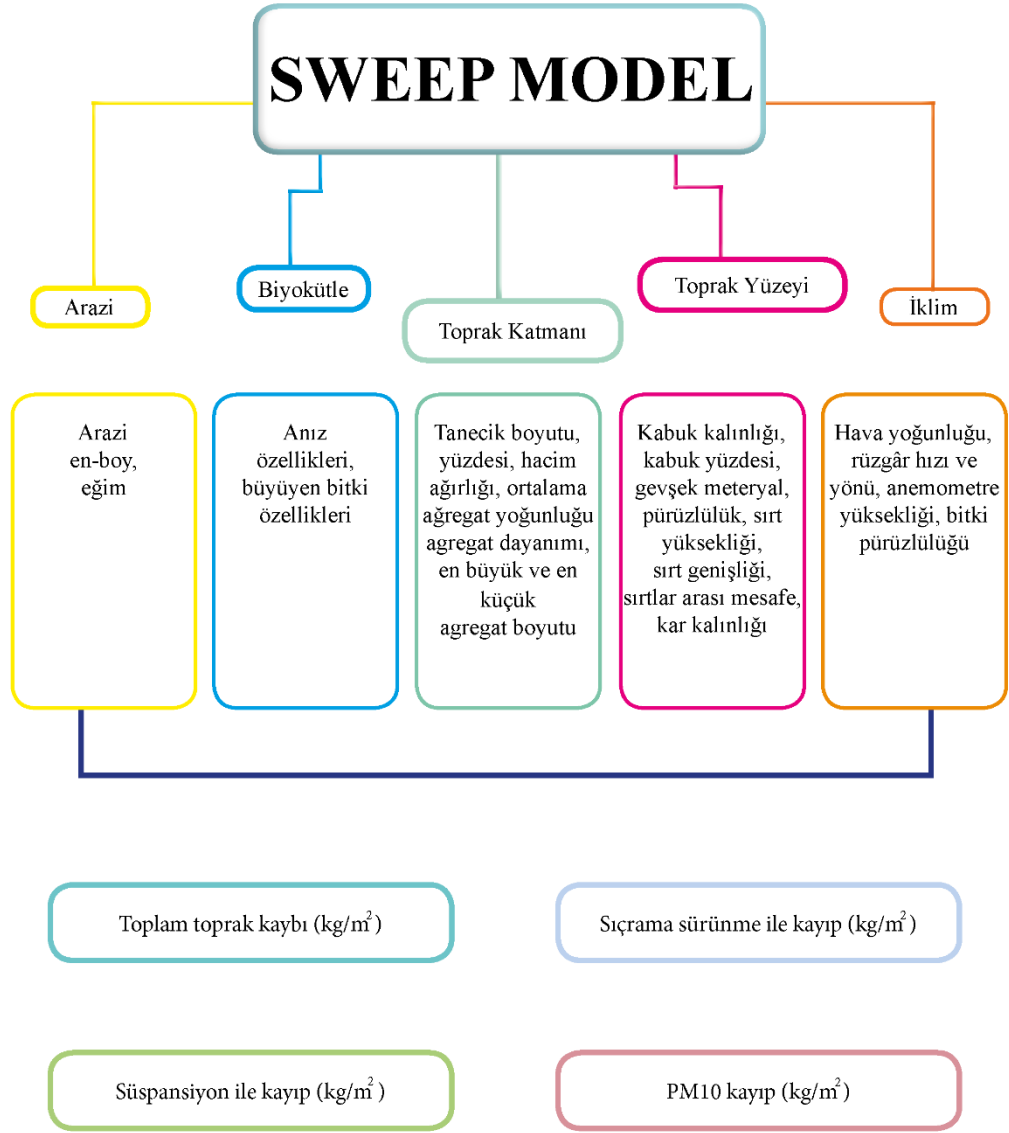
SWEEP modeli verileri test ederken birçok bitki ve toprak parametresini birlikte kullanan, süreç temelli bir tahmin programıdır (Şekil 3.10). İklim, arazi koşulları ve erozyonu modelleyen SWEEP'i test etmek için gerekli parametreler araştırma alanında her bir rüzgâr olayından sonra ölçülmüştür. Arazi üzerinde her bir direk önünden doğrudan ölçümler alınarak en son parsel ortalaması oluşturulmuş ve veriler

kaydedilmiştir. Yine arazi üzerinde kurulu meteoroloji istasyonundan ilgili iklim verileri alınarak programın çalışması sağlanmıştır (Hagen 2001).



Şekil 3.10 SWEEP model yazılımına ait görüntü

Bu modelin kullanımında veriler arazi, biyokütle, toprak katmanı, toprak yüzeyi ve iklim gibi dört ana değişken altında yer alan alt parametreler kaydedilmektedir (Şekil 3.11). Arazi temel parametresi altında yer alan geometrik özellikler, eğim koşulları ve varsa rüzgâr kırıcı özellikleri yazılıma kaydedildikten sonra sırasıyla diğer sekmelerde yer alan ana parametreler tanımlanır.



Şekil 3.11 SWEEP modeline ait temel parametreler ve alt değişkenler

SWEEP bitki parametreleri

Biyokütle temel parametresi altında hem kalıntı hem de yetismekte olan bitki varlığı test için gerekli alt değişkenlerdir. Bu değişkenler her olay sonrası güncellenmektedir. Arazi üzerinde yetişen bitki ve anız miktarları çerçeve yöntemi ile dik kalıntı miktarları 1 m^2 'lik alanda buğday saplarının sayılmasıyla belirlenmiştir. Gövde alan indeksi anız yoğunluğu ve yüksekliğinin örnekleme alanına oranıyla hesaplanmıştır. Yaprak alan

indeksi yaprak yoğunluğu, uzunluğu ve genişliğinin örnekleme alanına oranıyla yorumlanmıştır (Feng ve Sharratt 2007, 2009).

SWEEP toprak parametreleri

Toprak katmanı ana değişkeni altında yer alan parametreler ise temel toprak özellikleri olup sabit arazi koşullarında bünye, hacim ağırlığı, agregat dayanımı, agregat boyutu ve solma noktası gibi toprak özelliklerini içermektedir. Toprak yüzeyi ana değişkeni altında da yine her olay sonrası değişen toprak özellikleri yer almakta ve bu temel parametre de her olay için güncellenmektedir. Bu değişkenler sırasıyla arazi üzerinde sırt yükseklikleri (mm) , sırtlar arası mesafe (mm), sırt genişliği (mm), kabuk yüzdesi, kabuk kalınlığı (mm) (el penetrometresi), kabuk dayanıklılığı, yüzey gevşek materyaldir. Sırt yükseklikleri (mm), sırtlar arası mesafe (mm), sırt genişliği (mm) pürüzlülüğün belirlenmesi amacıyla ölçülmüş parametrelerdir (Saleh 1993). Rüzgâr olayları sırasında yağış olmadığından saatlik yüzey nem içeriğinin her bir olay için sabit olduğu kabul edilmiştir.

SWEEP iklim parametreleri

İklim ana parametre verileri araziye kurulan portatif meteoroloji istasyonundan sağlanmıştır. Kurulan meteoroloji istasyonu ile atmosfer sıcaklığı, toprak sıcaklığı, yağış, nem, rüzgâr hızı ve rüzgâr yönü her 5 dakika için kaydedilen veri kaydediciden süzülerek kullanılmıştır.

3.2.6 Jeostatistiksel hesaplamalar

İncelenen tüm parametreler (kapalılık, pürüzlülük, bitki boyu, sediment akış oranı) GS+ 10 paket programı ile jeostatistik analize tabi tutulmuş ve en uygun teorik model kullanılarak her bir değişken için yarıvaryogramlar oluşturulup, sill, külçe etkisi ve maksimum ilişkili uzaklık gibi jeostatistiksel parametreler belirlenmiştir. Deneysel yarıvaryogram Eşitlik (3.17)'de Journel ve Huijbregts (1978) ve Trangmar vd. (1985)'e göre paket program tarafından hesaplanmıştır (Turgut ve Öztaş 2012; Matheron 1963;

Burgess ve Webster 1980). Aynı paket programda elde edilen varyogram model ve parametreleri kullanılarak kriging haritaları oluşturulmuş ve değişkenlerin çalışma alanı içerisindeki konumsal dağılımları belirlenip yorumlanmıştır.

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2 \quad (3.17)$$

Eşitlikte,

$\gamma(h)$: semivaryans;

$N(h)$: h , mesafesi ile ayrılan örnek çiftlerinin sayısı

$Z(x_i)$, incelenen özelliğin i . noktadaki ölçüm değeri ve $Z(x_i+h)$, incelenen özelliğin $(i+h)$. noktadaki ölçüm değeri

Ölçümü yapılan her rüzgâr erozyonu olayı öncesinde ölçülmüş değişken toprak özellikleri (nem, sıcaklık), yüzey (pürüzlülük, bitki kapalılığı ve boyu) ve meteorolojik (nem, rüzgâr hızı ve rüzgâr yönü) parametreler ile külçe etkisi, külçe etkisi/sill oranı ve maksimum ilişkili uzaklık (h) gibi varyogram parametreleri arasındaki regresyon ilişkisi uygun model ile hesaplanmıştır.

3.2.7 Biplot analizi

Bu çalışmada incelenen bitki boyu, kapalılık, pürüzlülük ve sediment akış oranı parametrelerinin değerlendirilmesinde temel bileşen analizine dayalı biplot grafikleri kullanılmıştır. Temel bileşen analizi Biplot paket program ile gerçekleştirilmiştir.

3.2.8 Yapay zekâ uygulamaları

Yapay sinir ağları bilgi işleme, karar verme ve öğrenme yetenekleri dahil olmak üzere beyin sistemindeki nöronların çalışmasını taklit etmektedirler (Gago vd. 2010). Yapay sinir ağları; karmaşık süreçleri modellemek, tahmin etmek ve optimize etmek için

önemli yaklaşımlar olarak giderek daha fazla alanda kullanılmaktadır. Yapay sinir ağı yapılarında nöron adı verilen paralel bazı öğeler işletilmektedir.

Öznitelik seçimi

Öznitelik seçiminde kullanılan çok sayıda yöntem bulunmaktadır. Bu çalışmada, öznitelik seçiminde temel bileşen analizi (PCA) kullanılmıştır. PCA’da en iyi özellikleri seçmek için arama metodu olarak Ranker algoritması kullanılmıştır (Witten ve Frank, 2005). Weka® v3.8 (Hall vd. 2009) yazılımı ile bitki boyu, kapalılık, pürüzlülük ve sediment akış oranı özelliklerine PCA uygulanmıştır.

Tahmin teknikleri

Çalışmada yapay zekâ algoritmalarıyla tahmin yapmak amacıyla Weka® v3.8 yazılımı kullanılmıştır. Parametrelerin tahmin edilmesinde ileri beslemeli yapay sinir ağının bir sınıfı olan Çok Katmanlı Algılayıcı (Multilayer Perceptron, MLP) (ANN), Gaus Süreci (Gaussian Processes; GP) ve Rastgele Orman (Random Forest; RF) algoritmaları kullanılmıştır. Yapay zekâ algoritmaları core i5 CPU ve 2.5 GHz 8 GB ram sahibi bilgisayarla uygulanmıştır.

Yapay Zekâ Algoritmaları

Çok Katmanlı Algılayıcı

ANN modelleri; biyolojik nöronlarda olduğu gibi, beyindeki nöronlarla benzerlik göstererek birbirleriyle bağlı işlem elementlerinden ve ağırlıklı bağlantılardan oluşmaktadırlar (Karray ve Silva 2004). Çok katmanlı algılayıcılar, giriş katmanlarından, gizli katmanlardan ve çıktı katmanlarından oluşmaktadır. MLP bir ileri besleme sinir ağı çeşididir. İleri besleme sinir ağlarında veriler girdi katmanlarından çıktı katmanlarına doğru tek yönde akmaktadır. Bu yöntemde gradyan azalma, momentumla birlikte gradyan azalma, Levenberg-Marquardt algoritması, conjugate gradient algoritması ve benzeri farklı yöntemler hata payını en aza indirmeyi sağlayabilmektedir. Tarımsal çalışmalarda da en fazla tercih edilen yapay zekâ uygulamalarından birisi yapay sinir ağlarıdır (Marini vd. 2004; Mollazade vd. 2012). Bu

çalışmada, öğrenme oranı: 0.3, momentum: 0.2, döngü sayısı: 500, tahmin edilen her özelliğe göre farklı MLP yapısı modelleri dikkate alınmıştır.

Gauss Süreci

Gauss Süreci rastlantısal değişkenlerin bir değer aralığındaki her bir noktayla ilişkilendirildiği Bayes sonuç çıkarma üzerine bir olasılık dağılımıdır (Rasmussen ve Williams, 2006). Ayrıca “gürültü” dizilim parametresi veya uyum yakınlığı kontrolü ile bir kernel fonksiyonunun da belirtilmesi gerekmektedir. Buna ilaveten, bu teknik, regresyonu öğrenmeden önce eğitim verilerinin seçiminin normalleştirilmesine veya standartlaştırılmasına izin vermektedir (MacKay 1998). İstatiksel modellemede normal dağılımdan (hataların normal dağılımı, varyans ve kovaryans) devralınan tüm parametreler net bir şekilde elde edildiği için Gauss Süreci algoritması büyük bir öneme sahiptir (Rasmussen ve Williams 2006).

Rastgele Orman

Rastgele Orman algoritması, her bir ağacı eğitmek için orijinal eğitim verisinden ön yükleme örnekleri kullanarak birden fazla Karar Ağacı (DT) oluşturmaktadır. Daha sonra ise tahmin ile ağaçların kurulumu gerçekleşmektedir. Rastgele Orman algoritmasındaki her bir ağaç ayrı bir tahminci olduğundan, bu algoritma daha çok tahmin için kullanılır. DT’den farklı olarak karar, belirlenen sınıflardaki veri setlerindeki Rastgele Orman tarafından inşa edilen ağaç grubunun çoğunluğuyla verilmektedir. Daha sonra, önyükleme ve topluluk şeması, DT’den miras kalan aşırı uyum sorununun üstesinden gelebilmektedir. Rastgele Orman algoritmasında budama adımı yoktur. Genel olarak diğer algoritmalara göre Rastgele Orman daha yüksek tahminsel korelasyon katsayısına sahiptir ve gürültülere karşı dayanıklıdır (Breiman 2001; Rodriguez-Galiano vd. 2012).

Model Performanslarının Değerlendirilmesi

Modellerin performansı, aşağıdaki istatistiksel indekslere göre değerlendirilmiştir; Korelasyon katsayısı (r), kök ortalama kare hatası (RMSE), ortalama mutlak hata

(MAE), bağıl mutlak hata (RAE), kök bağıl kare hatası (RRSE). Hesaplamalar için Eşitlik 18-23 kullanılmıştır (Parker 2001).

$$r = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \frac{(M_i - \bar{M})(E_i - \bar{E})}{S_M S_E} \quad (3.18)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (E_i - M_i)^2}{n}} \quad (3.19)$$

$$MAE = \sum_{i=1}^n \frac{|E_i - M_i|}{n} \quad (3.20)$$

$$RAE = \frac{\sum_{i=1}^n |E_i - M_i|}{\sum_{i=1}^n |\bar{M} - M_i|} \times 100 \quad (3.21)$$

$$RRSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (E_i - M_i)^2}{\sum_{i=1}^n (\bar{M} - M_i)^2}} \times 100 \quad (3.22)$$

$$A_c = \frac{TP + TN}{TP + FP + TN + FN} \times 100 \quad (3.23)$$

Eşitlikte;

n: Veri örneklerinin sayısı

M_i : Ölçülen hedef değer

E_i : Tahmin edilen hedef değer

$\bar{M}$: Ölçülen hedef değerlerin ortalaması

$\bar{E}$: Tahmin edilen hedef değerlerin ortalaması

S_e : Tahmini hedef değerlerin toplamı

TP: Gerçek pozitiflerin sayısı

FP: Yanlış pozitiflerin sayısı

TN: Gerçek negatiflerin sayısı

FN: Yanlış negatiflerin sayısı

Tahmin başarısı Colton (1974) tarafından verilen kurallara göre değerlendirmek amacıyla korelasyon katsayısı (r) analiz edilmiştir. Bu çalışmada korelasyon katsayıları dikkate alındığında; 0-0.25 arası hiç ilişki yok ya da çok az ilişki; 0.25-0.50 arasında

orta ilişki; 0.50-0.75 orta ya da iyi bir ilişki; 0.75-1 arası ise mükemmel ilişkiyi ifade etmektedir.

3.2.9 İstatistiksel hesaplamalar

Araştırma sonuçlarından elde edilen gerçek ölçümler için SWEEP ve RWEQ modelleri çalıştırılarak gerçek ölçümlerle tahmin değerleri karşılaştırılmış, aralarındaki korelasyon ilişkisine, RMSE (ortalama kareler hatasının karekökü) ve d-test sonuçlarına göre modelin başarı derecesi belirlenmiştir (Willmott 1981). d-test Eşitlik (3.24) ile hesaplanmıştır.

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (E_i - M_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|E_i - M_M| + |M_i - M_M|)^2} \quad (3.24)$$

Eşitlikte;

E_i : Tahmini yapılan değerleri,

M_i : Ölçülen değerleri

n : Gözlem sayısı (burada olay sayısı)

İncelenen her bir parametre için SPSS 10 istatistik programı kullanılarak Kolmogorov-Smirnov testi ile dağılımların normalliği test edilmiştir. Her değişken için minimum, maksimum, ortalama, varyans, standart sapma, varyasyon katsayısı, basıklık ve çarpıklık gibi tanımlayıcı istatistikler belirlenmiştir. Maksimum uzaklığa bağlı ilişki (h) ile meteoroloji, toprak ve yüzey ölçümlerine ait parametreler modellenerek sediment akışının uzaklığa bağlı değişimini kontrol eden parametre ya da parametreler belirlenmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Araştırma Alanı Temel Bazı Toprak Özellikleri

Araştırma alanında deneme parsellerinden alınan toprak örneklerine ait bazı toprak özellikleri sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Araştırma alanına ait bazı toprak özellikleri sonuçları

Genel toprak özellikleri	Değerler
pH	7.89
EC (dS/m)	0.684
OM (%)	0.66
CaCO ₃ (%)	0.88
Kum (%)	92.39
Çok iri kum (2-1 cm; %)	3.68
İri kum (1-0.5 cm; %)	11.27
İnce kum (0.25-0.1 cm; %)	41.96
Çok ince kum (0.1-0.05 cm; %)	21.36
Silt (%)	5.37
Kil (%)	2.24
<0.84 mm Agregat (%)	40.54
Tekstür sınıfı	Kum
Hacim ağırlığı (g/cm ³)	1.32
Tarla kapasitesi (cm ³ /cm ³)	0.16
Solma noktası (cm ³ /cm ³)	0.11

EC; elektriksel iletkenlik, CaCO₃; kalsiyum karbonat, OM; organik madde

Yarı kurak iklim koşullarına sahip olan çalışma alanı toprakları 7.89 pH değeri ile hafif alkalın karakterde olup elektriksel iletkenliği 0.684 dS/m ile tuzsuz toprak sınıfında yer almaktadır. Araştırma sonuçlarına göre deneme alanı topraklarının organik madde içeriği oldukça düşüktür (% 0.66). Toprak organik maddesi rüzgârla taneciklerin taşınması sürecinde hayati bir rol oynar. Kümeleşmeyi teşvik ederek toprakların aşındırıcı rüzgârlara maruz kalmasını önleyen organik madde toprakların agregat dayanımının devamlılığında çok önemli bir etkiye sahiptir (Allison 1973, Lopez 1998,

Deneme alanı topoğrafik koşullarını belirlemek amacıyla oluşturulan arazi yükselti haritası Şekil 4.1’de gösterilmiştir. İki parsel yüzey koşulları açısından birbirini ile çok benzer olup eğim % 0.01 ile % 2.19 arasında değişmektedir.



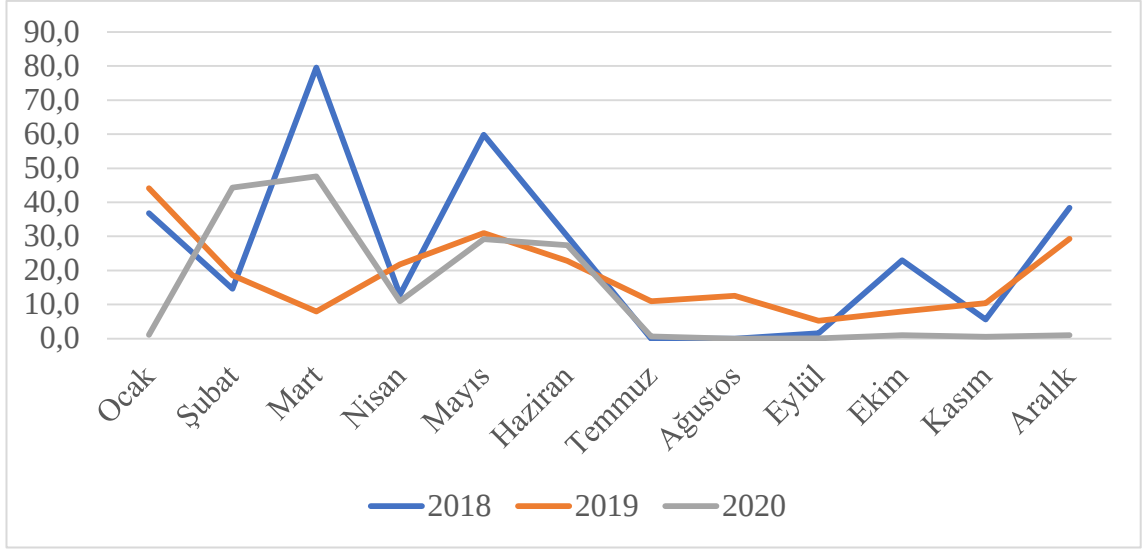
4.2 İklimsel Veriler

Araştırma alanında kurulan meteoroloji istasyonu parselleri tam olarak temsil edebilecek şekilde iki parselin ortasında kurulmuştur. Araştırma süresi boyunca her bir rüzgâr erozyonu olayına ait iklimsel parametreler Çizelge 4.2’de verilmiştir. Bu süreçte 11 adet rüzgâr erozyonu olayı kaydedilmiştir.

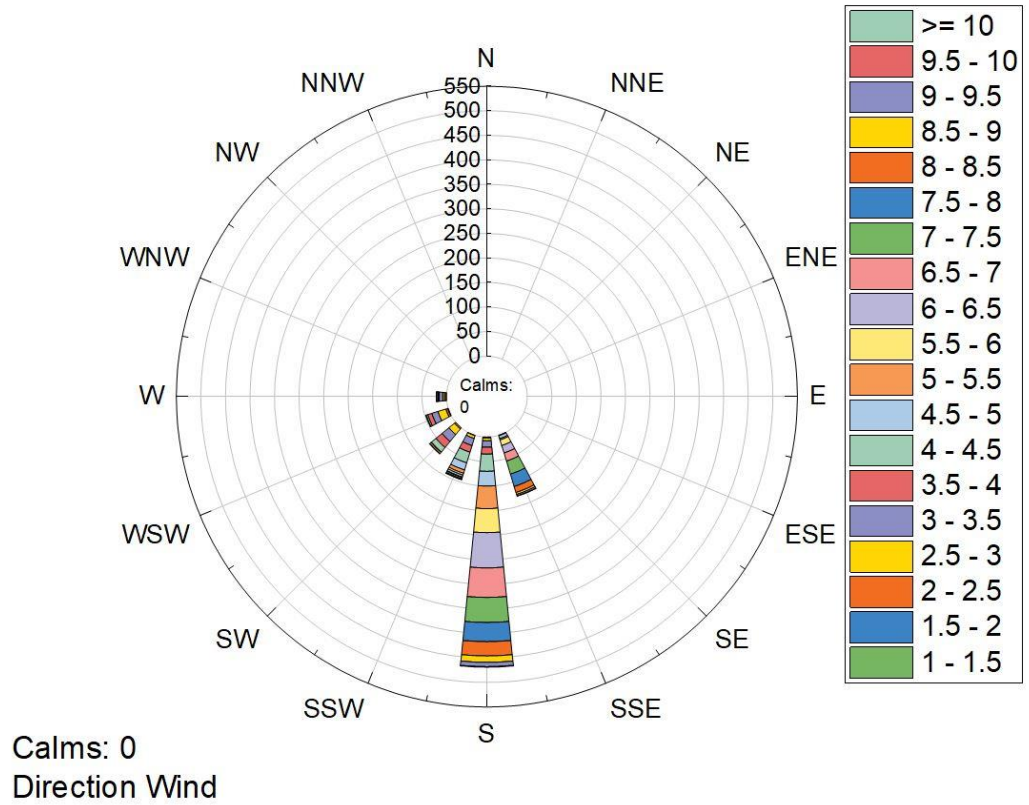
Çizelge 4.2 Araştırma süresi boyunca her bir rüzgâr erozyonu olayına ait iklimsel parametreler

Olay	Tarih	Olay süresi (dk.)	Ortalama rüzgâr hızı (m/s)	Ortalama rüzgâr yönü (°)	Toprak nemi nadas (%)	Toprak nemi ekili (%)	Ortalama sıcaklık (°C)
1	18.03.2018	441	6.9	172	5.52	3.25	18
2	23.03.2018	290	7.04	180	7.45	7.95	13
3	02.04.2018	405	8.22	126, 9, 236	7.41	6.39	14
4	25.12.2018	700	7.6	143, 299	8.45	8.25	5.2
5	24.04.2019	1865	7.6	338, 352, 15	7.29	7.48	5.2
6	05.10.2019	275	8.42	285	5.16	5.72	23
7	12.10.2019	1200	7.11	345, 17	4.39	4.67	20.3
8	26.11.2019	1050	8.57	136	5.41	4.83	12.6
9	23.12.2019	1120	10.37	137	4.22	3.57	3.56
10	06.01.2020	1440	9.09	140	5.18	4.45	4.5
11	05.02.2020	1435	10.0	144	5.03	3.75	4.8

Bu olaylar arasında Olay 1, 2 ve 3 birinci dönemde, Olay 4 ve 5 ikinci dönemde, Olay 6, 7, 8, 9, 10 ve 11 ise üçüncü dönemde meydana gelmiştir. En uzun süren rüzgâr erozyonu olayı 1865 dakika ile ikinci dönem içerisinde Olay 5’te, en kısa süreli rüzgâr olayı ise 275 dakika ile üçüncü dönemde yer alan Olay 6’da gözlenmiştir. Birinci dönemde ortalama rüzgâr hızı en yüksek 8.22 m/s ile Olay 3’te, en düşük 6.9 m/s ile Olay 1’de gözlenmiştir. İkinci dönemde meydana gelen rüzgâr erozyonu olaylarının her ikisinde de ortalama rüzgâr hızı 7.6 m/s olmuştur. Üçüncü dönemde ortalama rüzgâr hızı en yüksek 10.37 m/s ile Olay 9’da, en düşük 7.11 m/s ile Olay 7’de gözlenmiştir.

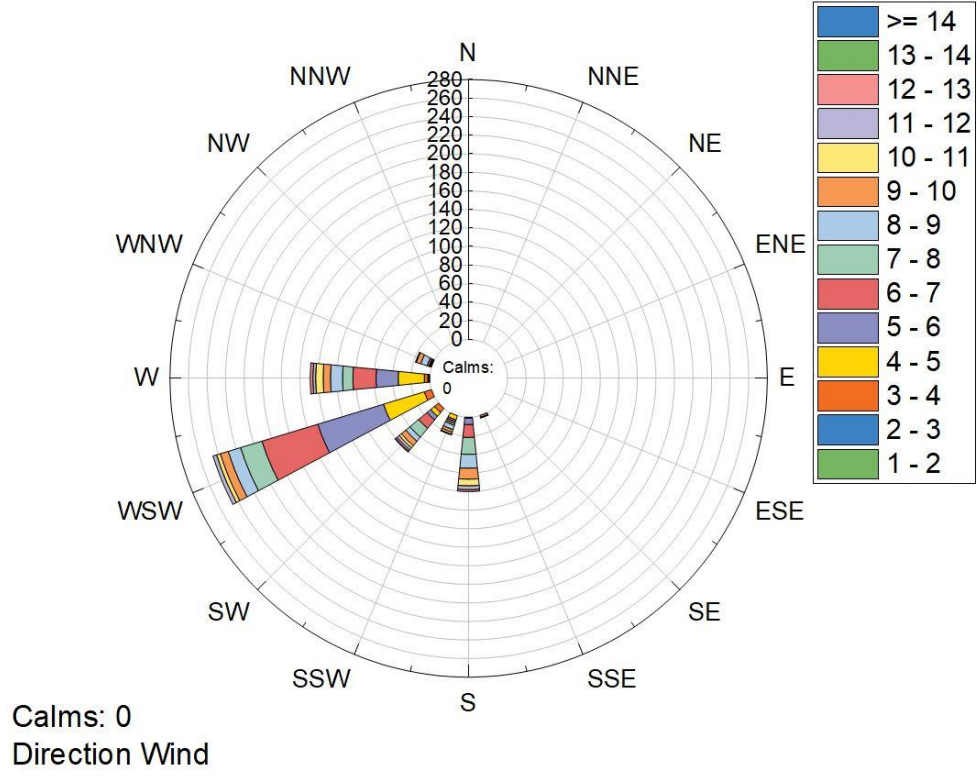


Şekil 4.2 Deneme periyodu boyunca aylık yağış miktarları (mm)



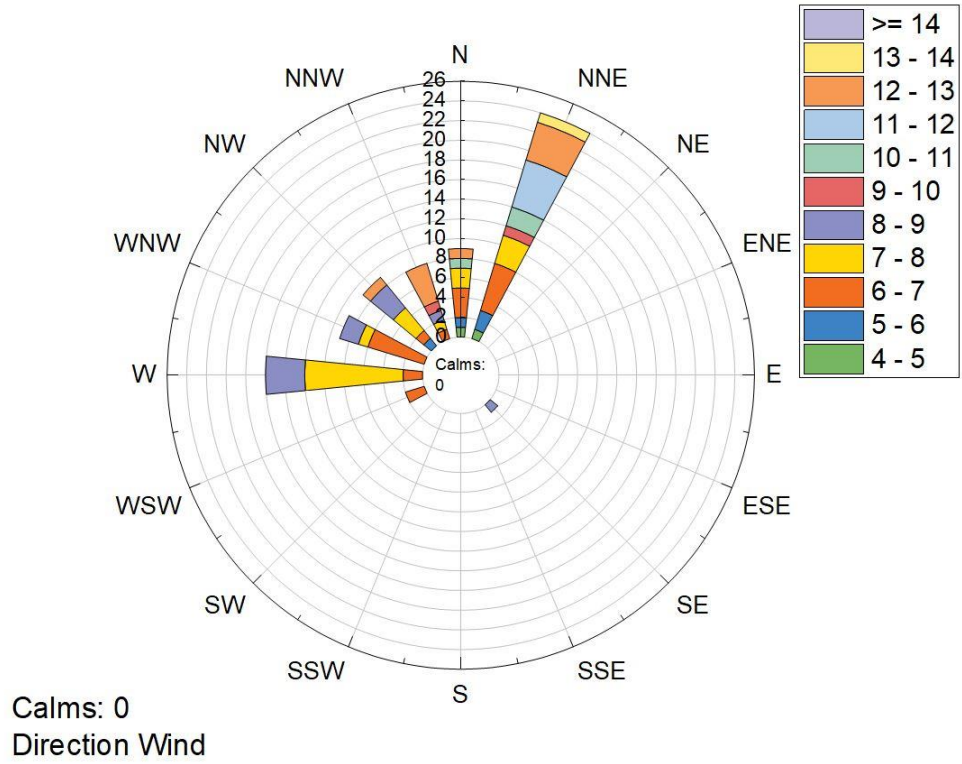
Şekil 4.3 Olay 1'e ait rüzgâr gülü diyagramı ve rüzgâr hızları (m/s)

Olay 1’de gün içerisinde farklı yönlerden de esmekle birlikte aşındırıcı rüzgârlar güney yönünden esmiştir (Şekil 4.3). Rüzgâr gülü diyagramında her bir dilim kaç defa rüzgârın belirli yönlerde estiğini (frekansını) ifade etmektedir.



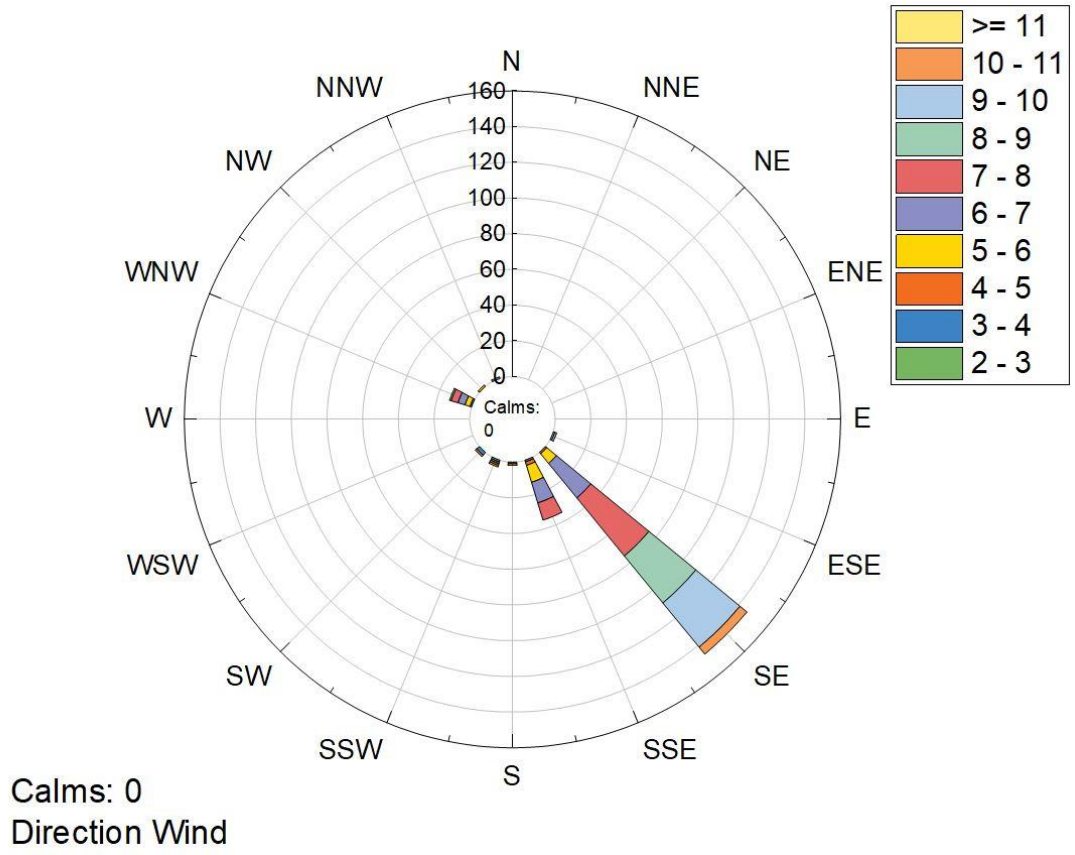
Şekil 4.4 Olay 2’ye ait rüzgâr gülü diyagramı ve rüzgâr hızları (m/s)

Olay 2’de aşındırıcı rüzgârlar büyük oranda güneybatı yönünden esmiştir (Şekil 4.4).



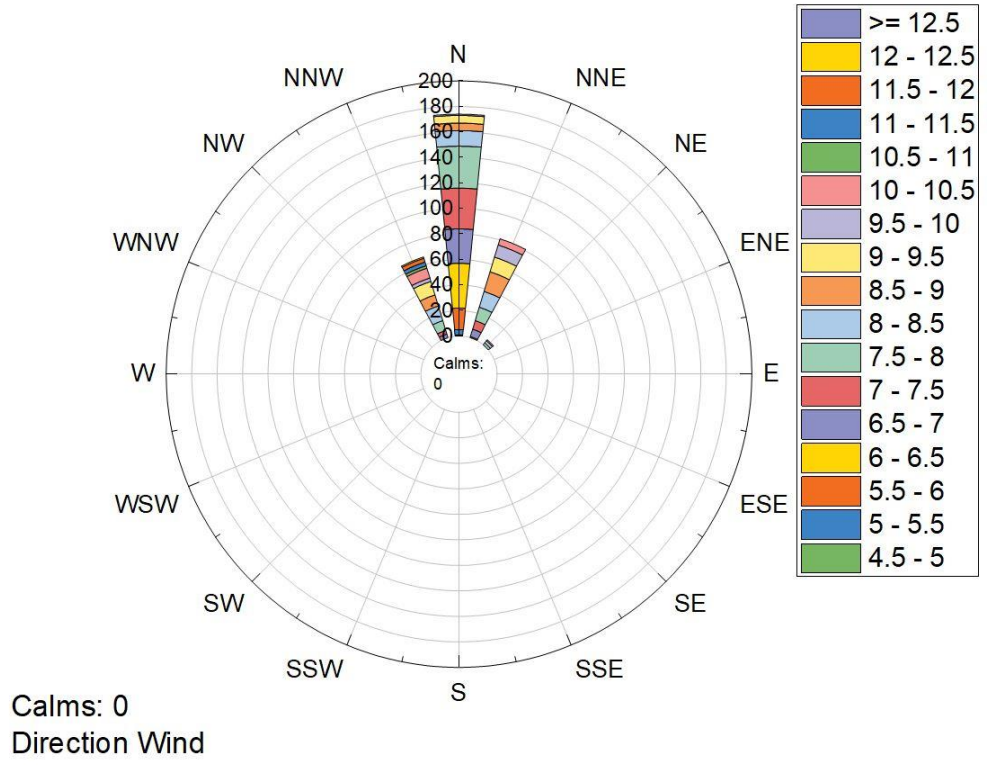
Şekil 4.5 Olay 3'e ait rüzgâr gülü diyagramı ve rüzgâr hızları (m/s)

Olay 3'te aşındırıcı rüzgârlar en fazla batı ve kuzey kuzeydoğu yönünden esmekle birlikte olay sırasında farklı yönlerden de esmiştir (Şekil 4.5). Sterk ve Stein (1997) rüzgârın yönünün fırtınanın merkezine yakın veya uzak olmasına bağlı olarak rüzgâr olayı esnasında yer değiştirebileceğini belirtmişlerdir.



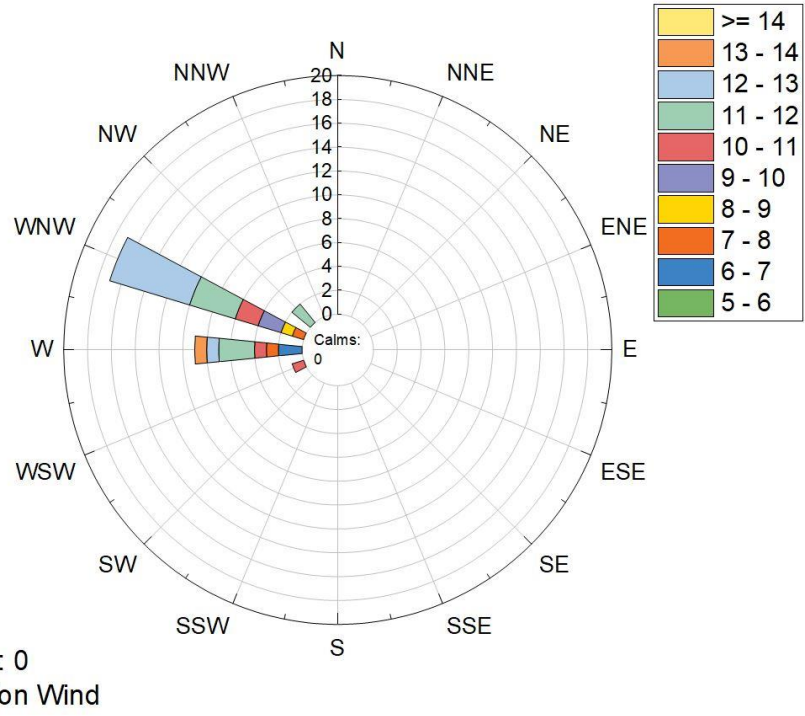
Şekil 4.6 Olay 4'e ait rüzgâr gülü diyagramı ve rüzgâr hızları (m/s)

Olay 4'te aşındırıcı rüzgârların büyük çoğunlukla güneydoğu yönünden estiği gözlenmiştir (Şekil 4.6).



