

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**FARKLI ARAZİ KULLANIM TÜRLERİNDE BİTKİSEL ÖRTÜ VE ÜRÜN
YÖNETİMİ FAKTÖRLERİ İLE LAI VE NDVI ARASINDAKİ İLİŞKİLERİN
İNCELENMESİ VE BÖLGESEL ÖLÇEKTE DEĞERLENDİRİLMESİ**

Melis Özge PINAR

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

**ANKARA
2021**

Her hakkı saklıdır

ETİK

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

29/01/2021

Melis Özge PINAR

ÖZET

Doktora Tezi

FARKLI ARAZİ KULLANIM TÜRLERİNDE BİTKİSEL ÖRTÜ VE ÜRÜN YÖNETİMİ FAKTÖRLERİ İLE LAI VE NDVI ARASINDAKİ İLİŞKİLERİN İNCELENMESİ VE BÖLGESEL ÖLÇEKTE DEĞERLENDİRİLMESİ

Melis Özge PINAR

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

Danışman: Prof. Dr. Günay ERPUL

Tarımsal üretim, zamansal ve mekansal olarak değişiklik gösteren toprak, bitki ve atmosfer etkileşimi altında gerçekleşmektedir. Bu bileşenler içerisinde, özellikle bitkinin su ve besin maddesi alımında önemli bir role sahip olan toprağın hem fiziksel hem de kimyasal özelliklerinin bu etkileşimdeki rolü belirleyicidir. Yapılan araştırmalar ve eğitimde geline nokta, tarımın ileri teknoloji kullanan bir sektör olmasına rağmen geleneksel toprak işleme faaliyetlerinden ötürü toprak erozyonunun hala önemli bir problem olduğunu göstermektedir. RUSLE-bitkisel örtü ve ürün yönetimi faktörü (C), koruma yöntemleri açısından bakıldığında, toprak kaybını önleyici ve arazi kullanım değişikliğine en kolay müdahale edilebilir faktör olduğundan önemi oldukça dikkat çekmektedir. Bu tez çalışmasında, Eskişehir İli'nde ve farklı arazi kullanım türlerinde (ayçiçeği ve buğday), C-faktörü ve alt-faktörleri ile önemli bitki gözlem unsurlarından olan yaprak alan indeksi (LAI) ve Normalize edilmiş fark bitki indeksi (NDVI) arasındaki ilişkiler araştırılmış; bitkisel örtü ve ürün yönetimi uygulamalarının, toprak kayıplarına, yönetim seçeneklerinin toprak koruma planlarına olan etkileri incelenmiş ve elde edilen sonuçlarla dönemsel C-faktörünün daha geniş alanlara yayılması üst-ölçeklendirme yöntemi ile araştırılmıştır. Oluşturulan modellerle ayçiçeği ekili alanlarda, PLU, SC, CC, SM ve SR alt-faktörleri için elde edilen belirleme katsayıları sırasıyla 0,9470, 0,9983, 0,2296, 0,6570 ve 0,7960; buğday ekili alanlarda ise bu değerler sırasıyla 0,9624, 0,9643, 0,6012, 0,6979 ve 0,8986 olarak bulunmuştur. Her iki arazi kullanım için ile hesaplanan Toprak Kaybı Oranı (SLR) değerleri ise yalnızca NDVI_{sat} ile tahmin edilmiş (Ayçiçeği $R^2 = 0,8495$ ve Buğday $R^2 = 0,9313$) ve parsellerin bulunduğu yaklaşık 822,865 ha tarım alanı için üst-ölçeklendirme yapılmıştır.

Ocak 2021, 217 sayfa

Anahtar Kelimeler: RUSLE C-faktörü, Arazi kullanım, NDVI, LAI, Üst-ölçeklendirme.

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

INVESTIGATION OF THE RELATIONSHIPS BETWEEN COVER MANAGEMENT FACTOR, LAI AND NDVI IN DIFFERENT LAND USES AND EVALUATION AT REGIONAL SCALE

Melis Özge PINAR

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

Supervisor: Prof. Dr. Günay ERPUL

Agricultural production takes place under the interaction of soil, plant and atmosphere, which vary in temporal and spatial terms. Among these components, the role of both physical and chemical properties of the soil, which has an important role in the plant's water and nutrient uptake, is decisive in this interaction. The researches and the current situation of the education show that, soil erosion is still an important problem in regard to the agricultural productivity, although agriculture has transformed from a sector using traditional soil tillage implementations to a sector using advanced technology. The RUSLE-Cover management factor (C) draws attention in terms of conservation methods as it is the most easily intervening factor for soil loss and land use change. This study was carried out on parcels belonging to different land uses in Eskişehir and relationships between C-factor and its sub-factors and plant indices (NDVI and LAI) were investigated. Herewith, the effects of cover management practices on soil loss and assessing the effect of management options on soil conservation plans and upscaling methods were investigated. The determination coefficients obtained for PLU, SC, CC, SM and SR sub-factors were 0,9470, 0,9983, 0,2296, 0,6570 and 0,7960, respectively for sunflower-cultivated areas; 0,9624, 0,9643, 0,6012, 0,6979 and 0,8986, respectively for wheat-cultivated areas. The Soil Loss Ratio (SLR) was estimated by $NDVI_{sat}$ for both land uses (Sunflower R^2 : 0,8495 and Wheat R^2 0,9313) and upscaled for the approximately 822,865 ha of agricultural lands where the parcels are located.

January 2021, 217 pages

Key Words: RUSLE C-factor, Land use, NDVI, LAI, Upscaling.

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Çalışmalarımı yönlendiren, araştırmalarımın her aşamasında bilgi, öneri ve yardımlarını esirgemeyerek yetiştirmeme ve gelişmeme katkıda bulunan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Günay ERPUL'a (Ankara Üni. Toprak Bil. ve Bitki Bes. Anabilim Dalı) çok teşekkür ediyorum. Doktora çalışmalarım süresince bilgilerini ve ilgilerini esirgemeyerek değerli katkılar sunan tez izleme komitesi üyelerim, Sayın Prof. Dr. Mustafa BAŞARAN'a (Çanakkale Onsekiz Mart Üni. Toprak Bil. ve Bitki Bes. Anabilim Dalı) ve Sayın Prof. Dr. İlhami BAYRAMİN'e (Ankara Üni. Toprak Bil. ve Bitki Bes. Anabilim Dalı); değerli katkılarıyla tezimin daha çok gelişmesini sağlayan jüri üyesi hocalarım Sayın Prof. Dr. Taşkın ÖZTAŞ'a (Atatürk Üni. Toprak Bil. ve Bitki Bes. Anabilim Dalı) ve Sayın Prof. Dr. Hasan Sabri ÖZTÜRK'e (Ankara Üni. Toprak Bil. ve Bitki Bes. Anabilim Dalı) çok teşekkür ederim. İstatistik değerlendirme aşamasındaki değerli katkılarından dolayı Sayın Prof. Dr. Berna YAZICI'ya (Eskişehir Teknik Üni. İstatistik Anabilim Dalı); her konuda bilgisini ve manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen büyüğüm Dr. Sevinç MADENOĞLU'na (T.C. TOB-TAGEM); kendi tarım arazilerinde tez çalışmamı yürütmeme olanak sağlayan Sayın Özer ÇOLPAN'a ve çalışanlarına; arazi çalışmalarına destek olan arkadaşım Dr. Özgür ATEŞ'e (T.C. TOB-TAGEM/GKTAEM); bilgisi ve desteğiyle yanımda olan arkadaşım Dr. Sema KAPLAN'a (Erciyes Üni. Toprak Bil. ve Bitki Bes. Anabilim Dalı); tez çalışmalarım süresince desteğini esirgemeyen Dr. Mahmut POLAT'a (T.C. TOB-TAGEM/GKTAEM) ve değerli katkılarından ötürü Orman Mühendisi Suat ŞAHİN'e (DSİ) çok teşekkür ederim. Tez çalışmamın en başından sonuna kadar hep yanımda olan, her türlü fedakarlığı yapan sevgili aileme, sonsuz inancı, desteği ve hoşgörüsü ile hep yanımda olan sevgili eşim Mehmet Onur PINAR'a ve ailemizin neşesi ve vahşisi sevgili kedim Mitu'ya saygı ve sevgilerimi sunuyor, sonsuz teşekkür ediyorum.

Bu tez çalışması, “Farklı Arazi Kullanım Türlerinde Bitkisel Örtü ve Ürün Yönetimi Faktörleri ile LAI ve NDVI Arasındaki İlişkilerin Araştırılması (T.C. TOB, TAGEM Proje no: TAGEM/TSKD/14/A13/P05/01)” konulu proje tarafından desteklenmiştir.

Melis Özge PINAR
Eskişehir, Ocak 2021

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI	i
ETİK.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ ve KURAMSAL TEMELLER	7
3. MATERYAL ve YÖNTEM	16
3.1 Materyal.....	16
3.1.1 Araştırma alanı	16
3.2 Yöntem	18
3.2.1 Araştırma yaklaşımı	18
3.2.1.1 Örneklem	18
3.2.1.2 USLE (Evrensel Toprak Kaybı Eşitliği) Bitki gelişimi (örneklem) dönemleri (Wischmeier ve Smith, 1978)	21
3.2.1.3 Ayçiçeği ve Buğday bitkisi gelişim dönemleri	22
3.2.1.4 Bitkisel örtü ve ürün yönetimi (C) faktörünün hesaplanması	30
3.2.1.5 RUSLE – C Bitkisel örtü ve ürün yönetimi alt-faktörlerinin hesaplanması (SETM, 2008).....	33
3.2.1.5.1 Önceki arazi kullanım alt-faktörü (PLU).....	33
3.2.1.5.2 Kanopi örtüsü alt-faktörü (CC).....	40
3.2.1.5.3 Yüzey örtüsü alt-faktörü (SC)	41
3.2.1.5.4 Toprak nemi alt-faktörü (SM).....	43
3.2.1.5.5 Yüzey pürüzlülüğü alt-faktörü (SR)	47
3.2.1.6 Yaprak alan indeksinin belirlenmesi (Leaf Area Index, LAI)	49
3.2.1.7 Normalize edilmiş Bitki fark indeksinin (NDVI) hesaplanması	53
3.2.1.8 İstatistik analizler.....	56
3.2.1.8.1 Normallik testi	56
3.2.1.8.2 Tanımlayıcı istatistik	56

3.2.1.8.3 Korelasyon analizleri.....	57
3.2.1.8.4 Varyans Analizleri.....	58
3.2.1.8.5 Regresyon analizi.....	58
3.2.1.8.6 Jeostatistik analizler.....	59
3.2.1.8.7 Üst-ölçeklendirme.....	66
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	68
4.1 RUSLE-C Alt-Faktörleri ve Bitki İndislerine Ait Tanımlayıcı İstatistik	68
4.1.1 PLU Alt-faktörü.....	75
4.1.2 SC Alt-faktörü.....	78
4.1.3 CC Alt-faktörü	79
4.1.4 SM Alt-faktörü.....	81
4.1.5 SR Alt-faktörü.....	83
4.1.6 Bitki indisleri (NDVI ve LAI)	88
4.2 RUSLE-C Alt-Faktörleri ve Bitki İndisleri Kruskal-Wallis H-Testi	91
4.3 RUSLE-C Alt-Faktörleri ile Bitki İndisleri Arasındaki Korelasyon	96
4.4 RUSLE-C Alt-Faktörleri ile Bitki İndisleri Arasındaki İlişkiler	116
4.4.1 Ayçiçeği RUSLE-C Alt-faktörleri ve bitki indisleri arasındaki ilişkiler	117
4.4.1.1 Bitki indisleri arası ilişkiler (ayçiçeği).....	137
4.4.1.2 Bitki indisleri arası ilişkiler (buğday)	138
4.4.2 Dönemsel toprak kaybı oranları (SLR) ile bitki indisi arasındaki ilişkiler..	142
4.4.2.1 Ayçiçeği parselleri dönemsel SLR ile bitki indisleri arası ilişkiler.....	142
4.4.2.2 Buğday parselleri dönemsel SLR ile bitki indisleri arası ilişkiler	149
4.4.2.3 Jeostatistik ve Üst-ölçeklendirme	159
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	174
KAYNAKLAR	179
EKLER.....	200
EK 1 Ayçiçeği Ekili Alanlar İçin Tanımlayıcı İstatistik	201
EK 2 Buğday ekili alanlar için tanımlayıcı istatistik	204
EK 3 Ayçiçeği ekili alanlarda RUSLE-C alt-faktörleri ve bitki indisleri için Post-Hoc analizi (Parsel)	207
EK 4 Ayçiçeği ekili alanlarda RUSLE-C alt-faktörleri ve bitki indisleri için Post-Hoc analizi (Dönem).....	209

EK 5 Buğday ekili alanlarda RUSLE-C alt-faktörleri ve bitki indisleri için	
Post-Hoc analizi (Parsel)	212
EK 6 Buğday ekili alanlarda RUSLE-C alt-faktörleri ve bitki indisleri için	
Post-Hoc analizi (Dönem).....	214
ÖZGEÇMİŞ.....	216