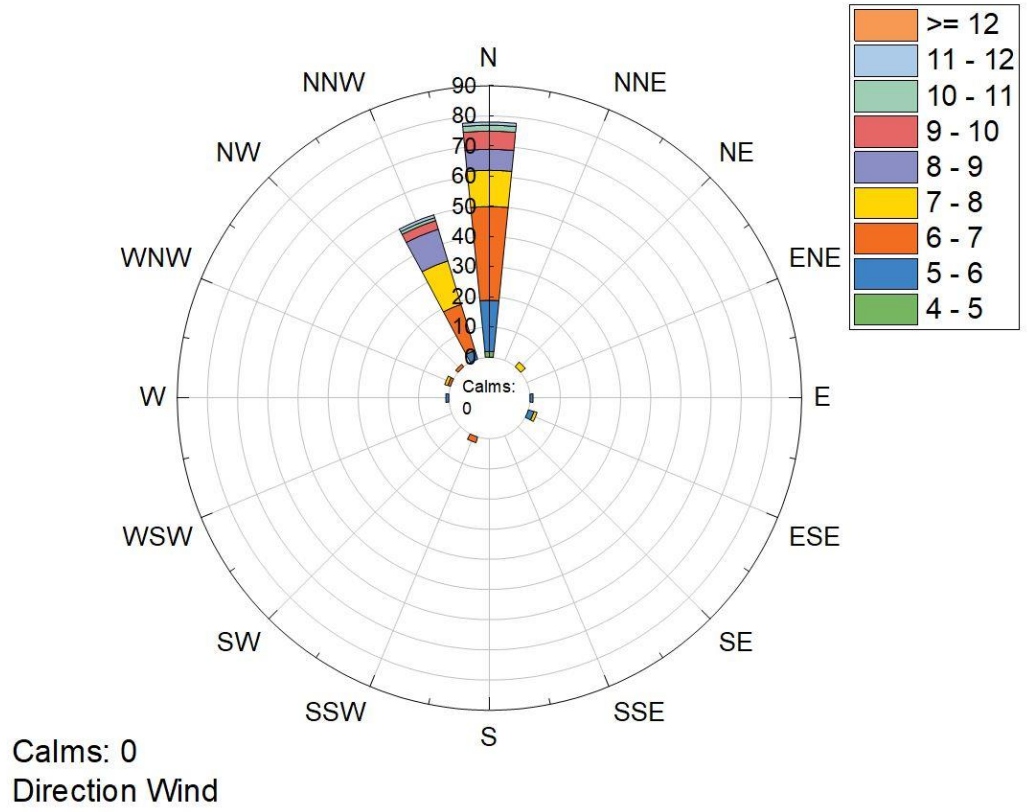
Şekil 4.7 Olay 5'e ait rüzgâr gülü diyagramı ve rüzgâr hızları (m/s)

Olay 5'te aşındırıcı rüzgârlar çoğunlukla kuzey yönünden esmekle birlikte daha kısa süreli olarak kuzey kuzeybatı ve kuzey kuzeydoğu yönünden esmiştir (Şekil 4.7).



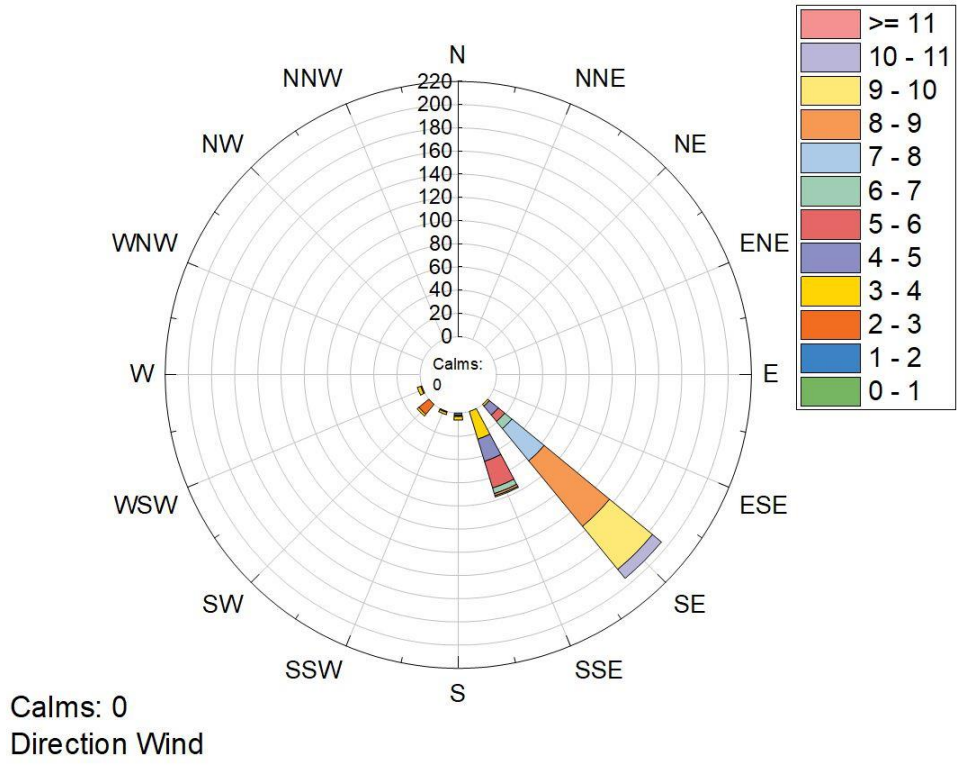
Şekil 4. 8 Olay 6'ya ait rüzgâr gülü diyagramı ve rüzgâr hızları (m/s)

Olay 6'ya ait rüzgâr gülü diyagramı incelendiğinde aşındırıcı rüzgârların sıklıkla Batı kuzeybatı yönünden ve daha kısa süreli olarak Batı yönünden estiği gözlenmiştir (Şekil 4.8).

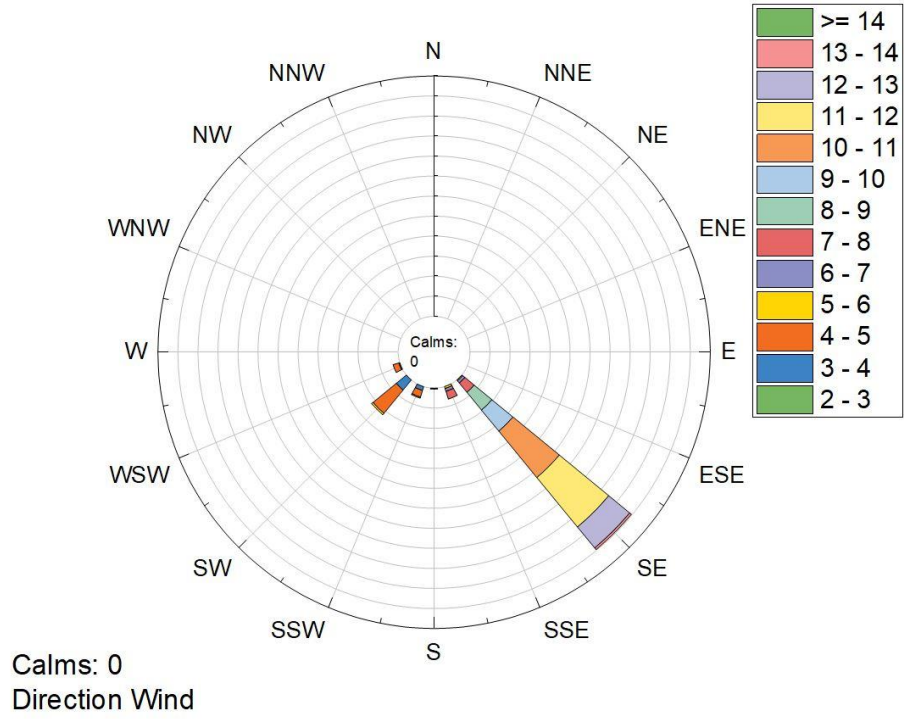


Şekil 4.9 Olay 7'ye ait rüzgâr gülü diyagramı ve rüzgâr hızları (m/s)

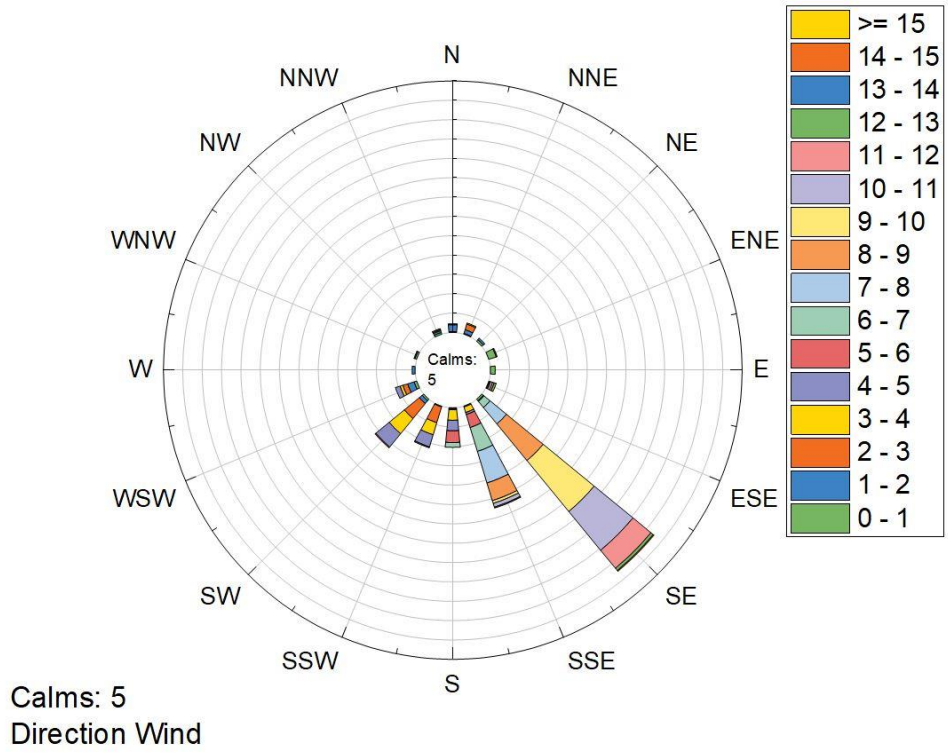
Olay 7'de aşındırıcı rüzgârlara ait rüzgâr gülü diyagramından açıkça görüldüğü üzere rüzgârlar kuzey kuzeybatı ve kuzey yönünden esmiştir.



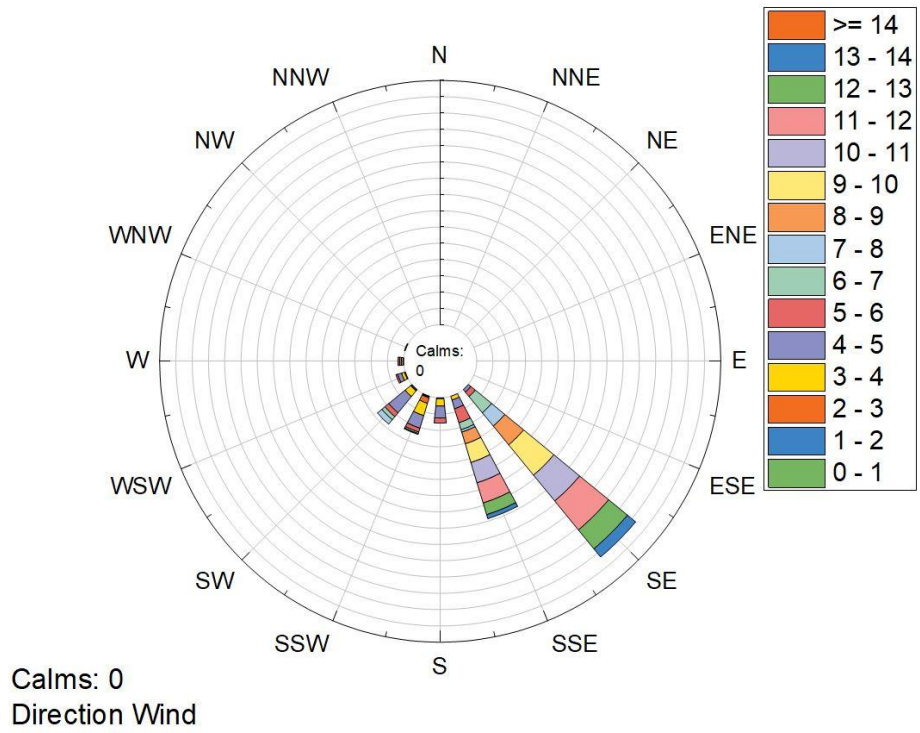
Şekil 4.10 Olay 8'e ait rüzgâr gülü diyagramı ve rüzgâr hızları (m/s)



Şekil 4.11 Olay 9'a ait rüzgâr gülü diyagramı ve rüzgâr hızları (m/s)



Şekil 4.12 Olay 10'a ait rüzgâr gülü diyagramı ve rüzgâr hızları (m/s)



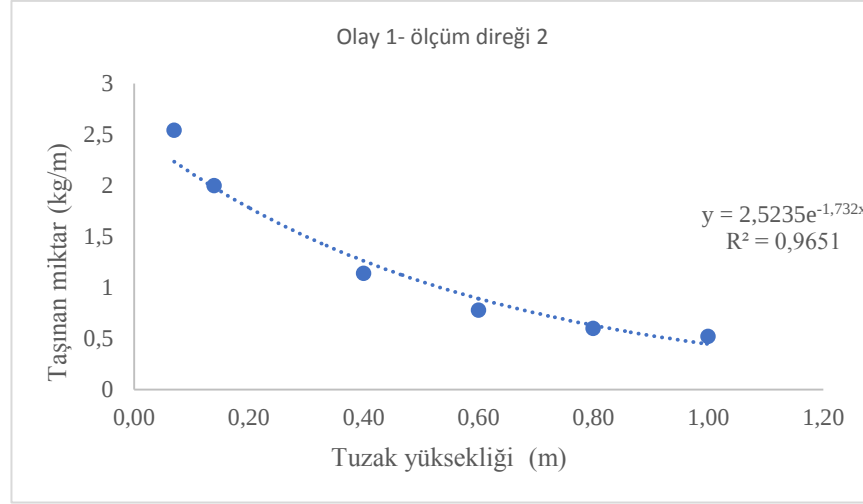
Şekil 4.13 Olay 11'a ait rüzgâr gülü diyagramı ve rüzgâr hızları (m/s)

Olay 8, 9, 10 ve 11'e ait rüzgâr gülü diyagramlarına bakıldığında üçüncü dönem içerisinde gerçekleşen bu olayların tümünde rüzgâr yönünün benzer dağılım gösterdiği gözlenmektedir. Bu olayların tamamında aşındırıcı rüzgârlar güneydoğu ve güney güneydoğu yönünden esmiştir (Şekil 4.10, 4.11, 4.12 ve 4.13).

Rüzgâr erozyonunu etkileyen önemli bir parametre rüzgâr hızıdır (Gomez vd. 2003, Calzo ve Busschizzo 2010). Zhao vd. (2006) artan rüzgâr hızlarında rüzgâr erozyonu oranının arttığını bildirmişlerdir. Denemenin kurulduğu alanda uzun yıllar rüzgâr hızı ve yön ortalamaları dikkate alındığında aşındırıcı rüzgârların özellikle Şubat ve Mart aylarında, Güneybatı ve Güneydoğu yönlerinde olduğu bilinmektedir. Bu dönem Orta Anadolu'da nadasa bırakılan alanlarda hem su muhafazasını sağlamak ve pürüzlülüğü arttırmak hem de yabancı ot kontrolü için sürüm yapılan döneme denk gelmektedir. Bu süreçte düşük yağış nedeniyle toprak neminin de yetersiz olması toprakları aşınmaya karşı duyarlı hale getirmektedir.

4.3 Doğrudan Rüzgâr Erozyonu Ölçümleri Toplam Kütle Taşınımı Sonuçları

Araştırma alanında nadas ve buğday ekili iki parsel üzerinde ve her bir parselde 10 x 10 m grid deneme deseninde 84 adet rüzgâr erozyonu ölçüm düzeneği olacak şekilde hâkim rüzgâr yönüne dik kurulum yapılmıştır. Ölçüm düzeneğinin kanatlarının dönüşünün engellenmemesi adına varsa nadas alanında yabancı otlar ekili alanda ise buğday bitkileri temizlenmiştir. Bunu yanı sıra nadas parseli sürüldükten sonra yine kanadın dönüşüne engel olabilecek sırtlar düzeltilmiştir. Birinci dönemde üç adet rüzgâr olayı (Olay 1, 2 ve 3), ikinci dönemde iki adet rüzgâr olayı (Olay 4 ve 5), üçüncü dönemde ise altı adet rüzgâr olayı (Olay 6, 7, 8, 9, 10 ve 11) gözlenmiştir. Düzenli aralıklarla tuzaklarda biriken sedimentler toplanarak sediment akış oranı ve toplam taşınan sediment miktarları uygun Üstel model kullanılarak belirlenmiştir. Şekil 4.14'te tuzak yüksekliğine bağlı taşınan sediment miktarının hesaplandığı örnek bir üstel model görülmektedir (Şekil 4.14, Sterk ve Raats 1996). Her bir parselden olay temelli taşınan toprak miktarları Çizelge 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.14 Nadas parseli Olay 1’de ikinci ölçüm sistemine ait üstel grafik

Çizelge 4.3 Nadas ve buğday ekili parsellerden taşınan toprak miktarları (kg/ha)

Olay	Nadas toprak kaybı (kg/ha)	Buğday ekili alan toprak kaybı (kg/ha)
1	253.01	25.84
2	13.10	2.86
3	588.36	18.46
4	49.74	37.73
5	55.48	7.88
6	277.81	2127.28
7	28.43	56.65
8	24.42	92.51
9	37.48	100.11
10	11.17	26.35
11	44.43	52.31

Çizelge 4.3 incelendiğinde ölçüm periyodu süresince nadas parselinde taşınan toplam sediment miktarı 1383.45 kg/ha, buğday ekili parselden taşınan toplam miktarı 2547.98 kg/ha olarak hesaplanmıştır. Nadas alanı için en yüksek kütle taşınımı 588.36 kg/ha ile Olay 3’te, en düşük ise 11.17 kg/ha ile Olay 10’da görülmüştür. Buğday ekili alanda en yüksek sediment taşınımı 2127.28 kg/ha ile Olay 6’da, en düşük sediment taşınımı ise 2.86 kg/ha ile Olay 2’de gözlenmiştir (Çizelge 4.3).

Araştırma periyodu boyunca ilk dönemde meydana gelen Olay 1, 2 ve 3 Mart ve Nisan aylarında gerçekleşmiş olup bu olaylarda nadas parselinde, buğday ekili parselde kıyasla çok daha fazla sediment akışı gözlenmiştir. Bu durum ilkbaharda toprakların çıplak olduğu ve yağış öncesi kuvvetli rüzgârların meydana geldiği yarı kurak iklim koşullarıyla doğrudan ilişkilidir. Yağış sonrası ise toprak yüzeyinin hızla kuruması (bünnyeye de bağlı olarak) sonucu bir sonraki olaya kadar toprak yüzeyinde erozyon duyarlılığının önemli ölçüde artması aynı dönem içinde meydana gelen rüzgâr olaylarını ve toprak kayıplarını açıklamaktadır. Araştırmanın ikinci döneminde Olay 4 meydana geldikten hemen sonra arazi yüzeyi tamamen karla kaplanmış ve ilkbahar yağışlarının da mevsim normallerinin üzerinde olmasından dolayı Şubat ve Mart aylarında şiddetli rüzgârlar olmasına rağmen toprak yüzeyi devamlı nemli kalmıştır. Bu sebeple bu aylarda aşındırıcı rüzgârlara rağmen herhangi bir rüzgâr erozyonu olayı yaşanmamıştır. Araştırmanın üçüncü dönemi bölgede kışlık buğday ekimi yapılan Ekim ayında başlamıştır. Olay 6-11 bu dönemde meydana gelmiştir. Bu dönemde nadas parseli anız ile kaplı olduğundan buğday ekili parselde taşıyım daha az olmuştur. Orta Anadolu'da yarı kurak koşullarda ekim hazırlığında çimlenme oranını arttırmak amacıyla tohum yatağı hazırlığında toprak agregatlarını ve pedleri bozan yoğun bir toprak işleme yapılmaktadır. Sonbahar yağışlarının da yetersiz olduğu durumlarda çimlenme ve kardeşlenme mart ayına kalabilmektedir. Deneme sırasında da arazi neredeyse pürüzsüz bir hale getirilerek ekim yapılmış ve yetersiz yağış ve aşındırıcı rüzgârların etkisiyle henüz bitki çıkışları olmayan ekili parselde ciddi oranlarda sediment kayıpları yaşanmıştır. İlerleyen dönemlerde bitki çıkışlarının yüzeyi kapatacak derecede gelişmemesinden dolayı aşındırıcı rüzgârlarla birlikte sediment kayıpları devam etmiştir.

Nadas parselinde ilk ölçüm döneminde arazi yeni sürülmüş olup herhangi bir bitki artığı bulunmadığından toprakların aşınmaya oldukça duyarlı olduğu görülmüştür. Nadas alanında ilk rüzgâr olayı meydana geldiğinde toprak pürüzlülüğünün nispeten fazla olması, aynı dönemde diğer olaylara kıyasla toprak neminin daha düşük (%5.22) olmasına rağmen taşıyımın daha az olması ile sonuçlanmıştır. Ancak deneme alanı topraklarının kum bünnyeye sahip olması (%92.39) pürüzlülüğün devam ettirilmesine engel olmuş, ilk yağışlardan itibaren toprak yüzeyi neredeyse düz bir hal almıştır. Aynı

dönem ekili parselde taşınmanın daha düşük olması hem yüzey kapalılığının bulunması hem de bitkilerin boylanması ile açıklanabilmektedir. Sonbahar döneminde ekili parselde meydana gelen olaylar dikkate alındığında ise aşındırıcı rüzgârların hakim olduğu dönemlerde düşük toprak yüzey pürüzlülüğü ve düşük kapalılıkla rüzgâr erozyonuna duyarlılığın arttığı gözlenmiştir.

Rüzgâr erozyonu ile ilgili arazi çalışmaları doğal koşullar altında simülasyonların yapılmasına imkân verdiği için erozyon süreçlerinin araştırılmasında oldukça önemlidir. Bunu yanı sıra doğrudan ölçümler, erozyon modellerini doğrulamak, onaylamak ya da iyileştirmek amacıyla bir ölçüt olarak kullanılabilir.

Sediment akış oranına ait veriler pürüzlülük, kapalılık ve bitki boyu parametreleri ile birlikte jeostatistiksel hesaplamalar kısmında ayrıntılı olarak tartışılmıştır.

4.4 Rüzgâr Erozyonu Model Sonuçları

Araştırmada nadas ve buğday ekili olmak üzere iki farklı arazi kullanım türünde rüzgâr erozyonu ile toprak kayıpları iki farklı modelle tahmin edilmiştir. RWEQ toprak yüzeyinden 2 m yüksekliğe kadar olan toprak kaybını tahmin etmektedir. Rüzgâr erozyonu ölçüm sistemi üzerinde sediment tutucular yüzeyde 0.07 metreden başlayarak 1 metre yüksekliğe kadar yerleştirilmiştir (Sterk ve Raats 1996). Bu sebeple doğrudan ölçüm sonuçları için uygun üstel model kullanılarak 2 metreye kadar taşınan toprak kayıpları RWEQ ve SWEEP karşılaştırılması için yeniden hesaplanmıştır. RWEQ sonuçları ile doğrudan ölçüm korelasyon sonuçlarının yeterli olmadığı düşünüldüğünden Youssef vd. (2012)'nin deneme sahası ile benzer toprak koşulları ve benzer büyüklükteki araziler için geliştirdikleri kalibrasyon parametreleri ile RWEQ toprak kayıpları yeniden hesaplanmıştır (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4 Kalibrasyon parametreleri (Youssef vd. 2012)

Parametre	Gerçek değer	Test edilen aralık	Kalibrasyon sonucu
μ_{Sa}	150.71	100–350	300
μ_{sb}	0.3711	0.03–0.17	0.03
μ_{Ut}		3–4.2	3
μ_{EF}	29.09	4–14	6
μ_{SLRC}	5.614	1.2–2.7	1.7
μ_{Ktot}	0.124	0.03–0.11	0.03

Çizelge 4.5 Nadas ve buğday ekili alana ait RWEQ alt parametre ve model çıktıları (Youssef vd. 2012, Fryrear vd. 1998)

Nadas alanı										
	Olay	WF (kg/m)	EF	SCF	K _{tot}	COG	Q _{max} (kg/m)	S (m)	Q _x (kg/m)	S _L (kg/m)
RWEQ	1	4.49	0.63	0.84	0.04	0.96	10.81	356.308	0.354	0.0107
	2	11.72	0.63	0.84	0.04	0.94	28.413	248.934	1.873	0.0557
	3	7.81	0.63	0.84	0.06	0.88	24.053	264.807	1.406	0.042
	4	8.44	0.63	0.84	0.34	0.68	113.576	148.856	19.717	0.5507
	5	10.55	0.63	0.84	0.43	0.56	147.608	135.06	30.518	0.8345
	6	30.98	0.63	0.84	0.58	0.55	582.684	81.139	275.976	6.0563
	7	4.93	0.63	0.84	0.61	0.55	97.332	157.631	15.219	0.4296
	8	13.24	0.63	0.84	0.63	0.42	203.538	119.879	51.845	1.3722
	9	45.19	0.63	0.84	0.65	0.39	666.555	77.189	338.554	7.1565
	10	21.84	0.63	0.84	0.67	0.34	292.694	104.76	93.526	2.3592
	11	42.31	0.63	0.84	0.66	0.27	441.361	89.95	179.536	4.2068
RWEQ _{Kalibre}	1	4.49	0.4	0.84	0.08	0.96	13.033	281.416	0.677	0.0203
	2	11.72	0.4	0.84	0.08	0.94	32.062	289.119	1.58	0.0474
	3	7.81	0.4	0.84	0.1	0.88	26.219	287.379	1.308	0.0392
	4	8.44	0.4	0.84	0.48	0.68	101.292	299.271	4.667	0.1403
	5	10.55	0.4	0.84	0.73	0.56	160.046	303.406	7.18	0.2159
	6	30.98	0.4	0.84	0.81	0.55	510.806	314.156	21.406	0.6446
	7	4.93	0.4	0.84	0.83	0.55	83.225	297.512	3.879	0.1165
	8	13.24	0.4	0.84	0.83	0.42	171.487	304.035	7.662	0.2304
	9	45.19	0.4	0.84	0.86	0.39	559.862	315.021	23.335	0.7028
	10	21.84	0.4	0.84	0.89	0.34	244.762	307.298	10.71	0.3222
	11	42.31	0.4	0.84	0.9	0.27	379.732	311.373	16.192	0.4875

Çizelge 4.5 Nadas ve buğday ekili alana ait RWEQ alt parametre ve model çıktıları (Youssef vd. 2012, Fryrear vd. 1998) (devam)

Buğday ekili alan										
	Olay	WF (kg/m)	EF	SCF	K _{tot}	COG	Q _{max} (kg/m)	S (m)	Q _x (kg/m)	S _L (kg/m)
RWEQ	1	4.49	0.63	0.84	0.51	0.01	1.269	786.848	0.009	0.0003
	2	11.72	0.63	0.84	0.54	0.01	3.33	550.014	0.046	0.0014
	3	7.81	0.63	0.84	0.6	0.01	2.192	642.342	0.022	0.0007
	4	8.44	0.63	0.84	0.6	0.01	2.925	577.089	0.037	0.0011
	5	10.55	0.63	0.84	0.7	0.01	2.573	605.187	0.03	0.0009
	6	30.98	0.63	0.84	0.72	1	1302.99	60.017	899.769	14.5523
	7	4.93	0.63	0.84	0.72	1	206.629	118.868	53.404	1.4098
	8	13.24	0.63	0.84	0.69	0.26	139.273	137.607	27.852	0.7649
	9	45.19	0.63	0.84	0.72	0.06	121.533	144.744	22.196	0.6164
	10	21.84	0.63	0.84	0.71	0.04	32.835	235.243	2.414	0.0715
	11	42.31	0.63	0.84	0.63	0.02	25.041	260.132	1.516	0.0452
RWEQ _{Kalibre}	1	4.49	0.4	0.84	0.79	0.24	32.032	289.178	1.578	0.0473
	2	11.72	0.4	0.84	0.8	0.24	83.461	297.607	3.888	0.1168
	3	7.81	0.4	0.84	0.85	0.23	56.965	294.216	2.714	0.0815
	4	8.44	0.4	0.84	0.88	0.25	67.764	295.753	3.195	0.096
	5	10.55	0.4	0.84	0.91	0.21	75.468	296.709	3.536	0.1062
	6	30.98	0.4	0.84	0.92	1	1051.61	321.11	42.219	1.2726
	7	4.93	0.4	0.84	0.92	1	167.206	303.876	7.478	0.2249
	8	13.24	0.4	0.84	0.91	0.67	296.158	309.132	12.808	0.3855
	9	45.19	0.4	0.84	0.92	0.44	667.419	316.76	27.52	0.8291
	10	21.84	0.4	0.84	0.92	0.37	270.706	308.3	11.77	0.3542
	11	42.31	0.4	0.84	0.89	0.29	398.274	311.892	16.928	0.5096

WF: iklim faktörü, EF: toprak aşınma faktörü, SCF: kabuk faktörü, K_{tot}: pürüzlülük faktörü, COG: bitki faktörü, Q_{max}: maksimum taşınma kapasitesi, S: maksimum taşıma kapasitesinin %63'üne ulaşılan kritik arazi uzunluğu, Q_x sediment kütle akışı, S_L: toprak kayıp miktarı

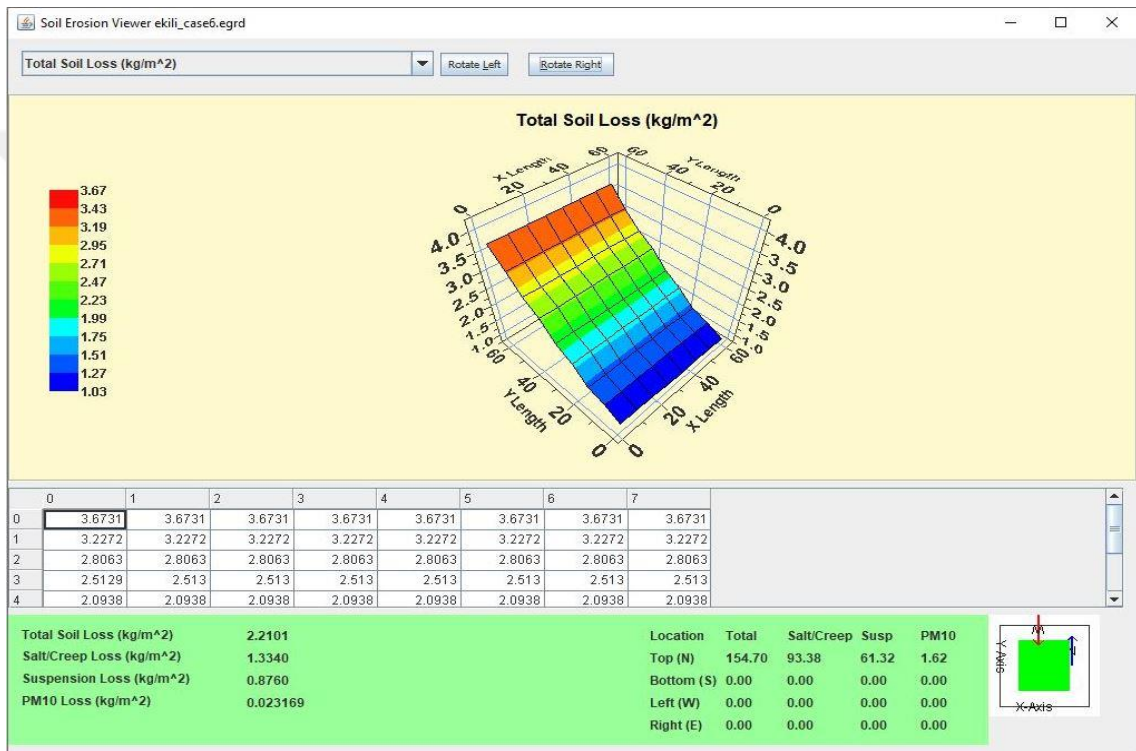
RWEQ'in alt parametreleri olan EF, SCF, K ve COG 0-1 arasında değerler almaktadır. WF için ise bir üst limit olmayıp sadece referans rüzgâr hızının altında 0 değerini almaktadır. Araştırmada tahmin modelleri için referans rüzgâr hızı 5 m/s olarak kabul edilmiştir. Nadas ve buğday ekili parsel için RWEQ modeline ait alt parametre ve model çıktıları hem Youssef vd. (2012) hem de Fryrear vd. (1998)'e göre Çizelge 4.5'te verilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre toprak aşınabilirlik faktörü EF; RWEQ için 0.63

iken kalibrasyon sonrası 0.40 olarak hesaplanmıştır. EF toprak bünyesine, organik madde ve kireç içeriğine bağlı olup oluşacak toprak kayıplarını tahmin etmekte kullanılan en önemli parametrelerden bir tanesidir. Youssef vd. (2012)'nin kurak ve yarı kurak bölgelerde toprak taşınımını simüle etmek için birçok arazi kullanım motifini temsil etmişler ve komşu parseller üzerinde denemeler yürütmüşlerdir. Deneme alanı toprakları koşullarını da simüle ettikleri çalışma sonuçlarına göre elde edilen kalibrasyon parametreleri sonucu simüle edilen toprak kayıpları gerçek ölçümlere daha yakın sonuçlar göstermiştir. Toprakların organik madde ve kil içeriği ile ilişkili olan kabuk faktörü SCF, deneme alanı için 0.84 olarak hesaplanmıştır. Buschiazzo ve Zobeck (2008) RWEQ'in toprak kayıplarını tahmin etmede kabuk faktörüne oldukça duyarlı olduğunu bildirmişlerdir. Araştırmacılar, kabuk faktörünü sabit olayda değiştirerek toprak kaybını tahmin ettiklerinde 699 kg/m'den 60500 kg/m'ye kadar tahminler elde ettiklerini bildirmişlerdir. Deneme alanında nadas parseli üzerinde kalibrasyon uygulanmamış RWEQ için K_{tot} pürüzlülük etmeni 0.04-0.67 arasında değişmektedir. RWEQ_{kalibre} sonuçlarına göre ise 0.08-0.90 arasında değişmektedir. Ekili alanda ise RWEQ sonuçlarına göre 0.51-0.72 arasında, RWEQ_{kalibre} sonuçlarına göre 0.79-0.92 arasında değişmektedir. K_{tot} 0-1 arasında değer almakta olup 1 rakamı tamamen pürüzsüz yüzeyleri temsil etmektedir. Bitki etmeni COG nadas parselinde RWEQ sonuçlarına göre 0.27-0.96 arasında, RWEQ_{kalibre} sonuçlarına göre ise 0.34-0.96 arasında değişmiştir. Bu değer 1 olması arazi üzerinde herhangi bir bitki örtüsü etmenin olmadığı anlamına gelmektedir. Buğday ekili alanda ise RWEQ için 0.01-1 arasında, RWEQ_{kalibre} için ise 0.23-1 arasında değişmektedir (Çizelge 4.5).

Ortalama sediment akış (Q_x , kg/m) hesaplamalarına göre nadas parselinde en fazla kütle akışı doğrudan ölçüm için 12.89 kg/m ile Olay 6'da, tahmin modellerinde ise RWEQ ile 275.97 kg/m, RWEQ_{kalibre} ile 23.35 Olay 9'da hesaplanmıştır. Ekili alanda en fazla ortalama sediment akışı (Q_x , kg/m) 29.08 kg/m, RWEQ tahmininde 899.76 kg/m, 42.19 kg/m ile Olay 6 için hesaplanmıştır.

Kalibrasyon uygulanmamış RWEQ ile yapılan hesaplamalarda nadas alanından ortalama toprak kaybı en yüksek 7.1565 kg/m² ile Olay 9'da, en düşük toprak kaybı ise 0.0107 kg/m² ile Olay 1'de tahmin edilmiştir. Ekili alanda ise en yüksek toprak

kayıbı 14.5523 kg/m² ile Olay 6'da, en düşük toprak kaybı 0.0003 kg/m² ile Olay 1'de tahmin edilmiştir. Kalibrasyon uygulanmış RWEQ_{kalibre} sonuçlarına göre en yüksek ve en düşük tahmin edilen rüzgâr olayları aynı olup (en yüksek Olay 9, en düşük Olay 1) miktarlar sırasıyla en yüksek için 0.7028 kg/m² ile 0.0203 kg/m² ile gerçek ölçümlere çok daha yakındır. Youssef vd. (2012) Suriye'de Khanasser vadisinde tarım arazilerinde altı farklı alanda yürüttüğü çalışmada ortalama kütle akışını 0.2164-5.1996 kg/m arasında toplam toprak kaybını ise 0.00056-0.0184 kg/m² arasında tahmin etmişlerdir.



Şekil 4.15 Buğday ekili parselde Olay 6 için SWEEP modelinin ara yüzüne ait görüntü

SWEEP hem rüzgâr erozyonu temel süreçlerini hem de toprağın rüzgâr erozyonuna duyarlılığını değiştiren süreçleri modelleyebilmektedir (Şekil 4.15). Modelin çalıştırılması için gereken parametreler her bir rüzgâr olayından sonra ölçülmüştür. Nadas ve ekili alanda yüzey ve biyokütle özelliklerinde meydana gelen farklılıklar modelin tahmin ettiği miktarları doğrudan etkilemiştir. SWEEP model nadas parselinde gerçekleşen olaylardan sadece Olay 1, 2 ve 3 için yüksek tahmin yapmış ve bu parselde meydana gelen diğer olaylarda ise yüksek rüzgâr hızlarına rağmen toprak kaybını 0 olarak tahmin etmiştir. Buğday ekili parselde ise üçüncü dönemde meydana gelen Olay

6, 7, 8 ve 9 için yine yüksek tahmin yapmış ve bu parselde meydana gelen diğer olaylar için toprak kaybını 0 olarak tahmin etmiştir. Olay 1, 2 ve 3'ün gerçekleştiği birinci dönem rüzgâr olaylarında nadas parseli yeni sürülmüş olduğundan ve arazide herhangi bir kapallılık bulunmadığından ekili parsele kıyasla daha fazla toprak kaybı olmuştur. Doğrudan ölçüm sonuçlarına göre nadas alanından birinci dönemde $0.0985 \text{ kg/m}^2/\text{dönem}$, SWEEP tahmin sonucuna göre ise $0.7086 \text{ kg/m}^2/\text{dönem}$ toprak kaybı olmuştur. Hem nadas hem de ekili alan yüzey toprak nemi olaylar sırasında birbirine yakın bulunmuştur (Çizelge 4.2). Bu sebeple deneme alanında nadas ve ekili alanda meydana gelen toprak kayıplarının farklılığında yüzey toprakların nem kapasitelerinin konumsal dağılımının benzer olmasından dolayı meydana gelen mevcut rüzgâr olayları için taşınım üzerine etkisinin az olduğu düşünülmektedir.

Feng ve Sharatt (2009) geleneksel ve azaltılmış toprak işleme koşullarında yüzey toprak su içerikleri arasında %2'den daha az fark sergilendiğini ve toprak kayıpları üzerinde iki arazi için nem faktörünün diğer parametrelere kıyasla daha az etkili olduğunu bildirmişlerdir. Araştırmacılar aynı çalışmada gerçekleşen 6 şiddetli rüzgâr olayından 3 tanesini için WEPS'in toprak kaybını 0 olarak tahmin ettiğini bildirmişlerdir. SWEEP sadece sürtünme hızı, eşik rüzgâr hızını aştığında tahmin yapmaktadır. Bu sebeple yanlış simüle edilen toprak kayıplarının sürtünme hızının çok fazla ya da düşük tahmin etmesinden kaynaklanabileceğini bildirmişlerdir. Yüzey pürüzlülük parametrelerinden sırt yüksekliği, sırt aralığı ve bitki varlığı sürtünme hızını etkileyen önemli faktörlerdir. SWEEP modeli çalıştırmak için kullanılan arazi üzerindeki pürüzlülük fraksiyonlarına göre eşik sürtünme hızını tahmin etmektedir. Araştırma alanında da erozyonun yeterince simüle edilememesi bazı parametrelerin yetersiz belirlenmesinden de kaynaklanıyor olabilir. Feng ve Sharratt (2009) WEPS alt modelin duyarlılık çalışması yaptıkları araştırmalarında erozyon simülasyonlarında en hassas parametrelerin biyokütle, yüzey toprak nemi, kil içeriği ve agregat dayanımı olduğunu bildirmişlerdir. Biyokütle SWEEP model tahmininde kullanılan önemli bir parametredir. Nadas alanında geleneksel toprak işlemeden dolayı herhangi bir kök ya da bitki artığı kalmadığı için toprak agregatlarının stabil kalmasını sağlayacak herhangi biyokütle kuvveti oluşmamıştır. Bu alanda sadece sürümle oluşturulmuş sırtlar erozyonun şiddetini azaltmaya karşı rol oynamıştır. Ancak deneme alanı topraklarının düşük organik madde

ve %92.39 kum içeriyor olması bu sırtların devamlılığını engelleyen en önemli faktör olmuştur. Zhang vd. (2017) sırt yüksekliği ve dolayısıyla pürüzlülük arttıkça erozyonun azaldığını ancak sırtların tek başına erozyonu engelleyici olmadığını belirtmişlerdir. Arazide bulunan anızın ya da büyümekte olan bitkilerin boyu ve yoğunluğu modelin tahmin yapma başarısını arttıran parametrelerdir. Deneme süresince kapalılığın %40'ın üzerinde olduğu koşullarda yüksek rüzgâr hızlarına rağmen toprak kaybını sıfır olarak tahmin ettiği için Visser vd. (2005) sonuçlarına göre programın tahmin yapabilmesine olanak sağlayacak en düşük değer girilerek tahmin yapması sağlanmıştır. Feng ve Sharratt (2009) yürüttükleri çalışmada modelin tahmin yapmadığı durumlarda olası sebepleri analiz edebilmek adına kapalılık, agregat boyutu ve yüzey toprak nemi değerlerinden bazılarını azaltarak tahmin elde ettiklerini bildirmişlerdir. Öncelikle pürüzlülük ve biyokütle parametrelerini tahmin dışı bırakarak sürtünme hızını kontrol etmişler ancak model yine erozyonu 0 olarak tahmin etmiştir. Zhang vd. (2011) ve Wang vd. (2013) aynı bölgede anızlı ve sürülmüş bitki örtüsü olmayan arazilerde yürüttükleri çalışmaların sonuçlarına göre SWEEP'in anız olan arazilerde düşük ya da sıfır tahmin yaptığını, çıplak arazilerde ise nispeten daha uygun tahminler verdiğini bildirmişlerdir. Araştırma sonuçları Visser vd. (2005) ile uyumlu olup araştırmacı WEPS erozyon alt modelinin ekili olmayan arazilerde daha iyi sonuçlar verdiğini ifade etmiştir. Van Donk ve Skidmore (2003) biyokütlenin erozyona karşı çok önemli bir koruyucu rolü olduğunu ve modelin buna çok duyarlı olduğunu bildirmiştir. Araştırma sırasında bitki kalıntısı yüksek olan olaylar için bu değer %40'ın altına düşürüldükten sonra modelin tahmin yapması sağlanmıştır. Bu sonuçlar Feng ve Sharratt (2009) ile de uyumlu olup araştırmacılar da toprak ve bitki parametrelerini düşürdükten sonra 0.07 kg/m² toprak kaybı tahmini elde etmişlerdir. Yine gelişmekte olan bitki parametresini 0'a düşürerek bazı tahminler almışlardır. Nadas parselinde yatık hasat artıklarının ve buğday saplarının bulunduğu %40'ın üzerinde kapalılık olan durumlar modelin bu olaylar için toprak kaybını sıfır olarak tahmin etmesine sebep olmuştur. Bu sebeple kapalılık daha düşük oranlara çekilerek modele tahmin yaptırılmıştır. Hagen (2004) 46 fırtınalı olayda model doğrulaması yapmak amacıyla yürüttüğü testler sonucu ölçülmüş 0.01-0.11 kg/m² kayıp olmasına rağmen modelin fırtınalı olayların %30'unda toprak kaybını tahmin etmediğini, meydana gelen fırtınalı olayların %67'sinde ise düşük tahmin yaptığını bildirmiştir. Van Donk ve Skidmore (2003) model performansını test

ettikleri kışlık buğday ekimi yapılan siltli tın bünyeye sahip toprakta şiddetli rüzgâra ve ölçülen 0.06 kg/m^2 toprak kaybına rağmen modelin tahmin yapmadığını bildirmişlerdir. Sonuç olarak SWEEP nadas ve buğday ekili parseller üzerinde aşındırıcı rüzgârlar sonucu oluşan toprak kayıplarını simüle etmede yeterince başarılı olamamıştır. Model, büyüyen bitki ya da artık kapalılığının %40'ın üzerinde olduğu olaylar için yüksek aşındırıcı rüzgârlara rağmen toprak kayıplarını sıfır olarak tahmin etmiştir. Modelde kullanılan tüm parametreler arasında karmaşık bir ilişki bulunmaktadır ve bunların tamamını hesaplayan kapsamlı duyarlılık analizleri yapılarak çok daha tutarlı sonuçlar elde edilebilecektir. Model kullanımı sırasında birçok farklı parametreye karşı duyarlı olduğu tespit edilmiştir. Bu sebeple modelin parametrelerinin değiştirilmesi de kolay olmamaktadır.

Çizelge 4.6 Doğrudan ölçüm ve model kıyaslamaları

	Olay	Ölçülen (kg/m^2)	RWEQ (kg/m^2)	RWEQ _{kalibre} (kg/m^2)	SWEEP (kg/m^2)
NADAS	1	0.0293	0.0107	0.0203	0.3345
	2	0.0017	0.0557	0.0474	0.1244
	3	0.0675	0.0420	0.0392	0.2497
	4	0.0069	0.5507	0.1403	0.1619
	5	0.0307	0.8345	0.2159	0.4069
	6	0.0738	6.0563	0.6446	0.1302
	7	0.0113	0.4296	0.1165	0.0960
	8	0.0040	1.3722	0.2304	0.1214
	9	0.0051	7.1565	0.7028	0.1938
	10	0.0013	2.3592	0.3222	0.0926
	11	0.0064	4.2068	0.4875	0.1176
	1	0.0026	0.0003	0.0473	0.0465
	2	0.0003	0.0014	0.1168	0.1719
	3	0.0018	0.0007	0.0815	0.1020
	4	0.0038	0.0011	0.0960	0.5248
	5	0.0008	0.0009	0.1062	0.0921
	6	0.2127	14.5523	1.2726	2.3274
	7	0.0057	1.4098	0.2249	2.2101
	8	0.0093	0.7649	0.3855	0.0845
	9	0.0100	0.6164	0.8291	0.0209
	10	0.0026	0.0715	0.3542	0.2339
	11	0.0052	0.0452	0.5096	0.2521

Nadas alanı ölçüm ve tahmin sonuçları RWEQ için karşılaştırıldığında RWEQ'in Olay 1 ve 3'te toprak kayıplarını doğrudan ölçüm sonuçlarına kıyasla daha düşük tahmin ettiği, diğer olaylarda ise yüksek tahmin ettiği görülmüştür (Çizelge 4.6). RWEQ_{kalibre} sonuçlarına göre ise Olay 1 doğrudan ölçüm sonucuyla çok yakın olup Olay 3 doğrudan ölçüme kıyasla daha düşük, diğer olaylar ise daha yüksek tahmin edilmiştir. Ekili alanda ise RWEQ sadece Olay 5 için doğrudan ölçüm sonuçlarına uygun tahmin yaparken, Olay 1, 3 ve 4 için düşük, üçüncü dönemde gerçekleşen tüm olaylar için yüksek tahmin yapmıştır. RWEQ_{kalibre} ekili alanda tüm olayları yüksek tahmin edilmiştir. Buschiazzo ve Zobeck (2008) çıplak tarım arazilerinde erozyonla toprak kaybı olmasına rağmen RWEQ'in bunu %45 daha az tahmin yaptığını bildirmişlerdir. Benzer bir düşük tahmini Zobeck vd. (2001) ile van Pelt vd. (2004) bildirmişlerdir. Youssef vd. (2012) ise Suriye koşullarında kalibrasyon sonrası RWEQ'in tatmin edici tahminler yaptığını tespit etmişlerdir. RWEQ'in her iki arazi kullanımında da düşük tahmin yaptığı olayların nedeni maksimum taşıma kapasitesinin (Q_{maks}) alt parametrelere bağlı olarak yanlış tahmin edilmiş olmasından ileri gelebilir. Visser vd. (2005) ve Pi ve Sharratt (2017) farklı arazi kullanımı üzerinde yaptıkları çalışmada benzer sonuçlar elde etmişlerdir. Rüzgâr etmeni, iklim faktörünün temel belirleyicisi olarak RWEQ ile toprak kaybının tahmin edilmesinde kilit etmendir. Visser vd. (2005) Afrika Sahel'de yaptıkları araştırmada RWEQ ile tahmin yapılırken kalibrasyon yapılması gerektiğini aksi takdirde modelin düşük tahmin yaptığını ifade etmişlerdir.

Çizelge 4.7 Ölçülen değerlerin ve tahmin modellerinden hesaplanan verilerin istatistiksel karşılaştırılması

	NADAS			EKİLİ		
	RWEQ	RWEQ _{kalibre}	SWEEP	RWEQ	RWEQ _{kalibre}	SWEEP
RMSE	3.21	0.34	0.19	4.35	0.46	0.94
d-test	0.02	0.26	0.2	0.01	0.27	0.1
r	0.56	0.69	0.1	0.81	0.85	0.056

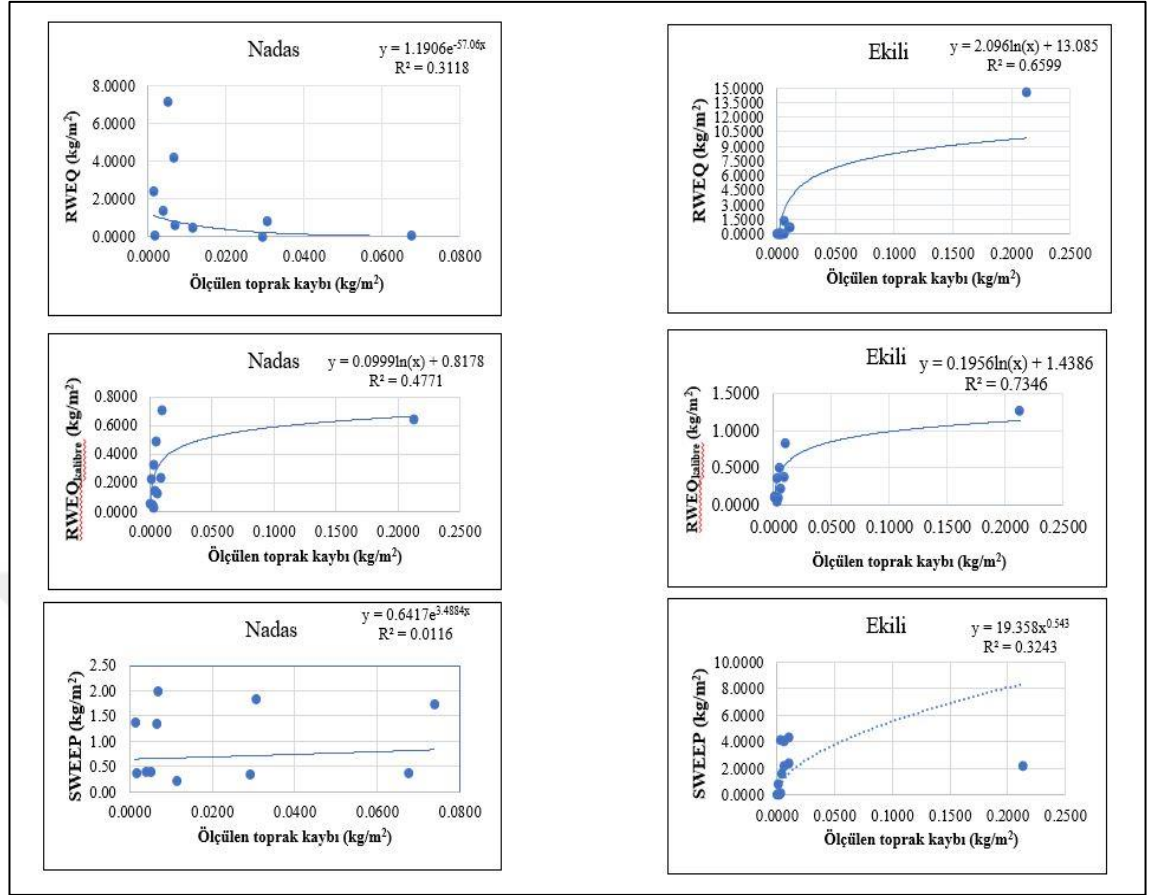
Şekil 4.7'de nadas ve ekili parselde deneme periyodu boyunca meydana gelen on bir rüzgâr erozyonu olayı için ölçülen ve RWEQ, RWEQ_{kalibre} ve SWEEP ile tahmin edilen toplam toprak kayıpları arasındaki ilişkilere ait grafikler verilmiştir. Farklı tahmin

modellerinin kıyaslanmasında RMSE, d-testi ve korelasyon katsayısı kullanılabilir (Willmott 1981, Pi ve Sharratt 2017). Kalibrasyon uygulanmamış RWEQ ile nadas alanında toprak kaybı tahmininde RMSE 3.21, d-test sonucu 0.02 ve korelasyon katsayısı 0.56 olarak bulunmuştur. Ekili alanda ise RWEQ sonuçlarına göre RMSE 4.35, d-testi sonucu 0.01 ve korelasyon katsayısı 0.81 olarak hesaplanmıştır. Kalibrasyon parametrelerinin uygulandığı RWEQ_{kalibre} sonuçlarına göre nadas alanında toprak kaybı tahmininde RMSE 0.34, d-test sonucu 0.26 ve korelasyon katsayısı 0.69 olarak hesaplanmıştır. Ekili alanda toprak kaybı tahmin sonuçlarına göre RMSE 0.46, d-testi sonucu 0.27 ve korelasyon katsayısı 0.85 olarak hesaplanmıştır. SWEEP model sonuçlarına göre nadas alanında yapılan tahminlerde RMSE 0.19, d-test sonucu 0.22, korelasyon katsayısı 0.1 olmuştur. Ekili alanda RMSE 0.94, d-test sonucu 0.1, korelasyon katsayısı 0.56 olarak hesaplanmıştır.

Bu sonuçlara göre RWEQ_{kalibre} her iki parsel için de ölçülen ve tahmin edilen değerler için RWEQ ve SWEEP'e kıyasla daha iyi bir ilişki göstermiştir. Doğrudan ölçüm ve model tahminleri arasındaki benzerlik oranları dikkate alındığında RWEQ_{kalibre} sonuçlarının kabul edilebilir sınırlarda olduğu belirlenmiştir. Youssef vd. (2012) Suriye'de orta bünyeli tarım arazilerinde farklı deneme noktaları için ortalama kütle akışını tahmin ettikleri çalışmada R^2 0.01-0.277 arasında, d-test 0.21-0.65 arasında farklı ilişki değerleri elde etmişlerdir. Yine van Pelt vd. (2004) Birleşik Devletlerde farklı eyaletlerde yürüttükleri erozyon çalışmalarında ölçülen ve tahmin edilen toprak kayıpları arasındaki ilişkiyi R^2 0.38 olarak bulmuşlardır. Araştırmacılar RWEQ'in genel olarak küçük olaylarda ortalama toprak kaybını fazla, büyük olaylarda ise olduğundan az tahmin etme eğiliminde olduğunu bildirmişlerdir. Buschiazzo ve Zobeck (2008) ince kumlu topraklar için model doğrulaması yaptıktan sonra daha iyi sonuçlara ulaşmışlardır (R^2 0.90). En iyi sonuçları ise geniş olay aralıklarında Fryrear vd. (1999, 2008) model doğrulamasından sonra elde etmişlerdir (R^2 0.91-0.93). Pi ve Sharratt (2017) rüzgâr tüneline kontrollü koşullarda RWEQ ve SWEEP modellerini kıyasladıkları çalışmada modellerin erozyon süreçlerini karmaşıklığını tanımlamada yeterli olmadığını bildirmişlerdir. Araştırma sonucu elde edilen model performansları Zobeck vd. (2001), Youssef vd. (2001), van Pelt vd. (2004)'e göre kabul edilebilir olsa da bu sonuçlar kısa süreli olaylar için RWEQ ve SWEEP'in rüzgâr erozyonu

olaylarında hem toprak hem de yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişkilerin daha doğru modellerine ihtiyaç olduğunu ortaya koymuştur. Sonuç olarak en iyi sonuçlar yüksek ilişki ile model doğrulamasından sonra elde edilmiştir (Hagen 2004, Funk vd. 2004). Nouri (2013) model ve doğrudan ölçüm kıyaslamasında R^2 değerlerini farklı parseller için 0.50-0.80 arasında, RMSE değerini ise 40.47 olarak bulmuştur.

RWEQ modelinde modellenen süre boyunca değişen yüzey koşullarından dolayı girdi değerlerini belirlemek oldukça zordur (Cole 1983). Genel olarak yüzey pürüzlülüğünün ve rüzgâr hızının düşük olduğu koşullarda iyi sonuçlar verirken yüksek ve orta pürüzlülük koşullarında çalışmamaktadır (de Oro vd. 2016). Pürüzlülüğün kısa sürede değiştiği koşullarda RWEQ modelinin yeterli sonuçlar vermediği de araştırmacılar tarafından bildirilmiştir (Blanco-Canqui ve Lal 2008b). RWEQ iklim faktörünün hesaplanmasında ortalama iklim değerlerini hesaplamaktadır, bu durum da dinamik olarak değişen rüzgâr hızı, yönü süresi gibi koşulların model sonuçları hesaplanırken yeterince değerlendirilememesine yol açmaktadır. Araştırma sonuçlarına göre nadas parselinde pürüzlülüğün olduğu koşullarda RWEQ genel olarak düşük tahmin yaparken kapalılığın olduğu koşullarda ise yüksek tahminler yapmıştır. Bu sebeple bu çalışmada hesaplanan $RWEQ_{kalibre}$ kısmen de olsa iyi sonuçlar vermiştir. Birçok araştırmacı RWEQ'in yerel koşullara göre kalibre edildikten sonra kullanılması gerektiğini, aksi takdirde daha yüksek ya da daha düşük tahminler verdiğini vurgulamışlardır (Pi vd. 2017, Van Pelt vd. 2004 Youssef vd. 2012, Buschiazzo ve Zobeck 2008).



Şekil 4.16 Nadas ve ekili parsel için ölçülen ve tahmin edilen toplam toprak kayıpları arasındaki ilişki

4.5 Jeostatistiksel Sonuçlar

4.5.1 Tanımlayıcı istatistikler

Nadas ve buğday ekili parsellerde her bir rüzgâr erozyonu olayı için pürüzlülük değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler Çizelge 4.8’de verilmiştir. Birinci dönemde nadas parselinde meydana gelen Olay 1, 2 ve 3 sırasında arazi yeni sürülmüş olduğu için bu olaylara ait kapallılık ve bitki boyu değerleri bulunmamaktadır. Üçüncü dönemde ekili alanda meydana Olay 6 ve 7 sırasında yeni ekim yapılmış olup henüz çıkış olmadığı için bu olaylara ait kapallılık ve bitki boyu değerleri bulunmamaktadır.

Farklı ölçeklerdeki değişkenlerin karşılaştırılmasına olanak sağlayan en önemli parametrelerden bir tanesi varyasyon katsayısıdır. Varyasyon katsayısı %15'ten küçük olduğunda az değişken, %16-35 arasında orta değişken, %36'dan fazla olanlar ise yüksek derecede değişken veriler olarak tanımlanmaktadır (Hillel 1980). Araştırma alanında pürüzlülük değerlerine ait varyasyon katsayıları incelendiğinde Nadas alanı için Olay 2, 3 ve 4 yüksek derecede, Olay 1, 5, 6, 7, 8, 9, 10 ve 11 orta derecede, ekili alanda ise Olay 2, 3 ve 5 yüksek derecede, Olay1, 4, 6, 7, 8, 9, 10 ve 11 orta derecede değişkenlik göstermektedir. Yüksek değişkenlik gösteren verilerde konumsal bağımlılığın düşük, düşük değişkenlik gösterenlerde ise konumsal bağımlılığın yüksek olması beklenen bir durumdur.

Basıklık katsayısı 3 olduğunda dağılımın basıklığı normal dağılım ile aynıdır. Üçten büyük ise dağılım normal dağılımdan daha dik, üçten küçük olduğunda ise dağılım normal dağılımdan daha basıktır. Nadas ve ekili alan basıklık katsayıları incelendiğinde sadece Olay 3 ve 4 için büyük olduğu bu durumda bu olaylarda pürüzlülük değerlerinin dağılımının normal dağılıma kıyasla daha dik olduğu söylenebilir. Çarpıklık katsayısı sıfıra eşit olduğunda dağılımın simetrik olduğu, sıfırdan küçük olduğunda dağılımın sola doğru çarpık olduğu, sıfırdan büyük olduğunda ise sağa doğru çarpık olduğu kabul edilmektedir. Nadas ve ekili alan çarpıklık katsayılarına bakıldığında nadas alanına ait tüm olaylarda pürüzlülük değerlerinin sağa doğru çarpık olduğu, ekili alanda ise Olay 1, 4 ve 5'te sola, diğer olaylarda sağa çarpık olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.8).

Nadas alanında pürüzlülükte meydana gelen değişim Olay 3 ve 6'da istatistiksel açıdan önemlidir ($p<0.05$). Buğday ekili parselde ise Olay 2, 4, 8, 9, 10 ve 11'de pürüzlülük değerlerindeki değişim istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ($p<0.05$).

Deneme periyodunda ilk rüzgâr olaylarının yaşandığı Olay 1, 2 ve 3 sırasında nadas parseli sürülmüş olduğundan bu parselde üç olay sırasında bitki bulunmamaktadır. Araştırma alanında bitki boyu değerlerine ait varyasyon katsayıları incelendiğinde Nadas alanı için Olay 11 dışında gerçekleşen tüm rüzgâr erozyonu olayları için varyasyon katsayısı %15'ten küçük olduğundan bitki boyu az değişkendir. Olay 11'de ise varyasyon katsayısı %30.42 bulunmuş olup orta derece değişken olduğu

belirlenmiştir (Çizelge 4.9). Bu durumda Olay 11 haricinde tüm olaylar için konumsal bağımlılığın yüksek olduğu söylenebilir. Ekili alanda Olay 1, 2 ve 11 için varyasyon katsayısı %15'ten küçük bulunmuştur. Olay 3, 4, 5, 9 ve 10'da ise %17-21.69 arasında orta derecede değişken olarak belirlenmiştir. Olay 8'de ise %41.86 ile yüksek derecede değişkenlik gösterdiği gözlenmektedir.

Nadas ve ekili alan çarpıklık katsayılarına bakıldığında nadas alanında meydana gelen Olay 11 dışında tüm olaylarda bitki boyu değerlerinin dağılımının sola doğru çarpık olduğu, Olay 11'de ise sağa doğru çarpık olduğu gözlenmiştir. Ekili alanda ise sadece Olay 4 sola çarpık olup diğer bütün olaylarda dağılım sağa çarpıktır (Çizelge 4.9). Nadas alanında incelenen tüm olaylar içerisinde Olay 1 ve 2'de dağılım normal dağılımdan daha dik, diğer olaylarda ise normal dağılımdan daha basıktır. Ekili alanda meydana gelen olaylarda ise Olay 8 ve 9'da normal dağılımdan daha dik olup diğer olaylarda dağılım normal dağılımdan daha basıktır (Çizelge 4.9).

İncelenen tüm olaylar içerisinde bitki boyu verilerinde meydana gelen değişim Olay 11'de istatistiksel açıdan da önemli bulunmuştur. Buğday ekili alanda ise bitki boyundaki değişim Olay 8 ve 9'da istatistiksel açıdan önemlidir ($p < 0.05$).

Deneme periyodunda ilk üç rüzgâr olayının yaşandığı Olay 1, 2 ve 3 sırasında arazi yeni sürülmüş olduğundan bu üç olaya ait kapalılık verisi bulunmamaktadır. Araştırma alanında kapalılık değerlerine ilişkin varyasyon katsayıları incelendiğinde hem nadas hem de buğday ekili parsellerde gerçekleşen tüm rüzgâr erozyonu olayları için kapalılık değerlerine ait varyasyon katsayısının %15'ten küçük olduğu belirlenmiştir. Bu sebeple hem nadas alanında meydana hem de ekili parselde tüm olaylarda kapalılık değerlerinin konumsal bağımlılığının yüksek olduğu söylenebilir (Çizelge 4.10).

Nadas ve ekili alan çarpıklık katsayılarına bakıldığında nadas alanında meydana gelen tüm olaylarda çarpıklık katsayısının 0'dan küçük olduğu belirlenmiştir. Bu sebeple nadas alanında meydana gelen tüm olaylarda kapalılık değerlerinin dağılımının sola doğru çarpık olduğu gözlenmiştir. Ekili alanda ise Olay 1, 2 ve 5'e ait kapalılık değerlerinin dağılımı sola çarpık olup diğer bütün olaylarda verilerin dağılımı sağa

çarpıktır (Çizelge 4.10). Nadas alanında incelenen tüm olaylar içerisinde Olay 4'te kapalılık değerlerinin dağılımı normal dağılımdan daha dik, diğer olaylarda ise normal dağılımdan daha basıktır. Ekili alanda meydana gelen olaylarda ise Olay 1, 9, 10 ve 11'de basıklık katsayısı 3'ten büyük olduğu için kapalılık verilerinin dağılımı normal dağılımdan daha dik olup diğer olaylarda dağılım normal dağılımdan daha basıktır.

Deneme periyodunda ilk üç rüzgâr olayının yaşandığı Olay 1, 2 ve 3 sırasında en fazla toprak kaybının nadas parselinde olduğu görülmektedir. Bu olaylar sırasında arazi yeni sürülmüş olduğundan nadas parselinde bitki kapalılığı bulunmamaktadır. Bu da nadas parselinde sediment akışı etkileyen en önemli parametredir. Araştırma sahasında nadas parseli üzerinde sediment akış oranına ilişkin varyasyon katsayıları incelendiğinde Olay 1, 2 ve 11 (%16-35 arasında) dışında tüm olaylarda yüksek olduğu görülmüştür. Olay 4 ve 5 sırasında şiddetli rüzgârların farklı yönlerden esmesi sediment akış oranı için varyasyon katsayısının çok yüksek bulunmasına sebep olmuştur. Olay sırasında rüzgâr yönünün değişmesi akışın etkilenmesi ile sonuçlanmıştır. Ekili alanda meydana gelen rüzgâr olaylarında da Olay 4 ve 5'e ait varyasyon katsayılarının yüksek olması bu durumu doğrular niteliktedir. (Çizelge 4.11).

Nadas ve ekili alan çarpıklık katsayılarına bakıldığında Olay 1 hariç nadas alanında meydana gelen tüm olaylarda çarpıklık katsayısının 0'dan büyük olduğu belirlenmiştir. Bu sebeple nadas alanında meydana gelen bu olaylarda sediment akışa ait değerlerin dağılımının sağa doğru çarpık olduğu söylenebilir. Ekili alanda ise tüm olaylarda sediment akış değerlerinin dağılımının sağa çarpık olduğu görülmüştür (Çizelge 4.11). Nadas alanında incelenen olaylar içerisinde Olay 4, 5 ve 10'da sediment akış verilerinin dağılımı normal dağılımdan daha dik, diğer olaylarda ise normal dağılımdan daha basıktır. Ekili alanda meydana gelen olaylarda ise Olay 3, 4 ve 5'te basıklık katsayısı 3'ten büyük olduğu için verilerin dağılımı normal dağılımdan daha dik olup diğer olaylarda dağılım normal dağılımdan daha basıktır. Nadas alanında sediment akış oranına ait verilerin değişimi Olay 2 ve 6'da istatistiksel açıdan önemlidir ($p<0.05$). Ekili parselde ise Olay 2, 4, 8, 9, 10 ve 11'de sediment akış oranlarındaki değişim istatistiksel açıdan önemlidir ($p<0.05$).

Ortalama ve ortanca değerler arasındaki farkın yüksek olması verilerin çok basık olduğunu ve dönüşüm uygulanması gerektiğine dair bir işaret oluşturmaktadır. Nadas ve ekili parsellerde meydana gelen rüzgâr olaylarında tüm parametrelere ait tanımlayıcı istatistik sonuçları incelendiğinde ortalama ve ortanca değerler arasında fazla bir fark olmadığı gözlenmiştir. Bu sebeple verilere herhangi bir dönüşüm işlemi uygulanmamıştır.



Çizelge 4.8 Nadas ve buğday ekili parsellerde her bir rüzgâr erozyonu olayı için pürüzlülük değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler

	Olay	Ortalama (%)	Medyan	Standart sapma	VK (%)	En düşük (%)	En yüksek (%)	Çarpıklık	Basıklık	K-S	p değeri
NADAS	1	6.84	6.4	2.45	35.87	2.96	13.3	1.09	0.92	0.16	0.23
	2	1.34	1.48	0.95	71.04	1	4.93	1.26	3.53	0.18	0.12
	3	1.43	1.48	0.92	64.44	0.5	4.91	1.32	3.53	0.22	0.03
	4	1.70	1.58	0.67	39.46	1.1	3.15	0.31	-0.73	0.11	0.69
	5	4.69	4.48	1.21	25.90	1.49	7.46	0.16	0.44	0.16	0.18
	6	3.45	3.45	0.76	22.09	2.46	5.42	0.66	0.46	0.21	0.04
	7	3.18	3.35	0.82	25.64	1.97	5.42	0.65	0.26	0.12	0.49
	8	3.03	2.96	0.82	26.94	1.48	5.22	0.58	0.12	0.14	0.35
	9	2.99	2.76	0.79	26.28	1.93	5.1	0.89	0.35	0.18	0.11
	10	2.95	2.66	0.73	24.93	1.97	5.22	1.14	1.26	0.20	0.06
	11	3.25	3.2	1.03	31.80	1.96	4.13	1.13	1.28	0.18	0.11
EKİLİ	1	2.99	3	0.57	19.06	2	4.1	-0.02	-0.52	0.20	0.07
	2	1.75	1.48	0.65	37.44	0.49	3.45	0.06	0.16	0.25	0.01
	3	1.39	1.2	0.55	39.63	0.2	3.35	1.21	2.75	0.19	0.08
	4	1.81	2	0.48	26.29	1	2.9	-0.25	-0.69	0.27	0.00
	5	1.28	1.1	0.47	37.05	0.45	2.15	0.40	-0.60	0.18	0.11
	6	1.36	1.25	0.46	33.66	0.9	2.96	1.82	3.30	0.19	0.08
	7	1.26	1.17	0.42	33.30	0.5	2.8	1.79	4.19	0.19	0.08
	8	1.11	1	0.23	20.98	0.51	1.5	-0.14	0.56	0.20	0.05
	9	0.97	1	0.23	24.04	0.49	1.5	-0.60	0.70	0.28	0.00
	10	0.85	0.9	0.23	26.91	0.5	1.2	-0.54	-1.14	0.22	0.03
	11	0.76	0.81	0.20	26.99	0.45	1	-0.51	-1.27	0.23	0.02

K-S: Kolmogorov-Smirnov katsayısı; VK: Varyasyon katsayısı

Çizelge 4.9 Nadas ve buğday ekili parsellerde her bir rüzgâr erozyonu olayı için bitki boyu değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler

	Olay	Ortalama (cm)	Medyan (cm)	Standart sapma	VK (%)	En düşük (cm)	En yüksek (cm)	Çarpıklık	Basıklık	K-S	P değeri
	4	25.01	25	3.24	12.95	10	31	-2.34	10.64	0.16	0.20
	5	21.96	22	3.24	14.75	7.5	27.3	-2.09	8.78	0.13	0.44
	6	28.05	28	2.44	8.70	22	34	-0.10	0.48	0.11	0.64
	7	28.02	28	2.45	8.73	22	34	-0.07	0.44	0.10	0.78
	8	27.06	27	2.50	9.24	21	33	-0.10	0.19	0.10	0.75
	9	27.01	27	2.61	9.67	20	34	-0.07	1.04	0.09	0.82
	10	26.02	26	2.65	10.20	19	33	-0.19	1.15	0.11	0.65
	11	9.02	8	2.75	30.42	5	16	1.15	0.46	0.27	0.00
EKİLİ	1	30.31	30	3.59	11.85	23	39	0.50	0.04	0.18	0.12
	2	31.33	30.5	3.69	11.79	24	40	0.32	-0.19	0.14	0.33
	3	37.88	37.25	7.28	19.22	21	53	0.23	-0.13	0.13	0.45
	4	7.62	8	1.43	18.78	5	10	-0.17	-0.98	0.17	0.16
	5	26.65	26.5	4.81	18.06	20	37	0.45	-0.76	0.16	0.21
	8	5.71	5	2.39	41.86	1	16	2.14	8.53	0.22	0.03
	9	11.53	11.15	2.50	21.69	6	22	1.86	7.71	0.20	0.05
	10	14.26	14	2.52	17.66	10	22	1.03	1.23	0.16	0.20
	11	17.29	17	2.55	14.75	13	25	1.01	1.07	0.16	0.19

K-S: Kolmogorov-Smirnov katsayısı; VK: Varyasyon katsayısı

Çizelge 4.10 Nadas ve buğday ekili parsellerde her bir rüzgâr erozyonu olayı için kapallılık değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler

	Olay	Ortalama (%)	Medyan (%)	Standart sapma	VK (%)	En düşük (%)	En yüksek (%)	Çarpıklık	Basıklık	K-S	P değeri
NADAS	4	60.62	65	7.92	13.06	30	70	-2.07	5.02	0.28	0.00
	5	92.52	94	4.06	4.39	84	98	-0.51	-0.89	0.18	0.10
	6	89.00	90	6.75	7.59	70	98	-1.14	1.49	0.13	0.43
	7	89.00	90	6.75	7.59	70	98	-1.14	1.49	0.13	0.43
	8	88.86	90	6.78	7.64	68	99	-1.11	1.65	0.13	0.49
	9	83.86	85	6.78	8.09	63	94	-1.11	1.65	0.13	0.49
	10	86.60	87	3.45	3.98	78	92	-0.81	0.21	0.17	0.16
	11	81.86	82	2.91	3.55	75	88	-0.49	0.15	0.17	0.16
EKİLİ	1	77.60	78	6.51	8.39	52	89	-1.32	4.61	0.15	0.25
	2	78.57	79	10.18	12.96	46	95	-0.79	1.20	0.08	0.90
	3	81.24	81.5	4.25	5.24	73	89	0.02	-0.89	0.82	0.92
	4	76.55	75	9.78	12.78	60	100	0.24	-0.44	0.13	0.42
	5	88.05	90	9.51	10.81	65	99	-0.77	-0.58	0.20	0.06
	8	14.38	14	3.10	21.55	9	22	0.31	-0.10	0.10	0.76
	9	37.81	36	7.07	18.69	63	42	1.87	3.79	0.24	0.01
	10	48.81	47	7.07	14.48	38	74	1.87	3.79	0.24	0.01
	11	65.81	64	7.07	10.74	55	82	1.87	3.79	0.24	0.01

K-S: Kolmogorov-Smirnov katsayısı; VK: Varyasyon katsayısı

Çizelge 4.11 Nadas ve buğday ekili parsellerde her bir rüzgâr erozyonu olayı için sediment akış oranı değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler

	Olay	Ortalama (kg/m/sa)	Medyan (kg/m/sa)	Standart sapma	VK (%)	En düşük (kg/m/sa)	En yüksek (kg/m/sa)	Çarpıklık	Basıklık	K-S	P değeri
NADAS	1	0.1835	0.18	0.03	18.14	0.117	0.2397	-0.02	-0.88	0.09	0.82
	2	0.0262	0.03	0.01	27.37	0.0155	0.0488	1.30	2.83	1.14	0.33
	3	0.5575	0.54	0.31	54.88	0.0592	1.2916	0.66	-0.08	0.12	0.58
	4	0.0467	0.03	0.11	238.91	0.0118	0.7504	6.42	41.46	0.48	-
	5	0.0096	0.00	0.02	190.12	0.0016	0.0726	2.80	6.48	0.44	-
	6	0.7005	0.59	0.42	60.48	0	1.7769	0.60	0.49	0.12	0.50
	7	0.0126	0.01	0.00	37.30	0.0066	0.0277	1.21	1.41	0.15	0.26
	8	0.0141	0.01	0.01	37.39	0.0039	0.0284	0.60	0.77	0.11	0.62
	9	0.0172	0.01	0.01	49.80	0.0075	0.0387	1.35	0.69	0.26	0.00
	10	0.0057	0.00	0.00	73.31	0.0014	0.0234	2.72	8.90	0.18	0.11
	11	0.0136	0.01	0.00	26.71	0.0045	0.0234	0.28	0.74	0.08	0.92
EKİLİ	1	0.0275	0.02	0.02	54.66	0.0027	0.0711	1.50	1.92	0.22	0.03
	2	0.0050	0.00	0.00	36.87	0.0023	0.0108	1.71	2.70	0.25	0.01
	3	0.0195	0.02	0.00	18.16	0.0146	0.0365	2.87	12.58	0.16	0.19
	4	0.0125	0.01	0.01	92.55	0.0039	0.0721	3.80	17.47	0.23	0.02
	5	0.0033	0.00	0.00	123.65	0.0013	0.0262	4.48	23.58	0.31	0.00
	6	5.1461	5.12	1.50	29.05	2.4035	8.7608	0.31	-0.03	0.09	0.81
	7	0.0357	0.03	0.02	55.20	0.0161	0.0988	1.81	2.95	0.22	0.03
	8	0.0708	0.05	0.06	79.17	0	0.2146	1.27	0.99	0.14	0.39
	9	0.0957	0.06	0.09	93.00	0.0155	0.3812	1.88	2.92	0.24	0.01
	10	0.0291	0.02	0.03	87.49	0.0026	0.1066	1.44	1.54	0.19	0.08
	11	0.0200	0.02	0.01	47.53	0.0046	0.0504	1.86	4.03	0.18	0.10

K-S: Kolmogorov-Smirnov katsayısı; VK: Varyasyon katsayısı

4.5.2 Jeoistatistiksel hesaplamalar

Doğrudan ölçümlerle elde edilen sediment akış oranının konumsal davranışını birçok faktör etkileyebilir. Bu parametrelerin konumsal dağılımı modellerin simüle etme başarısını etkilemektedir (Hagen 2004). Bu değişimlerin gözlenmesi amacıyla ölçülen kapalılık, bitki boyu, pürüzlülük ve noktasal sediment akış oranı değerlerinin konumsal değişimleri yarıvaryogram analizi ile belirlenmiş ve dağılım haritaları oluşturulmuştur.