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1 Çalışma yeri ve parsel konumları (Google Earth, 2018)	17
Şekil 3.2 Tez iş-akış şeması	19
Şekil 3.3 Örnekleme düzeni (sistematik ve rastgele örnek noktaları).....	20
Şekil 3.4 Ayçiçeği gelişim dönemleri, kanopi kapalılığına göre bitki gelişim dönemleri ve gelişim dönemlerine denk gelen aylar	24
Şekil 3.5 Buğday gelişim dönemleri (Anonim, 2017), kanopi kapalılığına göre bitki gelişim dönemleri ve gelişme dönemlerine karşılık gelen aylar	26
Şekil 3.6 Ayçiçeği ve buğday bitkilerinin 2015/9-2016/9 arası ilgili ay ve günlere karşılık gelen ölçüm zamanları (pembe: Ayçiçeği ve turuncu: Buğday)	27
Şekil 3.7 Ayçiçeği ve buğday parsellerinin gelişme dönemi boyunca yersel ölçüm ve uydu görüntüsü çekim tarihleri	28
Şekil 3.8 Bozulmamış örnek alma kabı.....	39
Şekil 3.9 Topraktaki kök ve bitki artıkları nın ayıklanma ve kurutulma işlemi	40
Şekil 3.10 Ayçiçeği ve buğday parsellerinde kanopi kapalılığı (CC) ölçümleri.....	41
Şekil 3.11 Ayçiçeği ve buğday (sol: FP, sağ: OP) parsellerinde	43
Şekil 3.12 Toprak örneklerinin alınma, tartılma ve kurutulma işlemleri.....	46
Şekil 3.13 Tarla kapasitesi ve solma noktasına göre toprak nemli alt-faktörünün zamansal değişimi	46
Şekil 3.14 Ayçiçeği ve Buğday parsellerinde yüzey pürüzlülüğü (SR) ölçümleri	49
Şekil 3.15 Toprak yüzeyine gelen güneş ışınlarının yansıma açısı.....	51
Şekil 3.16 LAI-ölçer ile yaprak alan indeksinin ölçülmesi.....	53
Şekil 3.17 Yersel (sol) ölçümlerde kullanılan el tipi spektrometre ve uydu görüntüleri ile (sağ) elde edilen NDVI tabakaları	55
Şekil 3.18 Modelin yüksek çözünürlükten düşük çözünürlüğe getirmek için olasılıksal (stokastik) alansal genelleme yöntemi	66
Şekil 3.19 Alansal genelleme yöntemleri için karar verme şeması	67
Şekil 4.1 Ayçiçeği parsellerinin dönemlere göre bitki gelişimi	70
Şekil 4.2 Ayçiçeği parselleri (1-2-3) dönemsel RUSLE-C alt-faktörleri ortalama ve medyan değişim grafiği	71
Şekil 4.3 Buğday parsellerinin dönemlere göre bitki gelişimi	74
Şekil 4.4 Buğday parselleri (1-2-3) dönemsel RUSLE-C alt-faktörleri ortalama ve medyan değişim grafiği	75
Şekil 4.5 Ayçiçeği parselleri (1-2-3) dönemsel ortalama nem içerikleri (%) ve	82
Şekil 4.6 Buğday parselleri (1-2-3) dönemsel ortalama nem içerikleri (%) ve	83
Şekil 4.7 Ayçiçeği parselleri (1-2-3) dönemsel NDVI _{gs} , LAI ve NDVI _{sat} ortalama ve medyan değişim grafiği	86
Şekil 4.8 Buğday parselleri (1-2-3) dönemsel NDVI _{gs} , LAI ve NDVI _{sat} ortalama ve medyan değişim grafiği	87
Şekil 4.9 Ayçiçeği ekili alanlarda dönemsel eşitliklerle tahmin edilen PLU _t ve RUSLE modeli ile hesaplanan PLU ortalama değerleri arasındaki ilişki	119
Şekil 4.10 Ayçiçeği ekili alanlarda dönemsel eşitliklerle tahmin edilen SC _t ve RUSLE modeli ile hesaplanan SC ortalama değerleri arasındaki ilişki.....	121

Şekil 4.11 Ayçiçeği ekili alanlarda dönemsel eşitliklerle tahmin edilen CC_t ve RUSLE modeli ile hesaplanan CC değerleri arasındaki ilişki	123
Şekil 4.12 Ayçiçeği ekili alanlarda dönemsel eşitliklerle tahmin edilen SM_t ve RUSLE modeli ile hesaplanan SM değerleri arasındaki ilişki.....	125
Şekil 4.13 Ayçiçeği ekili alanlarda dönemsel eşitliklerle tahmin edilen SR_t ve RUSLE modeli ile hesaplanan SR ortalama değerleri arasındaki ilişki.....	127
Şekil 4.14 Buğday ekili alanlarda dönemsel eşitliklerle tahmin edilen PLU_t ve RUSLE modeli ile hesaplanan PLU ortalama değerleri arasındaki ilişki ...	129
Şekil 4.15 Buğday ekili alanlarda dönemsel eşitliklerle tahmin edilen SC_t ve RUSLE modeli ile hesaplanan SC ortalama değerleri arasındaki ilişki.....	131
Şekil 4.16 Buğday ekili alanlarda dönemsel eşitliklerle tahmin edilen CC_t ve RUSLE modeli ile hesaplanan CC değerleri arasındaki ilişki	133
Şekil 4.17 Buğday ekili alanlarda dönemsel eşitliklerle tahmin edilen SM_t ve RUSLE modeli ile hesaplanan SM değerleri arasındaki ilişki.....	135
Şekil 4.18 Ayçiçeği (üst) ve buğday (alt) bitkilerinde gelişme dönemleri boyunca bitki indisleri zamansal değişimi.....	141
Şekil 4.19 Ayçiçeği bitkisi için ölçülen ve tahmin edilen toprak kaybı oranı (SLR) dönemsel ortalama değerler (tüm parseller).....	143
Şekil 4.20 Ayçiçeği bitkisi için ölçülen ve tahmin edilen toprak kaybı oranı (SLR) dönemsel ortalama değerler (Parseller ortalaması)	145
Şekil 4.21 Parsellere göre Toprak Kaybı Oranı değişimi (ayçiçeği)	146
Şekil 4.22 Parsellere göre dönemsel ayçiçeği C-faktörü ($SLR \times \%EI$)	146
Şekil 4.23 Ayçiçeği parselleri için yarım aylık $NDVI_{sat}$ değerleri ile tahmin edilen....	147
Şekil 4.24 Ayçiçeği parselleri için yarım aylık SLR değerleri ile tahmin edilen Eşitlik 19 ile elde edilmiş	148
Şekil 4.25 Buğday bitkisi için ölçülen ve tahmin edilen toprak kaybı oranı (SLR) dönemsel ortalama değerler	151
Şekil 4.26 bitkisi için ölçülen ve bitki indisleri ile elde edilmiş dönemsel denklemlerle tahmin edilen SLR (parsellerin ortalaması)	152
Şekil 4.27 Parsellere göre Toprak Kaybı Oranı değişimi (buğday)	153
Şekil 4.28 Parsellere göre buğday ekili alanlarda dönemsel C-faktörü ($SLR \times \%EI$)	154
Şekil 4.29 Buğday parselleri yarım aylık hesaplanan $NDVI_{sat}$ ve SLR değerleri arasındaki ilişkiler (sol: 1.parsel; orta: 2.parsel; sağ: 3.parsel)	155
Şekil 4.30 Buğday parselleri için yarım aylık SLR ile C-faktörü (Eş. 24) değerleri arasındaki ilişki (sol: 1. parsel; orta: 2. parsel; sağ: 3. parsel)	156
Şekil 4.31 Ayçiçeği ve buğday parsellerinin ortalama C-faktörü değerleri.....	158
Şekil 4.32 Nisan 2016 PHR-1B multispektral görüntü (sol) ve en büyük olabilirlik sınıflandırması.....	166
Şekil 4.33 Nisan 2016 NDVI (6m × 6m) (sol) ve Buğday SLR (Toprak Kaybı Oranı) tabakası (sağ)	167
Şekil 4.34 Haziran 2016 PHR-1A multispektral görüntü (sol) ve en büyük olabilirlik sınıflandırması.....	168
Şekil 4.35 Haziran 2016 NDVI tabakaları (sol: 6m × 6m, orta: 31m × 31m ve sağ: 51m × 51 m).....	169

Şekil 4.36 Haziran 2016 Ayçiçeği bitkisi SLR tabakaları (sol: 6m × 6m, orta: 23m × 23m ve sağ: 31m × 31m)	170
Şekil 4.37 Haziran 2016 Buğday bitkisi SLR tabakaları (sol: 6m × 6m, orta: 20m × 20m ve sağ: 51m × 51m)	171
Şekil 4.38 Ağustos 2016 PHR-1B multispektral görüntü (sol) ve en büyük olabilirlik sınıflandırması	172
Şekil 4.39 Ağustos 2016 NDVI (6m × 6m) (sol) ve Ayçiçeği SLR (6m × 6m) (Toprak Kaybı Oranı) tabakası (sağ).....	173



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 Yetiştirme dönemi boyunca farklı ürünlerin toprak nemini tüketme oranları	44
Çizelge 3.2 Mahmudiye (Eskişehir) Meteoroloji İstasyonu 2015/9-2016/9 arası aylık	45
Çizelge 3.3 Mahmudiye İlçesi (Eskişehir) yarım aylık EI ($MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ yıl^{-1}$)	45
Çizelge 4.1 Ayçiçeği parsellerine ait dönemsel RUSLE-C alt-faktörleri tanımlayıcı	68
Çizelge 4.2 Ayçiçeği parsellerine ait dönemsel bitki indisleri tanımlayıcı istatistikleri	69
Çizelge 4.3 Buğday parsellerine ait dönemsel RUSLE-C alt-faktörleri tanımlayıcı	72
Çizelge 4.4 Buğday parsellerine ait dönemsel bitki indisleri tanımlayıcı istatistikleri	73
Çizelge 4.5 Ayçiçeği bitkisi Kruskal-Wallis H-testi sıralama	92
Çizelge 4.6 Ayçiçeği bitkisi test istatistiği	93
Çizelge 4.7 Buğday bitkisi Kruskal-Wallis H-testi sıralama	94
Çizelge 4.8 Buğday bitkisi test istatistiği	95
Çizelge 4.9 Ayçiçeği 1. Parsel <i>Pearson Korelasyon Katsayıları</i>	97
Çizelge 4.10 Ayçiçeği 2. Parsel <i>Pearson korelasyon katsayıları</i>	98
Çizelge 4.11 Ayçiçeği 3. Parsel <i>Pearson korelasyon katsayıları</i>	99
Çizelge 4.12 Ayçiçeği parselleri (1-2-3) ortalama <i>Pearson korelasyon katsayıları</i>	100
Çizelge 4.13 Buğday 1. Parsel <i>Pearson korelasyon katsayıları</i>	106
Çizelge 4.14 Buğday 2. Parsel <i>Pearson korelasyon katsayıları</i>	107
Çizelge 4.15 Buğday 3. Parsel <i>Pearson korelasyon katsayıları</i>	108
Çizelge 4.16 Buğday parselleri (1-2-3) ortalama <i>Pearson korelasyon katsayıları</i>	109
Çizelge 4.17 Bitki indisleri ile elde edilen PLU faktöriyel ANOVA tablosu	117
Çizelge 4.18 Bitki indisleri ile elde edilen SC faktöriyel ANOVA tablosu	120
Çizelge 4.19 Bitki indisleri ile elde edilen CC faktöriyel ANOVA tablosu	122
Çizelge 4.20 Bitki indisleri ile elde edilen SM faktöriyel ANOVA tablosu	124
Çizelge 4.21 Bitki indisleri ile elde edilen SR faktöriyel ANOVA tablosu	126
Çizelge 4.22 Bitki indisleri ile elde edilen PLU faktöriyel ANOVA tablosu	128
Çizelge 4.23 Bitki indisleri ile elde edilen SC faktöriyel ANOVA tablosu	130
Çizelge 4.24 Bitki indisleri ile elde edilen CC faktöriyel ANOVA tablosu	132
Çizelge 4.25 Bitki indisleri ile elde edilen SM faktöriyel ANOVA tablosu	134
Çizelge 4.26 Bitki indisleri ile elde edilen SR faktöriyel ANOVA tablosu	136
Çizelge 4.27 Ayçiçeği tüm parsel ve ortalama parsel bitki indisleri arası ilişkiler	137
Çizelge 4.28 Ayçiçeği tüm parsel ve ortalama parsel bitki indisleri arası ilişkiler	138
Çizelge 4.29 Buğday parselleri bitki indisleri arasındaki ilişkiler	139
Çizelge 4.30 Buğday parselleri bitki indisleri arasındaki ilişkiler	140
Çizelge 4.31 Bitki indisleri ile tahmin edilen SLR faktöriyel ANOVA tablosu	142
Çizelge 4.32 Bitki indisleri ile elde edilen SLR faktöriyel ANOVA tablosu	144
Çizelge 4.33 Bitki indisleri ile elde edilen SLR faktöriyel ANOVA tablosu	150
Çizelge 4.34 Bitki indisleri ile elde edilen SLR faktöriyel ANOVA tablosu	151
Çizelge 4.35 Ayçiçeği 1.parsel SLR ve bitki indislerinin konumsal değişimleri	161
Çizelge 4.36 Ayçiçeği 2.parsel SLR ve bitki indislerinin konumsal değişimleri	161
Çizelge 4.37 Ayçiçeği 3.parsel SLR ve bitki indislerinin konumsal değişimleri	162
Çizelge 4.38 Buğday 1.parsel SLR ve bitki indislerinin konumsal değişimleri	162
Çizelge 4.39 Buğday 2. parsel SLR ve bitki indislerinin konumsal değişimleri	163
Çizelge 4.40 Buğday 3. parsel SLR ve bitki indislerinin konumsal değişimleri	163

1. GİRİŞ

Topraklar, insan yaşamı ve ekosistem için hayati önem taşıyan ürünleri barındıran, temel ve yenilenemeyen doğal bir kaynaktır ve ürün, gıda, lif, yakıt üretiminde, her yıl onbinlerce kilometreküp suyun filtrelenmesi ve temizlenmesinde çok önemli bir rol oynamaktadır (FAO, 2017). Dünya Toprak Kaynakları Durumu (DTKD) Raporu'na göre (FAO ve ITPS, 2015), su ve rüzgar kaynaklı toprak erozyonu küresel olarak topraklar ve bunların sağladığı ekosistem hizmetleri için çok ciddi bir tehdit olduğu belirtilmiştir. Toprak erozyonu, organik ve mineral bitki besleme havuzlarını barındıran, kısmen ya da tamamen toprak horizonlarının kaybolmasına sebep olabilen ve büyümeyi sınırlayan, alt toprağın olası maruziyetine neden olan üst toprak katmanının yok olmasına sebep olan bir problemdir (FAO ve ITPS, 2015). Arazi tahribatı durumu göz önünde bulundurulduğunda, iklim değişikliği ve arazi kullanım dinamikleri, bitki topluluğu kompozisyonundaki değişimler aracılığıyla elde edilen önemli çıktılarla birlikte kurak alanların bozulumu açısından itici güçler olduğu (D'Odorico vd., 2013) ve toprak erozyonunun, su ve rüzgar erozyonu ile birlikte kurak alanlardaki arazi bozulumunun %87'ine sebep olduğu belirtilmektedir (Ravi vd., 2010). Bu süreçte özellikle toprak erozyonunun hızlanması, kanopi oranındaki ya da artık miktarındaki azalma, toprak işleme ve diğer arazi operasyonları ve azalan toprak stabilitesi ile toprak kayması ve heyelana neden olması sürecin en başından sonuna kadar insan faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır (FAO ve ITPS, 2015). Ürün sistemlerinde, yetiştirme tekniğinin ve yetiştirilecek ürünün seçimi toprak kayıplarını azaltmaktadır.