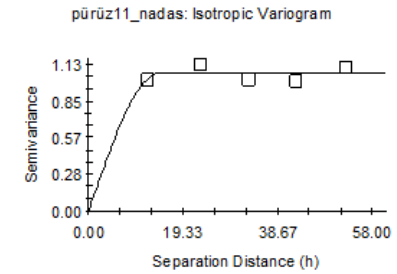
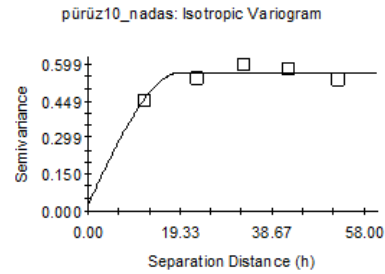
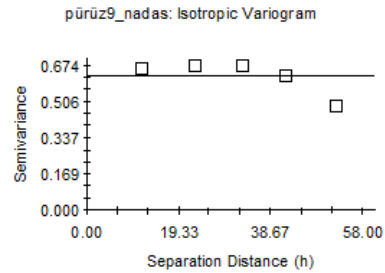
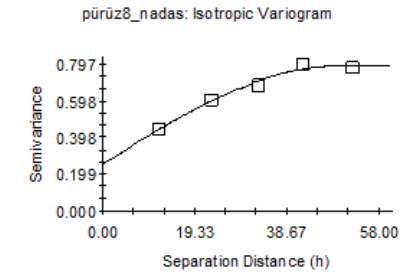
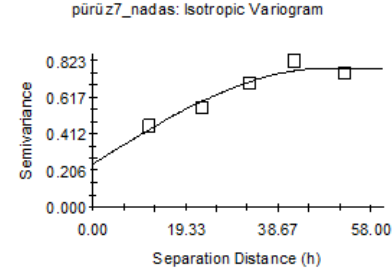
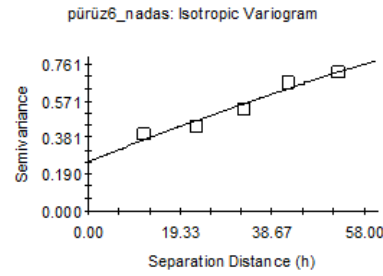
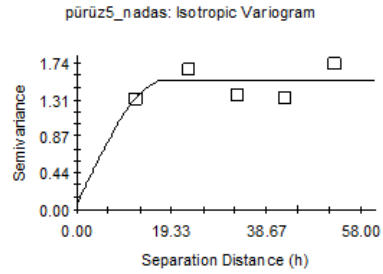
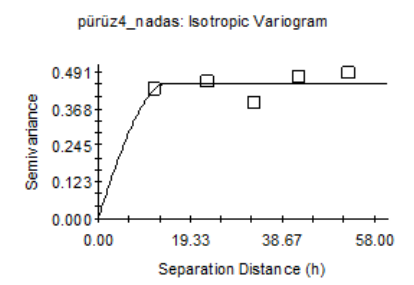
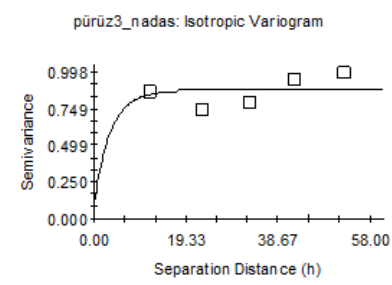
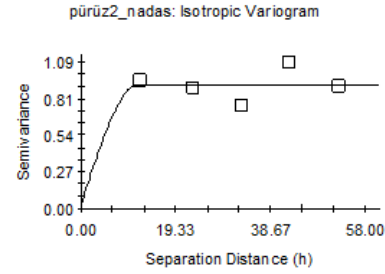
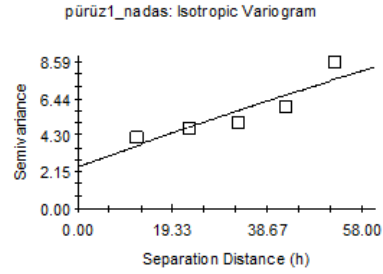
İncelenen her bir özellik ve olay için Doğu-Batı, Kuzey-Güney, Güneydoğu-Kuzeybatı ve Kuzeydoğu-Güneybatı olmak üzere dört farklı yönde yarıvaryogramlar hesaplanarak anizotropik durumun olup olmadığı kontrol edilmiştir. En büyük ve en küçük değişkenliğin olduğu yöne ait değişim değerlerinin oranı 1.4'ten daha küçük bulunduğu için izotropik değişimin olduğu kabul edilmiştir. Uygun model seçilirken en yüksek r^2 ya da en düşük ortalama mutlaka hata dikkate alınmıştır. Her bir parametre ve rüzgâr erozyonu olayına ilişkin yarıvaryogram modelleri ve bu modellere ait parametreler Çizelge 4.12'de verilmiştir.

Çizelge 4.12 Nadas alanına ait pürüzlülük değerleri yarıvaryogram model ve parametreleri

	Model	C_0	$C_0 + C$	$C / C_0 + C$	A	r^2	MAE
Olay 1	Küresel	2.4500	11.9090	0.794	138	0.82	1.67
Olay 2	Küresel	0.0230	0.9220	0.975	12	0.00	0.78
Olay 3	Üstel	0.0920	0.8770	0.895	4	0.01	0.73
Olay 4	Küresel	0.0040	0.4530	0.991	14	0.05	0.57
Olay 5	Küresel	0.0580	1.5340	0.962	18	0.24	1.04
Olay 6	Küresel	0.2580	1.0250	0.748	123	0.95	0.56
Olay 7	Küresel	0.2450	0.7840	0.688	49	0.93	0.63
Olay 8	Küresel	0.2540	0.7870	0.677	49	0.99	0.58
Olay 9	Külçe						
Olay 10	Küresel	0.0240	0.5650	0.958	20	0.77	0.61
Olay 11	Küresel	0.0010	1.0640	0.999	15	0.13	0.79

C_0 : kontrolsüz etki varyansı (külçe etkisi), $C_0 + C$: tepe varyansı (sill değeri), C: yapısal varyans, A: yapısal uzaklık, MAE: ortalama mutlak hata

Nadas alanına ait pürüzlülük deneysel yarıvaryogramları küresel model ile modellenmiştir (Çizelge 4.12). Olay 2, 3, 4 ve 9 için oluşturulan yarıvaryogramda külçe etkisi gözlenmiştir. Bu durum pürüzlülüğün alan içerisinde bazı noktalarda kısa mesafede değişim göstermesi ya da analiz ve örnekleme hatalarından oluşabilmektedir. Nadas alanında pürüzlülük parametresine ait yarıvaryogramlar şekil 4.x’de görülmektedir. Olay 1’de külçe etkisi $C_0 = 2.45$, tepe varyansı $C_0 + C = 11.90$ ve yapısal uzaklık 138 m olarak belirlenmiştir Olay 2’de külçe etkisi $C_0 = 0.023$, tepe varyansı $C_0 + C = 0.922$ ve yapısal uzaklık 12 m olarak belirlenmiştir. Külçe etkisi-sill oranı (C_0/C_0+C) incelenen özellikler için konumsal bağımlılığı ifade etmektedir. İncelenen özelliklerin uzaklığa bağlı ilişkileri bu orana bağlı olarak yüksek, orta ve zayıf olarak sınıflandırılmaktadır (Li ve Reynolds 1995). Bu oran %25’in altında ise yüksek, % 26-75 arasında ise orta, %75’in üzerinde ise zayıf konumsal bağımlılıktan bahsedilmektedir (Başbozkurt vd. 2013). Buna göre nadas alanında meydana gelen rüzgâr olayları arasında pürüzlülük değerleri için Olay 7 ve 8’de orta derecede konumsal bağımlılık bulunurken diğer olaylarda yaklaşık % 90 civarında olup düşük konumsal bağımlılık gözlenmiştir. Nadas alanında en büyük MAE değeri (1.67) pürüzlülüğün en fazla olduğu Olay 1’de, en düşük ise Olay 4’te gözlenmiştir.



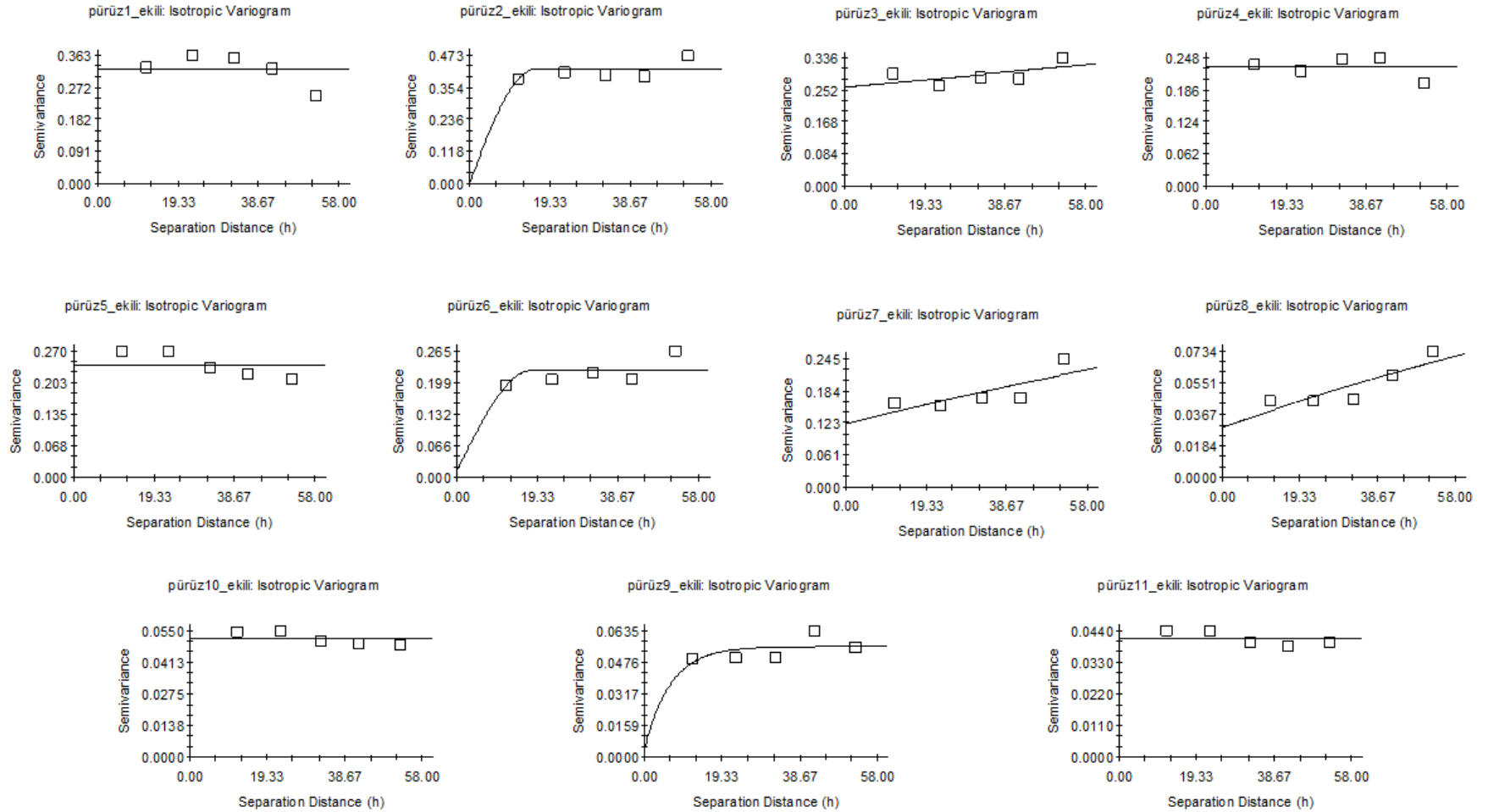
Şekil 4.17 Nadas alanı pürüzlülük parametresine ait yarıvaryogramlar

Çizelge 4.13 Buğday ekili alanına ait pürüzlülük değerleri varyogram parametreleri

	Model	C_0	$C_0 + C$	$C / C_0 + C$	A	r^2	MAE
Olay 1	Külçe						
Olay 2	Küresel	0.00100	0.4200	0.998	16	0.19	0.55
Olay 3	Külçe						
Olay 4	Külçe						
Olay 5	Külçe						
Olay 6	Küresel	0.01350	0.2240	0.940	18	0.25	0.26
Olay 7	Üstel	0.12000	0.5540	0.783	211	0.61	0.27
Olay 8	Üstel	0.02930	0.2001	0.854	211	0.75	0.17
Olay 9	Üstel	0.00430	0.0555	0.923	7	0.24	0.17
Olay 10	Külçe						
Olay 11	Külçe						

C_0 : külçe etkisi, $C_0 + C$: tepe varyansı (sill değeri), A: yapısal uzaklık, MAE: ortalama mutlak hata

Ekili alana ait pürüzlülük değerleri için yarıvaryogramlar Olay 2 ve 6 için küresel model, Olay 7, 8 ve 9 için Üstel model kullanılarak modellenmiştir. (Çizelge 4.13). Olay 3, 4, 5, 10 ve 11’de ise külçe etkisi gözlenmiştir (Şekil 4.x). Ekili alanda pürüzlülük değerlerine ait yarıvaryogramlar şekil 4.x’de görülmektedir. Olay 7’de külçe etkisi $C_0 = 0.12$, tepe varyansı $C_0 + C = 0.5540$ ve yapısal uzaklık 211 m olarak belirlenmiştir. Olay 8’de külçe etkisi $C_0 = 0.0290$, tepe varyansı $C_0 + C = 0.2001$ ve yapısal uzaklık 211 m olarak belirlenmiştir. Olay 9’da külçe etkisi $C_0 = 0.0043$, tepe varyansı $C_0 + C = 0.0555$ ve yapısal uzaklık 7 m olarak belirlenmiştir. Ekili alanda meydana gelen rüzgâr olaylarına ait pürüzlülük değerleri için oluşturulan yarıvaryogram modellerine göre $C_0/C_0+C > \%75$ olduğu için pürüzlülük değişiminin konumsal bağımlılığı düşük bulunmuştur. Ekili parselde en büyük MAE değeri (0.55) Olay 2’de, en düşük ise (0.17) Olay 8 ve 9’da hesaplanmıştır.



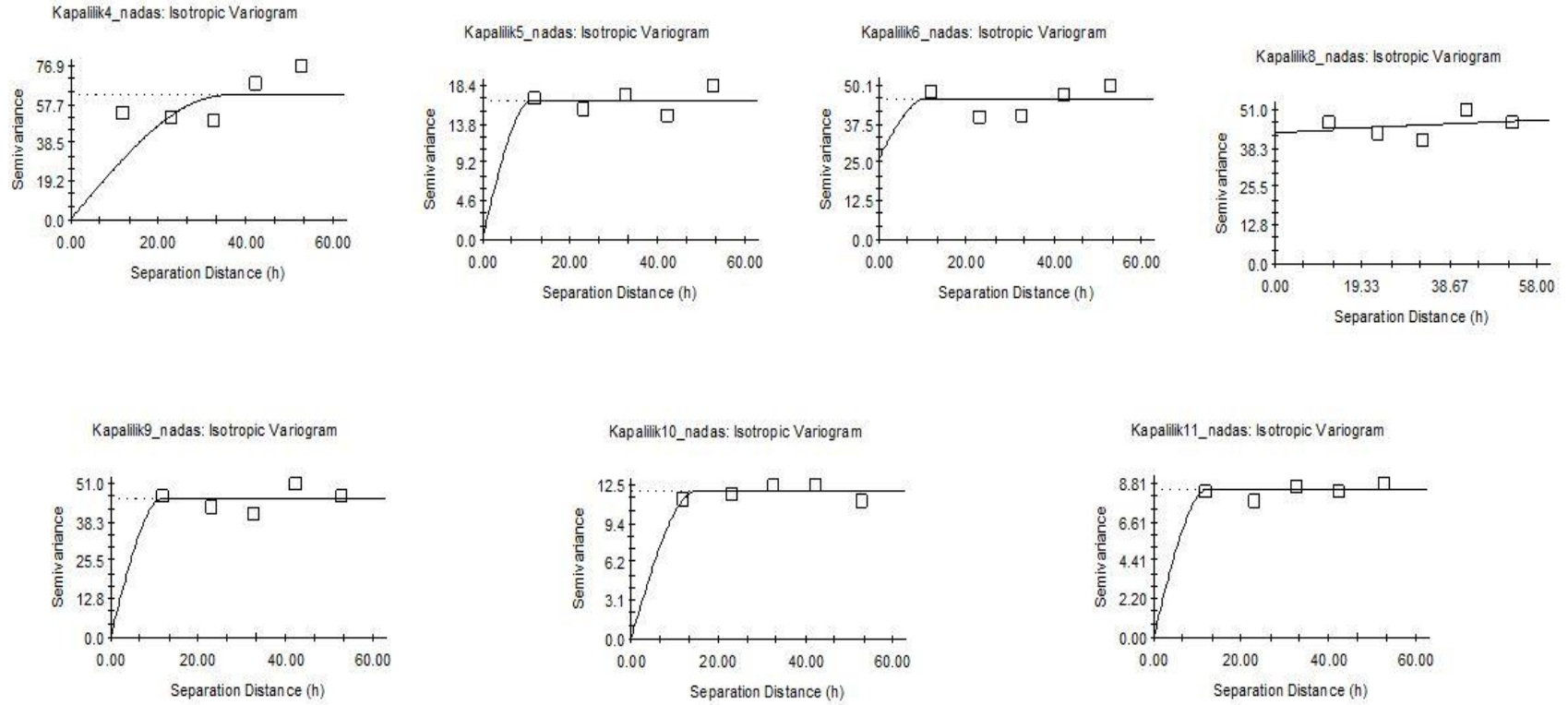
Şekil 4.18 Buğday ekili alan pürüzlülük parametresine ait yarıvaryogramlar

Çizelge 4.14 Nadas alanına ait kapalılık değerleri yarıvaryogram parametreleri

	Model	C_0	$C_0 + C$	$C / C_0 + C$	A	r^2	MAE
Olay 4	Küresel	0.1000	62.6806	0.998	36	0.21	5.40
Olay 5	Küresel	0.1000	16.54	0.99	16	0.01	3.64
Olay 6	Külçe						
Olay 7	Külçe						
Olay 8	Külçe						
Olay 9	Külçe						
Olay 10	Küresel	0.1000	11.9500	0.992	15	0.21	2.91
Olay 11	Küresel	0.0000	8.4669	1	12	0.00	2.45

C_0 : külçe etkisi, $C_0 + C$: tepe varyansı (sill değeri), A: yapısal uzaklık, MAE: ortalama mutlak hata

Birinci dönemde meydana gelen olaylar sırasında henüz yeni sürülmüş olduğu için bu dönemde nadas alanı kapalılık verisi bulunmamaktadır. Nadas alanı mevcut olaylara ait kapalılık değerleri için yarıvaryogramlar Olay 4, 5, 10 ve 11 için küresel model kullanılarak modellenmiştir. Olay 6 ve 7, 8 ve 9’da ise külçe etkisi görülmüştür (Çizelge 4.14). Nadas alanı kapalılık değerlerine ait yarıvaryogramlar şekil 4.19’da görülmektedir. Olay 4’te külçe etkisi $C_0 = 0.1$, tepe varyansı $C_0 + C = 62.68$ ve yapısal uzaklık 36 m olarak belirlenmiştir. Kapalılık değerlerinin konumsal bağımlılığı oldukça düşük bulunmuştur. Nadas alanında en büyük MAE değeri (5.40) mevcut kapalılık değerleri içinde kapalılığın en düşük olduğu Olay 4’te, en düşük ise (2.45) Olay 11’de gözlenmiştir.



Şekil 4.19 Nadas parseli kapallılık parametresine ait yarivaryogramlar

Çizelge 4.15 Buğday ekili alana ait kapalılık değerleri yarıvaryogram parametreleri

	Model	C_0	$C_0 + C$	$C / C_0 + C$	A	r^2	MAE
Olay 1	Küresel	3.0899	42.393	0.927	16	0.47	4.88
Olay 2	Küresel	40.9593	102.221	0.599	40	0.80	7.09
Olay 3	Külçe						
Olay 4	Külçe						
Olay 5	Küresel	25.4966	90.534	0.718	25	0.93	6.25
Olay 8	Küresel	0.2300	9.601	0.976	16	0.33	2.49
Olay 9	Külçe						
Olay 10	Külçe						
Olay 11	Külçe						

C_0 : külçe etkisi, $C_0 + C$: tepe varyansı (sill değeri), A: yapısal uzaklık, MAE: ortalama mutlak hata

Ekili alanda üçüncü döneme denk gelen Olay 6 ve 7 sırasında yeni ekim yapılmış olup henüz bitki çıkışları olmadığı için kapalılık değerleri bulunmamaktadır (Çizelge 4.15). Ekili alan var olan olaylar için kapalılık değerlerine ait yarıvaryogramlar şekil 4.x'de görülmektedir. Olay 1'de külçe etkisi $C_0 = 3.0899$, tepe varyansı $C_0 + C = 42.393$ ve yapısal uzaklık 16 m olarak belirlenmiştir. Olay 2'de külçe etkisi $C_0 = 40.95$, tepe varyansı $C_0 + C = 102.22$ ve yapısal uzaklık 40 m olarak belirlenmiştir. Olay 5'te külçe etkisi $C_0 = 25.49$, tepe varyansı $C_0 + C = 90.53$ ve yapısal uzaklık 25 m'dir. Olay 8'de külçe etkisi $C_0 = 0.23$, tepe varyansı $C_0 + C = 9.60$ ve yapısal uzaklık 16 m'dir. Ekili alanda meydana gelen rüzgâr olayları içerisinde kapalılık değerleri için Olay 1 ve 8'de düşük, Olay 2 ve 5'te orta derecede konumsal bağımlılıktan söz edilebilir. Ekili parselde kapalılığa ait en büyük MAE değeri (7.09) Olay 2'de, en düşük ise (2.49) Olay 8'de hesaplanmıştır.

Çizelge 4.16 Nadas alanına ait noktasal bitki boyu değerleri yarıvaryogram parametreleri

	Model	C_0	$C_0 + C$	$C / C_0 + C$	A	r^2	MAE
Olay 4	Küresel	4.45	22.87	0.8054	172	0.91	2.07
Olay 5	Küresel	4.75	20.40	0.7672	152	0.94	2.08
Olay 6	Üstel	0.52	6.12	0.9150	9	0.77	1.83
Olay 7	Üstel	0.57	6.17	0.9076	9	0.78	1.84
Olay 8	Üstel	0.54	6.44	0.9161	9	0.81	1.91
Olay 9	Üstel	4.15	8.30	0.5000	38	0.70	1.93
Olay 10	Üstel	0.40	7.02	0.9430	8	0.58	2.0
Olay 11	Küresel	2.74	12.48	0.7804	104	0.99	1.70

C_0 : külçe etkisi, $C_0 + C$: tepe varyansı (sill değeri), A: yapısal uzaklık, MAE: ortalama mutlak hata

Nadas parselinde birinci dönemde meydana gelen olaylar sırasında parsel henüz yeni sürülmüş olduğu için bu dönemde nadas alanı bitki boyu verisi bulunmamaktadır. Nadas alanı mevcut olaylara ait bitki boyu değerleri için yarıvaryogramlar Olay 4, 5 ve 11 için küresel model, Olay 6, 7, 8, 9 ve 10'da ise küresel model kullanılmıştır (Çizelge 4.16). Nadas alanı bitki boyu değerlerine ait yarıvaryogramlar şekil 4.x'de görülmektedir. Olay 4'te külçe etkisi $C_0 = 4.45$, tepe varyansı $C_0 + C = 22.87$ ve yapısal uzaklık 172 m olarak belirlenmiştir. Olay 5'te külçe etkisi $C_0 = 4.75$, tepe varyansı $C_0 + C = 20.40$ ve yapısal uzaklık 152 m'dir. Olay 6, 7 ve 8'de külçe etkisi sırasıyla $C_0 = 0.52, 0.57$ ve 0.54 , tepe varyansı sırasıyla $C_0 + C = 6.12, 6.17$ ve 6.44 ve yapısal uzaklık 9 m'dir. Bu parselde gerçekleşen olaylarda bitki boyu değerlerinin konumsal bağımlılığı Olay 9'da $C / C_0 + C = \%50$ ile orta, diğer bütün olaylarda ise düşüktür. Nadas alanında bitki boyları için en büyük MAE değeri (2.08) Olay 5'te, en düşük ise (1.70) bitki boyunun da en düşük olduğu Olay 11'de gözlenmiştir.

Çizelge 4.17 Ekili alana ait noktasal bitki boyu değerleri yarıvaryogram parametreleri

	Model	C_0	C_0+C	C/C_0+C	A	R^2	MAE
Olay 1	Üstel	8.990	38.45	0.76619	208	0.66	2.65
Olay 2	Üstel	7.34	35.67	0.79422	121	0.83	2.56
Olay 3	Doğrusal	29.24	66.16	0.55804	52	0.92	5.15
Olay 4	Külçe						
Olay 5	Üssel	1.99	23.57	0.91557	6	0.20	3.96
Olay 8	Külçe						
Olay 9	Külçe						
Olay 10	Üstel	0.62	6.80	0.90882	13	0.96	1.81
Olay 11	Üstel	0.69	7.03	0.90185	14	0.97	1.83

C_0 : külçe etkisi, $C_0 + C$: tepe varyansı (sill değeri), A: yapısal uzaklık, MAE: ortalama mutlak hata

Buğday ekil parselde üçüncü dönemde meydana gelen Olay 6 ve 7 sırasında yeni ekim yapılmış olduğu için bu dönemlere ait bitki boyu değerleri bulunmamaktadır. Ekili alan mevcut olaylara ait bitki boyu değerleri ait yarıvaryogramlar Olay 1, 2, 3, 10 ve 11 için Üstel model, Olay 3 ve 4 için ise doğrusal model kullanılarak modellenmiştir (Çizelge 4.17). Olay 8 ve 9'da ise külçe etkisi görülmüştür. Ekili alan bitki boyu değerlerine ait yarıvaryogramlar şekil 4.x'de görülmektedir. Olay 1'de külçe etkisi $C_0 = 8.99$, tepe varyansı $C_0 + C = 38.45$ ve yapısal uzaklık 208 m olarak belirlenmiştir. Olay 2'de külçe

etkisi $C_0 = 7.34$, tepe varyansı $C_0 + C = 35.67$ ve yapısal uzaklık 121 m'dir. Olay 3'te külçe etkisi $C_0 = 29.24$, tepe varyansı sırasıyla $C_0 + C = 66.16$ ve yapısal uzaklık 52 m'dir. İkinci dönemde meydana gelen Olay 4 ve 5'te külçe etkisi sırasıyla $C_0 = 1.74$ ve 1.99, tepe varyansı $C_0 + C = 2.27$ ve 23.57 ve yapısal uzaklık 52 ve 6 m'dir. Üçüncü dönemde gerçekleşen Olay 10 ve 11'de külçe etkisi sırasıyla $C_0 = 0.62$ ve 0.69, tepe varyansı $C_0 + C = 6.80$ ve 7.03 ve yapısal uzaklık 13 ve 14 m'dir. Bu parselde gerçekleşen olaylarda bitki boyu değerlerinin konumsal bağımlılığı Olay 4'te $C / C_0 + C = \%23$ ile yüksek, Olay 3'te orta, diğer bütün olaylarda ise düşüktür. Ekili parselde bitki boyu verilerine ait en büyük MAE değeri (5.15) bitki boyunun en fazla olduğu Olay 3'te, en düşük ise (1.81) Olay 11'de gözlenmiştir.

Çizelge 4.18 Nadas alanına ait noktasal sediment akış oranı değerleri yarıvaryogram parametreleri

	Model	C_0	$C_0 + C$	$C / C_0 + C$	A	r^2	MAE
Olay 1	Küresel	0.000504	0.00152	0.668	76	0.96	0.020
Olay 2	Küresel	0.000006	0.00016	0.965	187	0.89	0.004
Olay 3	Küresel	0.03440	0.12780	0.732	72	0.97	0.140
Olay 4	Küresel	0.000030	0.01166	0.997	18	0.40	0.045
Olay 5	Küresel	0.000121	0.00061	0.801	107	0.97	0.001
Olay 6	Küresel	0.01500	0.481000	0.969	145	0.96	0.215
Olay 7	Küresel	0.0000001	0.00004	0.997	77	0.99	0.001
Olay 8	Üstel	0.00001	0.00007	0.771	127	0.83	0.003
Olay 9	Küresel	0.000034	0.00012	0.709	94	1.00	0.005
Olay 10	Küresel	0.0000013	0.00002	0.931	18	0.64	0.003
Olay 11	Külçe						

C_0 : külçe etkisi, $C_0 + C$: tepe varyansı (sill değeri), A: yapısal uzaklık, MAE: ortalama mutlak hata

Deneme periyodu boyunca üç dönem halinde 11 adet rüzgâr erozyonu olayı meydana gelmiştir. Rüzgâr olayları sırasında nadas parselinde meydana gelen sediment akış oranlarına ait yarıvaryogramlar Olay 11'de külçe etkisi göstermiş, Olay 8'de Üstel model ile diğer olayların tamamında ise küresel model ile modellenmiştir (Çizelge 4.18). Nadas alanı sediment akış oranına ait yarıvaryogramlar şekil 4.x'de görülmektedir. Birinci dönemde meydana gelen Olay 1, 2 ve 3'te külçe etkisi sırasıyla $C_0 = 0.0005$, 0.000006 ve 0.0340, tepe varyansı $C_0 + C = 0.0015$, 0.00016 ve 0.1278 ve yapısal uzaklıklar 76, 187 ve 72 m'dir. İkinci dönemde meydana gelen Olay 4 ve 5'te

külçe etkisi $C_0 = 0.00003$ ve 0.00012 , tepe varyansı $C_0 + C = 0.0116$ ve 0.00061 ve yapısal uzaklıklar 18 ve 107 m'dir. Olay 6, 7, 8, 9 ve 10'da külçe etkisi sırasıyla $C_0 = 0.01500$, 0.0000001 , 0.00001 , 0.000034 ve 0.0000013 , tepe varyansı sırasıyla $C_0 + C = 0.481$, 0.00004 , 0.00007 , 0.00012 ve 0.00002 ve yapısal uzaklıklar 145, 77, 127, 94 ve 18 m'dir. Olay 1, 3, 8 ve 9'da sediment akış oranının konumsal bağımlılığı orta, diğer bütün olaylarda ise düşüktür. Nadas alanında sediment akış oranına ait en büyük MAE değeri (0.215) bu parselde gerçekleşen tüm olaylara kıyasla sediment akış oranının en fazla olduğu Olay 6'da, en düşük ise (0.001) Olay 5 ve 7'de gözlenmiştir.

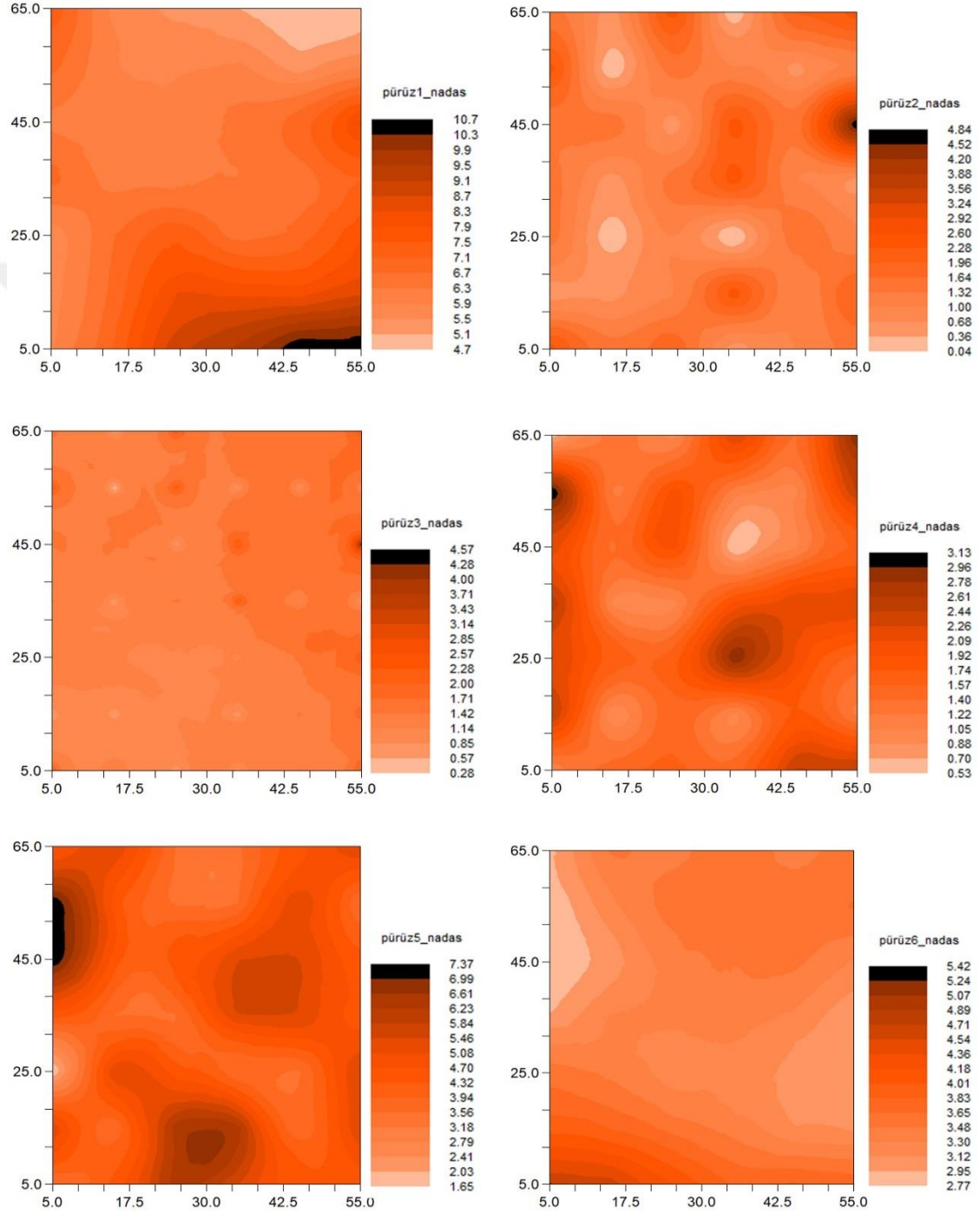
Çizelge 4.19 Buğday ekili alanına ait noktasal sediment akış oranı değerleri yarıvaryogram parametreleri

	Model	C_0	$C_0 + C$	$C / C_0 + C$	A	r^2	MAE
Olay 1	Küresel	0.000090	0.00068	0.868	209	0.83	0.008
Olay 2	Küresel	0.0000009	0.000011	0.918	198	0.79	0.001
Olay 3	Külçe						
Olay 4	Üstel	0.0000797	0.000237	0.664	85	0.84	0.006
Olay 5	Külçe						
Olay 6	Küresel	0.320000	3.6500	0.912	84	0.97	0.791
Olay 7	Küresel	0.000001	0.001292	0.999	171	0.99	0.007
Olay 8	Küresel	0.000010	0.003340	0.997	25	0.80	0.034
Olay 9	Küresel	0.000010	0.009520	0.999	43	0.99	0.029
Olay 10	Küresel	0.000001	0.000794	0.999	47	0.98	0.008
Olay 11	Külçe						

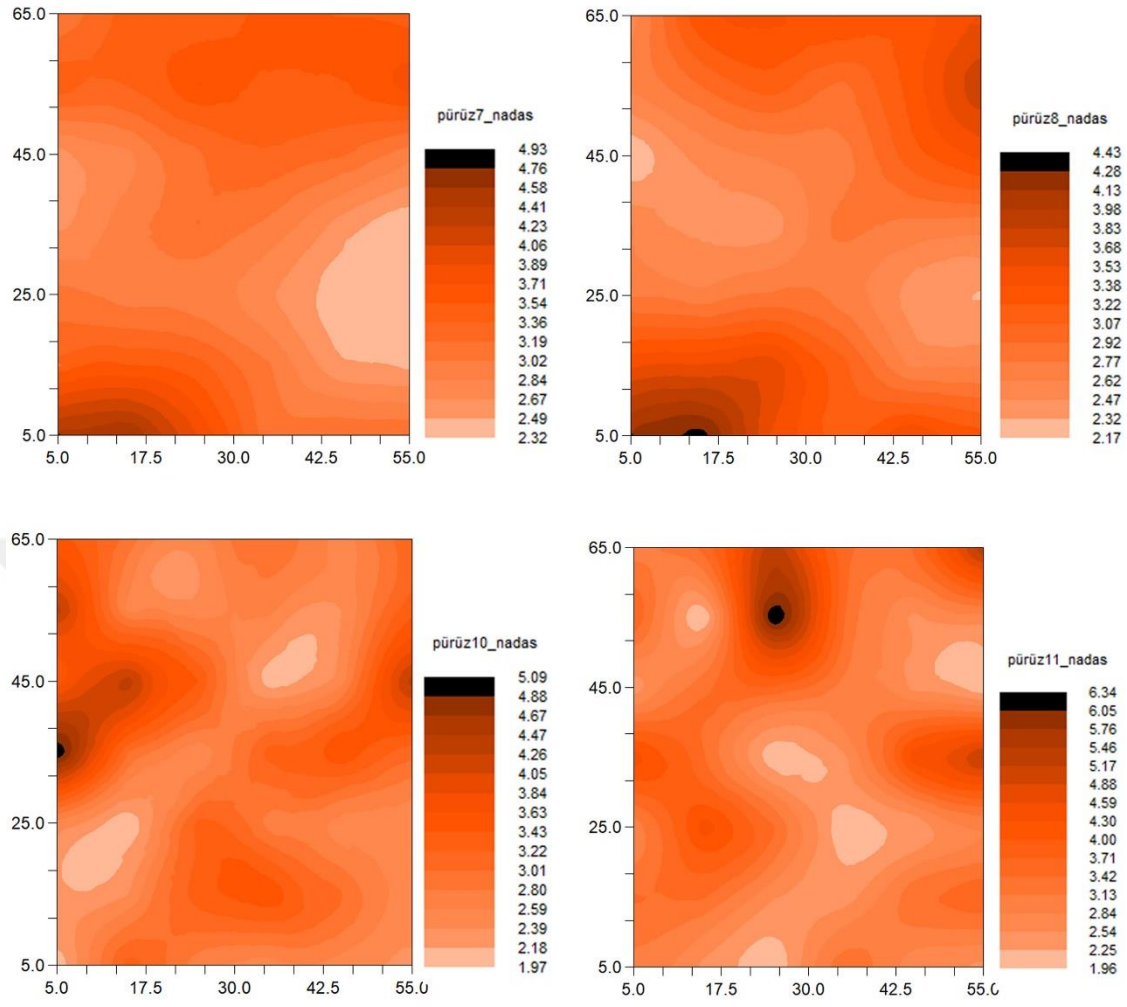
C_0 : külçe etkisi, $C_0 + C$: tepe varyansı (sill değeri), A: yapısal uzaklık, MAE: ortalama mutlak hata

Buğday ekili alanda sediment akış oranına ait yarıvaryogram model ve parametreleri Çizelge 4.19'da listelenmiştir. Olay 3 ve 11'de külçe etkisi görülmüş, Olay 4 Üstel model ile, diğer tüm olaylara ait sediment akış oranı verileri küresel model ile modellenmiştir. Olay 1 ve 2'de külçe etkisi sırasıyla $C_0 = 0.00009$ ve 0.0000009 , tepe varyansı $C_0 + C = 0.00068$ ve 0.000011 yapısal uzaklıklar 209 ve 198 m'dir. İkinci dönemde meydana gelen Olay 4'te külçe etkisi $C_0 = 0.0000797$, tepe varyansı $C_0 + C = 0.000237$ ve yapısal uzaklık 85 m'dir. Olay 6, 7, 8, 9 ve 10'da külçe etkisi sırasıyla $C_0 = 0.320000$, 0.000001 , 0.00001 , 0.00001 ve 0.000001 , tepe varyansı sırasıyla $C_0 + C = 3.65$, 0.0013 , 0.00334 , 0.00952 ve 0.000794 ve yapısal uzaklıklar 84, 171, 25, 43 ve 47 m'dir. Sadece Olay 4'te sediment akış oranı orta derecede konumsal bağımlılık göstermiş olup, diğer bütün olaylarda sediment akış oranının konumsal bağımlılığı

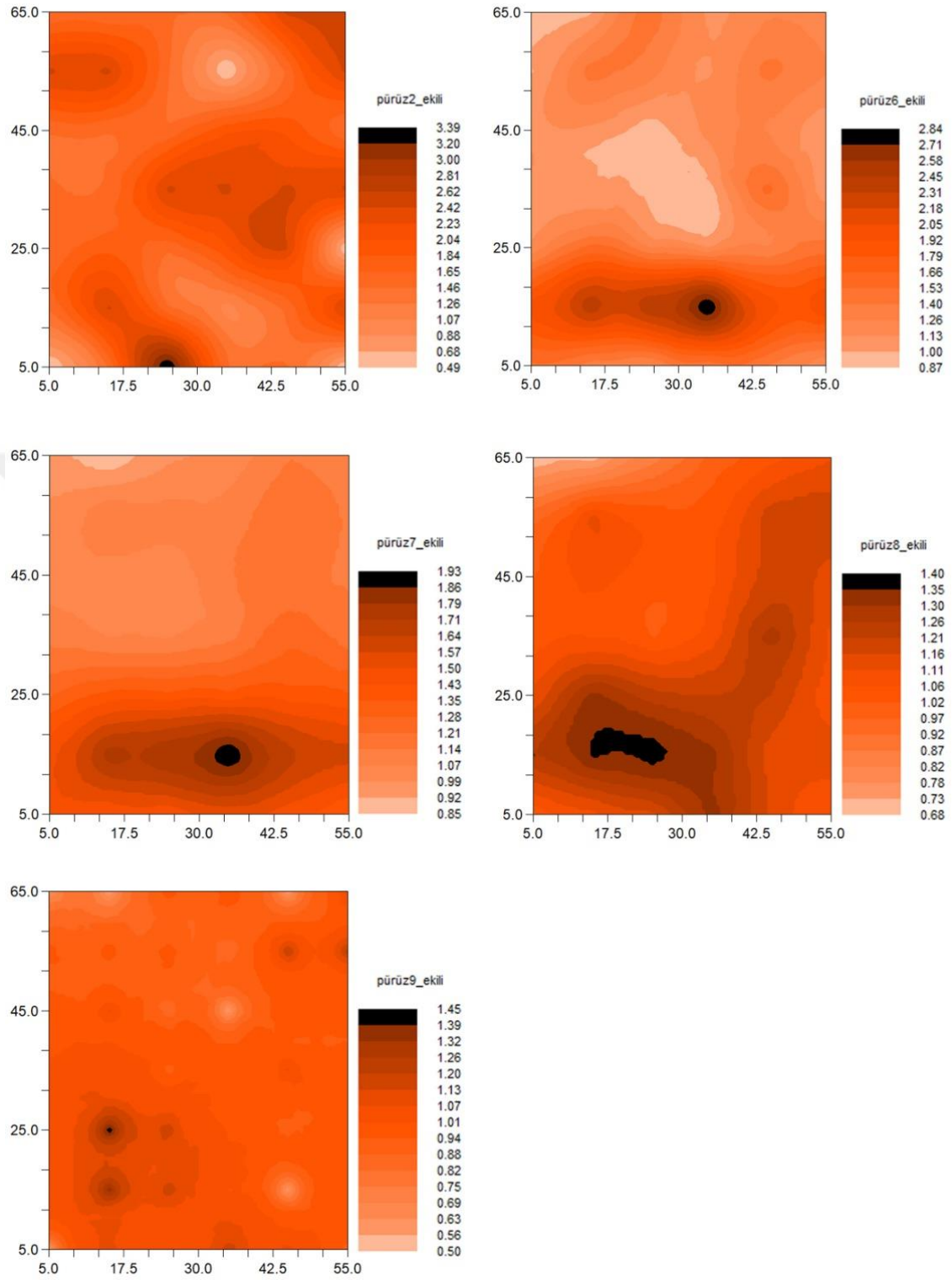
düşüktür. Ekili parselde en büyük MAE değeri (0.791) bu parselde en büyük sediment akış oranına sahip Olay 6'da, en düşük ise (0.001) sediment akış oranının da diğer olaylara kıyasla daha düşük olduğu Olay 2'de gözlenmiştir.