Tarımsal sistemlerde, bitki örtüsü, arazi sahipleri tarafından idare edilmekte ve etkileri yönetilmeyen sistemlere göre konumsal ve zamansal olarak farklılıklar göstermektedir. Bitki örtüsünün koruyucu etkileri çok iyi bilinmekle birlikte birçok çeşitte yöntem ve model bitki örtüsünün koruyucu etkilerini tanımlamada kullanılmaktadır. Bitki örtüsü kapallığı, bitki besin elementlerinin uzaklaşmasını engellemekte ve bunu bitki verimliliği olarak dönüştürmektedir (FAO ve ITPS, 2015). Dünyada erozyon, en çok tarımsal alanlarda ve mera alanlarında hala oldukça yüksektir ve bir çok çalışmada uygun yönetim teknikleri, teras ve su yolu inşaatı gibi yapısal önlemlerle neredeyse her türlü durum için erozyon oranlarının azaltılabileceğini göstermiştir (Pansak vd., 2008).

Ancak, dünyanın birçok yerinde toprak koruma önlemlerinin benimsenmesi oldukça yavaş ilerlemektedir. Bunun sebepleri değişirken asıl kilit noktası, toprak koruma yöntemlerinin benimsenmesinin genel olarak çiftçilere doğrudan yararlı gözükmemesidir. Bu, batıdaki yoğun mekanize sistemler için ne kadar geçerli ise gelişen dünyadaki küçük-ölçekli çiftçi de öyledir. Koruma yöntemlerinin uygulanması doğrudan verim ya da verimlilik artışına sebep olmazken, erozyonun toprak sermayesindeki negatif etkileri on yıldan yüzyıla değişen bir zaman ölçeğinde görünür hale gelmektedir. Bu yüzden çiftçiler doğrudan toprak koruma yöntemlerini benimsemeye maalesef özenmemektedirler (FAO ve ITPS, 2015). Toprak erozyonu - verimlilik ilişkilerinin irdelendiği çalışmalarla yapılan veri analizi sonucunda 2015-2050 yılları arası yıllık ürün kaybının medyan değeri olan %0,3'ünün toprak erozyonu ile kaybolduğu yönündedir. Eğer bu oran gelecekte de değişmeden devam ederse 2050 yılına kadar toplam azalma, potansiyel ürün veriminin %10'una karşılık geleceği belirtilmektedir (FAO ve ITPS, 2015). Bu erozyon kaynaklı verim kaybı, mahsul üretiminden 150 M ha ya da yıllık 4,5 M ha kayba eşdeğer olacaktır (Foley vd., 2011). 2030 yılına kadar, çölleşme ile mücadele, çölleşmeden, kuraklık ve selden etkilenen alanlarda dahil olmak üzere bozulan alanların ve toprakların restorasyonu, ve arazi bozulmasının olmadığı bir dünyaya ulaşabilmek adına çaba göstermek için UNCCD tarafından Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri belirlenmiştir. Buna göre, arazi örtüsü, yeryüzünde vejetasyon tiplerinin, su yapılarının ve insan-yapımı yapılarının dağılımlarını tanımlayan gözlemlenmiş fiziksel örtüyü ifade etmektedir. Madde 16.'da tarım, orman ve insan yerleşimi için toprak kaynaklarının kullanımını yansıtmaktadır (toprak, su ve biyoçeşitlilik gibi). 17. Sürdürülebilir Gelişim Hedefleri göstergesi 15 için iki işlevi bulunmaktadır: Bunlardan ilki arazi örtüsündeki değişiklikleri yerel ve ulusal düzeyde ekosistem hizmetleri açısından değerlendirilerek verimlilik kaybı olduğunda arazi bozulumunu ve ikincisi ise, diğer iki alt-göstergenin ayrıştırılmasında, dolayısıyla bir arazi örtüsü sınıflama sistemi olarak kullanılabilir, dolayısıyla göstergenin politika ilgisi artar. Böylelikle bu alt göstergenin sürdürülebilir kalkınma hedeflerinden 6.6.1, 11.3.1 ve 15.1.1 için kullanılması beklenmektedir (Good Practice Guidance, 2017).

Biyoçeşitlilik, ekosistem hizmetleri, arazi bozunumu ve su güvenliği alanlarında toprağın rolü çok disiplinli olarak artmaktadır (Brevik vd., 2015). Toprak erozyonun azaltılması yüksek öncelik teşkil etmektedir. Çünkü, kaybolan topraklar çok zor ve uzun bir süreç sonrasında yerine gelebilmektedir. Toprak erozyonunu etkileyen faktörler arasında hem havza ölçeğinde (Cerde, 1999) hem de kıta ölçeğinde (Zhao vd., 2013); hem orman alanları hem de kurak alanlar için toprağın fiziksel olarak bitki veya bitki artıkları ile kaplanmasının önemi göz ardı edilmemelidir (Haregeweyn vd., 2013; Panagos vd., 2015).

Yarı-kurak alanlarda bitki gelişiminin toprak nemine de bağlı olarak sınırlı olması, yoğun bitki örtüsüne sahip olmayan alanların toprak kaybetmeye daha meyilli olduğu bilinmektedir (Yetemen vd., 2019). Toprak erozyonunun önlenmesinde ana faktör olan bitki örtüsü kapallığı, morfolojik özelliklerinden ve belirli alanlardaki yetiştirme kapasitesinden ötürü kendi içinde farklılaşmaktadır. Yani, bazı bitkilerin erozyon önemelemedeki etkisi daha fazla olmaktadır (Duran Zuazo ve Rodriguez Pleguezuelo, 2008). Bitki örtüsünün yanı sıra ürün tipi, toprak işleme uygulamaları gibi arazi kullanım ve yönetim faktörleri de toprak kayıplarını etkilemektedir. Arazi kullanım ve yönetimin etkisi “Bitki Örtüsü ve Ürün Yönetimi Faktörü (C-faktörü)” içerisinde parametrelerle ifade edilmektedir. Bu faktör, USLE (Evrensel Toprak Kaybı Eşitliği) ve yenilenmiş versiyonu (revised) (R)USLE modelinde toprak kayıplarının tahmin edilmesinde kullanılan beş faktörden bir tanesi ve en önemlisidir. Çünkü, C-faktörü, erozyonu azaltmak için en kolay yönetilebilen koşulları temsil ettiğinden, politika ve arazi kullanım kararları açısından ön plandadır (Renard,1991). C-faktörü, arazi örtüsünün, ürün ve ürün yönetiminin çıplak nadas alanlarında meydana gelen toprak kayıplarının nasıl sebep olduğunu açıklamaktadır (Kinnell, 2010; Panagos vd., 2015).

Genel itibariyle dağlık bir arazi yapısına sahip olan ülkemizde arazilerin %55.9’u, 1000 m’nin üzerinde yükseltiye, % 62.5’i % 15’den fazla eğime sahiptir. Bunlara ilave olarak, ülkemiz Karadeniz üzerinden, kuzeyden gelen hâkim rüzgârlarla deniz etkisi altındadır. Ancak bu etki, kuzey ve güneyde sıra dağların denize bakan yamaçlarında kalmaktadır. Bu nedenle, arazi yapısı ile buna bağlı olarak değişen iklim özellikleri farklı coğrafi bölgelerin ve bunların içinde de mikro klimaların oluşmasına neden

olmuştur (Yavuz, 2005). Her bölgesinde bitkisel üretim yapılan ülkemizde arazi kullanımında özellikle kuru (nadaslı ve nadassız) ve sulu tarım ilk sıralarda yer almaktadır (Yavuz, 2005). Türkiye’de arazi kullanımı ile coğrafi bölgelerin arazi yapısı ve iklim özellikleri arasında uyumlu bir ilişki söz konusudur. Ancak, bu özelliğin yanında farklı özelliklere sahip coğrafi bölgelerde, üretim çeşitliliği her ne kadar değişse de benzer ürünlerin yetiştirilmesi durumu, kısmen de olsa bitkisel üretim veriminin azalmasına sebep olmaktadır. Bunun yanı sıra sürdürülebilir tarım için toprağın ihtiyaçlarını ve yetiştirilecek ürünün özelliklerini iyi bilmek yetmemekte aynı zamanda toprak koruma önlemlerinin de göz önünde tutulması gerekmektedir. Yanlış arazi kullanımı, iklim değişiklikleri, tarımsal faaliyetlerin sürdürülebilirliğini olumsuz olarak etkilediği gibi sadece üretim bazlı oluşturulan rotasyonlu ürün yetiştirme programları toprağın yarar sağlama kabiliyetini azaltmakta, toprak kaybı ile sonuçlanan arazi bozunumu, kuraklık, çölleşme gibi yıkıcı süreçler içerisine girmektedir.

Bitki indisleri, bitkisel örtü, bitki boyu ve toprak üstü ve toprak altı biyokütle gelişimi C-faktörü araştırmalarındaki gelişim parametreleri çalışmaları göz önünde tutulduğunda önemli gözlem unsurları olmuşlardır. Toprak yüzeyindeki örtü değişimi toprak kalitesini oldukça etkilediğini düşünüldüğünde (Foody, 2002), birim alana düşen vejetasyon alanı (m^2/m^2) olarak tanımlanan yaprak alan indeksi (LAI) toprak yüzeyi kaplama oranı ve ürün verimliliği tahminleri gibi bitkisel örtü ve ürün yönetiminin araştırıldığı çalışmalarda en önemli parametrelerden biridir (Turner vd., 1999). Çünkü, bitkilerde fotosentetik olarak aktif rol yapraklardadır (Pearson, 1984). Bitkilerde yapraklar elektromanyetik radyasyon etkileşiminde baskındırlar ve bu yüzden uzaktan algılama yöntemleri ile yapılan spektral gözlemler yaprak karakteristiklerine dayanmaktadır (Wiegand vd., 1972). Fotosentetik olarak aktif radyasyon, dalga boyunda klorofil ve diğer pigmentler ile yaprakların optik davranışını belirlemektedirler (Knipling, 1970). Yaprak alan indeksi ve bitkinin spektral özellikleri bitki gelişiminin birer göstergeleridir ve zamansal olarak benzer değişimlere sahiptirler. Bitki örtüsünün güneşten gelen ve özellikle görünür dalga boyundaki radyasyonu (fotosentetik aktif radyasyonu, (VIS) yutma (absorbe etme) kapasitesi; yansıtma (refleksiyon) kapasitesinden daha fazladır. Ancak bitkilerin yakın kızıl ötesi (NIR) bölgede yansıtma miktarı, absorbe etme miktarından fazladır. Bu NIR ve VIS arasındaki farklılıklar bir

standartlaştırma işlemi sonucunda, bitkinin gelişimini değerlendirmeye imkân sağlayan bazı indeksleri ortaya çıkarmıştır.

USLE (Wischmeier ve Smith, 1978) ve RUSLE (Renard vd., 1997) dünyada yaygın bir şekilde erozyon riski taşıyan alanların ve bu alanlar için oluşturulacak koruma yöntemlerinin belirlenmesinde kullanılan eşitliklerdir. USLE'nin geliştirilmesi, tarımsal faaliyetlerde kullanıma sunulması ve fiziksel olayların modellenmesinde yeni bir çıkış açmıştır. Bu yöntemde, ürün rotasyonu ve yönetim uygulamaları için C-faktörü değerlerinin belirlenmesine olanak sağlamaktadır. Yıllık toprak kaybının belirlenmesinde kullanılan C - faktörü bitkisel örtü ve ürün yönetimi uygulamalarının erozyon oranları üzerine etkilerini yansıtmak ve yönetim seçeneklerinin toprak koruma planlarına olan göreceli etkilerini karşılaştırmak amacıyla en çok kullanılan faktördür ve topografik diğer faktörler tüm modeller üzerinde çok önemli bir etkiye sahiptirler. Bu durum, birçok araştırmanın C-faktörü ve topografik parametrelerin kullanımıyla devam etmesi gerektiğini göstermektedir (Risse vd., 1993).