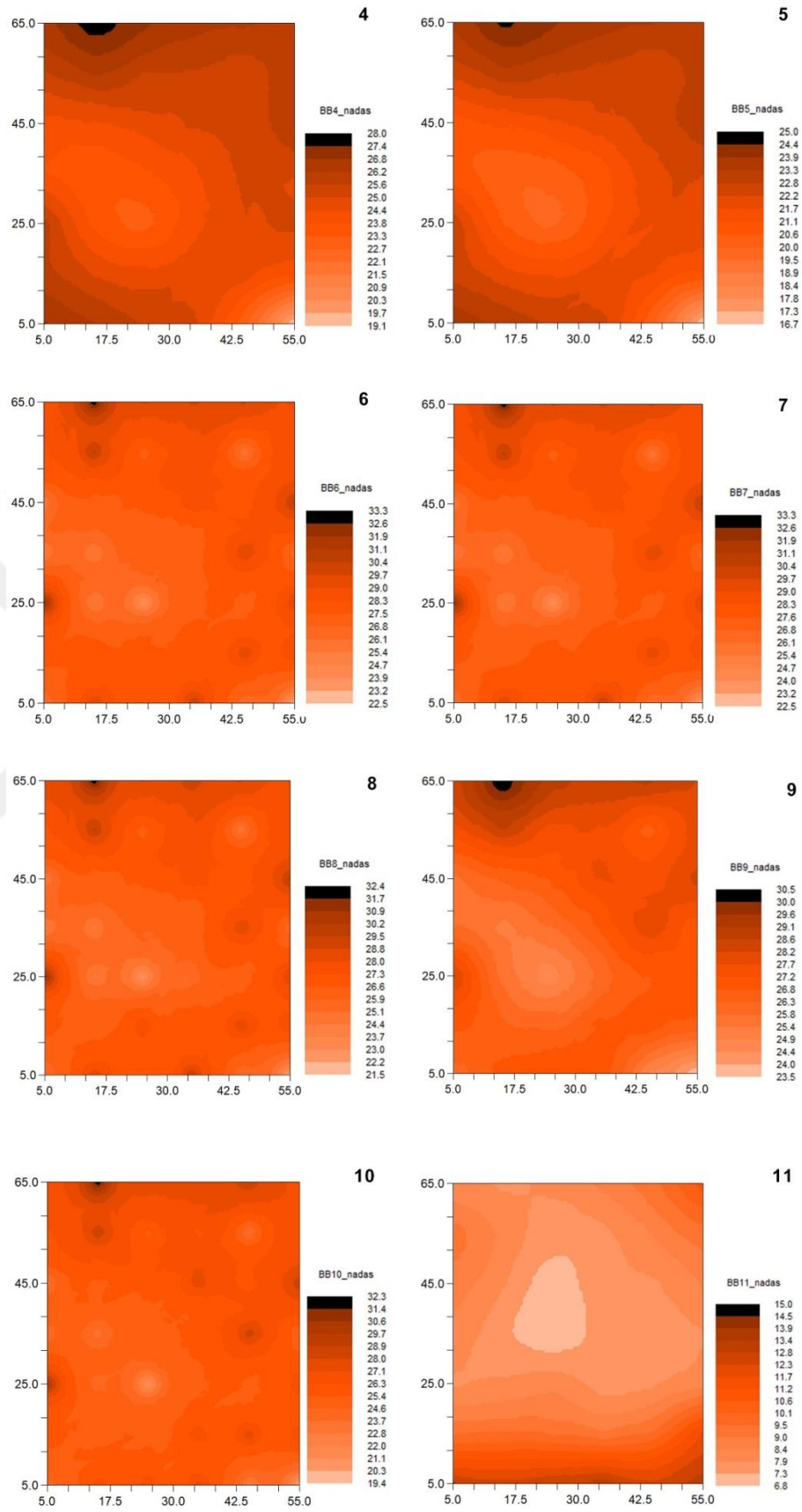
Şekil 4.20 Nadas parseline pürüzlülük değerlerine ait kriging haritaları (%)



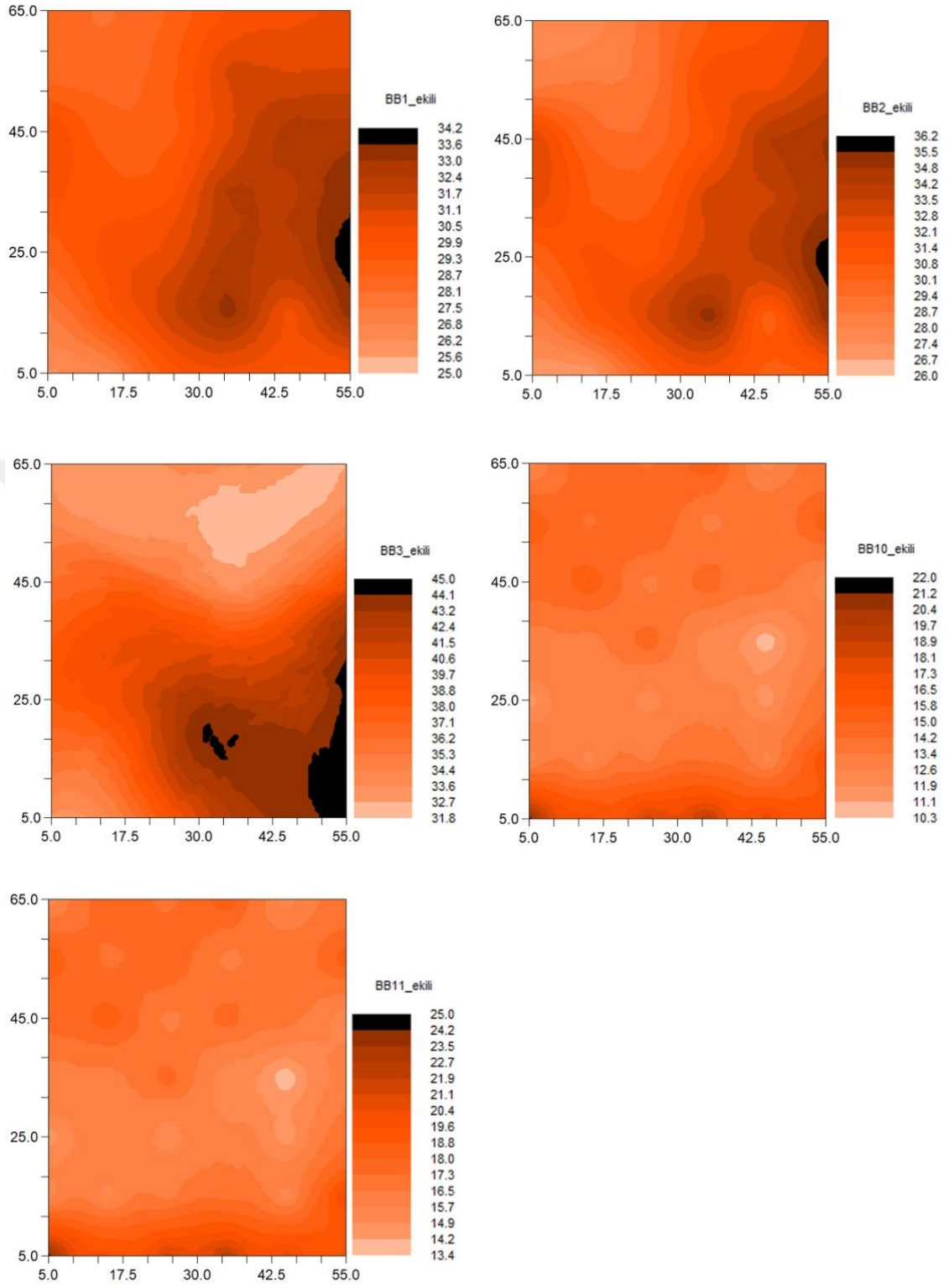
Şekil 4.20 Nadas parselinde pürüzlülük değerlerine ait kriging haritaları (%) (devam)



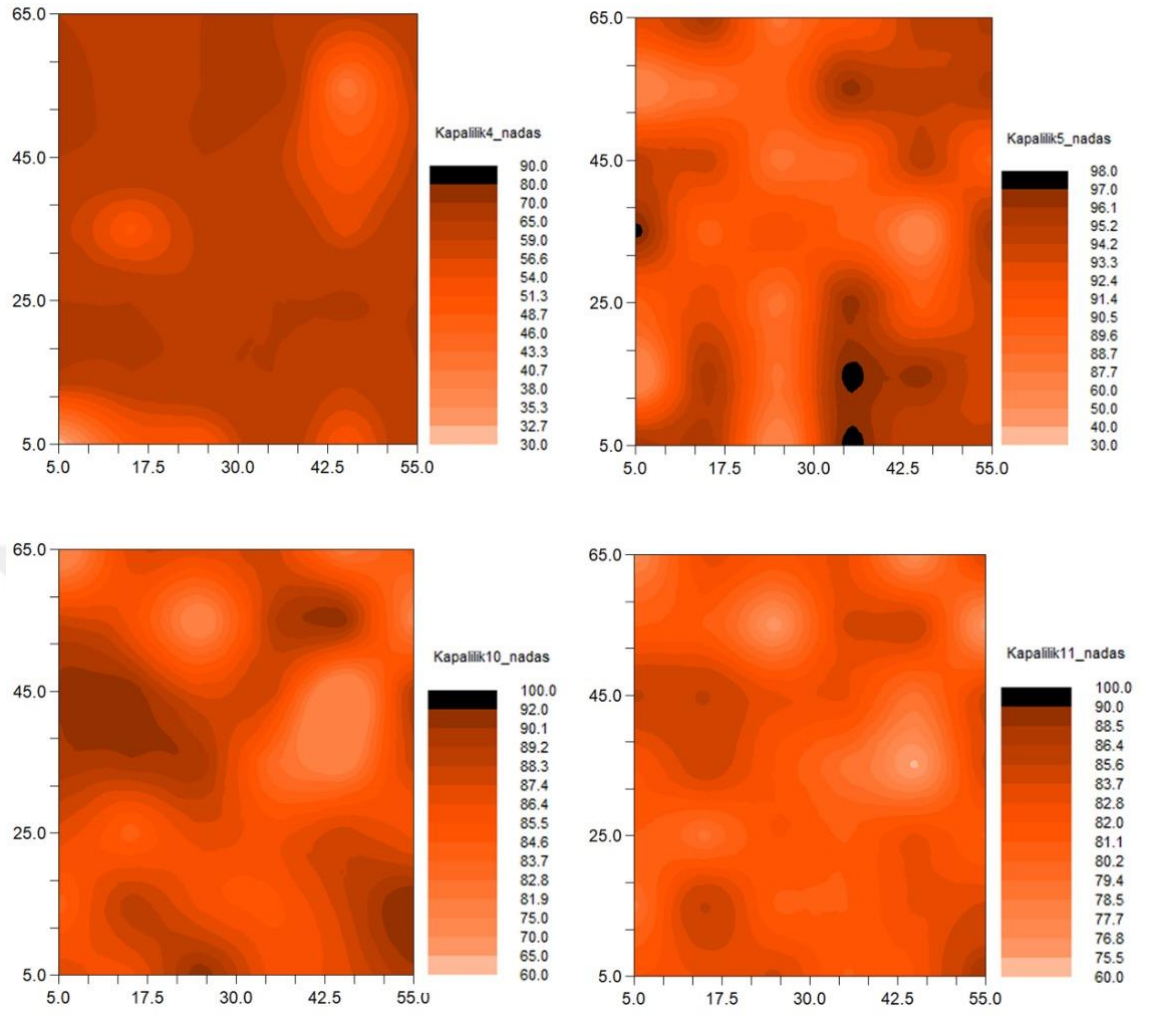
Şekil 4.21 Buğday ekili parselde pürüzlülük değerlerine ait kriging haritaları (%)



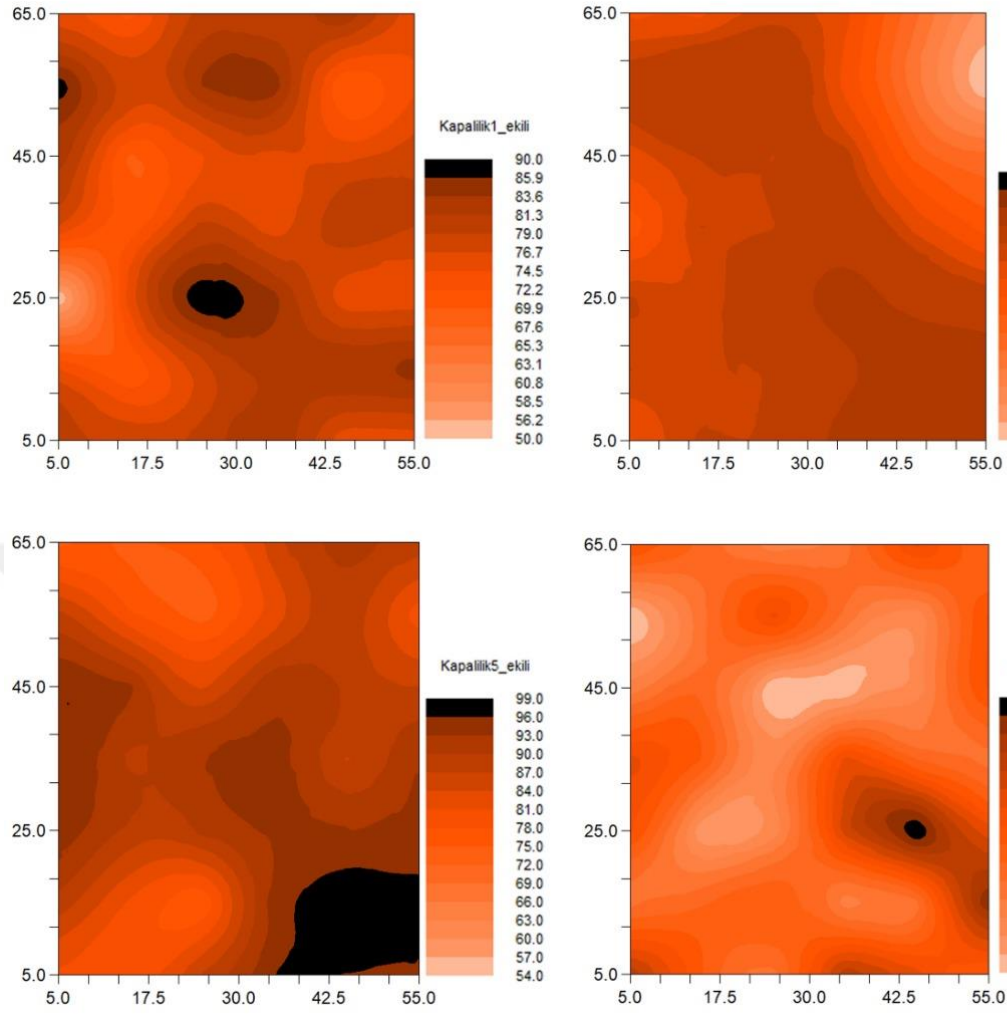
Şekil 4.22 Nadas parselinde bitki boyu değerlerine ait kriging haritaları (cm)



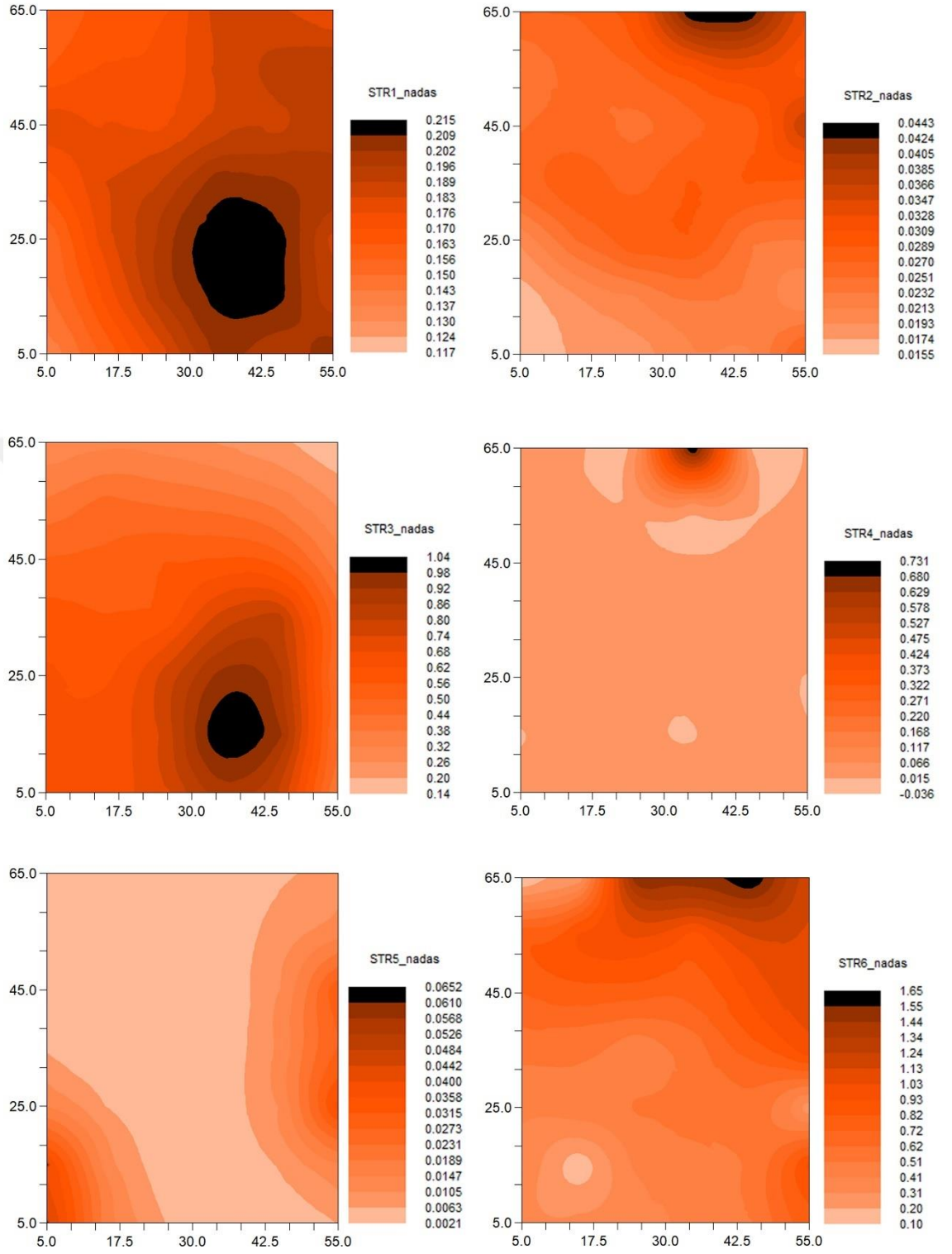
Şekil 4.23 Buğday ekili parselde bitki boyu değerlerine ait kriging haritaları (cm)



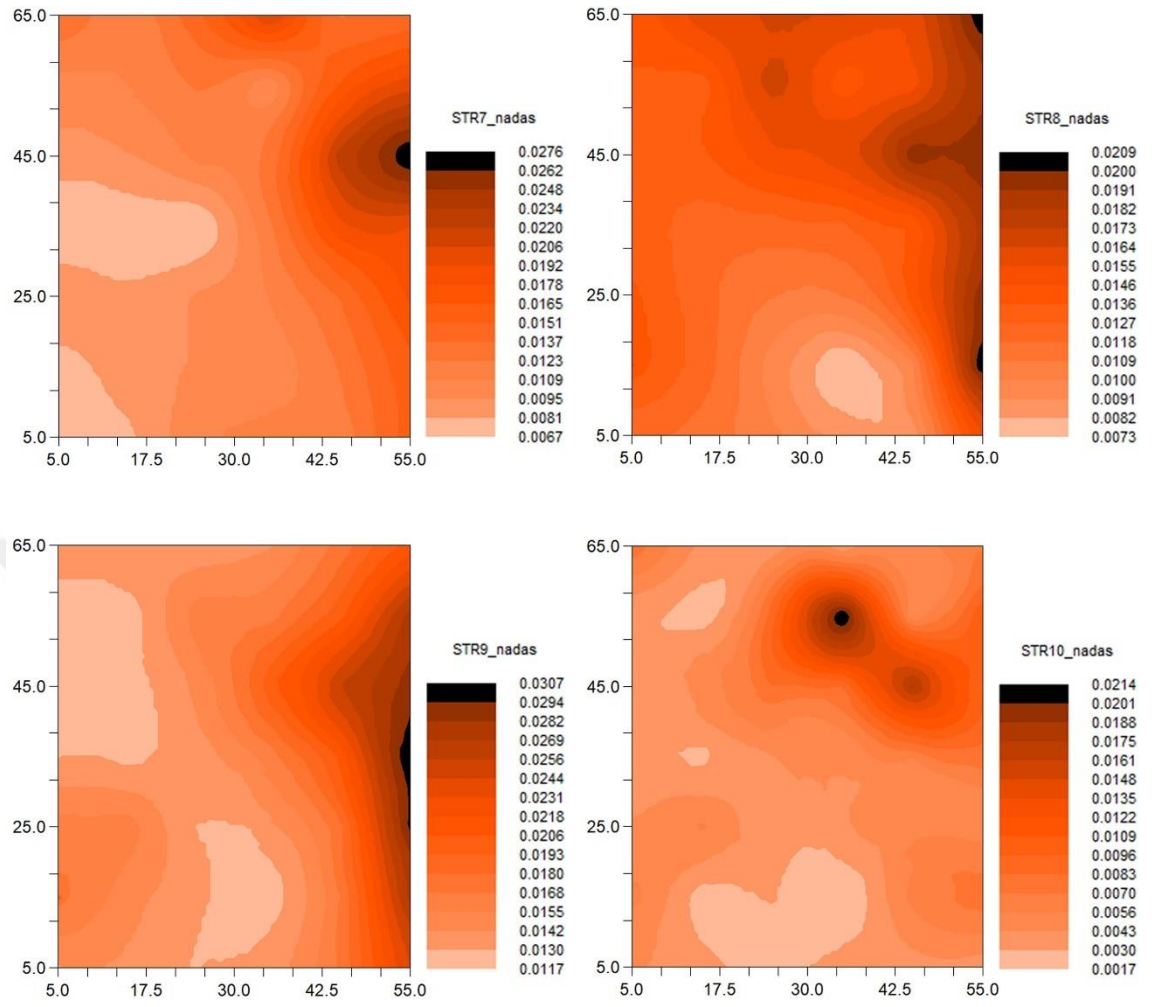
Şekil 4.24 Nadas parselinde kapallılık değerlerine ait kriging haritaları (%)



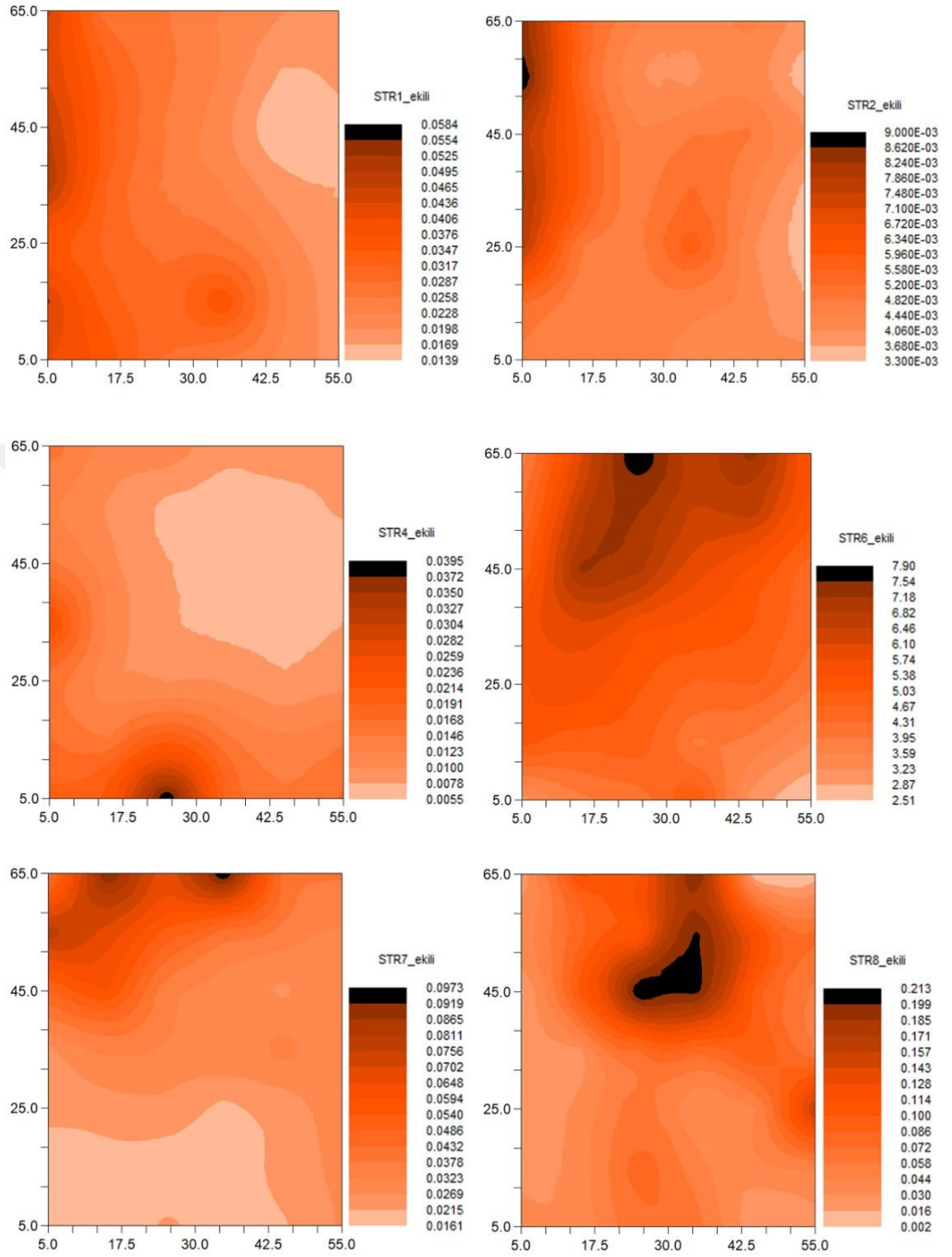
Şekil 4.25 Buğday ekili parselde kapalılık değerlerine ait kriging haritaları (%)



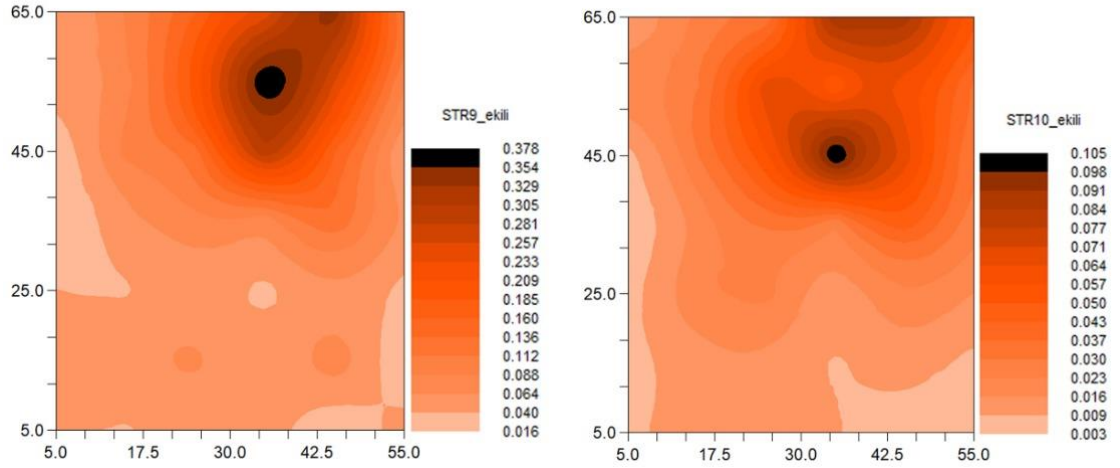
Şekil 4.26 Nadas parselinde sediment akış oranı değerlerine ait kriging haritaları (kg/m)



Şekil 4.26 Nadas parselinde sediment akış oranına ait kriging haritaları (kg/m) (devam)



Şekil 4.27 Buğday ekili parselde sediment akış oranına ait kriging haritaları (kg/m)



Şekil 4.27 Buğday ekili parselde sediment akış oranına ait kriging haritaları (kg/m) (devam)

Sediment akış oranına ait sonuçlar değerlendirildiğinde hem nadas hem de ekili alanda meydana gelen rüzgâr olaylarında genel olarak tüm olaylar için sediment akış oranının konumsal değişiminin oldukça yüksek olduğu görülmüştür (Şekil 4.26 ve 4.27). Benzer sonuçlar Chappell vd. (2003) sediment akışın konumsal dağılımının değerlendirdiği çalışmada da vurgulanmıştır.

Araştırma alanında hem nadas hem de ekili parsellerde meydana gelen rüzgâr olaylarında sediment akış oranı ve etkileyen kapalılık, pürüzlülük ve bitki boyu, rüzgâr hızı gibi parametreler değerlendirildiğinde sediment akış oranının parseller içerisinde maksimum ilişkili uzaklığını etkileyen en önemli parametre nadas parseli için kapalılık faktörü olurken ekili parselde bunun rüzgâr hızı ve kapalılık olduğu tespit edilmiştir. Tane büyüklük dağılımına bağlı olan rastgele pürüzlülük rüzgâr erozyonunu etkileyen en önemli parametrelerden bir tanesidir. Pürüzlü olmayan toprak yüzeyleri aşındırıcı rüzgârlara karşı daha az direnç göstereceğinden daha fazla toprak kaybına maruz kalmaktadırlar. Ancak bunun yanı sıra kurak ve yarı kurak bölgelerde toprak işleme sonrası oluşan sırtlar bir rüzgâr olayı sırasında daha çabuk kuruyarak daha gevşek ve kuru olan toprağın kaybolmasına neden olabilir. Bir rüzgâr erozyonu olayı sırasında toprak pürüzlülüğündeki değişim esas olarak tanecik boyutu dağılımından etkilenmektedir

(van Donk vd. 2003). Toprak pürüzlülüğü toprak özelliklerine ve iklime bağlı olarak tarımsal aktivitelerden de oldukça etkilenmektedir (Taconet ve Ciarletti 2007).

Araştırma sonuçları rüzgâr erozyonu ile bunu etkileyen pürüzlülük, kapalılık, bitki boyu, rüzgâr hızı arasında dinamik ve oldukça karmaşık bir ilişki olduğunu göstermektedir (Chen vd. 1996). Chappell vd. (2003) rüzgâr hızının taşınmanın başladığı eşik rüzgâr hızını çok aştığı durumlarda daha düşük olaylar ve düşük konumsal bağımlılık olurken eşik rüzgâr hızının devamlı olduğu olaylarda da büyük konumsal bağımlılık görüldüğünü bildirmişlerdir. Bu durum yüzey aşınabilirliğini kontrol eden küçük ölçekli (kısa mesafede değişmesi beklenmeyen pürüzlülük, tanecik boyutu, kabuk faktörü) faktörlerin rüzgâr erozyonuyla oluşan toprak kaybını bazı durumlarda tam olarak ifade edemediğini açıklamaktadır. Özellikle rüzgâr hızının eşik rüzgâr hızına yakın olduğu rüzgâr olaylarında taşınma mekanizmaları toprak aşınabilirliğinden oldukça etkilenmektedir. Yani rüzgâr hızı eşik rüzgâr hızına yakinken parsel içerisinde sadece yüksek aşınabilirlikteki kaynaklardan taşınma olurken rüzgâr hızının eşik hızı çok fazla geçtiği durumlarda tüm kaynaklardan taşınma olacaktır. Bu durumda bu kaynakların kontrol edilmesi olasılığı daha düşüktür. Bu sebeple sediment akışı kontrol eden faktörlerin etkisini belirlemek de güç hale gelmektedir.

Deneme alanında rüzgâr erozyonunu değerlendirmekte kullanılan parametrelerden pürüzlülük, kapalılık bitki boyu ile sediment akış değerlerini örneklenmemiş noktalar için tahmin etmek amacıyla kriging haritaları oluşturulmuştur. Bu şekilde parametrelerin deneme parselleri içerisindeki değişkenlikleri konumsal dağılım deseni ile haritalanmıştır. Oluşturulan her bir yarıvaryogramın kontrolsüz etki varyansının genel olarak yapısal varyansın büyük bir oranını oluşturduğu belirlenmiştir. Bu durum parsel içerisinde bazı değişkenliklerin yakalanamadığını ya da parsel boyutlarının değişimi ifade etmekte yeterli olmadığını işaret etmektedir.

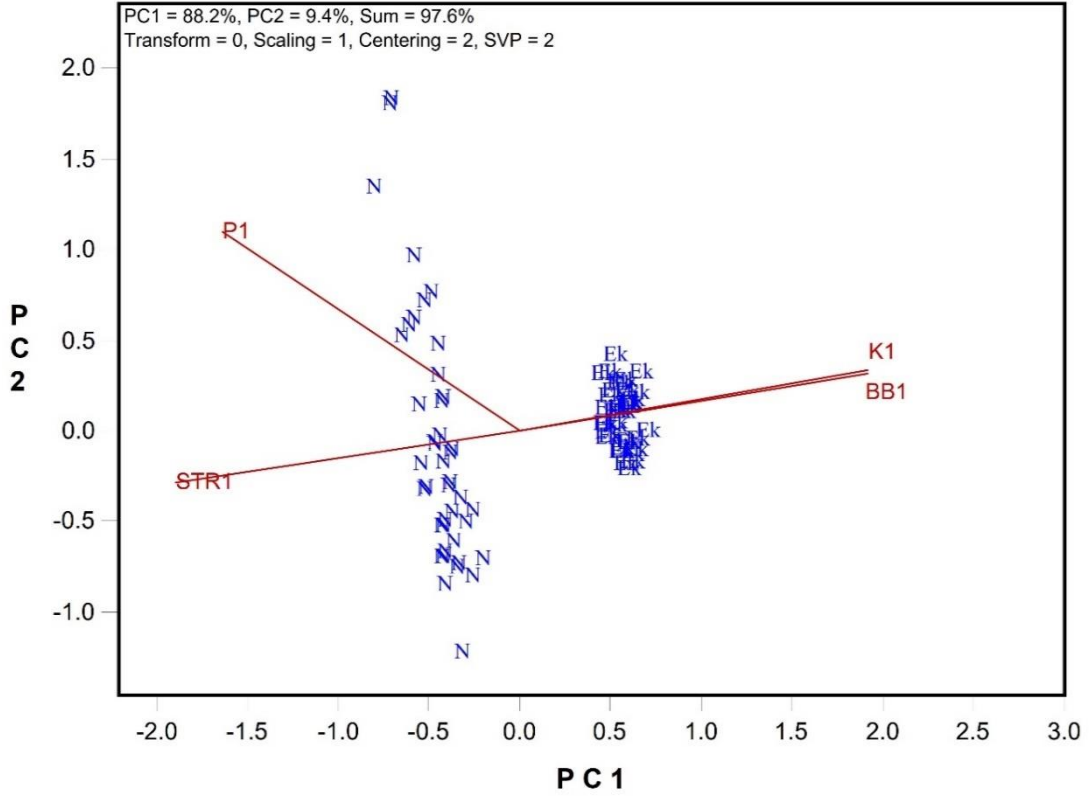
Birinci dönemde nadas alanında meydana gelen Olay 1, 2 ve 3'e ait kriging haritaları incelendiğinde bu dönemde meydana gelen olaylarda arazi yüzeyinde herhangi bir kapalılığın bulunmamasının sediment akış oranlarını ekili parsele kıyasla önemli derecede artırdığı görülmektedir. Zobeck vd. (2003) fırtınalı rüzgârlardan kaynaklanan

sediment akış oranlarının düzgün ve bitki örtüsünden yoksun arazi uzunluğu ile dikkate değer derecede arttığını bildirmiştir. Bunun yanı sıra nadasa bırakılan arazinin ilkbaharda hakim rüzgâr yönüne dik sürüm yapılması sonucu artan aerodinamik pürüzlülük ile kesme hızı azalmış ve bu durum parsel içerisinde sediment akış oranının daha da artmasını engellemiştir. Genel olarak sürümden kaynaklanan pürüzlülükler bahar yağışlarının enerjileriyle birlikte bozulmaktadır. Özellikle kum bünyeye sahip deneme alanı topraklarında mart ayındaki ilk yağışlarla birlikte oluşan sırtların bozulmaya başlamasından dolayı pürüzlülük kriging haritalarından da görüleceği üzere toprakların erozyon toleransını düşürmüştür. Bielders vd. (2000) kumlu topraklarda sürümle oluşturulmuş pürüzlülüğün çok çabuk bozulduğunu bu sebeple kumlu bünyeye sahip tarım arazilerinde parsel sınırlarında bitki sırtları oluşturmak gerektiğini bildirmiştir. Ekili parselde ise aerodinamik pürüzlülük buğdayların boylanmasından dolayı artmış olsa da bu alanda da toprak kayıpları gözlenmiştir. Raupach (1990), Michels vd. (1995) ve Sterk vd. (1998) belirli bitki kapallılığindeki alanlarda bitki örtüsünden kaynaklanabilecek türbülanslardan dolayı rüzgâra maruz kalan bölgelerde toprak kaybının artabileceğini bildirmişlerdir. Araştırma süresince bitki kapallılığının %40'ın üzerinde bulunduğu durumlarda dahi toprak kayıplarının gözlenmiş olması oluşan bu bitki koridorlarından kaynaklanabilir. Benzer sonuçları Youssef (2012) rüzgâr tüneline farklı bitki desenlerinde yürüttüğü denemelerde de gözlemlemiş ve türbülanstaki artış nedeniyle sediment kütle akışının da arttığını bildirmiştir. Sterk ve Spaan (1997) özellikle rüzgâr hızının yüksek olduğu durumlarda bitki deseninin rüzgâr erozyonunun şiddetini artırdığını bildirmiştir. Bowker vd. (2008) "Street effect" adını verdiği durumlarda parsel içerisinde bitki koridorlarının rüzgâr olayları sırasında taşınmayı arttırdığını ifade etmiştir.

4.6 Rüzgâr Erozyonu ve Temel Bileşen Analizleri

Ekili ve nadas parsellerinde kapallılık, bitki boyu, pürüzlülük ve sediment akış oranı gibi özelliklerin karşılıklı ilişkileri kullanılarak özelliklerin ayırma gücü ve özelliklerin birbirleri ile olan etkileşimleri Biplot vektör görüntüsünden elde edilmiştir. Uzun bir vektöre sahip olan özellik parselleri ayırmasında daha yüksek bir kapasiteye sahip

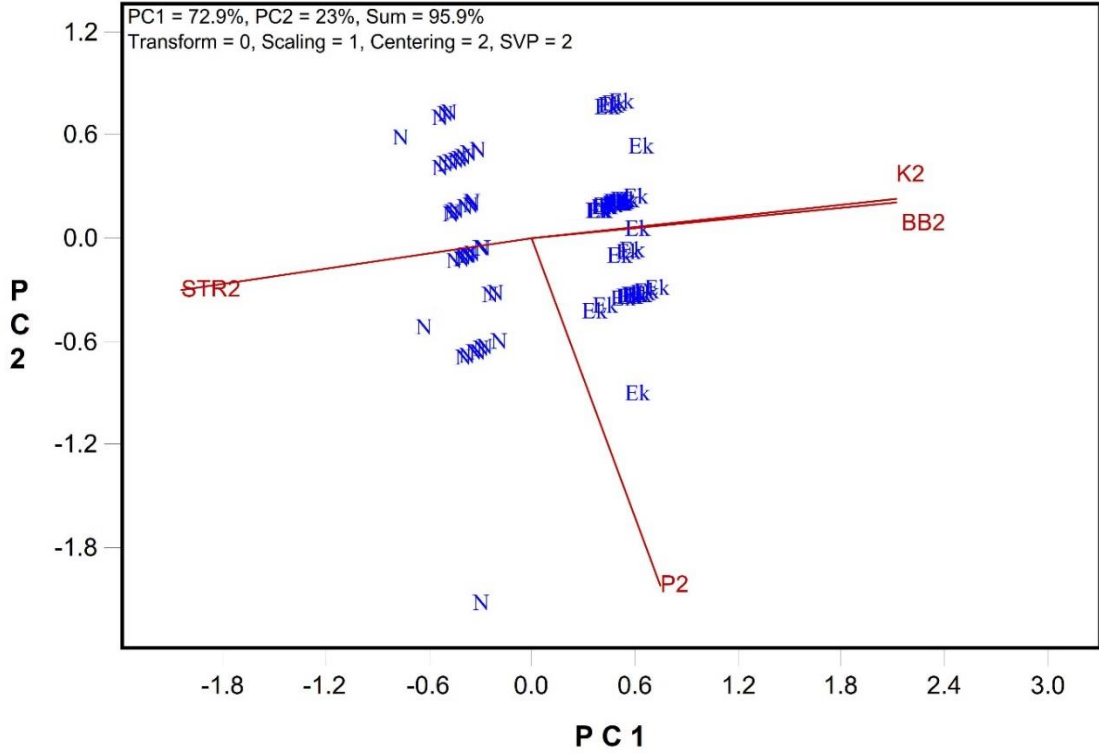
olmaktadır. Ayrıca vektörler arasındaki açının yakınlığı ile ilgili özellikler arasındaki ilişkiler de incelenmiştir.



Şekil 4.28 Olay 1 için ekili ve nadas parsellerinde Biplot grafiği

Olay 1’de sediment akış oranı, bitki boyu, kapalılık ve pürüzlülük özelliklerini değerlendirmek amacıyla oluşturulan biplot grafiği Şekilde 4.28’de verilmiştir. Sediment akış oranı, bitki boyu, kapalılık ve pürüzlülük parametrelerine göre oluşturulan biplot grafiği toplam varyasyonun %97.6’sını açıklamıştır. Kapalılık ve pürüzlülük arasında oldukça güçlü bir pozitif ilişki oluşmuş ve sediment akış oranı ile bu iki özellik arasında ters ilişki oluşmuştur. Pürüzlülük ise incelen diğer özelliklerden ayrı bir konum sergilemiştir. Bununla birlikte kapalılık ve bitki boyu ekili parselde, sediment akış oranı ve pürüzlülük ise nadas parselinde yer almıştır. İncelen özelliklerin vektör uzunlukları birbirine çok yakın olmasından dolayı varyasyonu ayırma gücü yönünden tüm özelliklerin etkisi eşit seviyede olmuştur. Olay 1’in gerçekleştiği 18-19 Mart 2018 tarihlerinde nadas parseli sürülmüş haldedir. Bu dönemde nadas parselinde

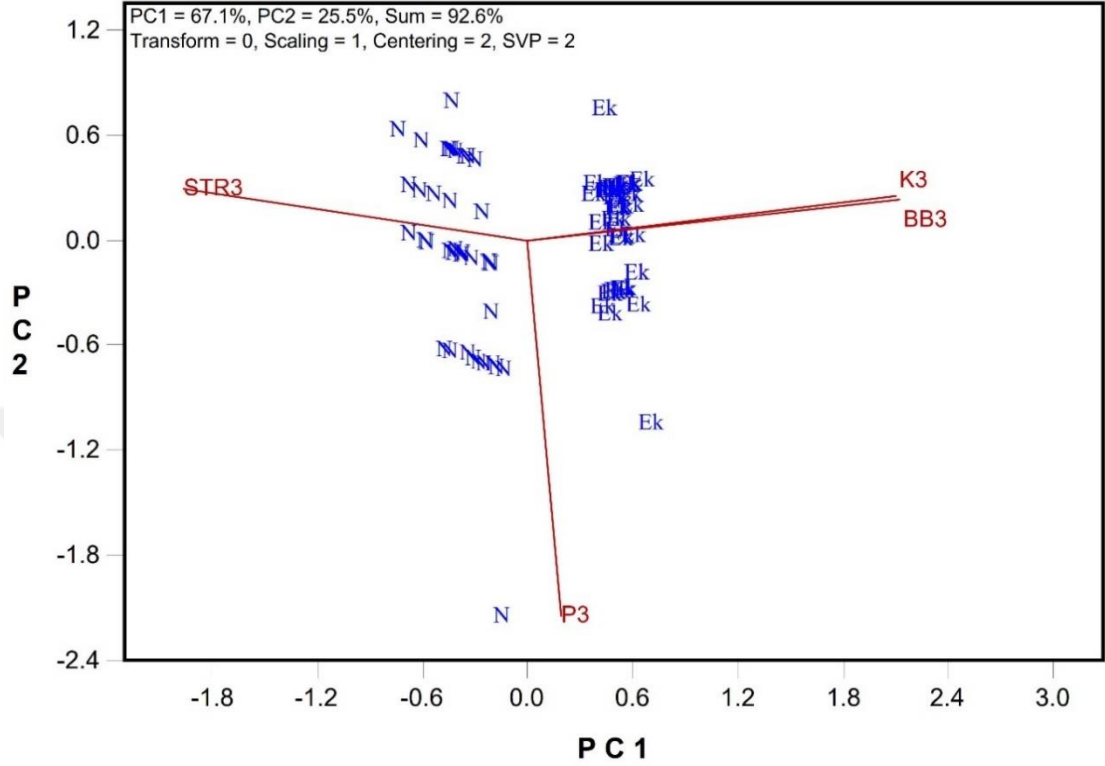
mevcut pürüzlülüğe karşı kapalılığın olmaması rüzgâr erozyonuna karşı ekili parsele kıyasla yeteri kadar koruyucu olmamıştır.



Şekil 4.29 Olay 2 için ekili ve nadas parsellerinde Biplot grafiği

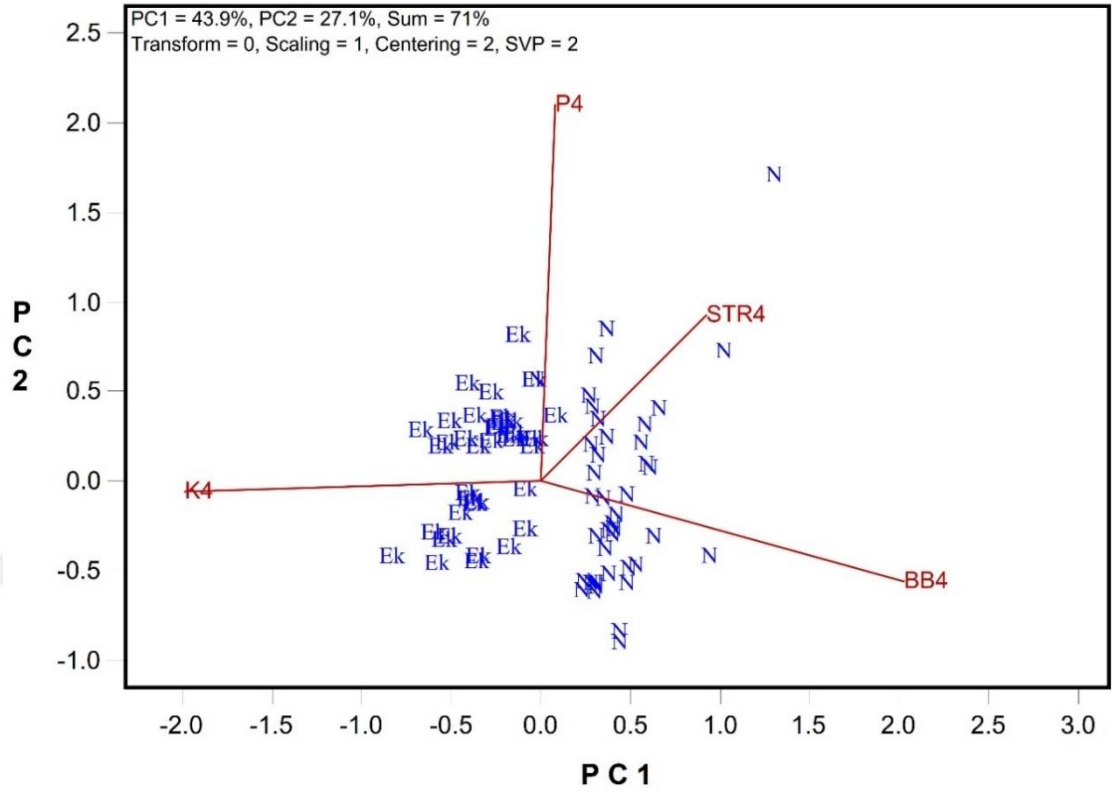
Olay 2'ye ait sediment akış oranı bitki boyu, kapalılık ve pürüzlülük özelliklerini değerlendirmek amacıyla oluşturulan biplot grafiği Şekilde 4.29'da verilmiştir. Sediment akış oranı, bitki boyu, kapalılık ve pürüzlülük parametrelerine göre oluşturulan biplot grafiğinde PC1 %72.9 ve PC2 %23 olmak üzere toplam varyasyonun %95.9'unu açıklamıştır. Kapalılık ve bitki boyu birbiri ile çok yakın ilişki göstererek bir grup oluştururken sediment akış oranı ve pürüzlülük ayrı ayrı gruplar oluşturmuştur. Sediment akış oranı nadas parselinde yer almış ve ekili parselde kapalılık ve bitki boyu ön plana çıkmıştır. Orta kısımda yer alan pürüzlülük ise her iki parselin de birbirine yakın değerlere sahip olduğunu göstermektedir. Olay 2, 23-24 Mart 2018 tarihlerinde olmuştur. Nadas alanının sürümünden ve ilk olaydan sonra yağışın da etkisiyle pürüzlülük nadas parselinde oldukça azalmıştır. Bu durum pürüzlülüğün parselleri ayırmada orta kısımda kalmasına neden olmuştur. Sürüm ile nadas parselindeki bitkiler ve anız kalıntıların kalkmasıyla da toprak kaybına duyarlı hale gelmiş ve sediment

akış oranı nadas parselinde gerçekleşmiştir. Bu dönemde ekili parseldeki buğdaylar bitki boyları artmış ve kardeşlenme ile toprağı kapatmaya başlamıştır.



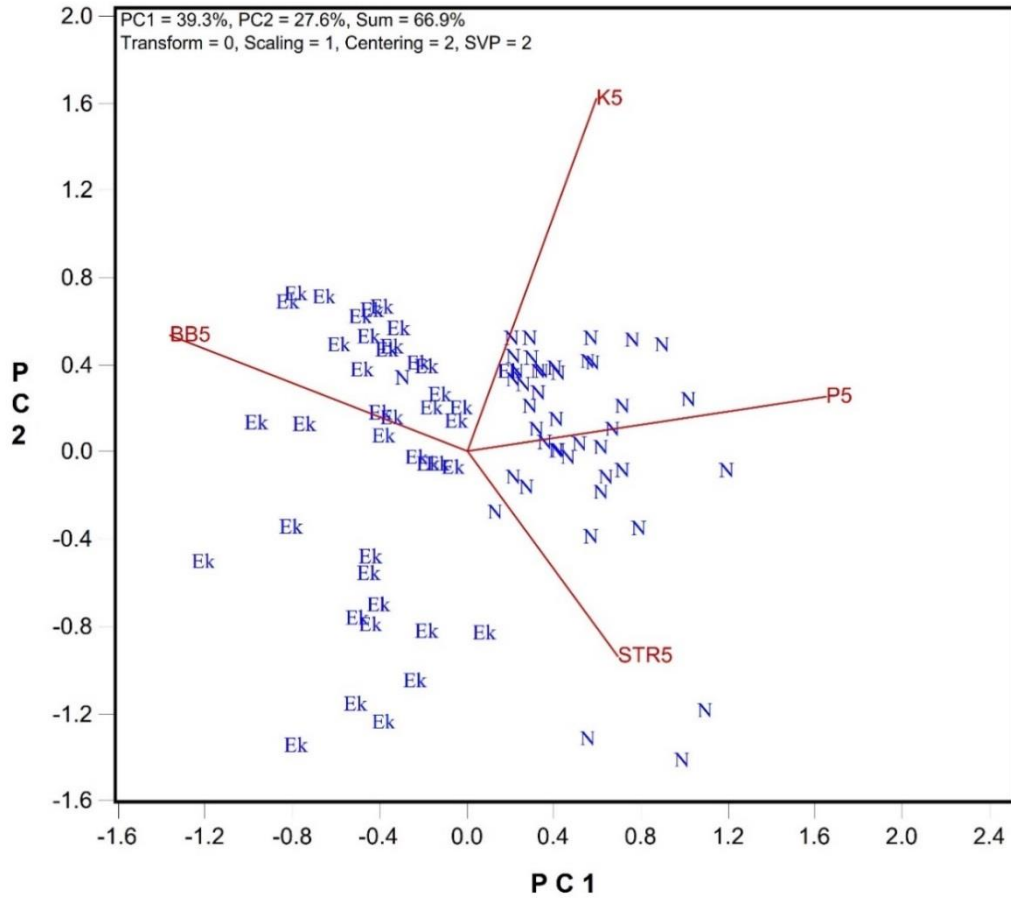
Şekil 4.30 Olay 3 için ekili ve nadas parsellerinde Biplot grafiği

İncelen özellikler kullanılarak ekili ve nadas parsellerini değerlendirmek amacıyla oluşturulan Biplot grafiği Şekil 4.30'te verilmiştir. Şekil 4.28 ve Şekil 4.29'da verilen Biplot grafiklerinde de görüldüğü olaylar yakın tarihli olmuş ve özellikler birbirleri ile benzerlik göstermiştir. Yine Şekil 4.30'daki Biplot grafiği varyasyonun %92.6'sı (PC1: 67.1 ve PC2: 25.5) gibi büyük bir kısmını açıklamıştır. Grafikte incelenen özellikler üç grup oluşturmuştur. Kapalılık ve bitki boyu ilk grubu, sediment akış oranı ikinci grubu ve pürüzlülük üçüncü grubu oluşturmuştur. Sediment akış oranı nadas parselinde, kapalılık ve bitki boyu ise ekili parselde yer alırken, pürüzlülük orta kısımda yer almıştır. Her iki parselde pürüzlülük yönünden farklılık olmamıştır. Olay 3, 2 Nisan tarihinde gerçekleşmiştir. Bu dönemde bitkilerin boyları uzamış ve kardeşlenmişlerdir. Uzayan bitki boyu ile de yaprak alanı ve dolayısıyla kapalılık iyice artmaya başlamıştır. Böylelikle ekili parselde toprak kaybı engellenirken sürülen ve rüzgâra maruz kalan parselde toprak sediment akış oranı artmıştır.



Şekil 4.31 Olay 4 için ekili ve nadas parsellerinde Biplot grafiği

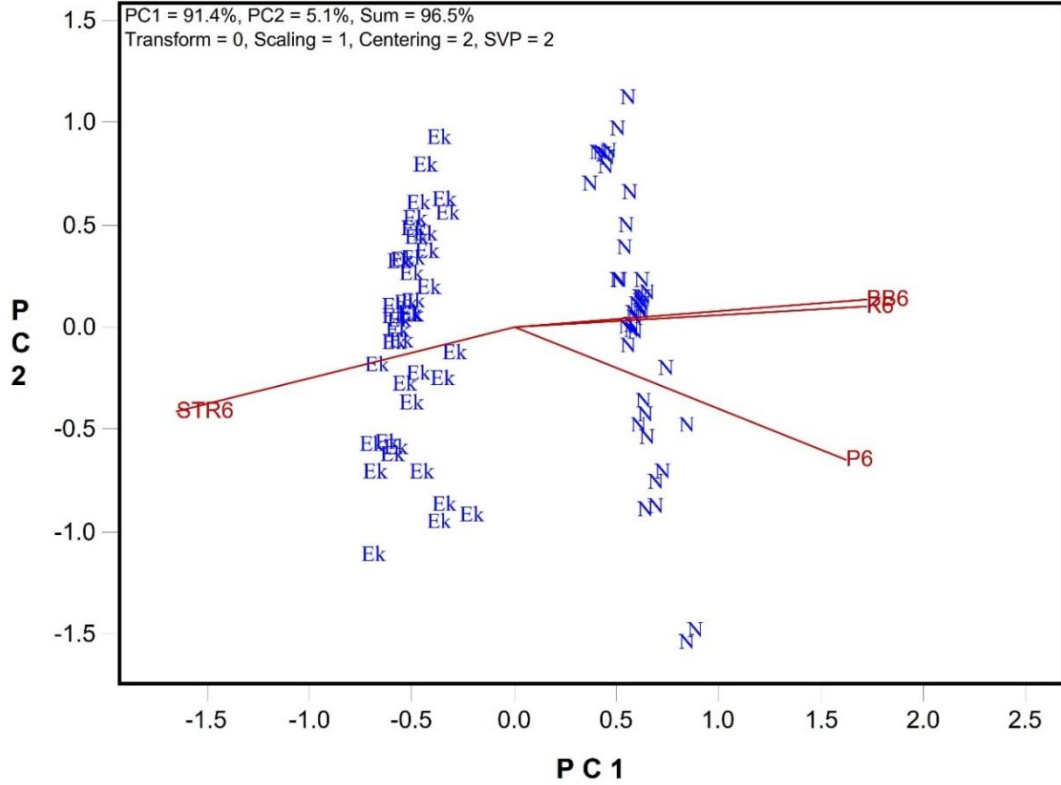
Ekili ve nadas parsellerinde meydana gelen Olay 4 için hazırlanmış Biplot grafiği Şekil 4.31’de verilmiştir. Biplot grafiği varyasyonun %71’ini açıklamıştır. Grafikte incelenen tüm özellikler ayrı ayrı gruplar oluşturmuştur. Pürüzlülük, kapalılık ve bitki boyu birbirlerine yakın vektör uzunluğuna sahip olurken sediment akış oranı daha kısa bir vektör uzunluğuna sahip olmuştur. Kapalılık ekili alanda fazla olmuş olmasına rağmen nadas parselinde bitki boyunun daha uzun olduğu görülmektedir. Daha önceki olaylarda da olduğu gibi her iki parsel arasında pürüzlülük özelliği yönünden çok fark olmamış ve pürüzlülük orta alanda yer almıştır. Olay 4, 25 Aralık tarihinde gerçekleşmiştir. Bu dönemde buğdaylar çimlenmiş ve toprak yüzeyinde görülmeye başlamalarına rağmen boylarının kısa olduğu dönemdedir. Ekili parselde kapalılık, nadas parselinde bitki boyu ön plana çıkmıştır. Nadas parselinde meydana gelen toprak kayıplarında anız artığı olarak buğday saplarının bulunması tek başına koruyucu faktör olamadığı için grafik üzerinde sediment akış oranı iki parselin orta kısmında yer almıştır.



Şekil 4.32 Olay 5 için ekili ve nadas parsellerinde Biplot grafiği

Bitki boyu, kapalılık, pürüzlülük ve sediment akış oranı gibi özellikler kullanılarak ekili ve nadas parsellerini değerlendirmek amacıyla oluşturulan Biplot grafiği Şekil 4.32’de verilmiştir. Oluşturulan Biplot grafiği varyasyonun %66.9’unu açıklamıştır. Biplot grafiğine göre incelenen özellikler birbirinden oldukça bağımsız hareket etmiş ve bir ilişki oluşmamıştır. İncelenen tüm özelliklerin vektör uzunlukları benzer olurken aralarındaki açı ise oldukça geniş olmuştur. Bitki boyu ve sediment akış oranı değerleri nadas parselinde daha yüksek olmuş, kapalılık ise ekili alanda daha yüksek değerlere sahip olmuştur. Olay tarihinde yine parseller arasında pürüzlülük değerleri yönünden önemli farklılıkların olmadığı görülmektedir. Olay 5, 23-24 Mart tarihinde gerçekleşmiştir. Bu dönemde ekili parseldeki bitkilerin boyları uzamıştır. Ekili parseldeki bitkilerin büyümesi, nadas parselinde anız kalıntıları ve bir miktar yabancı bitkilerin büyümeleri kapalılığa katkı sağlamıştır. Her iki parselde de kapalılığın olması bu özelliğin yine grafik üzerinde ortada kalmasına neden olmuştur. Olay 4’te nadas

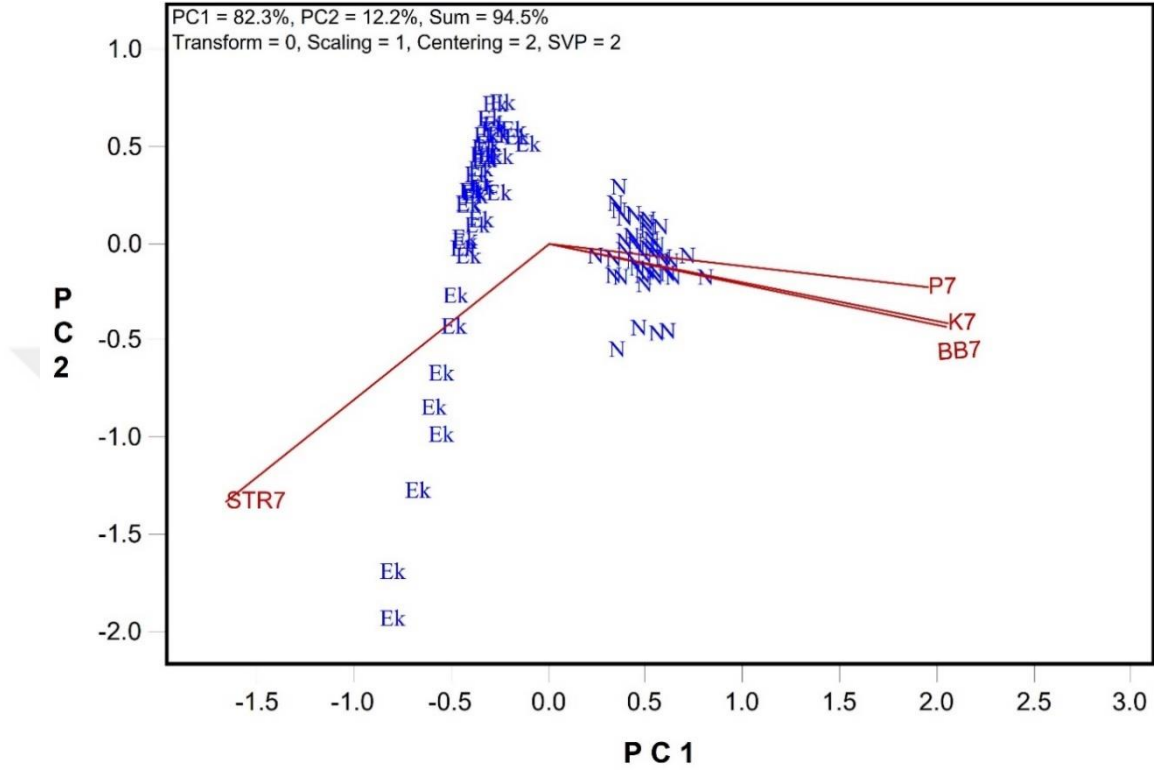
parsesinde bitki boyunun daha uzun olması yıllar arasındaki yağış ve sıcaklık farkının bitki gelişimi üzerine etkisinden kaynaklanmıştır.



Şekil 4.33 Olay 6 için ekili ve nadas parsellerinde Biplot grafiği

Ekili ve nadas parsellerinde meydana gelen Olay 6 için hazırlana Biplot grafiği Şekil 4.33'te verilmiştir. Grafik %96.5 gibi oldukça yüksek bir oranla varyasyonu açıklamıştır (PC1: %91.4; PC2: %5.1). Olay 6'da incelen özellikler üç grup oluşturmuştur. Bitki boyu ve kapalılık bir grup oluştururken sediment akış oranı ve pürüzlülük ayrı ayrı gruplar oluşturmuştur. Olay döneminde kapalılık ve bitki boyu olumlu ve önemli bir ilişki sergilemiş ve bu iki özellik sediment akış oranı ile negatif ve önemli bir ilişki sergilemiştir. Pürüzlülük diğer üç özelliklerden bağımsız bir konumda yer almasına rağmen, pürüzlülüğün nadas parselinde daha fazla olduğu görülmektedir. Ayrıca pürüzlülüğün kapalılık ve bitki boyu kadar güçlü olmasa da sediment akış oranı ile negatif bir ilişkiye sahip olduğu görülmektedir. Olay 6, 5 Ekim tarihinde gerçekleşmiştir. Bu tarih ekimin yeni yapıldığı ancak çıkışın henüz gerçekleştirmediği tarihtir. Ekim için hazırlanan parsel sürülmüş, düzeltilmiş ve üzerinde herhangi bir

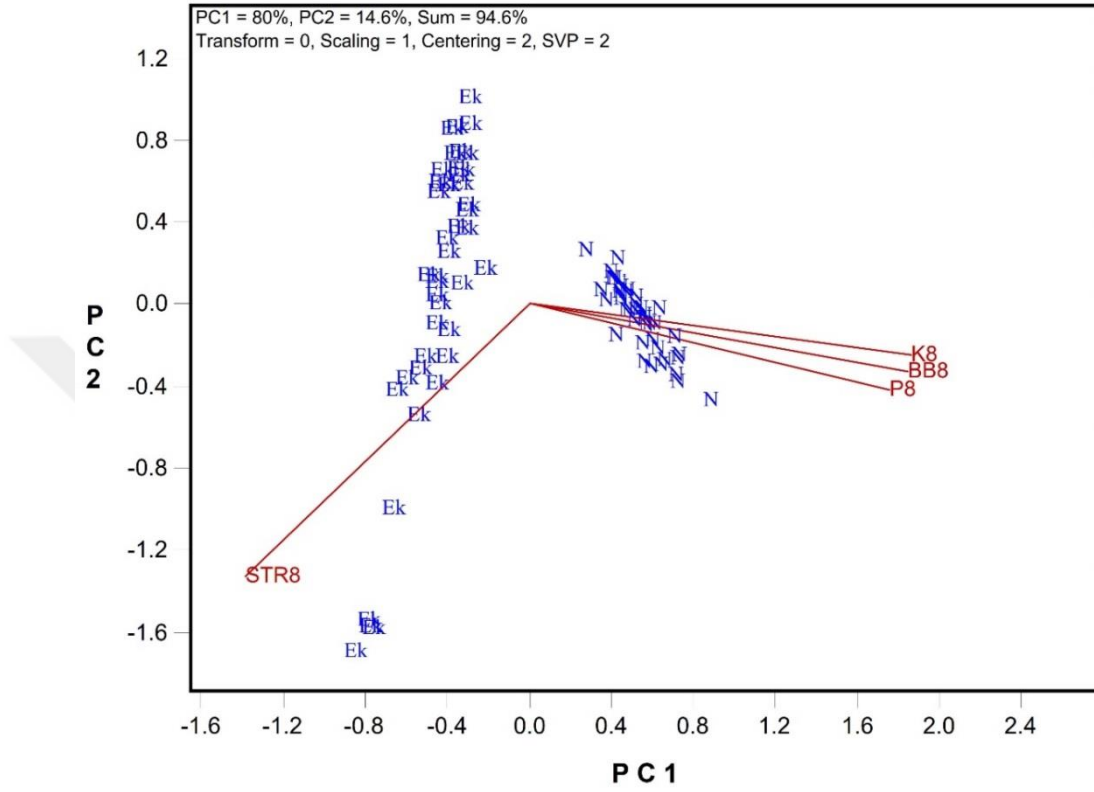
bitkinin olmadığı tarihtedir. Bu nedenle kapalılık, pürüzlülük ve bitki boyu özellikleri nadas parselinde yer almıştır. İşlenmiş ve düzeltilmiş ve rüzgâra karşı korumasız durumdaki ekili parsel erozyona maruz kalarak taşınım gerçekleşmiştir.



Şekil 4.34 Olay yedi için ekili ve nadas parsellerinde Biplot grafiği

Sediment akış oranı bitki boyu, kapalılık ve pürüzlülük özellikleri kullanılarak Olay 7 için oluşturulan Biplot grafiği Şekilde 4.34'te verilmiştir. Sediment akış oranı, bitki boyu, kapalılık ve pürüzlülük parametrelerine göre oluşturulan Biplot grafiği toplam varyasyonun %94.5'ini açıklamaktadır. Olay 7'nin gerçekleştiği dönemde kapalılık, pürüzlülük ve bitki boyu özellikleri çok yakın açıya sahip olmuş ve aralarında pozitif ve önemli bir ilişki oluşmuştur. Bununla birlikte bu üç özellik sediment akış oranı ile negatif ve önemli bir ilişki sergilemiştir. Sediment akış oranı ekili parselde meydana gelmiştir. Nadas parseli sediment akış oranını engelleyen kapalılık, bitki boyu ve pürüzlülük özelliklerinde daha yüksek değerlere sahip olmuştur. Sediment akış oranı en uzun vektöre sahip olarak varyasyonun açıklanmasında en önemli özellik olarak yer almıştır. Çalışmada gerçekleşen Olay 7, 12 Ekim'de meydana gelmiştir. Yine bu tarihte

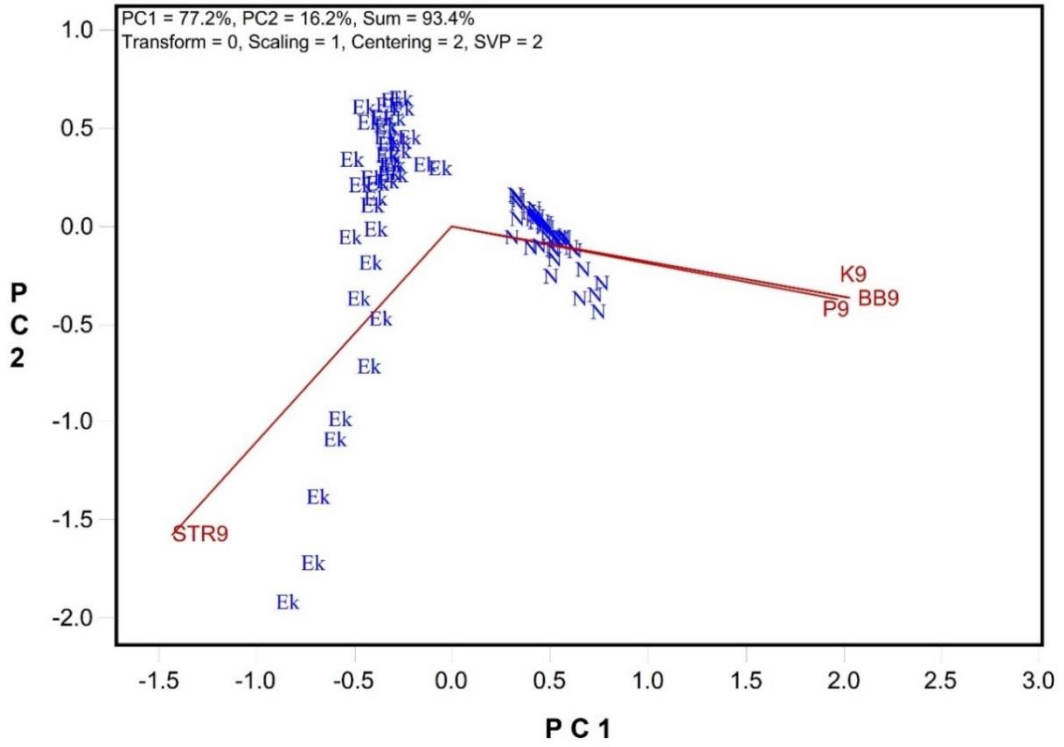
bitkiler yeni çimlenmeye başlamış olup torağı kaplayamamışlardır. Dolayısıyla ekili parsel rüzgâr erozyonuna açık bir durumda olmuş ve sediment akış oranı nadas parseline göre daha fazla olmuştur.



Şekil 4.35 Olay sekiz için ekili ve nadas parsellerinde Biplot grafiği

Çalışmada buğday ekimi ve buğday ekimi sonrası nadasa bırakılan iki parselde bitki boyu, kapalılık, pürüzlülük ve sediment akış oranı değerleri kullanılarak Biplot grafiği oluşturulmuştur (Şekil 4.35). Oluşturulan grafik Olay 8’de %94.6 gibi oldukça yüksek bir oranda varyasyonu açıklamıştır. Olay 8 de Olay 7 ile yakın bir dönemde gerçekleşmiş olup incelenen özellikler de benzerlik göstermiştir. Olay 8’de de kapalılık, bitki boyu ve pürüzlülük nadas parseline yer almışlar ve ekili alanda yer alan sediment akış oranı ile negatif ve önemli ilişki sergilemiştir. Kapalılık, bitki boyu ve pürüzlülük özelliklerinin vektör uzunlukları birbirleri ile çok yakın olurken sediment akış oranının vektör uzunluğu daha uzun olmuştur. Böylece varyasyonun açıklanmasında sediment akış oranı tüm özellikler içerisinde en önemlisi olmuştur. Denemenin üçüncü döneminde meydana gelen Olay 8, 26 Kasım 2019 tarihinde gerçekleşmiştir. Bu tarihte

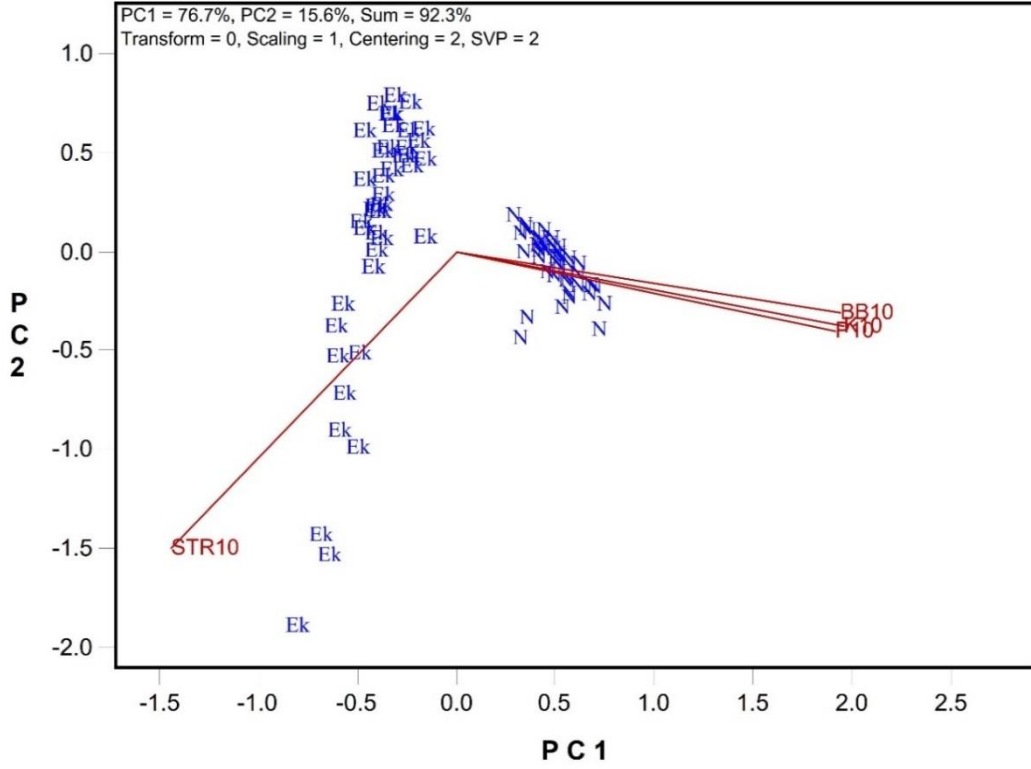
bitkiler toprak yüzeyini kaplamaya başlamış olmalarına rağmen olayın gerçekleştiği tarihte ekili parsel nadas parseline göre oldukça korunaklı durumdadır. Nadas parsesinde bu dönemde nadas artıklarından kaynaklı kapalılık ve ekili alana göre daha iyi durumdaki pürüzlülük bu parseldeki toprak erozyonunu oldukça azaltmıştır.



Şekil 4.36 Olay 9 için ekili ve nadas parsellerinde Biplot grafiği

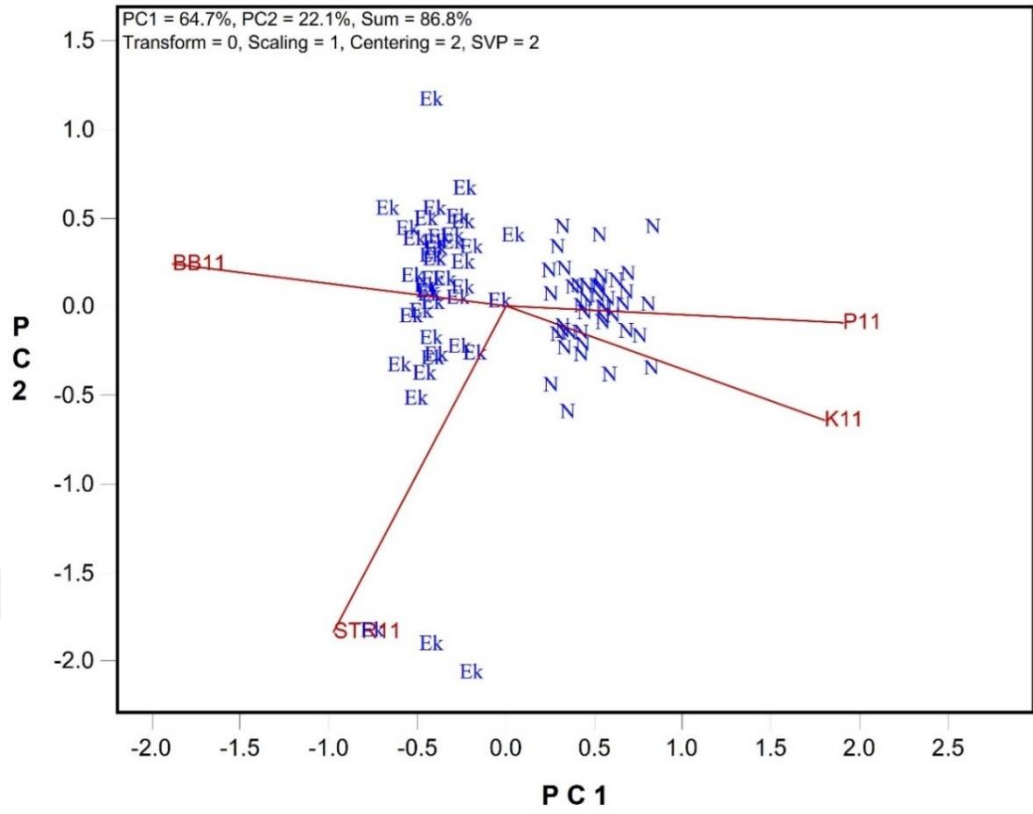
Bitki boyu, kapalılık, pürüzlülük ve sediment akış oranı özelliklerine ait değerler kullanılarak ekili ve nadas parsellerini değerlendirmek amacıyla oluşturulan Biplot grafiği Şekil 4.36'da verilmiştir. Şekil 4.36 incelendiğinde Şekil 4.34 ve Şekil 4.35 ile benzerlik gösterdiği görülmektedir. Olayların olduğu tarihlerin benzer olması incelenen özelliklerin ve Biplot grafiklerinin de benzer olmasına neden olmaktadır. Olay 9'da da Biplot grafiği toplam varyasyonun %93.4 (PC1: %77.2; PC2: %16.2) gibi yüksek bir oranını açıklamıştır. Şekil 4.34 ve 4.35'te olduğu gibi yine kapalılık, bitki boyu ve pürüzlülük pozitif ve önemli bir ilişki sergilemişler ve yine sediment akış oranı ile negatif ve önemli ilişkiler sergilemişlerdir. Üç özellik de nadas parselinde yer almıştır. Ekili parselde ise ekim yapımı için toprak işleme ile toprak düzeltilmiş ve pürüzlülük azaltılmıştır. Olayın gerçekleştiği 23 Aralık tarihinde ekilen buğdayların büyüklüğünün

az olması bitki boyu ve kapalılık ve pürüzlülüğün nadas parselinde daha iyi durumda olmasına neden olmuştur.