Bitkisel örtü ve ürün yönetimi faktörü, toprak koruma planının ortalama yıllık toprak kaybını nasıl etkileyeceğini ve toprak kaybı potansiyelinin toprak işleme faaliyetleri, ürün rotasyonu ve diğer yönetim uygulamaları sırasında zamansal olarak nasıl dağılım gösterdiğini belirlemeye çalışmaktadır. Bölgesel C değerleri, rotasyon döngüsü olduğunda gelişme periyodu süresince belirli sağınak-kesme özellikleri kullanarak ve bitkisel örtü ve yönetimin erozyon azaltma etkinliğini yansıtan araştırma verileri kullanarak elde edilmektedir (Wishmeier, 1972). C-faktörünün 0 ile 1 aralığında değişen boyutsuzluğu, ürün ya da vejetasyonun toprak yüzeyini koruma derecesi olarak tanımlanmaktadır (Biesemans vd., 2000). Toprak yüzeyinin bitki örtüsüyle tamamen kapalı olması, toprağı yağmur damlası etkisinden korumakta, agregat dayanımını değiştiren yönetim ise parmak erozyonunu etkilemektedir.

Bitkisel örtü ve ürün yönetimi faktörü beş alt-faktöre ayrılmaktadır. Bunlar, sırasıyla önceki arazi kullanımı, bitkisel örtü, yüzey örtüsü, toprak pürüzlülüğü ve toprak nemidir. C-faktörünün etkileri ise üç sınıfa ayrılmaktadır. Bunlar: (i) Bitki örtüsü (canopy) etkileri, (ii) toprak yüzeyi örtüsü etkileri ve (iii) toprak içerisindeki etkileridir

(Wischmeier, 1975). Toprak işleme türü, işleme zamanı, kullanılan donanımlar, ürün çıkışı sonrası işleme, ekim-dikim, ekim-dikim zamanı, bitki sıklığı, toprak yüzeyindeki anız örtüsü ve organik maddedeki değişimler C-faktörünü etkilemektedirler.

Bu tez çalışmasında, dünyada en çok kullanılan erozyon tahmin modellerinden biri olan RUSLE (Yenilenmiş Evrensel Toprak Kaybı Eşitliği) tercih edilmiştir (Renard vd., 1997). RUSLE/C-faktörü ve alt-faktörleri, İç Anadolu Bölgesi'nde Eskişehir İli'nde, sulu ve kuru tarımsal faaliyetlerin yürütüldüğü seçili alanlar için hesaplanmıştır. Böylelikle, hem uydu görüntüsünden elde edilen, hem de yersel ölçümlerle ölçülen NDVI ve yalnızca yersel ölçümlerle elde edilen LAI ile C-faktörü ve alt-faktörleri arasındaki ilişkiler araştırılmış; bitkisel örtü ve ürün yönetimi uygulamalarının farklı rotasyonlara dahil farklı bitki türlerindeki (ayçiçeği ve buğday) değişimi incelenerek geniş alanlara yayılımının araştırılması amaçlanmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ ve KURAMSAL TEMELLER

Günümüzde bitkisel örtü ve ürün yönetimi uygulamaları faktörünün incelendiği modelleme, arazi kullanım planlaması, hassas tarım, toprak koruma, toprak erozyonu riskinin belirlenmesi ve bitki örtüsü sınıflandırma gibi konuların çalışıldığı birçok araştırma bulunmaktadır (Gabriels vd., 2003; Zhou vd., 2008; Bargiel vd., 2013; Özhan vd., 2005; Karaburun, 2010, Erdoğan vd., 2006). Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) yöntemlerinin de araştırmalara dâhil edilmesiyle bu çalışmalar zenginlik kazanmıştır. Bitkisel ve ürün yönetimi faktörünün belirlenmesiyle ilgili çalışma konuları oldukça çeşitlidir ve yöntemler farklılık göstermektedir. Yapılan araştırmalarda özellikle RUSLE modelinin dahil olduğu çalışmalarda C-faktörünün belirlenmesi diğer faktörlere göre çok daha zordur. Bu yüzden, uzaktan algılama yöntemleri her zaman C-faktörünün belirlenmesinde bir alternatif olmuştur (Almagro vd., 2019). C-faktörünün belirlendiği çalışmalarda NDVI gibi bitki indislerinden yararlanılmıştır (Durigon vd., 2014; Lunetta vd., 2006). Uydu görüntülerinin dâhil edildiği çalışmalarda ise parsel düzeyinden bölgesel düzeye kadar farklı ölçeklerde detaylı çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalara ait çeşitli örnekler bulunmaktadır.

(1) Daughtry vd., 1980 yılında yaptıkları bir çalışmada, buğday bitkisi yetiştirme sürecinde multispektral ölçümlerden yararlanmışlar, bitki örtüsünün dinamik bir varlık olduğu, hem kültürel hem de çevresel faktörlerden oldukça etkilendiği belirtilmiştir. Ürünlerin spektral ölçümlerindeki çeşitliliği belirlemek ve anlayabilmek için yapılan bu çalışmada toprak nemi, ekim tarihi, bitki çeşidinin yazlık buğday bitkisinin yansıma özelliklerine olan etkisi incelenmiştir. Bitki gelişim evreleri boyunca yaprak alan indeksi, biyokütle, bitki yüksekliği, kapalılık oranı ve toprak nemi ölçümleri yapılmıştır. Çalışmada, ekim zamanı ve yarayışlı toprak neminin buğdayın ekimden olgunlaşmaya kadar geçen süre içerisinde yansıma oranını etkileyen önemli agronomik faktörler olduğu belirtilmiştir.

(2) Ayçiçeği bitkisinde ürün veriminin arttırılması amacına yönelik bir model geliştirme çalışmasında tarım uygulamalarına yönelik oluşturulan benzetim modellerinde toprak ve atmosferik çevrenin ürün ile ilişkileri incelenmiştir (Chapman vd., 1993). Toprağın

alanlarda ürün gelişiminin modellenmesi için oluşturdukları simülasyonda iklimsel, fenolojik ve spektral yansıma özellikleri modele dahil edilmiştir. Sonuç olarak oluşturulan model bağımsız veri setine karşı yaprak alan indeksi, toplam biyokütle ve tane verimi için tatmin edici sonuçlar vermiştir.

(3) De Jong (1994)' un yaptığı bir çalışmada Landsat (TM) görüntüleri yaprak alan indeksi, kapalılık oranı ve USLE-C faktörü gibi vejetasyon ile ilgili parametreleri ve koşulları belirlemek için kullanmıştır. Bunun için, bölgesel kapalılık oranı tahminleri yapılmış, LAI ve C-faktörü Fransa'daki 33 parsel üzerinde hesaplanmıştır. Parsel değerleri, Landsat TM görüntüsü üzerinden hesaplanan NDVI değerleri ile karşılaştırılmış, LAI'ın tahmin edilmesine yarayan regresyon denklemleri, kapalılık oranı ve USLE-C, NDVI değerlerinden elde edilmiştir. De Jong' a göre NDVI ve LAI arasında ortaya çıkan negatif korelasyon, vejetasyon canlılığına göre oluşan NDVI'nin hassasiyeti şeklinde ifade edilmiştir: Su stresi altındaki bitki örtüsü kapalılığı yoğun olsa bile NDVI değerlerinin düşük olacağı belirtilmiştir.

(4) Cry vd. 1995 yılında yaptıkları çalışmada ise dört farklı bitki indisi (NDVI, SAVI - Toprak Düzeltmeli Vejetasyon İndeksi (Huete, 1988), TSAVI – Dönüştürülmüş Toprak Düzeltmeli Vejetasyon İndeksi (Baret vd., 1989) ve PVI – Düşey Vejetasyon İndeksi (Richardson ve Wiegand, 1977)) kullanılmış ve indislerin davranışlarına göre bitki sınıfları ikiye ayrılmıştır (1.grup: mısır, soya, arpa ve mera bitkileri; 2. Grup: alfa alfa ve yulaf). Kapalılık ve vejetasyon indisleri arasındaki ilişki her ürün için ayrı ayrı fotografik ve radyometrik olarak büyüme dönemlerinde 10 günlük sürelerle ölçümler yapılarak belirlenmiştir. Yersel ve uydu gözlemleri arasındaki benzerliğin yakın olması istenilen bir durum olmuştur. Çalışma sonunda ise gelişme döneminin başında indislerin yüksek tahmin değerleri verdiği ve bitkilerin ileri olgunluk/yaşlılık döneminde ise tahmin değerleri daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuç verilerinin bitki çeşitliliğinde farklı indislerin kullanımı yönünden CBS ortamında erozyon çalışmalarına entegre edilebilir olması çalışmanın önemli bir diğer boyutudur.

(5) Vaesen vd. (2001), çeltik bitkisinde kapalılık faktörü olarak toprak yüzeyi kapalılığını ve LAI ölçümlerini yersel ölçümlerle gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada LAI

ölçümlerinin yanı sıra farklı vejetasyon indislerini de kullanmışlardır. Bu indisler: NDVI, PVI, RVI (Rouse vejetasyon indeksi - Rouse Vegetation Index – (Rouse vd., 1973)) ve WVDI (Ağırlıklandırılmış Farklı Vejetasyon İndeksi – Weighted Difference Vegetation Index – (Clevers, 1989))’dır. RVI işlevsel olarak yapılan ilk vejetasyon indislerindendir. Daha sonra yine Rouse ve ark. (1973) tarafından revize edilerek NDVI ortaya çıkarılmıştır. WVDI ise toprak nemi etkilerini normalize etmektedir. Vejetasyon indisleri ile ilgili oldukları ürünlerin biyofiziksel özelliklerini (bitkisel örtü ve LAI gibi) ilişkilendirebilmek için çok sayıda model geliştirilmiştir. Bu çalışmada, vejetasyon indisleri, bitki klorofil içeriğinde, çeltik derinliğinde, su sediment yükünde, ve dip tabakanın rengine göre tahminlerin yapılmasında kullanılmıştır ve çalışma sonuçları çeltik bitkisinin bir ürün olarak spektral olarak izlenmesinde oldukça ümit verici olduğu belirtilmiştir.

(6) Başka bir çalışmada ise, yaprak alan indeksi değerleri, NDVI verilerinden elde edilmiştir (Buermann, 2002). Yaprak alan indeksi değerlerinin NDVI ile ilişkili olduğunu ancak direkt oransal bir bağlantısının olmadığını altı çizilmiş, ayrıca farklı bitki ve toprak tipinin yaprak alan indeksi ile NDVI görüntüleri arasındaki ilişkiyi etkilediğini vurgulanmış, NDVI ile vejetasyon kapalılığı arasındaki ilişki vejetasyonun doğasına göre değişmekte ve çeşitlenmekte olduğu belirtilmiştir. Uzun-süreli yaprak alan indeksi veri seti oluşturmak için NDVI’ya ait uzun kayıtlardan kullanılabildiği sonucuna ulaşılmıştır.

(7) Gabriels vd. (2003), Belçika’da yürüttükleri çalışmalarında ise ana ürün rotasyon sistemleri için bitkisel örtü ve ürün yönetimi (C) faktörü belirlemişlerdir. Rotasyon süresi boyunca R-faktörü olan aşındırma faktörü 27 yıllık bir süre için detaylı bir şekilde hesaplanmış, ürün bilgileri elde edilmiş (bitkisel örtü gelişimi, ekim ve hasat zamanları, anız miktarları) ve daha sonra rotasyon sistemlerine göre C-faktörü hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, rotasyon içerisindeki ürün yerinin C-faktörünü etkilediği ve bazı rotasyon sistemlerinin yüzey akışı ile daha fazla toprak kayıplarına sebep olduğu görülmüştür.

Bu da C-faktörünün hem model içerisindeki yerini hem de tarımı yapılan ürünlerin bulunduğu rotasyon sisteminin planlanmasının ne kadar önemli olduğunu vurgulamıştır.

(8) Tarım alanlarından farklı olarak, uzaktan algılama teknolojisinin kullanıldığı ve mera alanlarında yürütülen bir çalışmada, seyrekten orta sıklığa kadar olan bitki örtüsü ile kaplı mera yüzeylerinin toprak nemi belirlemek üzerinedir. Bunun için ERS-2/TM sinerjisinden yararlanılmıştır. Öncelikle yüzey pürüzlülük etkisinin azaltmak için bir yaklaşım geliştirmişler ve daha sonra toprak nemi NDVI ilişkisi için optik ve mikrodalga sinerjetik modeli oluşturmuşlardır. Çalışma sonuçları, yarı kurak meralarda, toprak kuru iken radar gerisaçılımının NDVI ile (+) korele; ve NDVI ile toprak nemi daha da yüksek olduğunda (–) korele olduğu sonucunu elde etmişlerdir. Bu çalışmada geliştirilen yaklaşım seyrek ve orta sıklıktaki alanlar için geçerli olduğu belirtilmiş ve özellikle bitki yoğunluğu arttığında ($NDVI > 0,45$) SAR gerisaçılımı bitki yüzeyinden olduğundan dolayı toprak nemi tahminlerinin bu çalışma için uygun olmadığı üzerinde durmuşlardır (Wang vd., 2003).

(9) Klima ve Kielan'ın 2006 yılında yaptığı çalışmanın temelinde su erozyonu riskinin yetiştirilen ürünler üzerindeki etkisini araştırmak yatmaktadır. Bunun için bitkisel örtü ve ürün yönetimi faktörünün ön planda olduğu çalışmada yaprak alan indeksi değerleri yersel ölçümler ile hesaplanmış ve diğer toprak parametreleri ile çoklu regresyona tabi tutularak toprak üstü kısımlarının gelişimi ile toprak kayıpları şiddeti arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Farklı bitki desenlerinde (yem pancarı, kışlık tritikale ve baklagil) yaptıkları bu çalışmada vejetasyon süresi boyunca toprak kayıplarının yaprak alan indeksinin artmasına karşılık azaldığı sonucu elde edilmiştir.