Şekil 4.37 Olay10 için ekili ve nadas parsellerinde Biplot grafiği

Ekili ve nadas parsellerinde kapalılık, bitki boyu, pürüzlülük ve sediment akış oranı değerleri kullanılarak Olay 10 için hazırlanan Biplot grafiği Şekil 4.37’de verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi bitki boyu, kapalılık ve pürüzlülük bir grup oluşturmuş ve aralarında oldukça güçlü ve olumlu bir ilişki oluşmuştur. Sediment akış oranı ayrı bir grup oluştururken diğer üç özellik ile de negatif bir ilişki sergilemiştir. Sediment akış oranının vektör uzunluğu kapalılık, pürüzlülük ve bitki boyu özelliklerinden daha uzun olmuş, varyasyonun açıklanması yönünden diğer özelliklere göre daha ön planda olmuştur. Olay döneminde kapalılık ve bitki boyu değerlerinin nadas parselinde yer alması ve sediment akış oranının ekili parselde yer alması ekimi yapılan tohumların hala yeterince gelişmediğini, bitkilerin uzamadığını ve kardeşlenerek toprağı kaplamadığını göstermektedir. Olayın olduğu 6-7 Ocak tarihinde buğdaylar dormansi durumda olup havaların ısınmasıyla ancak büyümeye başlamıştır.



Şekil 4.38 Olay 11 için ekili ve nadas parsellerinde Biplot grafiği

Ekili ve nadas parsellerinde meydana gelen Olay 11 için hazırlanmış Biplot grafiği Şekil 4.38’de verilmiştir. Şekil 4.38’e göre Biplot analizinde PC1 varyasyonun %64.7’sini ve PC2 ise varyasyonun %22.1’ini olmak üzere toplam %86.8’ini açıklamıştır. Biplot grafiğinde incelenen özellikler üç grup oluşturmuştur. Pürüzlülük ve kapalılık birbirleri ile yakın ilişki göstermiş ve nadas parselinde yer almıştır. Bitki boyu kapalılık ve pürüzlülükte negatif ilişki göstermiş ve ekili alanda yer alarak ayrı bir grup oluşturmuştur. Sediment akış oranı ise ekili ve nadas parsellerinin orta kısmında yer alarak ayrı bir grup oluşturmuştur. Çalışmadaki Olay 11, 5 Şubat 2020 tarihinde gerçekleşmiştir. Ekili parselde buğdaylar büyümeye başlamış ve bitki boyu değerleri nadas parselinde biçilerek bırakılan anızların bitki boyundan daha yüksek değerlere ulaşmıştır. Ancak nadas parselindeki gerek anız artıklarının kırılarak yatması gerekse önceki yıldan biçerdöverden dökülen tohumların tekrar çimlenmesiyle büyüyen buğdaylar nadas parselindeki kapalılık oranının artmasına sebep olmuştur. Her iki parselde de sediment akış oranını engelleyici faktörlerin bulunması sediment taşınımının grafikte her iki parselin ortasında yer almasına neden olmuştur.

Biplot analizi, iki yönlü verileri grafiksel olarak görüntüleyen, incelenen özellikler arasındaki karşılıklı ilişkileri görselleştirilmesine izin veren çok değişkenli bir analitik tekniktir (Akcura vd. 2011; Yan 2014). Genellikle satır ve sütunlarda yer alan verilerden hesaplanan PC1 ve PC2 eksenleri üzerinden değerlendirme yapılmaktadır (Yan vd. 2000). Ayrıca Biplot, uygulamaların karşılaştırmasını ve farklı özelliklerin seçimini değerlendirmek için kullanılan bir uygulamadır (Yan ve Kang 2003). Biplot analizi, ekonomi, sosyoloji, tıp, mühendislik, genetik ve tarım gibi birçok farklı bilim dallarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Biplot iki yönlü bir tablo tasarımı olup, satır ve sütun faktörlerini grafiksel olarak göstermektedir. Bu analiz metodunda satır ve sütun faktörlerinin hem tek tek kendi arasındaki ilişkileri hem de ikili interaksiyonları görsel olarak sergilenebilmektedir (Yan ve Tinker, 2006). Biplot analizi araştırmacıların çalışma sonuçlarını yorumlama ve değerlendirme kolaylığı sağlamaktadır (Yan, 2014). Bu çalışmada da incelenen özelliklerin değerlendirilmesinde temel bileşen analizine dayalı biplot grafikleri kullanılmıştır.

Çalışmada biplot grafiğinin toplam varyasyonu açıklama oranı en düşük oran %66.9 ile Olay 5 olurken, varyasyonun açıklandığı en yüksek oran %97.6 ile Olay 1 olmuştur. Bu çalışmadaki en düşük açıklama oranı bile biplot grafikler için oldukça yüksek bir orandır (Muftuoğlu vd. 2019).

Biplot grafiği üzerinde iki özellik vektörü arasındaki açının kosinüs değeri ile bu iki özellik arasındaki korelasyon katsayısı değeri ile oldukça yakın ilişkilidir. Biplot özellikler arası ilişkileri karşılaştırmak için son yıllarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Özellikler arası ilişkiyi inceleme için oluşturulmuştur. Biplot grafiğinde özellikler arası ilişkileri yorumlarken özelliklerin grafik üzerinde bulunduğu konuma göre korelasyon katsayılarına benzer ilişkiler görülebilmektedir. Biplot grafiği üzerinde birbirine yakın konumda olan özellikler birbirine benzemektedir ve birbiri ile pozitif ilişki içinde olurken açı genişledikçe özellikler arasındaki ilişki negatife dönüşmektedir (Yan ve Rajcan 2002). Çalışmadaki olaylarda genellikle bitki boyu ve kapalılık pozitif ilişki gösterirken, bitki boyu ve kapalılık ile sediment akış oranı negatif ilişki göstermiştir. Yapılan birçok çalışmada bitki boyu ve kapalılık arasında pozitif ilişki bulunurken, bu özelliklerle sediment akış oranı arasında negatif ilişki olduğu

bildirilmiştir. Ayrıca Biplot grafiğinde vektör uzunlukları kısa olan özellikler varyasyonun açıklanmasında ayırma gücü düşük özellikler olmaktadır (Yan 2014). Çalışmada incelen özellikler içinde sediment akış oranı birçok olayda ayırma gücü en düşük özellik olmuştur.

Arazi ölçümlerinin oldukça pahalı ve zaman alıcı yapısı düşünüldüğünde kolaylıkla ölçülebilen faktörler aracılığı ile toprak kayıplarının tahmin etmek çok önemlidir. Farklı modelleri kullanarak dolaylı bir değerlendirme yapılması, önemli bileşenlerin görselleştirilerek toprak kayıpları kavramının daha anlaşılır olmasını sağlayabilmektedir.

4.7 Yapay Zekâ Sonuçları

Toprak erozyonunun değerlendirilmesi uzun vadeli toprak koruma planları için oldukça önemlidir. Geleneksel ve doğrudan ölçümler kesin toprak kayıplarını belirlemede en doğru yöntem olsa da bu prosedür geniş bir alana uygulandığında oldukça maliyetli ve zaman alıcıdır. Son zamanlarda, toprak kayıpları üzerinde etkili parametrelerin belirlenmesi ve kayıp oranlarının tahmin edilmesi amacıyla bazı yapay zekâ algoritmalarının işlevliliği test edilmiştir. Bu çalışmada sediment akış oranı, pürüzlülük, kapalılık ve bitki boyu özellikleri literatürde yaygın olarak kullanılan algoritmalar ile değerlendirilmiştir.

Nadas alanlarındaki parametreler için özellik seçiminde kullanılan PCA'nın özellikleri şu şekildedir; 0.95 önem seviyesinde, Ranker search metodu, 42 örnek sayısı, 13 özellik (NKK8, NKK9, NKK10, NKK11, NBB7, NBB9, NBB10, NP6, NP7, NP8, NP9, NP1, NSTR9). Özdeğer değerleri, oranları, kümülatif toplamaları, ranked özellikleri ve ranked oranları Çizelge 4.20'de verilmiştir. Özdeğer (eigenvalue) ne kadar yüksekse, fonksiyon bağımlı değişkeni o kadar doğru açıklamaktadır. Parametrelerle ilgili özvektör değerleri ise Çizelge 4.21'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.20 Nadas alanı kullanılan parametrelere ait özellikler

Özdeğer	Oran	Kümülatif toplam	Ranked Özellikleri	Ranked oranı
328.506	0.27376	0.27376	-0.44NP6-0.42NP7-0.359NKK8-0.359NKK9-0.346NP8...	0.7262
291.705	0.24309	0.51684	-0.536NBB9-0.532NBB10-0.517NBB7+0.18 NKK8+0.18 NKK9...	0.4832
227.932	0.18994	0.70679	0.571NKK11+0.53 NKK10-0.356NKK8-0.356NKK9+0.267NP8...	0.2932
139.532	0.11628	0.82306	-0.52NP9+0.432NP8+0.423NP10-0.355NKK10+0.34 NP7...	0.1769
0.90308	0.07526	0.89832	-0.52NP9+0.419NKK8+0.419NKK9+ 0.345NKK10-0.311NP6...	0.1017
0.68005	0.05667	0.95499	0.728NP10+0.625NP9+0.136NKK8+0.136NKK9-0.129NP6...	0.0450

Çizelge 4.21 Nadas alanında kullanılan parametrelere ait özvektör değerleri

Parametre	Özvektörler					
	V1	V2	V3	V4	V5	V6
NKK8	-0.3594	0.1803	-0.356	-0.1201	0.4193	0.1359
NKK9	-0.3594	0.1803	-0.356	-0.1201	0.4193	0.1359
NKK10	-0.0919	0.028	0.5303	-0.3546	0.3449	-0.0989
NKK11	-0.0638	0.0955	0.5713	-0.2711	0.2298	0.068
NBB7	-0.2421	-0.5167	0.007	-0.0334	0.0158	-0.046
NBB9	-0.2157	-0.5356	-0.0088	-0.0383	0.0138	0.0077
NBB10	-0.2227	-0.5316	-0.0127	-0.0378	0.0271	0.0012
NP6	-0.4405	0.1723	0.1585	0.1263	-0.3112	-0.1287
NP7	-0.4205	0.1379	0.1265	0.3395	-0.1907	0.031
NP8	-0.3458	0.1172	0.2671	0.4321	0.0177	0.0868
NP9	-0.1652	0.0688	-0.0204	-0.5204	-0.5201	0.6252
NP10	0.2381	-0.1469	0.1603	0.4234	0.2671	0.7284

Ekili alanlardaki parametreler için özellik seçiminde kullanılan PCA'nın özellikleri şu şekildedir; 0.95 önem seviyesinde, Ranker search metodu, 42 örnek sayısı, 15 özellik (EKK1, EKK2, EKK3, EKK4, EKK5, EBB1, EBB2, EBB3, EP2, EP3, EP4, EP5, EP6, EP7, ESTR4). Öznitelik değerleri, oranları, kümülatif toplamaları, ranked özellikleri ve ranked oranları Çizelge 4.22'de verilmiştir. Parametrelerle ilgili özvektör değerleri ise Çizelge 4.23'te gösterilmiştir.



Çizelge 4.22 Ekili alan kullanılan özelliklere ait değerler

Özdeğer	Oran	Kümülatif toplam	Ranked Özellikleri	Ranked oranı
382.852	0.27347	0.27347	-0.394EBB2-0.378EBB1-0.356EP7-0.315EP6-0.309EKK2...	0.7265
208.145	0.14867	0.42214	-0.425EKK1-0.384EP6-0.375EKK3-0.367EP4-0.358EP7...	0.5779
186.336	0.1331	0.55524	0.484EP5+0.482EKK5+0.404EP4+0.265EKK2-0.25EP2...	0.4448
134.386	0.09599	0.65123	-0.723EP3+0.399EKK1-0.287EBB3+0.245EP5+0.233EKK2...	0.3488
11.523	0.08231	0.73353	0.535EP2-0.411EKK2+0.349EBB1+0.317EBB2+0.292EP3...	0.2665
0.98167	0.07012	0.80365	0.531EP2+0.383EKK3-0.334EP5-0.303EBB1+0.269EKK1...	0.1963
0.85716	0.06123	0.86488	-0.441EKK3+0.392EP6+0.373EP7+0.313EP2-0.291EBB2...	0.1351
0.64937	0.04638	0.91126	0.644EKK4-0.353EKK2-0.352EP2-0.338EBB3-0.306EP4...	0.0887
0.42281	0.0302	0.94146	-0.569EBB3-0.524EKK1+0.377EKK2+0.331EP4+0.243EKK4...	0.0585
0.30474	0.02177	0.96323	-0.616EKK5+0.447EBB3+0.377EKK4+0.293EP4+0.27 EP2...	0.0368

Çizelge 4.23 Ekili alanda kullanılan parametrelere ait özvektör değerleri

Olay	Özvektörler									
	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10
EKK1	-0.1724	-0.4251	0.0248	0.3991	0.0999	0.2691	-0.1765	0.2300	-0.524	-0.0099
EKK2	-0.3094	0.0272	0.2650	0.2328	-0.411	0.1701	0.0329	-0.3534	0.3765	-0.0376
EKK3	-0.2521	-0.3755	0.1139	-0.1485	0.0427	0.3835	-0.4407	0.0723	0.1785	0.1602
EKK4	-0.3066	0.2463	0.1113	-0.0758	-0.0917	0.2171	0.2908	0.6439	0.2431	0.3770
EKK5	-0.2248	0.2056	0.4819	0.0490	0.1455	0.2576	0.2158	-0.0572	-0.1308	-0.6161
EBB1	-0.3784	0.1993	-0.0788	0.1829	0.3495	-0.3029	-0.2474	-0.0028	0.1362	0.0824
EBB2	-0.3941	0.2114	-0.0708	0.1229	0.3168	-0.2629	-0.2912	-0.0673	0.0763	-0.0661
EBB3	-0.2977	0.1822	0.2482	-0.2874	-0.2566	-0.1215	-0.0228	-0.3378	-0.5691	0.4468
EP2	0.0246	0.1947	-0.2497	0.0095	0.5353	0.5306	0.3127	-0.3523	-0.0467	0.2696
EP3	0.0202	-0.0598	0.2380	-0.7234	0.2921	-0.0029	-0.1585	0.1102	0.0156	-0.1723
EP4	0.1829	-0.3667	0.4038	0.0634	0.2232	-0.0803	0.0229	-0.3062	0.3310	0.2935
EP5	0.1374	-0.0715	0.4838	0.2448	0.2801	-0.3344	0.2822	0.2096	-0.1142	0.1905
EP6	-0.3149	-0.3842	-0.2244	-0.1292	0.0009	-0.2151	0.3923	-0.0469	-0.0043	-0.0857
EP7	-0.3562	-0.3581	-0.1795	-0.1454	0.0336	-0.1282	0.3727	-0.0668	0.0473	-0.0905

4.7.1 Sediment akış oranının tahmin edilmesi

Modeller nadas ve buğday ekili parseller için 3 farklı parametreden alınan verilere dayanılarak oluşturulmuştur. Sediment akış oranı için tasarlanan MLP yapısı Çizelge 4.25'te verilmiştir. Sonuçlar çoğunlukla nadas parselinde Olay 9 (NSTR)'a ve ekili parselde Olay 4 (ESTR4)'e ait tahminlerin performansları üzerinden tartışılmıştır. Sediment akış oranının tahmin edilmesi amacıyla tüm verilerin %66'sı eğitim (train), kalanı ise test için kullanılmıştır. Nadas alanından 504 adet veri, ekili alandan ise 588 adet veri seti yüzdelik bölünme (percentage split) esasına göre bölünmüştür. MLP, RF ve GP algoritmaları ile Sediment akış oranının tahminine ait sonuçlar Çizelge 4.25'te verilmiştir. En iyi tahmini sağlayan kriterler yüksek korelasyon katsayısına ve düşük kök ortalama kare hatası (RMSE), ortalama mutlak hata (MAE), bağıl mutlak hata (RAE) ve kök bağıl kare hatasına (RRSE) sahip olan algoritmadır. Nadas alanında meydana gelen Olay 9'da sediment akış oranına ait korelasyon katsayısı (r) MLP, RF ve GP için sırasıyla -0.7533, -0.6316 ve -0.5294 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.25). Ekili alanda ise Olay 4'e ait sediment akış oranı verileri için hesaplanan korelasyon katsayıları her bir yapay zekâ algoritması için sırasıyla -0.6616, -0.3162 ve -0.4403 olarak saptanmıştır. Araştırma sonuçlarına göre MLP algoritmasının sediment akış oranının tahmin edilmesinde en yüksek korelasyon katsayısına sahip olduğu belirlenmiştir. Yapay zekâ algoritmaları genel olarak matematiksel olarak pratik olduğu için RMSE değerini kullanmaktadır. Diğer algoritmalarla kıyaslandığında en düşük RMSE değeri RF algoritmasında gözlemlenmiştir. NSTR ve ESTR için seçilen MLP, RF ve GP algoritmalarının MAE değerleri sırasıyla 0.0129; 0.0236, 0.0059; 0.0070 ve 0.0095; 0.0097. Nadas ve ekili parsellerde sediment akış oranının tahmini için MLP'nin PCA'dan önceki ve sonraki yapısı sırasıyla Şekil 4.39, Şekil 4.40, Şekil 4.41 ve Şekil 4.42'de verilmiştir. Ağ topolojisi tahmin türü üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu için MLP'lerin tasarımında ana parametredir. Bu topolojide gizli katmanların, döngülerin ve nöronların sayısı MLP tasarımında oldukça önemlidir. Gizli katmandaki nöron sayısının düşük olması ağı boyutunda bir azalmaya ve ağ öğrenme hızında artışa yol açması yönünden tercih edilmektedir.

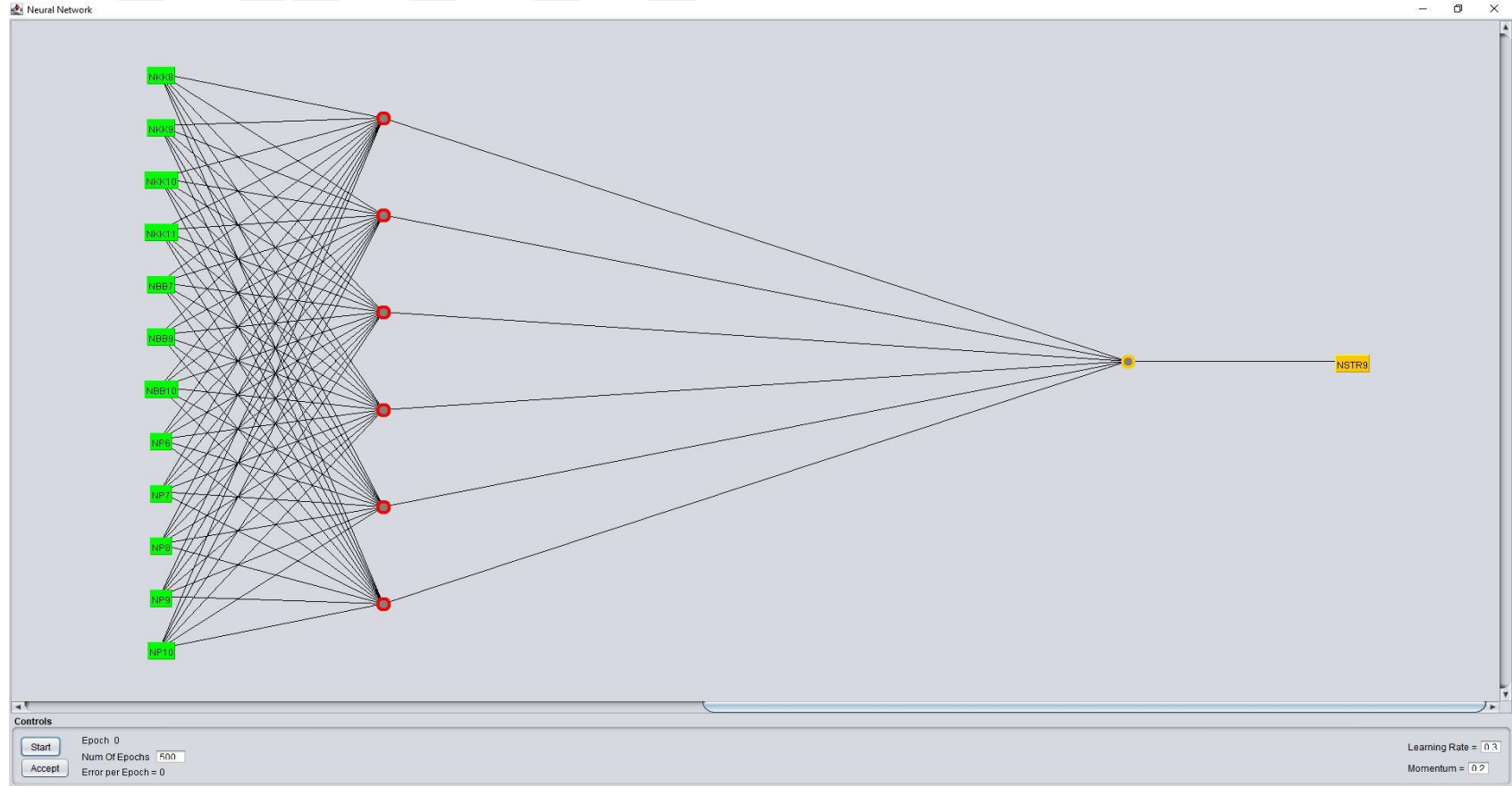
Çizelge 4.24 Sediment akış oranı için tasarlanan çok katmanlı algılayıcı yapısının sinir ağıları parametreleri*

ANN tipi	η	α	NoE	n_i	n_h	n_o	g (.)	Girdi	Çıktı	Toplam
MLP	0.3	0.2	500	12	6	1	sigmoid	NBB, NKK, NP	NSTR9	504
MLP	0.3	0.2	500	14	7	1	sigmoid	EBB, EKK, EP	ESTR4	588

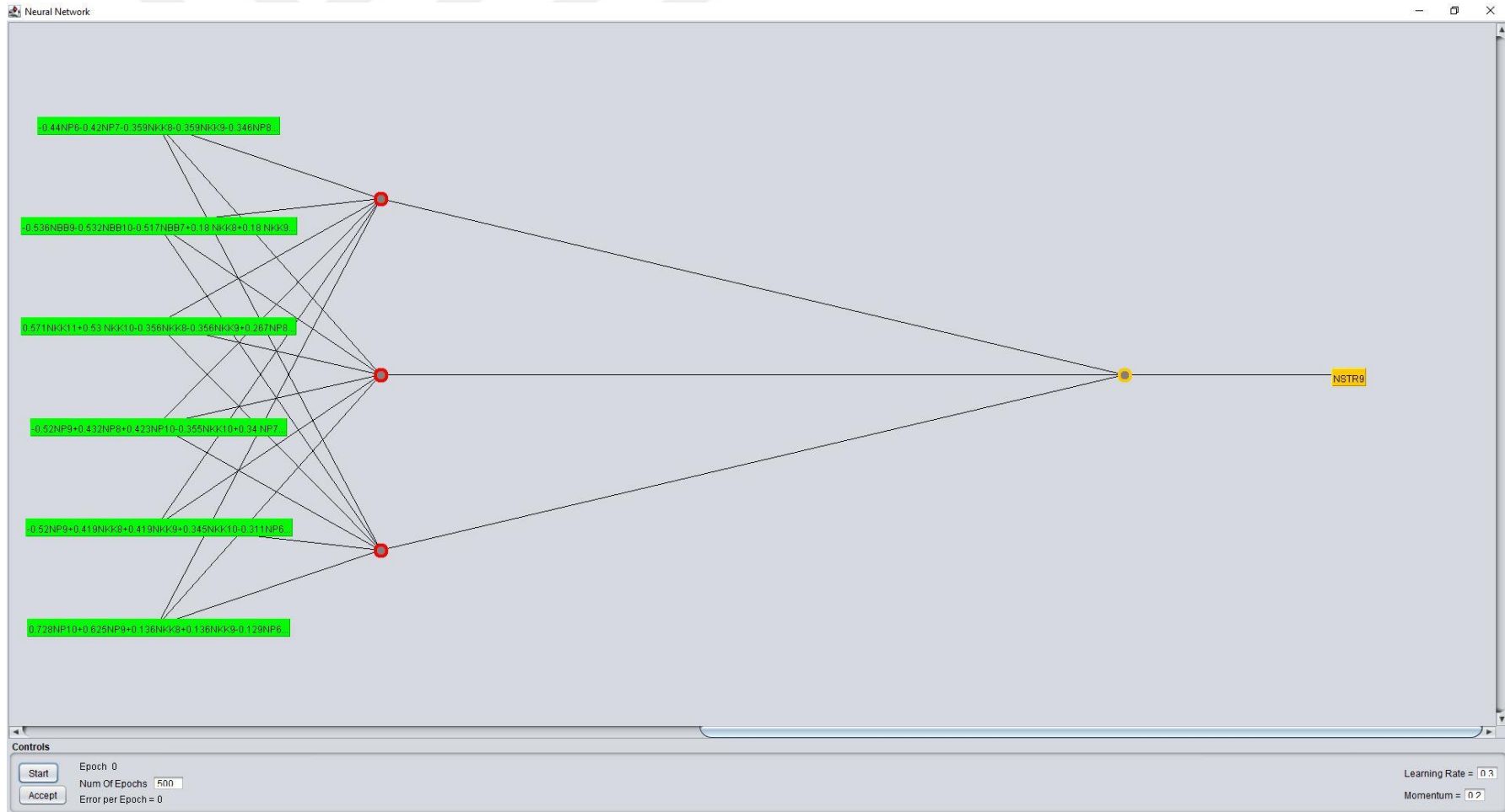
* η : öğrenme oranı; α : momentum; NoE: döngü sayısı; n_i : girdi sayısı; n_h : gizli katman sayısı; n_o : çıktı katman sayısı; g (.): aktivasyon fonksiyonu; N:Nadas; E: Ekili; BB: bitki boyu; KK: Kapalılık; P: Pürüzlülük; STR: Sediment akış oranı

Çizelge 4.25 Sediment akış oranı için yapay zekâ algoritmalarının tahmin performans sonuçları

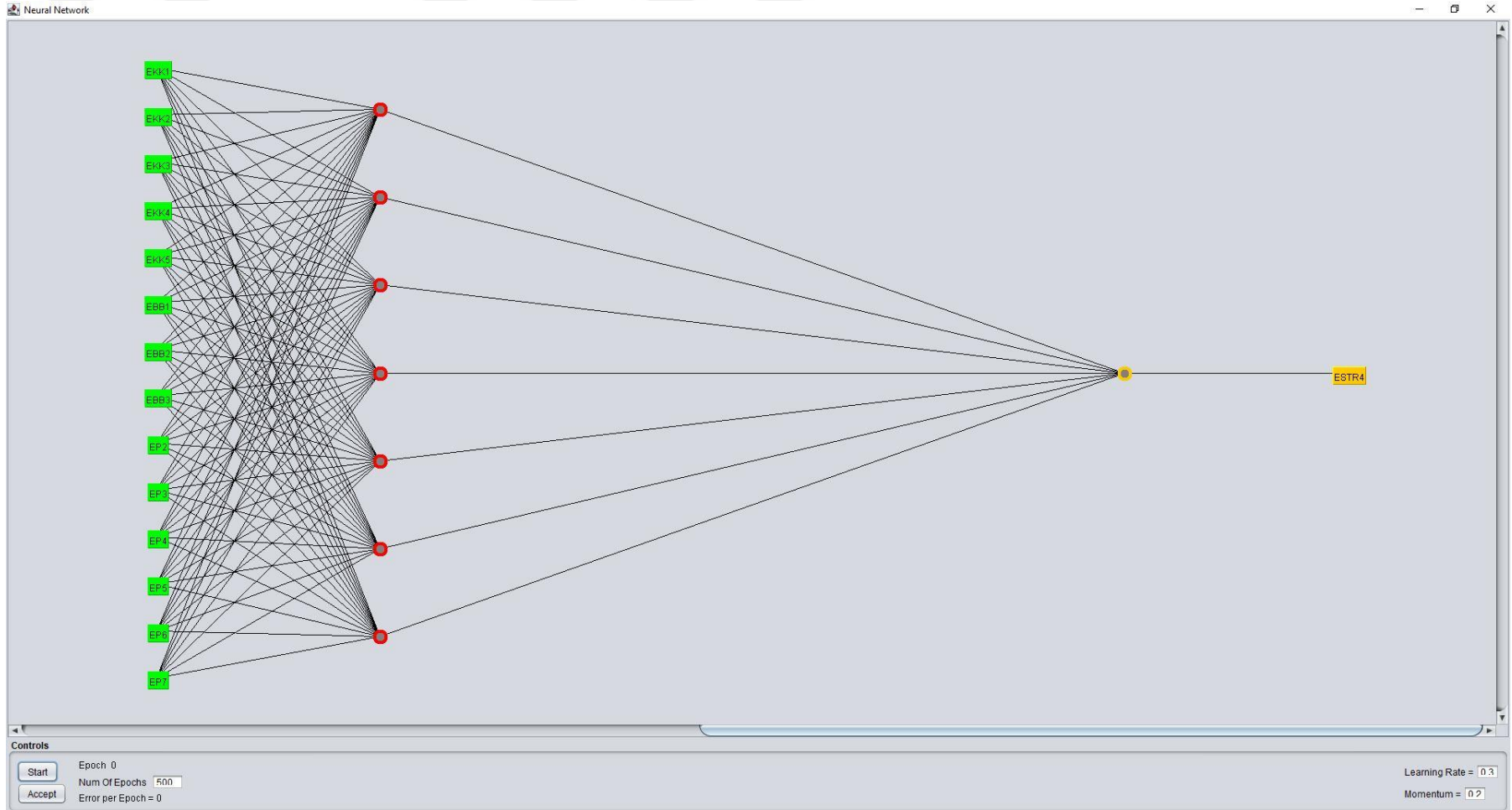
Nadas Sediment Akış Oranı 9						Ekili Sediment Akış Oranı 4				
Model	r	MAE	RMSE	RAE	RRSE	r	MAE	RMSE	RAE	RRSE
MLP	-0.7533	0.0129	0.0219	206.4016	338.9582	-0.6616	0.0236	0.0392	261.3863	221.2854
RF	-0.6316	0.0059	0.0067	94.1996	104.2630	-0.3162	0.0095	0.0181	105.0041	102.5551
GP	-0.5294	0.0070	0.0087	99.9879	99.9954	-0.4403	0.0097	0.0189	107.7789	106.8232



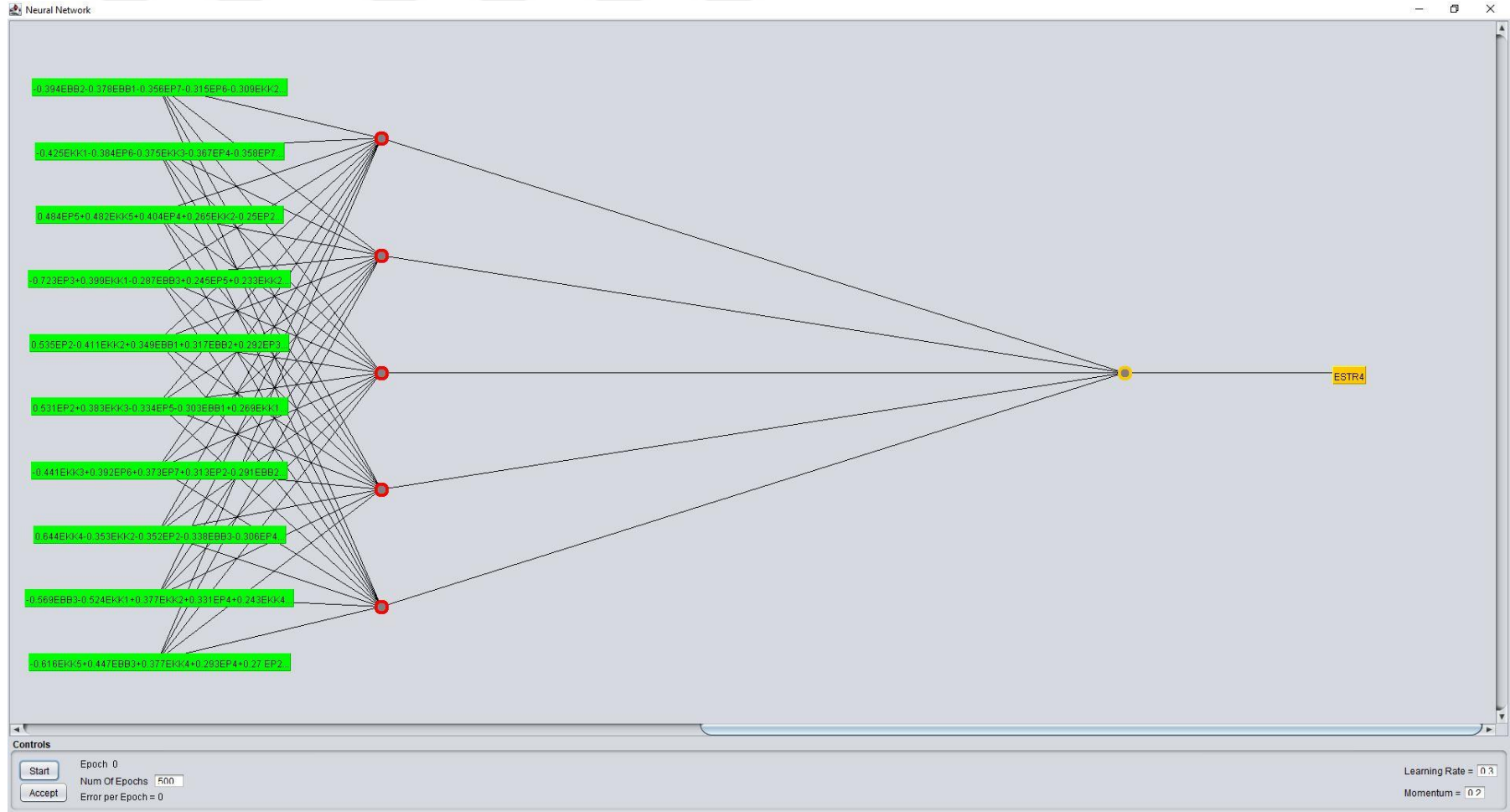
Şekil 4.39 Nadas parselinde sediment akış oranının tahmini için çok katmanlı algılayıcı modelinin yapısı



Şekil 4.40 Nadas parselinde sediment akış oranının tahmini için PCA'dan sonra oluşan çok katmanlı algılayıcı modelinin yapısı



Şekil 4.41 Ekili parselde sediment akış oranının tahmini için çok katmanlı algılayıcı modelinin yapısı



Şekil 4.42 Ekili parselde sediment akış oranının tahmini için PCA'dan sonra oluşan çok katmanlı algılayıcı modelinin yapısı

4.7.2 Bitki Boyunun tahmin edilmesi

Bitki boyu değerlerinin tahmin edilmesi amacıyla tüm verilerin %66'sı eğitim (train), kalanı ise test için kullanılmıştır. Bitki boyu değerlerinin tahmini için kullanılan nadas parseline ait 1680 veri ve ekili parsele ait 1722 veri yüzdelik bölünme esasına göre bölünmüştür. Bitki boyu için tasarlanan MLP yapısı Çizelge 4.26'da verilmiştir. MLP, RF ve GP algoritmalarına göre bitki boyu tahmin sonuçları Çizelge 4.27'de verilmiştir. Bitki boyunun tahmin edilmesinde tüm temel öğreniciler performans parametrelerini iyi bir “r” değeri ile gerçekleştirmiştir. Nadas alanı Olay 6 (NBB6) ve Olay 7 (NBB7)'ye ait bitki boyu tahminleri için en yüksek korelasyon katsayısı MLP algoritması ile elde edilmiş olup değerler sırasıyla 0.9543 ve 0.9669'dır. Nadas parseli En düşük RMSE değerleri NBB6'da MLP'de NBB7'de ise RF'de elde edilmiştir. Buğday ekili parselde ise Olay 8 ve 9'a ait bitki boyu tahminleri için en yüksek korelasyon katsayısı MLP algoritması ile elde edilmiş olup değerler sırasıyla 0.8098 ve 0.9768'dir. Ekili parselde hem Olay 8 hem de Olay 9'a ait bitki boyu değerlerinin tahmininde en düşük RMSE değerleri MLP algoritması ile hesaplanmıştır. Yapay zekâ algoritmaları arasında bitki boyu tahmini için en düşük “r” değerleri GP algoritması ile elde edilmiştir.

Çizelge 4.26 Bitki boyu için tasarlanan Çok Katmanlı Algılayıcı model yapısının sinir ağıları parametreleri*

ANN tipi	η	α	NoE	n_i	n_h	n_o	g (.)	Girdi	Çıktı	Toplam
MLP	0.3	0.2	500	40	20	2	sigmoid	NBB, NKK, NP, NSTR	NBB6, NBB7	1680
MLP	0.3	0.2	500	41	21	2	sigmoid	EBB, EKK, EP, ESTR	EBB8, EBB9	1722

* η : öğrenme oranı; α : momentum; NoE: döngü sayısı; n_i : girdi sayısı; n_h : gizli katman sayısı; n_o : çıktı katmanı sayısı; g (.): aktivasyon fonksiyonu; N:Nadas; E: Ekili;

BB: bitki boyu; KK: Kapalılık; P: Pürüzlülük; STR: Sediment akış oranı

Çizelge 4.27 Bitki boyu için yapay zekâ algoritmalarının tahmin performans sonuçları

Nadas Bitki Boyu 6						Nadas Bitki Boyu 7				
Model	r	MAE	RMSE	RAE	RRSE	r	MAE	RMSE	RAE	RRSE
MLP	0.9543	0.6273	1.0061	37.8329	45.9104	0.9669	0.5186	0.7265	30.9907	33.0883
RF	0.9235	0.5182	1.0474	31.2523	47.7966	0.9122	0.5075	1.0693	30.3262	48.6990
GP	0.8919	0.9207	1.1830	55.5266	53.9852	0.6760	1.2810	2.1964	76.5458	100.0290
Ekili Bitki Boyu 8						Ekili Bitki Boyu 9				
Model	r	MAE	RMSE	RAE	RRSE	r	MAE	RMSE	RAE	RRSE
MLP	0.8908	1.3671	1.7147	68.3543	51.9793	0.9768	0.6502	0.8108	31.4996	23.7144
RF	0.7947	1.5357	2.7592	76.7857	83.6391	0.8452	1.6054	2.3337	77.7701	68.2566
GP	0.7859	1.5893	2.5061	79.4664	75.9687	0.7238	1.6600	2.9014	80.4144	84.8598

4.7.3 Kapalılığın tahmin edilmesi

Kapalılık değerlerinin tahmin edilmesi amacıyla tüm verilerin %66'sı eğitim (train), kalanı ise test için kullanılmıştır. Kapalılık değerlerinin tahmini için kullanılan nadas parseline ait 1680 veri ve ekili parsele ait 1722 veri yüzdelik bölünme esasına göre bölünmüştür. Kapalılık için tasarlanan MLP modelinin yapısı Çizelge 4.28'de verilmiştir. MLP, RF ve GP algoritmalarına göre kapalılık tahmin sonuçları Çizelge 4.29'da verilmiştir. Nadas parseli ve ekili parselde meydana gelen Olay 9'a ait kapalılık değerlerinin tahmininde en yüksek korelasyon katsayısı nadas için RF algoritması ile, ekili parsel için MLP algoritması ile hesaplanmıştır. Bununla birlikte en düşük RMSE, MAE, RAE ve RRSE değerleri MLP algoritması ile elde edilmiştir. Nadas ve Ekili alanlarda kapalılık parametresinin tahmini için en düşük korelasyon katsayısı değerleri GP algoritmasında bulunmuştur. Olay 9'da en yüksek RMSE değerleri nadas parseli için GP algoritmasında, ekili parsel tahminleri için ise RF algoritmasında elde edilmiştir.