(10) Ülkemizde toprak kayıpları ile ilgili araştırmalarda C-faktörünün kullanıldığı araştırmalardan birisi de Oğuz ve ark. (2006)'nın tamamladığı “Türkiye Ünlversal Denklem Toprak Kaybı Eşitliği Rehberi”dir. Toprak ve Su Kaynakları Tokat Araştırma Enstitüsü önderliğinde Türkiye genelinde yürütülen bu çalışmada serilere göre USLE modeli kullanılarak toprak kayıpları belirlenmiştir. C-faktörü ölçümleri USLE parselleri üzerinde belirlenerek denklemde yerini bulmuştur. Bu çalışma temel (R)USLE denklemindeki faktörlerin (R, K, L, S, C ve P) eşitlikte yerine koyularak toprak

kayıplarının ülke genelinde bulunmasına dayanmaktadır (Wischmeier ve Smith, 1961 ve 1978; Wischmeier, 1976).

(11) Daughtry vd.'nin (2006) yapmış olduğu bir çalışma, ürün artık örtüsünün ölçülmesinde uydu multispektral ve hiperspektral verilerin kullanılmasıyla birlikte birçok indisin de değerlendirilmesi ve tarımsal alanlardaki toprak işleme yoğunluğunun sınıflandırılması üzerinedir. Tarımsal alanlarda ürün artıkları yönetiminin toprak erozyonunun azaltılmasında ve toprak organik karbonun arttırılmasında çok önemli olduğunu belirtmişlerdir. Ürün artıklarının değerlendirilmesinde kullanılan yöntemler bu artıkların konumsal çeşitliliğinin de belirlenmesinde ve karakterize edilmesinde hem parsel düzeyinde hem de daha geniş alanlarda yeterli olmadığı yönündedir.

(12) Jones vd. (2007), yaptıkları bir çalışmada, tarımsal faaliyetlerde ürün gelişimin ne kadar sağlıklı olduğunu ölçmek için NDVI'dan yararlanmışlardır. Bunun için GreenSeeker sensör kullanarak NDVI ölçümleri yapmış ve NDVI ile ıspanak bitkisinin klorofil içeriği arasında güçlü korelasyon elde etmişlerdir.

(13) Claessens vd. (2008) tarafından Kenya'da yürütülen bir çalışmada ise potansiyel toprak erozyonu riskinin belirlenmesinde kullanılan C-faktörünü, 1999-2003 yılları arasında uzaktan algılama yöntemleri ile elde ettikleri aylık yaprak alan indeksi değerlerinden hesaplamışlardır. Oluşturdukları 1km² lik konumsal çözünürlüğü olan yüzey haritaları aynı zamanda bitki örtüsü tipine bağlı olan SR (Simple Ratio)-LAI ilişkisine dayandırmışlardır. Çalışmada, ortalama aylık yaprak alan indeks değerleri hesaplanmış ve akabinde en düşük aylık yaprak alan indeks değerine sahip her piksel C-faktörünü içermesi için seçilmiş ve en sonunda ise potansiyel erozyon risk haritası oluşturulmuştur.

(14) Lan vd. (2009), hassas tarımın ürünlerin durumuna ait bilgiyi sağlayacak güvenilir bir teknolojiye ihtiyaç duyulduğunu, bu doğrultuda da alana özel ürün yönetimi için gübre ve pestisit miktarlarının optimize edilebileceğini vurguladıkları çalışmalarında gerçek zamanlı olarak NDVI, biyokütle, ürün kanopi yapısı ve bitki boyu ölçümlerinden faydalanmışlardır.

(15) Zhongming vd. (2010) tarafından yürütülen bir çalışmada yine bitki örtüsü indislerinden faydalanmışlar ve oluşturdukları indis tabakaları ile toprak erozyonuna farklı bir bakış açısı getirmeye çalışmışlardır. Çalışmalarında farklı vejetasyonlara ait bitkisel örtü ölçümleri yapmış, bu tabakaları tek bir yöntemde bir araya getirmiş ve toprak kaybını azaltmak için çok sayıda kullandıkları tabakayı tek bir vejetasyon indeksi haline getirerek bitkisel örtü indisini ortaya koymuşlardır. Böylelikle çok sayıda kullandıkları parametrelerle toprak erozyonu belirlemede NDVI gibi vejetasyon indislerinin oluşturduğu dezavantajların üstesinden gelmek için alternatif bir öneri getirmişlerdir.

(16) Bu çalışma ise, farklı bitki indisleri ile belirlenen ve karakterize edilen tarımsal ürünlere ait özelliklerin farklı gelişme dönemleri için karakterize edilmesi/belirlenmesi üzerinedir. Bunun için, 4 farklı ürün tercih edilmiştir. Bunlar: mısır, soya fasulyesi, buğday ve kanoladır. 8 yılın üzerinde bir gelişme, farklı toprak işleme yöntemleri ve farklı zamanlarda ve oranlarda azot yönetim uygulamaları altında çalışılmış; ürün fenolojisi ve yönetim uygulamaları için en kullanışlı 6 farklı vejetasyon indisi seçilmiştir. Bunlar: a) Biyokütle Basit Oranı (Simple-Ratio of Biomass, SR), b) tutulan par için NDVI, c) LAI'nin erken evreleri için SAVI, d) LAI'nin geç dönemleri için EVI, e) Yaprak klorofili için CI_{green} , f) geç dönemlerdeki klorofil içeriği için NPCI ve g) bitki senesansın (yaşlılığı) belirlenmesi için PSRI'dır. Elde edilen sonuçlara göre, mısır ve soya fasulyesi çeşitleri arasında vejetasyon indisleri bakımından gelişme dönemi boyunca farklılıklar bulunmaktadır ki bunlar gelişme dönemlerinin ve vejetatif indislerin bir fonksiyonudur. Bu sonuçlar tarımsal ürünlerin özelliklerini belirlemede çok sayıda vejetasyon indisine ihtiyacımız bulunduğunu göstermektedir (Hatfield ve Prueger, 2010).

(17) Dünya'da yapılan diğer çalışmalar arasında da farklı vejetasyon indekslerinin karşılaştırıldığı örnekler de bulunmaktadır. Viña ve ark. (2011) yaptığı araştırmada vejetasyonun biyofiziksel özelliklerinin uzaktan algılama ile tahmin edilmesine istinaden mısır ve soya fasulyesinde LAI, klorofil indeksleri (CI_{green} , $CI_{red-edge}$ ve MERIS

karasal klorofil indeksi, MTCI) ölçülmüş ve indisler arasında güçlü doğrusal ilişkiler bulunmuştur.

(18) Nielsen vd. (2012) tarafından yürütülen çalışmada, AquaCrop modeli ile kışlık buğday, mısır ve tritikale bitkilerinde kanopi kapalılığı (CC) ve LAI arasındaki ilişkiler modellenmiştir. 2010 ve 2011 yılları arasında kurak ya da sulama sınırlaması olan şartlar altında toplanan verilerden elde edilen sonuçlara göre LAI ve CC arasında güçlü ilişkiler elde edilmiştir (üstel). Yüksek LAI değerlerinde düşük CC değerleri elde etmişlerdir. Bunu da bitki sıklığının farklı olmasından ileri gelebileceği belirtilmiştir. Buğday ve trikale bitkileri için LAI-CC ilişkileri benzer olmuştur. $LAI < 2$ 'de mısır için elde edilen ilişkilerden daha yüksek kanopi kapalılığı değerleri ile ilişkiler tahmin edilmiştir.

(19) Bir başka çalışmada ise, Çin Loess Platosu'nda C-faktörü'nün üst ölçeklendirilmesi ve uygulanması üzerinedir. Öncelikle C-faktörün hesaplanması için bir yöntem geliştirilmiş, eğim düzeyinde üst-ölçeklendirme yapılmış ve sonrasında C-Faktör değerleri SLR, yağış ve arazi kullanım türü ile Ansai Şehri için hesaplanmıştır. Birden fazla yıla ait ortalama C-faktörü değeri 0,36 olarak bulunmuş ve C-faktörünün bölgesel olarak değiştiği belirtilmiştir. Çalışma alanındaki SLR değerlerinin konumsal değişimi farklı arazi kullanımlarla uyum gösterdiği, C-faktörünün mevsimsel olarak ürün gelişme dönemleri ayırt edilerek çalışılması ve bölgesel ölçekte C-faktörünün belirsizlik çalışmalarına ihtiyaç duyulduğu vurgulanmıştır (Zhao vd., 2013).

(20) Yu vd. (2017) tarafından yürütülen bir çalışmada, yüzey akışların tahmin edilmesinde önemli bir parametre olan aerodinamik pürüzlülüğün tahmin edilmesinde tarım alanlarında yeni bir vejetasyon indisi olan Etkin-karanlık nokta Vejetasyon İndisi (Hot-Darkspot Vegetation Index, HDVI) ile yenilikçi bir yöntem geliştirmişlerdir. Ürün gelişme dönemleri süresince NDVI ve aerodinamik pürüzlülük arasında doğrusal bir ilişki elde edilmiştir. Birinci parselde çift ürün yetiştirme sistemi ve yazlık mısır ile kışlık buğday rotasyonlarının olduğu; ikinci parselde ise ana ürünün baharlık mısır olduğu sistemler kurulmuştur. Arazideki aerodinamik pürüzlülüğün zaman serilerinden

hesaplanmasında tekrarlı bir algoritma kullanılmış ve sonuçlar, HDVI ile Z_{0m} ve NDVI ile Z_{0m} arasındaki ilişkiyi incelemiştir.

(21) Farklı bir çalışmada ise, vejetatif - üreme dengesinin (VRB) doğrudan haritalandırılmasının da dahil olduğu birçok uygulamada ve üzüm diriğinin belirlenmesinde önemli bir parametre olan LAI'ın konumsal çeşitliği NDVI'dan hesaplanarak belirlenmiştir. Bu çalışmada, LAI değerlerinin yüksek olmasından ötürü NDVI'nın hassasiyeti azaldığından kullanımının uygun olmadığı vurgulanmış, bunun ötesinde, üzüm bağlarında kullanılan örtü koruması, gelen ışık açısını ve yansımaları ve sonuç olarak da spektral geri yansımayı etkilediğinden bu çalışmada LAI-NDVI ilişkilerinde koruma ağının etkisi analiz edilmiş ve NDVI referans indis olarak kullanılmıştır. Ayrıca birçok indis doğrusal ve logaritmik modeller kullanılmış ve kesinlik ve hassaslık durumu göz önünde tutularak karşılaştırılmıştır. NDVI verilerinin en kesin, vejetasyon indis oranının da en hassas olduğu sonucuna varmışlardır (Towers vd. 2019).

(22) Almagro ve Arkadaşlarının (2019) Brezilya'da yürüttükleri çalışmada, toprak kayıplarının ve sediment veriminin tahmin edilmesinde kullandıkları RUSLE modelinde, C-faktörünü uzaktan algılama yöntemleriyle bitki indislerini kullanarak belirlemişlerdir. Farklı kaynaklara sahip bitki indislerinin karşılaştırmasını yapmış, tropik bölge için Durigon vd. (2014) tarafından önerilen ve Colman (2018) tarafından uyarlanan NDVI hesaplamasının daha uygun olduğu sonucuna varmışlardır. Bu çalışma için Landsat-8 uydu görüntüsünden yararlanmışlardır.

Tüm bu bilgiler ışığında planlanan bu tez çalışmada, yarı-kurak bir ekosistem içerisinde sürdürülen tarımsal faaliyetler çatısı altında, araştırma sahası olarak hem Türkiye genelinde hem de Eskişehir İli'nde yoğun bir şekilde tarımının yapılmasından dolayı ayçiçeği ve buğday ekili tarım alanları tercih edilmiştir. Ülkemizin temel besin maddesi konumunda olan buğday, tarımsal ürünler arasında ekim alanı ve üretim miktarı bakımından ilk sırayı almaktadır. Bunun yanı sıra, hızla artan nüfusun beslenme sorunlarının giderilmesinde, sınırlı tarım alanlarındaki bitkisel üretimin verimliliğinin arttırılması büyük önem taşımaktadır.

Bu alışma ile, farklı yaprak gelişimine sahip bitkilerle, bu bitkilerin gelişme dönemleri boyunca bitki indislerinin verdiği cevaplar ve bunlara istinaden elde edilen ilişkiler ile konumsal olarak bir sürekliliğe sahip C-faktörünün geniş alanlardaki yayılımı araştırılmıştır.



3. MATERİYAL ve YÖNTEM

3.1 Materyal

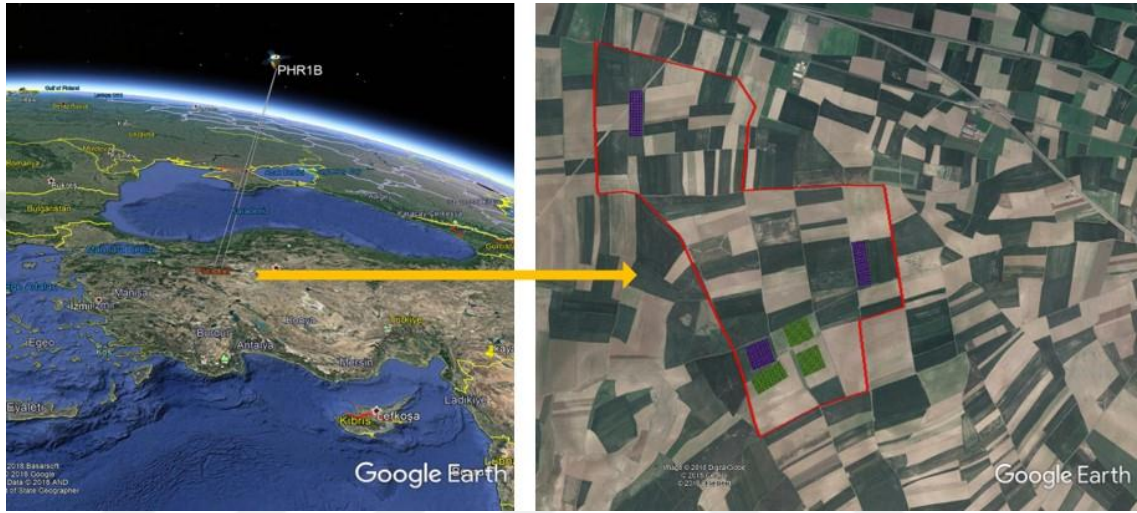
3.1.1 Araştırma alanı

Genel bilgiler

İç Anadolu Bölgesi'nin kuzeybatısında yer alan Eskişehir'i, topografik olarak etrafını çevreleyen dağlarla birlikte iç kısımda, Sakarya ve Porsuk havzalarındaki düzlükler oluşturmaktadır. Sakarya ve Porsuk havzaları kuzeyden Bozdağ ve Sündiken sıradağlarıyla, batı ve güneyden ise İç Batı Anadolu sınırının doğu kenarında bulunan Türkmen Dağı, Yazılıkaya Yaylası ve Emirdağ ile çevrelenmektedir. Eskişehir'in doğal sınırını belirleyen bu topografik yapı sayesinde il merkezi yaklaşık olarak 13,653 km² dir ve bu alan ile Türkiye topraklarının % 1,8'ini kaplamaktadır. Rakım 792 m'dir. Yaklaşık olarak %22'sini dağların oluşturduğu Eskişehir İli'nin sahip olduğu yer şekilleri içerisinde ovaların payı ise %26 civarındadır (Anonim 2015).

Alpu İlçesi, Eskişehir İli'nin 40.km doğusunda olup batısında İl merkezi, kuzey batısında Sarıcakaya, doğusunda Beylikova, kuzeydoğusunda Mihaliççık, güneyinde Mahmudiye ilçeleri ile kuzeyinde Ankara İl sınırlarının çevrelediği Alpu ovası üzerinde yer almaktadır. Topraklarının $\frac{3}{4}$ 'üne tekabül eden bu ova kuzeye gidildikçe yükselmekte ve Sündiken dağları ile en yüksek kesimi oluşturmaktadır. Sündiken dağları Alpu İlçesi'nin kuzeyinde Ankara il sınırına kadar ulaşmakta, bu sınırını Gökçekaya Baraj Gölü ile Sakarya Nehri'nin kolu olan porsuk nehri tarafından ova ikiye bölünmektedir. Porsuk ırmağından tali kanallara bu ovanın ekseriyetini sulı tarım yapılmaktadır. Taban suyu da yüksek olan Alpu ovası İç Anadolu Bölgesi'nin zengin ovaları arasındadır. Toprakların büyük bölümünde şeker pancarı tarımı yapılmaktadır. Ayrıca, besicilik ve süt üretimi yoğun geçim kaynakları arasındadır. Alpu yerleşimin bitki örtüsü sulı ve kuru işleme niteliğindeki tarım topraklarından oluşmaktadır. Porsuk Çayı'nın kuzeyinde kalan bölgelerde kısmen sulanan tarım alanları ve güneyinde tamamen kuru tarım üretimi yapan tarlalar bulunmaktadır (Anonim 2016). Alpu İlçesi'nin yüzölçümü 1.059,130 da, rakımı 700 m.'dir. Arazi dağılımı 400.490 dekar

tarım arazisi, 389.640 dekar orman arazisi, 220,700 dekar çayır-mera, 48.300 dekar tarım dışı arazidir. Tarımsal üretimde kullanılan alanın dağılımı. 150.320 da sulu tarım arazisi, 250.170 da kıraç tarım arazisi şeklindedir. Eskişehir İli' nin dâhil olduğu Porsuk Çayı alt-havzasında Alpu İlçesi Fevziye Köyü tarım alanlarında yürütülen bu araştırma (Şekil 3.1), her bitki deseni (ayçiçeği ve buğday) için 3 farklı parselde örnekleme ve ölçümlerle toplamda 6 parsel üzerinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.1 Çalışma yeri ve parsel konumları (Google Earth, 2018)

Jeolojik özellikler

Alpu İlçesi'nin bulunduğu havzanın temeli Paleozoyik yaşlı metamorfik kayalar (mermer, mavi şistler) ile Mesozoyik yaşlı ofiyolitik kayalardan (radyolarit, radyolaryalı kireçtaşı, çamurtaşı, serpantinit, diyabaz, kireçtaşı, şist blokları, kısmen serpantinleşmiş peridotit ve kısmen metamorfikleşmiş diyabaz ve gabro) oluştuğu belirtilmektedir (Şengüler ve Izladı, 2013; Toprak vd. 2015). Miyosen birimler, taban kayaları üzerine uyumsuz olarak gelmektedir ve tabandan tavana M1, M2 ve M3 olarak adlandırılmaktadır. M1 serisi: konglomera, kumtaşı ve kil taşından ve M2 serisi konglomera, yeşil kil taşı, kömür (alt zon), gri kumtaşı, koyu gri-yeşil silt taşı, bitümlü şeyl, silt taşı, kömür (üst zon) ve yeşil kil taşı, kumtaşı ve ince taneli konglomeradan ardalanmalı olarak oluştuğu belirtilmektedir. M2 biriminin içinde iki kömür damarı, kil taşı ve killi kömür tabakaları ile yukarı damara doğru ardalanma yapmıştır ve fayların

kontrolündedir (Şengüler, 2013). Tüf ve tüfit, M2 serisinin içinde havzanın güneyinde marn ve kille aralanmalı olarak bulunmaktadır. M3 serisi kireçtaşı ve konglomera ile tanımlanmaktadır. Pliyosen birimler ise konglomera ve kil taşından meydana gelmektedir. Kuvaterner yaşlı alüvyal, güncel sediment birikimleri bu birimleri örtmektedir.

İklim özellikleri

Alpu ilçesi, iklim bakımından İç Anadolu bölgesine özgü kara iklimine sahiptir. Yazları sıcak ve kurak, kışlar yağışlı ve soğuk, ilkbahar ayları genellikle yağmurlu ve ılık, sonbahar aylarında ise serin ve kurak geçmektedir. Yılda ortalama $336,7 \text{ kg/m}^2$ (son 10 yıllık yağış miktarı) yağış düşer. Sıcaklık yazın $30 - 38^\circ\text{C}$, kışın ise $0 - 20^\circ\text{C}$ derece arasındadır. Tezde, toprak pürüzlülüğü alt-faktörü hesaplamalarında kullanılan yağış düzeltilmesi için aylık toplam yağışlardan yararlanılmıştır. Bu veriler tez parsellerine en yakın olan Mahmudiye OMGI verileridir ve %EI değerleri bu istasyon verilerine göre hesaplanmıştır Erpul vd., 2016).

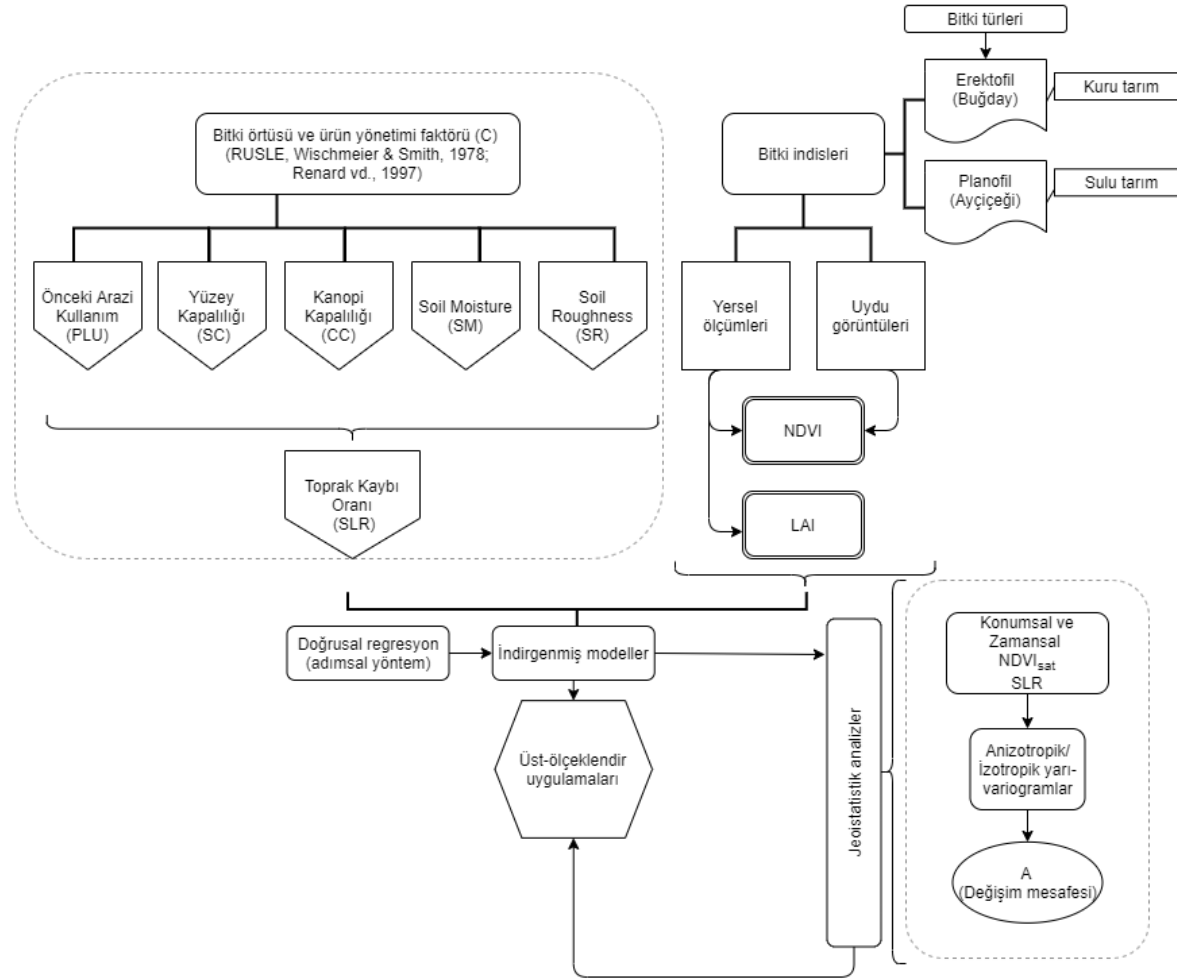
3.2 Yöntem

3.2.1 Araştırma yaklaşımı

Teze ait iş-akış düzeni Şekil 3.2' de verilmiştir.

3.2.1.1 Örneklem

Parsellerde, ölçüm ve örneklemeler $20\text{m} \times 20\text{m}$ olacak şekilde karelej yöntemi ile yapılmış, her parsel için 20 adet rastgele örneklem noktaları belirlenmiştir. Her parsel için 4 dönem ölçüm yapılabilmektedir. Bu düzende örnek noktalarından *Bitkisel örtü ve ürün yönetimi* (C) faktörünün alt-faktörleri, uydu görüntülerinden elde edilen NDVI_{sat} , yersel ölçümlerle el tipi spektrometre ile (GreenSeeker, Trimble Inc.) ölçülen NDVI_{gs} ve yersel ölçümlerle elde edilen LAI değerleri için örneklem ve ölçümler yapılmıştır (Şekil 3.3). Örneklem noktaları CBS ortamında oluşturulmuş (ArcGIS 10.8) ve GPS'e (Magellan Explorist-610) aktararak arazi örneklemeleri ve ölçümleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.2 Tez iş-akış şeması



Şekil 3.3 Örnekleme düzeni (sistemik ve rastgele örnek noktaları)

Parsellerin şekil ve büyüklüğü itibariyle parsel başına düşen örnekleme sayısı değişkenlik göstermektedir. Bir bitki gelişim dönemi içerisindeki bitki kapallılığı değişkenlik göstermektedir. Kolaylık olması açısından yıl bitki gelişim dönemlerine bölünmekte ve böylelikle her dönem içerisinde bitki ve ürün yönetimi homojen olarak değerlendirilmeye çalışılmaktadır (Wischmeier ve Smith, 1978). Toprak verimliliğinde bulunulan dönem, sıra aralığı, bitki popülasyonu ve genel büyüme şartları gibi durumlar bitki gelişimin etkilediğinden ve toprak kayıplarının tahmin edilme doğruluğu homojen bir zaman dilimi yerine dönemsel olarak bitki örtüsü kapallılık oranına göre değiştiğinden bitki gelişim dönemlerinin süresi de ürüne, iklime ve yönetim biçimlerine göre değişmekte ve bulunduğu coğrafyaya göre belirlenmesi gerekmektedir. Bu yüzden bu çalışmada da, C-faktörü ve alt-faktörlerinin hesaplanması için geliştirilmiş USLE metodolojisinde kullanılan bitki gelişim dönemleri tercih edilmiştir (Wischmeier ve Smith, 1978).