Çizelge 4.28 Kapalılık için tasarlanan Çok Katmanlı Algılayıcı yapısının sinir ağıları parametreleri

ANN tipi	η	α	NoE	n_i	n_h	n_o	$g(.)$	Girdi	Çıktı	Toplam
MLP	0.3	0.2	500	40	20	1	sigmoid	NBB, NKK, NP, NSTR	NKK9	1680
MLP	0.3	0.2	500	41	21	1	sigmoid	EBB, EKK, EP, ESTR	EKK9	1722

* η : öğrenme oranı; α : momentum; NoE: döngü sayısı; n_i : girdi sayısı; n_h : gizli katman sayısı; n_o : çıktı katmanı sayısı; $g(.)$: aktivasyon fonksiyonu; N:Nadas; E: Ekili; BB: bitki boyu; KK: Kapalılık; P: Pürüzlülük; STR: Sediment akış oranı

Çizelge 4.29 Kapalılık için yapay zekâ algoritmalarının tahmin performans sonuçları

Nadas Kapalılık 9						Ekili Kapalılık 9				
Model	r	MAE	RMSE	RAE	RRSE	r	MAE	RMSE	RAE	RRSE
MLP	0.8824	2.4380	3.4421	43.9605	47.5257	0.9744	1.3701	1.8559	24.8875	24.6645
RF	0.9193	2.7836	4.6043	50.1914	63.5721	0.9588	3.4893	4.6291	63.3828	61.5206
GP	0.9099	5.2074	6.6975	93.8968	92.4732	0.9112	2.6252	3.3484	47.6874	44.5003

4.7.4 Pürüzlülüğün tahmin edilmesi

Pürüzlülük değerlerinin tahmin edilmesi amacıyla tüm verilerin %66'sı eğitim (train), kalanı ise test için kullanılmıştır. Pürüzlülük değerlerinin tahmini için kullanılan nadas parselinden 1680 adet veri ve ekili parselden 1722 adet veri yüzdelik bölünme esasına göre bölünerek kullanılmıştır. Nadas ve ekili parselde pürüzlülük değerlerinin tahmini için tasarlanan MLP yapısı Çizelge 4.30'da verilmiştir. MLP, RF ve GP ile kapalılık değerlerinin tahmin sonuçları Çizelge 4.31'de görülmektedir. Nadas parselinde pürüzlülük için korelasyon değerleri diğer parametrelere göre daha düşük seviyelerde bulunmuştur. Nadas parseli Olay 7 (NP7)'ye ait pürüzlülük değerleri için en iyi korelasyon değeri 0.6699 ile GP algoritmasından elde edilmiştir. Bununla birlikte en düşük MAE, RMSE, RAE ve RRSE değerleri RF algoritmasında tespit edilmiştir. Ekili alanlarda pürüzlülük tahmininde en iyi sonuçlar Olay 11 (EP11) pürüzlülük sonuçları belirlenmiştir. Buna göre en yüksek korelasyon katsayısını MLP algoritması sağlarken bu durumu en düşük MAE ve RMSE değeriyle yine MLP desteklemiştir.

Çizelge 4.30 Pürüzlülük için tasarlanan Çok Katmanlı Algılayıcı yapısının sinir ağıları parametreleri

ANN tipi	η	α	NoE	n_i	n_h	n_o	$g(.)$	Girdi	Çıktı	Toplam
MLP	0.3	0.2	500	40	20	1	sigmoid	NBB, NKK, NP, NSTR	NP7	1680
MLP	0.3	0.2	500	41	21	1	sigmoid	EBB, EKK, EP, ESTR	EP11	1722

* η : öğrenme oranı; α : momentum; NoE: döngü sayısı; n_i : girdi sayısı; n_h : gizli katman sayısı; n_o : çıktı katmanı sayısı; $g(.)$: aktivasyon fonksiyonu; N:Nadas; E: Ekili; BB: bitki boyu; KK: Kapalılık; P: Pürüzlülük; STR: Sediment akış oranı

Çizelge 4.31 Pürüzlülük için yapay zekâ algoritmalarının tahmin performans sonuçları

Nadas Pürüzlülük 7						Ekili Pürüzlülük 11				
Model	r	MAE	RMSE	RAE	RRSE	r	MAE	RMSE	RAE	RRSE
MLP	0.6177	0.7424	1.1010	107.4607	129.2798	0.9613	0.0463	0.0584	25.4023	27.9578
RF	0.6576	0.6238	0.7330	90.3031	86.0663	0.8864	0.1157	0.1327	63.4971	63.4707
GP	0.6699	0.6742	0.8146	97.5962	95.6499	0.8653	0.0912	0.1107	50.0961	52.9732

Araştırma sonuçları erozyon duyarlılığı ile ilgili yapılan çalışmada MLP algoritmasını kullanan ve aşınabilirliği 0.89-0.87 R^2 değerleriyle açıklayan çalışma ile uyumludur (Kouchami-Sardoo vd. 2020). ANN ve SVM algoritmalarını kullanarak toprak agregatlarının geometrik ortalama çapının tahmin edildiği çalışmada araştırmacılar ANN algoritmasının tahmin başarısının daha iyi olduğunu (R^2 0.80) ifade etmişlerdir. Yapay zekâ algoritmalarında modellerin beslenebilmesi için mümkün olduğunca fazla sayıda girdi ve veriye ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun sonucunda modellerin daha başarılı ve güvenilir tahminler yapması sağlanmaktadır. Deneme alanında tahmin sürecinde kullanılan tüm özelliklere ait veriler her bir arazi kullanımı ve her bir parsel için 42 noktadan elde edilmiştir. Tüm özelliklere ait verilerin sınırlı sayıda olması, test edilen ve tahmin için kullanılan verilerin sayısını da sınırlamaktadır. Buna rağmen elde edilen sonuçlar iyi aralıklarda olup yapay zekâ algoritmalarının rüzgâr erozyonu kaynaklı toprak kayıplarının tahmin edilmesi amacıyla kullanılmasında umut verici sonuçlar bulunmasını sağlamıştır.

Klasik istatistiksel yöntemlerin aksine yapay sinir ağlarının, değişkenler arasındaki doğrusal olmayan ilişkilerin dinamiğini öğrenebilmesi arazi koşullarında rüzgâr erozyonuna sebep olan faktörler arasındaki karmaşık ilişkiden dolayı oldukça önemlidir. Yapay sinir ağı modeli hata miktarını azaltmak için optimizasyon algoritmasına dayalı olarak onları ayarlayabilen ve tahmin problemlerini çözmek için diğer istatistiksel yöntemlerden daha iyi yetenekler sağlayan birçok parametreye sahip olduğu için avantajlı bir yöntemdir. Özelliklerin tahmin edilmesinde hesaplanan istatistiksel doğrulama kriterlerinin kabul edilebilir seviyelerde olması modellerin uygun performansının bir göstergesidir. Çalışmada sediment akış oranı sınıflandırmada RF, MLP ve GP olurken dört farklı parametredeki olayların tahmin edilmesinde ise yine MLP ön plana çıkmıştır. Elde edilen bulgular benzer özellikler taşıyan parametrelerin sınıflandırılmasına ve tahmin edilmesine referans olabilecek potansiyel taşımaktadır.

5. SONUÇ

Toprak erozyonu çevrenin sürdürülebilirliğini ve toprak verimliliğini tehdit ederek gıda güvenliğini etkileyen temel toprak bozulması olaylarından biridir. İklim koşulları, toprak özellikleri, bitki varlığı ve arazi kullanımı özellikle tarım alanlarında toprakların erozyon duyarlılığını etkileyen en önemli parametrelerdir. Bu anlamda erozyonu ve süreçlerini anlamak etkili toprak koruma stratejilerinin geliştirilebilmesi açısından oldukça önemlidir. İnsanoğlunun günümüz ve gelecek nesillerin gıda güvenliğini ve sürdürülebilirliğini sağlamak gibi önemli bir görevi vardır. Yoksulluk ve açlık olmadan, sağlıklı ve yüksek refah düzeyinde sürdürülebilir bir nesle sahip olabilmek, topraklara sahip çıkılması ve üzerindeki baskıların araştırılarak önlemlerin alınması ile mümkün olabilir. Toprakların tüm canlılar için yeri değiştirilemez bir öneme sahip olması ve gelecek on yıl içerisinde doğal nedenler ve insan faaliyetleri sonucu yok olmasını ya da bozulmasını engellemek amacıyla alınması gereken önlemler göz önüne alındığında, arazi tahribatının dengelenmesine katkı sağlayacak çalışmaların önemi ortaya çıkmaktadır. Bu katkıları sağlayacak risk haritalarının hazırlanmasına yönelik araştırmalara günümüzde ve gelecekte yürütülecek çalışmalarda hep ihtiyaç olacaktır.

Bu çalışma kapsamında Orta Anadolu'da yarı kurak koşullarda nadas ve ekili alan olmak üzere iki farklı arazi kullanımı türünde rüzgâr erozyonu ile toprak ve bitki parametreleri ölçülmüştür. Deneme süresince on bir adet rüzgâr erozyonu olayı kaydedilmiştir. Rüzgâr erozyonu doğrudan ölçüm sonuçlarına göre kurak koşullarda toprak kaybını teşvik eden en önemli sebeplerden birisi arazi yüzeyinin aşındırıcı rüzgârlara karşı çıplak kalmış olmasıdır. Özellikle sonbahar döneminde kışlık buğday ekiminin yapıldığı ekili arazilerde tohum yatağı hazırlığında yoğun toprak işleme faaliyetleri bitki örtüsünden yoksun bu arazileri rüzgâr erozyonuna oldukça duyarlı hale getirmiştir. İlkbahar döneminde ise yabancı ot ve su muhafazası için nadasa bırakılmış nadas arazilerinin ilkbahar sürümünde ortaya çıkan gevşek materyalle birlikte şiddetli rüzgârlara maruz kalarak toprak kayıpları ile sonuçlanmasının kaçınılmaz olduğu görülmüştür.

Ölçülen toprak ve bitki parametreleri RWEQ ve SWEEP modelinin performansının test edilmesinde kullanılmışlardır. Orijinal RWEQ arazi kullanım türlerinde toprak kayıplarını yeterince tahmin edemezken kalibre edilmiş RWEQ_{kalibre} daha iyi sonuçlar vermiştir. SWEEP model ise bu koşullarda toprak kayıplarını tahmin etmede yetersiz kalmıştır. RWEQ'in arazi koşullarında toprak kayıplarını daha düşük ya da daha yüksek tahmin etmesi, ortalama toprak kayıplarını hesaplamak için kullandığı toplam taşınan toprak miktarını yanlış hesaplamasından ileri geldiği düşünülmektedir. Uygulanan kalibrasyon parametreleri bu modelin başarısını nispeten arttırmıştır. SWEEP model ise çalıştığı her bir parametrenin değişiminden oldukça etkilenmektedir.

Toprak özelliklerinin konumsal ve zamansal değişkenliği ile rüzgâr etkili toprak hareketlerinin konumsal ve zamansal değişimi göz önüne alındığında modellerin belirli bir olay için doğrudan ölçümlerle tam olarak eşleşecek tahminler vermesi olası değildir. Ancak modellerin daha yüksek doğrulukla tahmin yapabilmesi amacıyla girdi parametreleri için kullanılan tahmini veya gerçek rüzgâr hızı parametrelerinin fonksiyonu olabilecek, özellikle daha dinamik alt faktör ihtiyacına işaret ettiği görülmüştür.

Uygulanan temel bileşen analizi sonu elde edilen grafikler verilerin görselleştirilmesi açısından oldukça yol gösterici olmuştur. Nadas alanlarında, nadasın bozularak yüzeyin hakim rüzgâr yönüne dik sürümle pürüzlendirilmesi işlemi kurak koşullarda sıklıkla uygulanan işlemlerden birisidir. Ancak biplot grafikleri pürüzlülüğün devamının oldukça zor olduğu kum bünyeye sahip topraklarda bu işlemin rüzgâr erozyonuna duyarlılığı engellemede yeterli olmadığını açıkça göstermiştir.

Yapay zekâ algoritmaları ise erozyon parametrelerini ve toprak kayıplarını tahmin etmek için güçlü bir araç olabilir. Ancak bu konuda esas olan; yeterli sayıda girdi, uygun bir yöntem ve algoritma seçmektir. ANN gibi yapay zekâ algoritmalarında hassas ve hızlı modelleme avantajlı bir özelliktir. Yapay zekâ algoritmaları ve konumsal ve zamansal çıktılar sağlayan jeoistatistiksel sonuçlar çalışma alanlarının genelinde erozyonun modellenmesi için güvenilir, maliyeti düşük, iş yükü daha az ve kullanımı kolay olan yaklaşımlardır. Yeterli sayıda örnekleme yapılması durumunda

jeoistatistiksel yöntemlerin toprak kayıplarına ve yüzey kapallılığı, pürüzlülüğü gibi ilgili parametrelerin konumsal davranışı üzerinde etkileri başarılı bir şekilde incelenebilir. Bu şekilde kritik alanların belirlenmesi ve uygun bir teknikle koruma planlarının oluşturulması sağlanabilir.

Araştırmanın yürütüldüğü Orta Anadolu yarı kurak koşullarında nadasın önemli bir yeri olup rüzgâr erozyonu bu alanlarda ve ekim döneminde ciddi bir tehdittir. Bitki örtüsünden yoksun araziler özellikle kışlık ekim yapılan yörelerde ekim zamanında ve ilkbahar nadas sürümünde rüzgâr erozyonu açısından risk altındadır. Toprak nemini muhafaza etmenin ve bu şekilde rüzgâr erozyonunu önlemenin en iyi yolu hasat döneminde toprak yüzeyinde mümkün olduğunca fazla mahsul kalıntısı bırakmaktır. Yüzeyde kalan anızlar hem buharlaşmayı azaltmaya hem de bir sonraki dönem için nemi toprakta tutmaya destek olmaktadır. Bunun yanı sıra anız örtüsü toprak yüzeyindeki rüzgâr hızının düşmesine yardımcı olurken dik sap artıkları kökleri sayesinde toprağın stabil kalmasını sağlayabilmektedir. Rüzgâr erozyonuna maruz kalan tarım arazilerinde hakim rüzgâr yönüne dik rüzgâr perdelerinin tahsisi kuvvetli rüzgârın hızını ve taşıma kapasitesini azaltarak erozyon kontrolünde etkili olabilir. Ekili alanlarda toprağın rüzgâr erozyonuna toleransını artıracak yüzey stabilizatörleri uygulanması gelecekteki çalışmaların da temelini oluşturmaktadır. Bunu yanı sıra uzun vadede azaltılmış toprak işleme, sıfır toprak işleme, tahıl-baklagil rotasyonu gibi sürdürülebilir arazi yönetimi teknolojilerinin de araştırılması ve geliştirilmesi gerekmektedir.

Araştırma sırasında kullanılan modeller kurak ve yarı kurak bölgelerde farklı toprak koşullarında çok az bilim insanı tarafından test edilmiştir. Modellerin değişen iklim, arazi kullanım türleri ve topraklar altında test edilmesi, rüzgâr erozyonu potansiyelinin değerlendirilmesi ve tarımsal ve doğal ekosistemlerin sürdürülebilir kullanılmasına ve daha da geliştirilmesine yardımcı olacaktır. Rüzgâr erozyonuna maruz kalan alanlarda toprak kaybını en aza indirmek ve arazilerin verimliliğini artırmak için toprak kayıplarının kabul edilebilir doğrulukla tahmin edilebilmesi, arazi kullanım planlaması, tarımsal uygulamalar ve kontrollü yönetim stratejileri açısından oldukça önemlidir. Bu amaçla farklı toprak işleme ve iklim koşullarında hem alt hem de üst ölçeklendirmeye

imkan verecek yüzey ve bitki ölçüm ve modelleme parametrelerinin iyileştirilmesi gerekmektedir. Çalışma kapsamında elde edilen verilerin deneme sahası koşullarına göre doğrulamalarının yapılması ve sonuçlar üzerinden daha geniş ölçekler için tahminlerin geliştirilmesi ileri hedefler arasındadır.



KAYNAKLAR

- Akcura, M. 2011. The relationships of some traits in Turkish winter bread wheat landraces. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 35(2): 115-125.
- Akgöz, R., İnce, K. ve Erpul, G. 2020. Ulusal Dinamik Rüzgâr Erozyonu Modeli ve İzleme Sistemi (UDREMİS) bitki örtüsü parametresinin belirlenmesi. *Toprak Su Dergisi* 9 (1): 37-44.
- Allison, F.E. 1973. Soil Organic matter and its Role in Crop Production. 538-557. Elsevier, Newyork. [https://doi.org/10.1016/S0166-2481\(08\)70585-3](https://doi.org/10.1016/S0166-2481(08)70585-3).
- Anonim, 2014. T.C. Onuncu Kalkınma Planı: Tarım Arazilerinin Sürdürülebilir Kullanımı Çalışma Grubu Raporu, Kalkınma Bakanlığı.
- Anonim. 2020a. Tarım İstatistikleri. Türkiye İstatistik Kurumu. Web Sitesi: <https://www.tuik.gov.tr/> Erişim Tarihi: 15.02.2021.
- Anonim. 2020b. Devlet Meteoroloji İşleri. Web sitesi: <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A>. Erişim Tarihi: 30.12.2020
- Anonymous. 1954. (US Salinity Laboratory Staff) Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. Agri. Handbook. No:60, USDA.
- Asensio, C., Lozano, F. J., Gallardo, P. and Giménez, A. 2016. Soil wind erosion in ecological olive trees in the Tabernas desert (southeastern Spain): a wind tunnel experiment. *Solid Earth*, 7(4), 1233-1242.
- Babalık, A. A. 2004. Çayır-meralarda dip kaplama ölçüm yöntemleri. Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi Seri: A, Sayı: 1, Yıl: 2004, ISSN: 1302-7085, Sayfa: 50-72.
- Bagnold, RA. 1941. The Physics of Blown Sand and Desert Dunes. Chapman and Hall: New York.
- Basaran, M., Uzun, O., Kaplan, S., Gormez, F. and Erpul G. 2017a. Tillage-induced wind erosion in semi-arid fallow lands of Central Anatolia, Turkey. *Soil Water Res.* 12: 144-151.
- Basaran, M., Uzun, O. and Erpul, G. 2017b. Evaluation of field performance of BEST aeolian sediment catcher in sandy-loam soil of arid zone of Turkey. *Soil Water Res.* 12: 96-105.
- Başbozkurt, H., Öztaş, T., Karabrahimoğlu, A., Gündoğan, R. ve Genç, A. 2013. Toprak özelliklerinin mekânsal değişim desenlerinin jeostatistiksel yöntemlerle belirlenmesi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 44(2): 169-181.
- Besalatpour, A.A., Ayoubi, S., Hajabbasi, M.A., Jazi, A.Y. and Gharipour A. 2014. Feature selection using parallel genetic algorithm for the prediction of geometric mean diameter of soil aggregates by machine learning methods. *Arid Land Research Management*, 28 pp. 383-394, 10.1080/15324982.2013.871599.

- Biielders, C.L., Michels, K. and Rajot, J.L. 2000. On-farm evaluation of ridging and residue management practices to reduce wind erosion in Niger. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64, 1776 – 1785.
- Blanco-Canqui, H. and Lal, R. 2008a. Wind Erosion. In: Blanco, H., Lal, R. (Eds.), *Principles of Soil Conservation and Management*. Springer, Netherlands, Dordrecht, pp. 55–80.
- Blanco-Canqui, H. and Lal, R. 2008b. Soil and water conservation. In: Blanco, H., Lal, R. (Eds.), *Principles of Soil Conservation and Management*. Springer, Netherlands, Dordrecht, pp. 1–19.
- Bo, S., Shenglu, Z. and Qiguo, Z. 2003. Evaluation of spatial and temporal changes of soil quality based on geostatistical analysis in the hill region of subtropical China. *Geoderma* 115:85–99. doi:10.1016/s0016-7061(03)00078-8.
- Bohner J., Schafer W., Conrad O., Gross J. and Ringeler A. 2003. The WEELS model: Methods, results and limitations. *Catena* 52, 289-308.
- Bouyoucos, G.J. 1951. Are calibration of hydrometer method for making mechanical analysis of soils. *Agron Jur*, 43; 434- 438.
- Bowker, G. E., Gillette, D. A., Bergametti, G., Marticorena, B., and Heist, D. K. (2008). Fine- scale simulations of aeolian sediment dispersion in a small area in the northern Chihuahuan Desert. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 113(F2).
- Breiman, L. 2001. Random forests. *Machine Learning*, 45(1), 5-32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
- Burgess, T.M., and R. Webster. 1980. Optimal interpolation and isarithm mapping of soil properties: I. The semivariogram and punctual kriging. *Journal of Soil Science* 31:315–31. doi:10.1111/j.1365-2389.1980.tb02084.
- Buschiazzo, D.E., Zobeck, T.M., Aimar, S.B. 1999. Wind erosion in loess soils of the semiarid Argentinian pampas. *Soil Sci.* 164, 133 – 138.
- Buschiazzo, D.E. and T.M. Zobeck. 2008. Validation of WEQ, RWEQ and WEPS wind erosion for different arable land management systems in the Argentinean Pampas *Earth Surface and Process.* 33, pp. 1839-1850.
- Calzo, J.C., Buschiazzo, D.E. 2010. Soil dry aggregate stability and wind erodible fraction in a semiarid environment of Argentina. *Geoderma*. 159:228–236.
- Cambardella, C.A., Moorman T.B., Novak J.M., Parkin T.B., Karlen D.L., Turco R. F. and Konopka A. E., 1994. Field scale variability soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Society America Journal* 58:1501-1511
- Celik, I. 2005. Land-use effects on organic matter and physical properties of soil in a southern Mediterranean highland of Turkey. *Soil Till. Res.*, 83, 270-277.
- Chappell, A., Mctainsh, G., Leys, J. and C. Strongc. 2003. Using geostatistics to elucidate temporal change in the spatial variation of Aeolian sediment transport. *Earth Surface Processes Landforms* 28:567–85. doi:10.1002/esp.463

- Chen, W., Zhibao, D., Zhenshan, L. and Zuotao, Y. 1996. Wind tunnel test of the influence of moisture on the erodibility of loessial sandy loam soils by wind. *Journal of Arid Environments* 34: 391–402.
- Chepil, W.S. 1952. Improved rotary sieve for measuring state and stability of dry soil structure. *Soil Science of America Proceedings*, 16:113–117.
- Chepil, W.S. and Milne, R.A. 1941. Wind erosion of soils in relation to size and nature of the exposed area. *Scientific Agriculture* 21: 479– 487.
- Chepil, W.S. 1946. Dynamics of Wind Erosion: IV. the Translocating and Abrasive Action of the Wind, *Soil Science*, 61 (2), 167-178, (1946).
- Chepil, W.S. 1962. A compact rotary sieve and the importance of dry sieving in physical soil analysis. *Soil Science Society of America Proceedings*, 26:4-6.
- Chepil, W. S., and F. Bisai. 1943. A rotary sieve method for determining the size distribution of soil clods. *Soil Science*, 56:95-100.
- Chibsa, T. and Ta, A.A. 2009. Assessment of Soil Organic Matter under Four Land Use Systems in the Major Soils of Bale Highlands, South East Ethiopia b. Factors Affecting Soil Organic Matter Distribution. *World Applied Sciences Journal* 6 (11): 1506-1512.
- Colton, T. 1974 *Statistics in Medicine*, Little Brown and Co, New York, U.S.A, p179.
- Çağlar, K.Ö. 1958. *Toprak İlmi*. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, No:10, Ankara.
- De Oro, L.A., Colazo, J.C. and Buschiazzo, D. E. (2016). RWEQ–Wind erosion predictions for variable soil roughness conditions. *Aeolian research*, 20, 139-146.
- Deviren Saygın S. 2013. Yağmurlama denemeleri ile sıçrama ve yüzey erozyonu sedimentlerinde agregat büyüklük dağılımı ve organik karbon değişimlerinin incelenmesi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Dong, Z., Zunming, W., Lianyou, L. 2000. Wind erosion in arid and semiarid China: an overview. *Journal of Soil and Water Conservation*. 55, 439 – 444.
- Erpul, G. ve Deviren Saygın, S. 2012. Ülkemizdeki toprak erozyonu sorunu üzerine: Ne yapmalı. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 1(1), 26-32.
- Feng, G., and B. Sharratt (2009), Evaluation of the SWEEP model during high wind on the Columbia Plateau, *Earth Surf. Processes Landforms*, 34, 1461–1468, doi:10.1002/esp.1818.
- Fryrear, D.W. 1986. A field dust sampler. *Journal of Soil and Water Conservation* 41(2): 117–120.
- Fryrear, D.W. 1990a. Wind erosion: mechanics, prediction and control. In *Advances in Soil Science*, Singh RP, Parr JF, Stewart BA (eds). Springer-Verlag: New York; 187–199.
- Fryrear, D.W. 1990b. Wind erosion: mechanics, prediction and control. *Advances in Soil Science* 13: 187–199

- Fryrear, D.W. vd. 1998. Revised Wind Erosion Equation (RWEQ). Wind Erosion and Water Conservation Research Unit, Technical Bulletin 1, Southern Plains Area Cropping Systems Research Laboratory, USDA-ARS.
- Funk, R., Skidmore, E.L. and Hagen L.J. 2002. Comparison of wind Erosion measurements in Germany with simulated soil losses by WEPS. In: A. Lee and Zobeck T.M. (ed.) Proceedings of the ICAR5 /GCTE-SEN Joint meeting. July 22-25, 2002 Lubbock, Texas, USA, 235-238.
- Feng, G., B.S. Sharratt. 2007. Validation of WEPS for soil and PM10 loss from agricultural fields within the Columbia Plateau of the United States Earth Surf. Process. Landf., 32, pp. 743-753
- Gago, J., Martínez-Núñez, L., M. Landín, P.P. 2010. GallegoArtificial neural networks as an alternative to the traditional statistical methodology in plant research. J. Plant Physiol., 167, pp. 23-27, 10.1016/j.jplph.2009.07.007
- Gholami, V., Sahour H., Hadian Amri, M.A. 2021. Soil erosion modeling using erosion pins and artificial neural networks, CATENA, Volume 196, ISSN 0341-8162, <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104902>.
- Gholami, H., Mohammadifar, A., Bui, D.T. et al. 2020a. Mapping wind erosion hazard with regression-based machine learning algorithms. Sci Rep 10, 20494. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-77567-0>
- Gholami, H., Mohamadifar, A., & Collins, A. L. 2020b. Spatial mapping of the provenance of storm dust: Application of data mining and ensemble modelling. Atmospheric Research, 233, 104716.
- Gillette, D.A., Herbert G, Stockton PH, Owen PR. 1996. Causes of the fetch effect in wind erosion. Earth Surface Processes and Landforms.
- Gillieson, D., Wallbrink, P., Cochrane, E. 1996. Vegetation change, erosion risk and land management on the Nullarbor Plain, Australia. Environ. Geol. 28, 145 – 153.
- Gomez, L., Arrue J.L., Lopez M.V., Sterk G, Richard D, Gracia R, Sabre M, Gaudichet A, Frangi J.P. 2003. Wind erosion in a semiarid agricultural area of Spain the WELSONS project. Catena. 52:235–256.
- Goossens, D., Gross, J., Spaan, W. 2001. Aeolian dust dynamics in agricultural land areas in Lower Saxony, Germany. Earth Surf. Proc. Landf. 26, 701 – 720
- Griffin, DW, Kellogg CA. 2004. Dust storms and their impact on ocean and human health: dust in Earth's atmosphere. Ecohealth. 1:284–95.
- Hagen, L.J. 2004. Evaluation of the Wind Erosion Prediction System (WEPS) erosion submodel on cropland fields. Environmental Modeling & Software 19: 711–176.
- Hagen, L.J. 1996. Crop residue effects on aerodynamic processes and wind erosion. Theoretical and Applied Climatology 54:39-46.
- Hagen, L.J. 2001. Validation of the Wind Erosion Prediction System (WEPS) erosion submodel on small cropland fields. Soil Erosion Research for the 21st Century.

- Hall, M., Frank, E., Holmes, G., Pfahringer, B., Reutemann, P., Witten, I. H. 2009. The WEKA data mining Software: An update. SIGKDD Explorations. Available online: <http://www.cs.waikato.ac.nz>.
- Hillel, D. (1980). Applications of soil physics (380 pp). New York: Academic.
- İnce, K., Akgöz R., Erpul G. 2019b. Türkiye’de rüzgâr erozyonuna bağlı toprak kayıplarının mekânsal ve zamansal değişiminin tahmin edilmesi. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 9, (4): 2336-2345.
- İnce, K., Celik S., Erpul G. 2019a. Türkiye’de rüzgâr erozyonu toprak duyarlılık değişkenlerinin ulusal ölçekte belirlenmesi ve haritalanması. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi. 56 (1):109-120, DOI:10.20289/zfdergi.455581.
- Journal, A. G., and C. S. Huijbregts. 1978. Mining geostatistics, 600. New York, NY: Academic Press.
- Kantarcı, M.D., Özel, H.B., Ertekin, M., ve Kırdar, E. 2011. Konya-Karapınar Kara Kumulu Ağaçlandırmalarında Kullanılan Altı Ağaç Türünün Bozkır Yetiştirme Ortamına Uyumu Konusunda Bir Değerlendirme. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 13(19), 107-127.
- Kaplan, S., Basaran, M., Uzun, O., Nouri, A., Youssef, F., Deviren Saygin S, Ozcan AU, Erpul G. 2020. Spatial and quantitative assessment of wind erosion from adjacent dunes with different surface cover ratios. Environ Monit Assess 192, 132.
- Karabulut, A. 2010. Çukurova’da flüviyal tarım arazisinde bazı toprak verimlilik özelliklerinin jeoistatistiksel modellemesi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Karray, F.O., Silva, C. D., 2004. Soft Computing and Intelligent Systems Design: Theory, Tools and Applications. Addison Wesley Pearson Press, New York, USA.
- Kouchami-Sardoo, H. Shirani, I. Esfandiarpour. oroujeni, A. Besalatpour, M. Hajabbasi. 2020. Prediction of soil wind erodibility using a hybrid Genetic algorithm–Artificial neural network method Catena, 187 (2020), p. 104315
- Lal, R. 2003. Soil erosion and the global carbon budget. Environ. Int., 29. pp. 437-450, 10.1016/S0160-4120(02)00192-7.
- Lal, R. 1990. Soil erosion in tropics : Principles and management. McGrawInc., New York.
- Leenders, J.K. 2006. Wind erosion control with scattered vegetation in the Sahelian zone of Burkina Faso. Doctoral thesis Wageningen University, Wageningen
- Li, H.B. and Reynolds, J.F., 1995. On Definition and Quantification of Heterogeneity. Oikos, 73:280–284.
- Lopez, MV. 1998. Wind erosion in agricultural soils: an example of limited supply of particles available for erosion. Catena. 33:17–28.
- MacKay, D. J. C. 1998. Introduction to Gaussian processes. NATO ASI Series F Computer and Systems Sciences, 168, 133-166.

- Marini, F., Magri, A. L., Balestrieri, F., Fabretti, F., Marini, D. 2004. Supervised pattern recognition applied to the discrimination of the floral origin of six types of Italian honey samples. *Analytica Chimica Acta*, 515 (1), 117-125. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2004.01.013>
- Matheron, M.A. 1971. The Theory of Regionalized Variables and its Applications. *Cahiers du Centre de Morphologie Mathematique de Fontainebleau* no. 5.
- Michels, K., Sivakumar, M.V., and Allison, B.E. 1995. Wind erosion control using crop residue. II. Effects on millet establishment and yields. *Field Crops Research*, Vol 40(2) ; pp 111-118.
- Miller, M. P., P. M. J. Singer, and D. Nielsen. 1988. Spatial variability of wheat yield and soil properties on complex hills. *Soil Science Society of America Journal* 52:1133–41.
- Mirhasani, M., Rostami, N., Bazgir, M. and Tavakoli, M. 2019. Threshold friction velocity and soil loss across different land uses in arid regions: Iran. 2013. *Arabian Journal of Geoscience* 12, 91. <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4252-0>.
- Mollazade, K., Omid, M., Arefi, A. 2012. Comparing Data Mining Classifiers for Grading Raisins based on Visual Features. *Computers and Electronics in Agriculture*, 84, 124-131. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2012.03.004>
- Muftuoglu, N. M., Turkmen, C., Akçura, M., and Kaplan, M. (2019). Yield and nutritional characteristics of edible cluster bean genotypes. *Turkish Journal of Field Crops*, 24(1): 91-97.
- Nelson, D.W. and Sommers, L.E. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: *Methods of Soil Analysis*. Page, A.L. (Ed) Part 2, 2nd ed. *Agron. Monogr. 9*. ASA. And SSSA, Madison, WI, pp. 539-579.
- Nouri, A. 2013. Rüzgâr erozyon tahmin sistemi ile Konya Karapınar bölgesinde parsel ölçeğinde toprak kayıplarının belirlenmesi. *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*.
- Oliver, M.A. 1987. Geostatistics and its applications to soil science. *Soil Use and Management* 3:8–20.
- Oliver, M., R. Webster, and J. Gerrard. 1989. Geostatistics in physical geography. Part II: Applications. *Transaction of the Institute of British Geographers* 14:270–86.
- Olsen-seffer, P. Hydrodynamic factors influencing plant's life on sandy sea shores. *New Phytol.*, 8:37-49. (1909)
- Pandey, A., Jha, S.K., Srivastava, J.K. and Prasad, R. 2010. Artificial neural network for the estimation of soil moisture and surface roughness. *Russ. Agricult. Sci.* 36, 428–432 (2010). <https://doi.org/10.3103/S106836741006011X>
- Parker, J. 2001. Rank and response combination from confusion matrix data. *Inf Fusion* 2, 113–120. [https://doi.org/10.1016/S1566-2535\(01\)00030-6](https://doi.org/10.1016/S1566-2535(01)00030-6)
- Pi, H., B. Sharratt, G. Feng and J. Lei. 2017. Evaluation of two empirical wind erosion models in arid and semiarid regions of China and the USA. *Environ. Model. Softw.*, 91, pp. 28-46.

- Pi, H. and B. Sharratt. 2017. Evaluation of the RWEQ and SWEEP in simulating soil and PM10 loss from a portable wind tunnel Soil Tillage Res., 170 (2017), pp. 94-103.
- Presley, D, Tatarko J. 2009. Principles of wind erosion and its control. Kansas State University. Available at: <http://www.weru.ksu.edu> (accessed August 18, 2011).
- Wang, R.D., C.P. Chang, S. Peng and L. Wang. 2013. Estimation on farmland wind-erosion and dust emission amount in Bashang of Hebei province by grain composition contrast Trans. CSAE, 29 (21) pp. 108-114.
- Palta, Ç., Kirtiş, F., Okur, O., Okur, M., Karadavut, U., Çarkacı, D.A. ve Şimşekli, N. 2009. Rüzgâr Erozyonu ile Mücadelede Karapınar Örneği. I.Ulusal Kuraklık ve Çölleşme Sempozyumu 16-18 Haziran 2009, Konya, s.78-83.
- Rasmussen, C.E. and Williams, C.K. 2006. Gaussian process for machine learning. MIT press.
- Raupach, M.R. 1990. Turbulent transfer in plant canopies. In: Russel, G., Marshall, B., and Jarvis P.G. (eds.) Plant canopies, their growth and function. Cambridge University Press, 178 pp.
- Richards, L.A. 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils U.S.Dipth. of Agricultural Hand Book No. 60-USA.
- Rodriguez-Galiano, V.F., Ghimire, B., Rogan, J., Chica-Olmo, M., Rigol-Sanchez, J.P. 2012. An assessment of the effectiveness of a random forest classifier for land-cover classification. ISPRS J. Photogramm. Remote Sens. 67, 93-104. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2011.11.002>.
- Salter, R.M. 1952. Journal of Soil and Water Conservation. 7: 163-170, 198.
- Sterk, G., and Raats, P.A.C. 1996. Comparison of models describing the vertical distribution of wind-eroded sediment. Soil Science Society of America Journal, Vol 60(6) ; pp 1914-1919.
- Sterk, G., and Spaan, W.P. 1997. Wind erosion control with crop residues in the Sahel. Soil Science Society of America Journal, Vol 61(3) ; pp 911-917.
- Sterk, G., Jacobs, A.F.G., and Van Boxel, J.H. 1998. The effect of turbulent flow structures on saltation sand transport in the atmospheric boundary layer. Earth Surface Processes and Landforms, Vol 23(10); pp 877-887.
- Sterk, G., Stein, A., 1997. Mapping wind-blown mass transport by modeling variability in space and time. Soil Science Society of America Journal. 61, 232–239.
- Taconet, O., Ciarletti V. 2007. Estimating soil roughness indices on a ridge and furrow surface using stereo photogrammetry. Soil and Tillage Research. 93:64–76.
- Tao, H., Feng, H., Xu, L., Miao, M., Yang, G., Yang, X., and Fan, L. 2020. Estimation of the Yield and Plant Height of Winter Wheat Using UAV-Based Hyperspectral Images. Sensors, 20(4), 1231.
- Tegen, I. and Fung I. 1995. Contribution to the atmospheric mineral aerosol load from land surface modification, J. Geophys. Res.,100, 18707-18726.

- Trangmar, B.B., Yost, R.S. and Uehara, G. 1985. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Advances in Agronomy* 38:45–94. doi:10.1016/s0065-2113(08)60673-2
- Turgut, B. ve Öztaş, T. 2012. Toprak Penetrasyon Direncine Etki Eden Toprak Özelliklerinin Yersel Değişim Paternlerinin Jeostatistiksel Yöntemlerle Belirlenmesi. *Journal of Agricultural Sciences* 18(2).
- Uzun, O., Kaplan, S., Basaran, M., Deviren Saygın, S., Youssef, F., Nouri, A., Ozcan A.U. and Erpul, G. 2017. Spatial distribution of wind-driven sediment transport rate in a fallow plot in the Central Anatolia, Turkey. *Arid Land Res Manag.* pp. 1-15.
- Uzun O., Kaplan S. , İnce K., Başaran M. and Erpul, G. 2020. Spatially and Temporally Assessing Event-Based Wind Erosion in Adjacent Plots of Fallow and Wheat Cultivation in the Central Anatolia, Turkey. *Archives of Agronomy and Soil Science*, cilt.1010800365034020201849624, ss.1-33.
- Van Donk, S.J. and Skidmore, E.L. 2003. Measurement and simulation of wind erosion, roughness degradation and residue decomposition on an agricultural field. *Earth Surface Processes and Landforms* 28: 1243–1258.
- Van Donk, S.J., Huang, X., Skidmore E.L., Anderson, A.B., Gebhart, D.L., Prehoda, V. and Kellogg, E.M. 2003. Wind erosion from military training land in the Mojave Desert, California, U.S.A. *J Arid Environ.* 54:687–703.
- Van Pelt, R.S., T.M. Zobeck, K.N. Potter, J.E. Stout, T.W. Popham. 2004. Validation of the wind erosion stochastic simulator (WESS) and the revised wind erosion equation (RWEQ) for single events. *Environ. Model. Softw.*, 19 (2004), pp. 191-198.
- Visser, S.M., Sterk, G. and Karssenber, D. 2005. Wind erosion modeling in a Sahelian environment. *Environmental Modeling and Software* 20: 69–84.
- Willmott, C.J. 1981. On the validation of models. *Phys. Geogr.*, Vol 2(2), ; pp 184-194.
- Witten, I.H. and Frank, E. 2005. *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques*. Morgan Kaufmann Press, San Francisco, USA.
- Yan, W and Rajcan I. 2002. Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. *Crop Sci.*, (42): 11-20.
- Yan, W. 2014. *Crop Variety Trials: Data Management and Analysis*. John Wiley Sons.
- Yan, W. and Tinker, N. A. 2006. Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. *Canadian Journal of Plant Science*, 86 (3): 623-645.
- Yan, W. and Kang, M.S. 2003. *GGE Biplot Analysis: A Graphical Tool for Geneticists, Breeders, and Agronomists*. CRC Press.
- Yan, W., L.A. Hunt, Q. Sheng, and Z. Szlavnic. 2000. Cultivar evaluation and megaenvironment investigation based on the GGE biplot. *Crop Sci.* 40:597-605.
- Youssef, F., S. Visser, D. Karssenber, A. Bruggeman and G. Erpul. Calibration of RWEQ in a patchy landscape; a first step towards a regional scale wind erosion model. 2012. *Aeolian Research*, 3 (4) pp. 467-476.

- Zhang, J., C. Zhang, C. Chang, R. Wang, and G. Liu. 2017. Comparison of wind erosion based on measurements and SWEEP simulation: A case study in Kangbao County, Hebei Province, China. *Soil Tillage Res.* 165:169–180. doi:10.1016/j.still.2016.08.006
- Zhou, X., Kono, Y., Win, A., Matsui, T. and Tanaka, T. S. 2020. Predicting within-field variability in grain yield and protein content of winter wheat using UAV-based multispectral imagery and machine learning approaches. *Plant Production Science*, 1-15.
- Zhang, C.L., S. Yang, X.H. Pan and J.Q. Zhang. 2011. Estimation of farmland soil wind erosion using RTK GPS measurements and the ^{137}Cs technique: a case study in Kangbao County, Hebei province, northern China. *Soil and Tillage Research*. 112 (2011), pp. 140-148.
- Zobeck, T.M., Van Pelt, S., Stout, J.E. and Popham, T. W. 2001. Validation of the Revised Wind Erosion Equation (RWEQ) for single events and discrete periods. In *Soil Erosion* (p. 471). American Society of Agricultural and Biological Engineers.