3.2.1.2 USLE (Evrensel Toprak Kaybı Eşitliği) Bitki gelişimi (örnekleme) dönemleri (Wischmeier ve Smith, 1978)

F dönemi (nadas – FP): anız bozmadan ekime kadar olan dönem,

SB dönemi (tohum yatağı – OP): ikincil toprak işleme için tohum yatağının hazırlanmasından ürünün %10'luk bitkisel örtü kapallılığına ulaşınca kadar olan dönem,

1.dönem (gelişme – 1P): SB döneminden (%10) bitkisel örtünün %50 oranında kapallılığa ulaşınca kadar geliştiği dönem,

2. dönem (büyüme – 2P): 1. dönemin sonundan bitkisel örtünün %75 olduğu zamana kadar olan dönem,

3. dönem (olgunlaşma – 3P): 2. Dönemin sonundan hasata kadar geçen süredir.

4. dönem (anız ya da ürün artığı – 4P): Hasattan anız bozmaya kadar geçen dönemdir (Wischmeier ve Smith, 1972).

Parsellere göre arazi büyüklüğü ve örnek sayıları Çizelge 3.1' de verilmiştir.

Çizelge 3.1 parsellere göre gelişme dönemlerinde alınan örnekler

Parsel	Dönemlere göre örnekleme sayısı (sistematik + rastgele)			
	FP	1P	2P	3P
A-1*	121+20	121+20	20	20
A-2	120+20	120+20	20	20
A-3	120+20	120+20	20	20
	3P/4P	FP/0P	1P/2P	3P
B-1	121+20	121+20	121+20	121+20
B-2	120+20	120+20	120+20	120+20
B-3	128+20	128+20	128+20	128+20
Toplam (2678)	850	850	489	489

* A-1, A-2 ve A-3 sırasıyla ayçiçeği parsellerini ve B-1, B-2 ve B-3 sırasıyla buğday parsellerini belirtmektedir.

Bu dönemler: Ayçiçeği parsellerinde, FP-1P-2P ve 3P; Buğday parsellerinde 1. parselin ilk ölçümleri bir önceki ürünün 3. dönemine; 2. ve 3. parsellerin ilk ölçümleri bir önceki ürünün 4.dönemine denk gelmiştir. Diğer takip edilen dönemler ilk parsel için FP , 2 ve 3. Parseller için 0P; 1P, 2P (üçüncü parsel) ve 3P olmuştur.

Örnekleme/ölçüm dönemlerine ait açıklayıcı görseller Şekil 3.4 ve 3.5’de verilmiştir.

3.2.1.3 Ayçiçeği ve Buğday bitkisi gelişim dönemleri

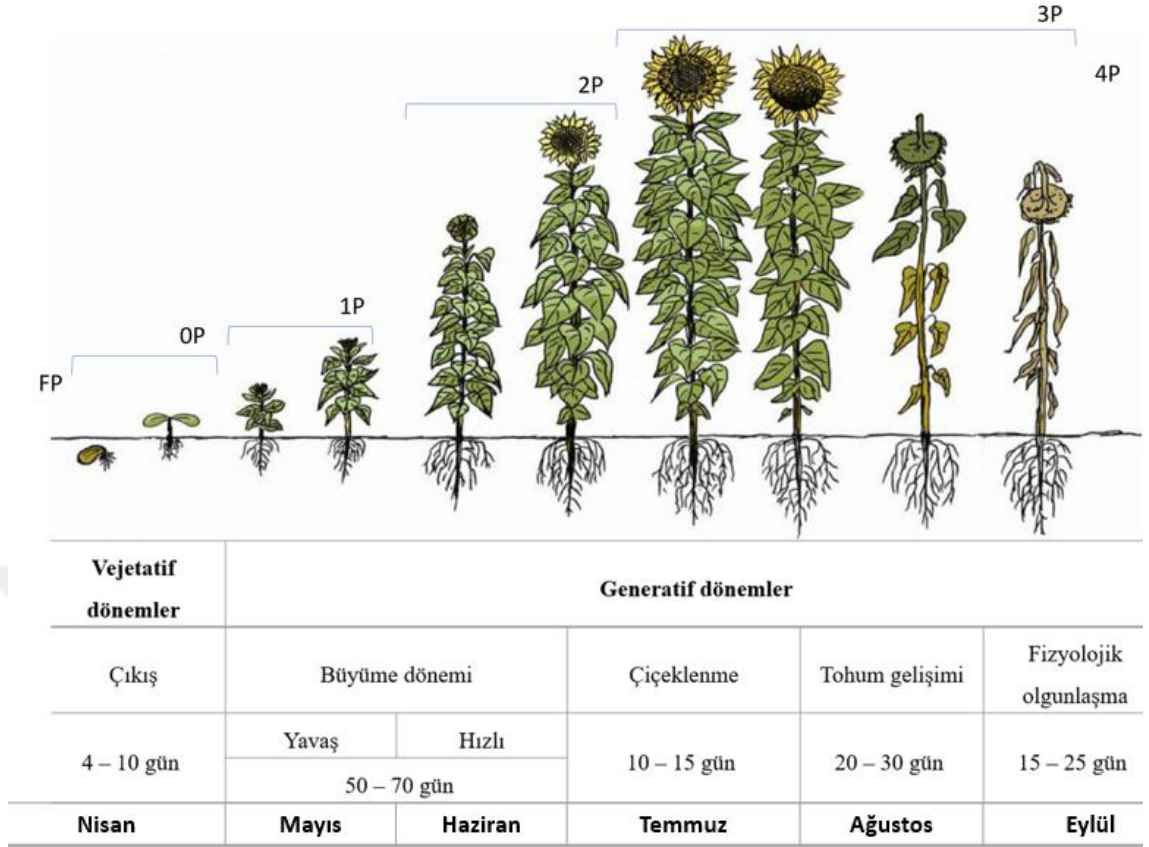
Ayçiçeği

Ayçiçeği bitkisi ülkemizde ve dünyada çerezlik ve yağlık olarak tarımı yapılmaktadır ve en önemli yağ bitkilerinden biridir. Türkiye üretim ve ekim alanları göz önüne alındığında ayçiçeği tarımı yapan ilk on ülke arasında yer almaktadır. En çok Trakya-Marmara, İç ve Doğu Anadolu Bölgelerinde yetiştiriciliği yapılmaktadır. Tez çalışma alanında ise sulu tarım koşullarında yağlık ayçiçeği üretimi gerçekleştirilmiştir (Anonim, 2020).

Ayçiçeği bitkisi yıllık 700-800mm veya yetiştirme döneminde 350-400mm yağış ihtiyacı duymaktadır. Yağışın yetersiz olduğu koşullarda özellikle toprak oluşumu, çiçeklenme başlangıcı ve dane süt olumu başlangıcı dönemlerinde sulama yapılması gerekmektedir

Bitkinin çiçeklenmeden 20 gün önce ile çiçeklenmeden 10 gün sonraki evrelerde su ihtiyacı maksimumdur (Bitkisel Üretim Çitçi Rehberi, 2012). Eskişehir gibi Orta Anadolu koşullarında eğer su kısıtı bulunmuyorsa 3 ve hatta 4 sulama yapılabilir. Bu yüzden gelişme dönemlerine göre ilk tabla oluşumunda (tabla çapı 4-6 cm), çiçeklenme başlangıcı ve danelerin süt olum evresinin başlangıcı olarak kabul edilmektedir (Bitkisel Üretim Çitçi Rehberi, 2012). Orta Anadolu koşullarında Nisan ayı gibi mibzerle ekimi yapılan ayçiçeğinin (300-350 g/da) çimlenmesi için gerekli olan toprak sıcaklığı en az 8-10°C' dir. Ayçiçeği ekiminde sıra arası mesafe 70 cm ve sıra üzeri mesafe toprak ve iklim özelliklerine bağlı olarak 25-35 cm arasında olabilmektedir. Kısa boylu çeşitlerde sıra üzeri mesafe yaklaşık 25cm, orta boylularda 30 ve uzun boylularda ise 35 cm olması gerektiği belirtilmiştir. Kurak ve verimliliği düşük bölgelerde sıra üzeri mesafe 35-40 cm, sulamanın yapıldığı, yağış rejimi ve toprak özelliklerinin ideal olduğu koşullarda ise 25 cm olabildiği belirtilmiştir. Ekim derinliği toprak nemine bağlıdır. Erken ekim durumunda tavında bir toprak için ekim derinliği 5-6 cm; geç ekimin söz konusu olduğu ve toprak neminin yetersiz olduğu koşullarda ise 6,0 - 7,5 cm derinlik önerilmektedir (Süzer, 2006).

Eğer ayçiçeği ekim döneminde toprak yeteri kadar nemli değilse çıkış sulaması, erken gelişme döneminde yarayışlı suyun az olduğu şartlarda kuraklıkla karşı karşıya kalınırsa 15-20 gün ara ile 1-2 sulama yapılması önerilmektedir. Buradaki önemli husus, tarla toprağındaki nemin solma noktasına düşmeden, yarayışlı suyun %50'ye inmesi durumunda hemen tarla kapasitesine gelecek şekilde sulamanın yapılması yönündedir. Sulama suyu yeterli ise, ilk tabla oluşumu, çiçeklenme başlangıcı ve danelerde süt olumu başlangıcı dönemleri; sulama suyu yetersiz ise (zorunlu hallerde) bir defa çiçeklenme başlangıcı döneminde yeterli sulama, tabla oluşumu ve süt olum dönemlerinde ise kısıtlı sulama yapılması dekardan alınacak verim bakımından önem teşkil etmektedir (Süzer, 2006). Ayçiçeği bitkisi gelişim dönemleri (Castro ve Farias, 2005; Castro vd., 2017) ve bu dönemlere denk düşen USLE gelişme dönemleri (Wischmeier ve Smith, 1978) Şekil 3.4'de gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Ayçiçeği gelişim dönemleri, kanopi kapalılığına göre bitki gelişim dönemleri ve gelişim dönemlerine denk gelen aylar

Buğday

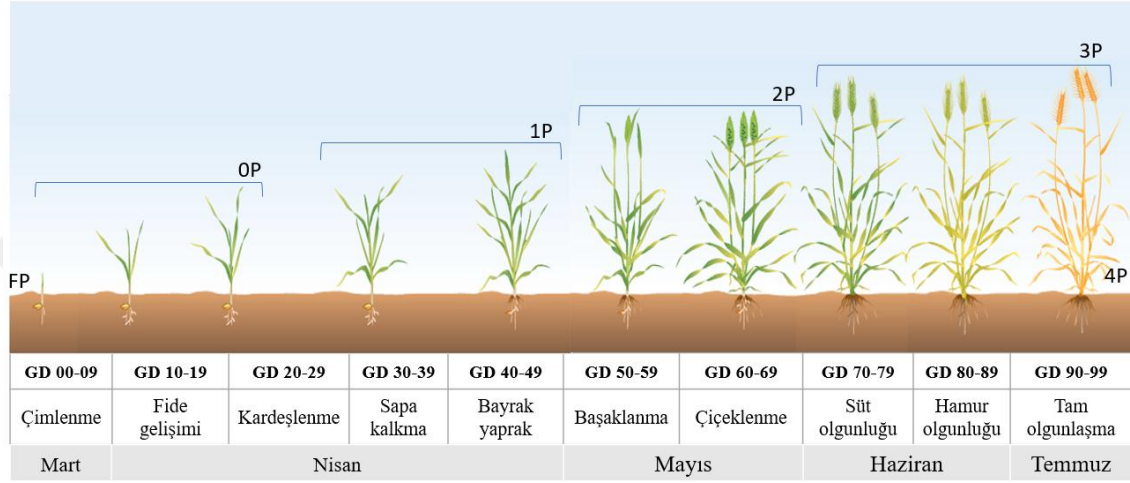
Buğday, artan ülke nüfusunun beslenme sorunlarının giderilmesinde sınırlı toprak ve su kaynakları koşullarında en çok yetiştirilen bitki türüdür. Buğdaydan elde edilen un, bulgur, makarna, nişasta beslenme için; buğday sapları ise hayvan beslemesi ve sanayide kullanılmaktadır (Süzer, 2006). Buğday bitkisi tek yıllıktır ve iklim ve toprak istekleri konusunda çok seçici bir bitki olmadığından Dünya'nın birçok yerinde yetiştiriciliği yapılmaktadır. En iyi yetiştirme koşulları ise genel olarak serin ve ılık ilkim şartlarıdır. Başlangıç aşamasında (çimlenme ve kardeşlenme) yüksek sıcaklık istemez. Sıcaklığın 5-10°C ve nisbi nemin %60' dan fazla olduğu koşullarda normal gelişim devam eder. Sapa kalkma döneminde de benzer iklim istekleri vardır. Buğday yıllık yağışın 350-1150 mm olduğu bölgelerde yetişmektedir.

Derin, killi, killi-tınlı ve kumlu-tınlı toprak tekstürüne sahip, yeterli organik madde, fosfor ve kireci olan topraklar buğday yetiştiriciliği için uygun topraklardır. Organik madde arttıkça verim de artmaktadır. Bitki besin maddesi bakımından yetersiz topraklarda kaplıca çeşitleri (hayvan yemi, bulgur), ortalama şartlarda ekmeklik ve en iyi şartlarda ise makarnalık çeşitleri ekmenin uygun olduğu belirtilmiştir. Kuru ve sulu koşullarda oluşturulacak farklı rotasyonlarda birincil ürün olarak buğday yetiştiriciliği yapılmaktadır.

Kuru koşullarda buğday-nadas ya da buğday-mercimek şeklinde ekim nöbeti uygulanmaktadır. Bunun için, buğday hasadından hemen sonra toprak işlemez bir şekilde parsellerin kışı geçirmesi beklenir ve erken ilkbaharda toprak tava geldiğinde sürüm yapılır (soklu pulluk). Devam eden sonbaharda ise disk ve tırmık ile tohum yatağı hazırlığı yapılmaktadır. Buğday-mercimek rotasyonunda ise hasat sonrası derin sürüm yapılmakta ve yine takip eden sonbaharda disk ve tırmık ile tohum yatağı hazırlanmaktadır. Sulu koşullarda ise buğday, ülkemizde genel olarak çapa bitkileri ile rotasyona girmektedir. Sonbaharda ön bitki hasadı gerçekleştirildikten sonra geleneksel tarım uygulamalarının yapıldığı yerlerde bitki kalıntıları temizlenmekte ya da uygun alet-ekipmanlarla parçalanmakta ve sonrasında kullaklı pullukla derin sürüm yaparak toprak alt-üst edilmektedir. Sonrasında disk ve tırmık ile kesekler toprağa karıştırılmakta ve sonrasında tohum yatağı hazırlanmaktadır (Anonim 2019).

Buğday ekim zamanı bölgelere göre değişmekte olup ülkemizde Ekim ayı ile başlamaktadır. Ortalama sıcaklığın 5-8 °C olduğu günler uygun olmakla birlikte 5-8 cm derinlikte ekim yapılmaktadır. Kuru koşullarda 15-17 kg/da, sulu koşullarda ise 13-15 kg/da tohum atılmakta ve ekim için mibzer kullanılmaktadır. Ekim sırasında hastalıklara karşı mücadelede ilaçlı tohumlar, eksikliği söz konusu ise çinko kaplamalı tohumlar tercih edilmektedir (Anonim, 2016). Gübreleme için toprak özellikleri dikkate alınmalı ve toprak yapısına uygun formda gübreler tercih edilmelidir. Genel olarak kuru tarım alanlarında 6-7 kg N, 7-8 kg, sulu alanlarda ise 12-14 kg N ve 8-10 kg P kullanılmakta; çeşidin verim potansiyeline ve sulama rejimine göre gübreleme dengelenmelidir. Sulama, iklim şartlarına göre ayarlanmalı özellikle sapa kalkma döneminde sulama ihmal edilmemelidir. Çiçeklenmeden önce ve sonra sulama önemlidir. Tanedeki nem

miktarı %13,5' a düştüğünde ise hasat edilmelidir. Tanedeki nem daha fazla düştüğünde kalite düşmekte ve fabrikasyon işlemleri zorlaşmaktadır (Anonim, 2016). Şekil 3.5' de buğday bitkisinin gelişim dönemleri (Zadoks vd., 1974) ve gelişim evreleri ile USLE metodolojisine (Wischmeier ve Smith, 1978) göre yaklaşık kapalılık oranları gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Buğday gelişim dönemleri (Anonim 2017), kanopi kapalılığına göre bitki gelişim dönemleri ve gelişme dönemlerine karşılık gelen aylar

Çalışmanın ilk adımında, ayçiçeği ve buğday bitkisinin her gelişme dönemi içerisinde örtü ve ürün yönetimi faktörünün (C-faktörü) hesaplanması için alt faktörlerin (önceki arazi kullanım alt-faktörü, kanopi örtüsü alt-faktörü, yüzey örtüsü alt-faktörü, yüzey pürüzlülüğü alt-faktörü ve toprak nemi alt-faktörü) hesaplanmasında gerekli parametrelerin (kanopi yüksekliği, kök çapı, kök derinliği, kök ağırlığı (yaş ve kuru), toprak üstü aksam ağırlığı (yaş ve kuru) ve kök/gövde oranı değerleri) ölçümü gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümlerle beraber yaprak alan indeksi (LAI) ve Normalize edilmiş Bitki fark indeksi (NDVI) değerleri ölçülmüştür. Yersel ölçümlerin yanı sıra İTÜ-UHUZAM işbirliği kapsamında yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri (Pleiades PHR1A-1B ve Spot-7) temin edilmiş, bu uydu görüntülerinden NDVI değerleri hesaplanarak tabakalar oluşturulmuştur. Uydu görüntüleri çekim tarihleri yersel ölçümlerin yapıldığı tarihle çakışacak şekilde planlanmaya çalışılmıştır.

Arazi örnekleme ve ölçüm günlerine göre hazırlanan ve USLE bitki gelişim dönemlerini gösteren takvim Şekil 3.6’ da, uydu görüntüsü çekim tarihlerini gösteren zaman akışı ise Şekil 3.7’de verilmiştir.

2015				2016									
				A				FP		1P		2P	3P
4P/3P	FP	OP		B				1P		2P	3P		
E	E	K	A	Gün	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E
244	274	305	335	1	1	32	61	92	122	153	183	214	245
245	275	306	336	2	2	33	62	93	123	154	184	215	246
246	276	307	337	3	3	34	63	94	124	155	185	216	247
247	277	308	338	4	4	35	64	95	125	156	186	217	248
248	278	309	339	5	5	36	65	96	126	157	187	218	249
249	279	310	340	6	6	37	66	97	127	158	188	219	250
250	280	311	341	7	7	38	67	98	128	159	189	220	251
251	281	312	342	8	8	39	68	99	129	160	190	221	252
252	282	313	343	9	9	40	69	100	130	161	191	222	253
253	283	314	344	10	10	41	70	101	131	162	192	223	254
254	284	315	345	11	11	42	71	102	132	163	193	224	255
255	285	316	346	12	12	43	72	103	133	164	194	225	256
256	286	317	347	13	13	44	73	104	134	165	195	226	257
257	287	318	348	14	14	45	74	105	135	166	196	227	258
258	288	319	349	15	15	46	75	106	136	167	197	228	259
259	289	320	350	16	16	47	76	107	137	168	198	229	260
260	290	321	351	17	17	48	77	108	138	169	199	230	261
261	291	322	352	18	18	49	78	109	139	170	200	231	262
262	292	323	353	19	19	50	79	110	140	171	201	232	263
263	293	324	354	20	20	51	80	111	141	172	202	233	264
264	294	325	355	21	21	52	81	112	142	173	203	234	265
265	295	326	356	22	22	53	82	113	143	174	204	235	266
266	296	327	357	23	23	54	83	114	144	175	205	236	267
267	297	328	358	24	24	55	84	115	145	176	206	237	268
268	298	329	359	25	25	56	85	116	146	177	207	238	269
269	299	330	360	26	26	57	86	117	147	178	208	239	270
270	300	331	361	27	27	58	87	118	148	179	209	240	271
271	301	332	362	28	28	59	88	119	149	180	210	241	272
272	302	333	363	29	29	60	89	120	150	181	211	242	273
273	303	334	364	30	30		90	121	151	182	212	243	274
	304		365	31	31		91		152		213	244	

Şekil 3.6 Ayçiçeği ve buğday bitkilerinin 2015/9-2016/9 arası ilgili ay ve günlere karşılık gelen ölçüm zamanları (pembe: Ayçiçeği ve turuncu: Buğday)

0P		2P			
18/09/2015 (PHR1A)	11/11/2015 (PHR1B)	07/04/2016 (PHR1B)	25/06/2016 (PHR1A)	08/08/2016 (PHR1B)	16/09/2016 (SPOT7)

A-1	05/04/2016	A-1	10/06/2016 17/06/2016	A-1	08/08/2016	A-1	05/09/2016
A-2	06/04/2016	A-2	28/06/2016	A-2	08/08/2016	A-2	05/09/2016
A-3	07/04/2016	A-3	29/06/2016	A-3	09/08/2016	A-3	06/09/2016
FP		1P		2P		3P	

Şekil 3.7 Ayçiçeği ve buğday parsellerinin gelişme dönemi boyunca yersel ölçüm ve uydu görüntüsü çekim tarihleri

Fiziksel ve kimyasal toprak özellikleri

Ayrıca parsellerin karakteristiklerini belirlemek amacıyla,

- # Organik madde (Tüzüner, 1990),
- # Bünye (Bouyoucos, 1951),
- # Özgül ağırlık (tane yoğunluğu) (Blake and Hartge, 1986),
- # Hacim ağırlığı (Richards, 1954) ve
- # pH (Anonim, 1954) analizleri yapılmıştır.

Toprak fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlemek adına her parselden olmak üzere 0-30 cm derinlikten toprak örnekleri alınmıştır. Diğer tez parametreleri için gerekli olan toprak örneklemeleri ve ölçümler toprak kayıplarının görüldüğü 0-20 cm'lik üst toprakta gerçekleştirilmiştir. Parsellerin fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.2' de verilmiştir.

Çizelge 3.2 Ayçiçeği ve buğday parsellerinin bazı temel fiziksel ve kimyasal özellikleri

No	pH	Hacim Ağırlığı (g/cm ³)	Özgül Ağırlık (g/ cm ³)	OM (%)	EC (dS/m)	Top. Tuz (%)	CaCO ₃ (%)	%Kum	%Silt	%Kil	Tekstür Sınıfı
A-1*	8,11	1,13	2,62	2,1	0,91	0,037	9,5	18,94	26,56	54,5	C
A-2	7,97	1,12	2,63	1,7	0,74	0,029	13,0	36,05	22,29	41,66	C
A-3	7,78	1,06	2,60	1,0	0,74	0,031	9,7	37,85	29,71	32,44	CL
B-1	7,88	1,02	2,62	1,5	0,60	0,018	12,6	20,38	40,93	38,7	CL
B-2	8,05	1,16	2,62	1,3	0,64	0,023	14,1	25,82	32,82	41,36	C
B-3	8,08	1,14	2,64	1,9	0,71	0,029	11,1	14,67	41,59	43,74	SiC

*A-1, 2 ve 3. Sırasıyla ayçiçeği parsellerini, B-1, 2 ve 3 ise sırasıyla buğday parsellerini temsil etmektedir.

Çalışma alanındaki toprakların hafif alkali olduğu görülmektedir. Hacim ve özgül ağırlıkları bakımından ortalama mineral topraklardır. Organik madde içerikleri az sınıfına dahildir ki bu Orta Anadolu koşullarındaki topraklarda gözlemlenen bir durumdur. Tez çalışmasına ait topraklarda tuzluluk problemi bulunmamakla birlikte kireç oranları orta-kireçli sınıfındadır. Tane büyüklük dağılımı analizi için yapılan hidrometre okumaları sonucu (Bouyoucos, 1951) genel olarak kil oranının yüksek olmasından ötürü toprakların, ağır bünyeli (C) ve orta ağır bünyeli (CL, SiC) oldukları belirlenmiştir.

3.2.1.4 Bitkisel örtü ve ürün yönetimi (C) faktörünün hesaplanması

Bitkisel örtü ve ürün yönetimi faktörü Yenilenmiş Evrensel Toprak Kayıpları Eşitliği'nde (RUSLE/RUSLE) (Renard et al., 1994) bir alt faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. RUSLE – C faktörü ile birlikte yıllık toprak kayıplarının belirlenmesi için gereken diğer alt-faktörleri ve RUSLE denklemi eşitlik 3.1'da verildiği gibidir.

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (3.1)$$

A: ortalama yıllık toprak kaybı ($\text{ton ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1}$),

R: yağış aşındırma enerjisi ($= E \times I_{30}$) ($\text{MJ ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1} \times \text{mm h}^{-1}$),

K: toprak erozyon duyarlılığı ($\text{ton ha}^{-1} \times \text{ha MJ}^{-1} \times \text{h mm}^{-1}$),

L: eğim uzunluğu;

S: eğim dikliği,

C: bitkisel örtü ve ürün yönetimi ve

P: toprak-su koruma önlemleri faktörüdür.

Toprak kayıplarının değerlendirilmesinde eşitlikte görüldüğü üzere birçok alt-faktörün olmasına rağmen belirleyici ve en önemli faktörler sıralamasında C faktörü başı çekmektedir. RUSLE'deki (Renard et al., 1997) diğer faktörlerin çoğunda olduğu gibi, C-faktörü de bir standarttan sapma kavramına dayandırılmıştır. Bu durumda, standart (ölçüm, alınan ölçek, kabul edilen ölçek) anızsız devamlı nadas koşulları altındaki bir alandır. Bu: arazi yüzeyi tamamıyla temizlenmiş ve üzerinde hiçbir artık ve örtünün bulunmadığı devamlı nadas koşulları hâkimdir” anlamına gelmektedir. Dolayısıyla, “Toprak Kaybı Oranı” (SLR, Soil Loss Ratio) gerçek koşullar altındaki toprak kayıplarının temel alınan ölçek koşullarda meydana gelen toprak kayıplarına oranının bir hesabı olmaktadır. (Eş. 3.2)

$$SLR = \frac{A_C}{A_N} \quad (3.2)$$

A_C: Herhangi bir bitkisel örtü yönetimi altında oluşan toprak kaybı ($\text{ton ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1}$),

A_N: Anızsız devamlı nadas koşulları altında oluşan toprak kaybı ($\text{ton ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1}$).

Ancak, Wischmeier (1975) ve Mutchler vd. (1982) tarafından yapılan çalışmalar, ürün ve yönetiminin toprak kayıpları üzerindeki genel etkisinin bir seri alt faktörler ile ifade edilebileceğini göstermiştir. RUSLE’de, bu yöntem, Laflen et al. (1985) ve Weltz vd. (1987) tarafından değiştirilen şekli ile kullanılmaktadır. Bu yaklaşımdaki önemli parametreler (değişkenler), önceki ürün ve yönetimi etkileri, bitkisel kanopi (kanopi etkisi = yüzeyden belirli yüksekliklerde bulunan bitkisel örtünün etkisi) örtüsü ile toprak yüzeyinin korunması, yüzey bitkisel örtüsü ve yüzey pürüzlülüğü etkisi ile erozyondaki azalma ve bazı durumlarda, düşük toprak nem içeriğinin düşük intensiteli (= yağış şiddeti) yağışlar sonucu yüzey akışlardaki azalmalar üzerine etkisidir. RUSLE’de kullanıldığı gibi, bu değişkenlerin her biri alt-faktör (alt-değişken) sayısal değerlere atanır ve bu sayısal değerler, SLR’ yi elde etmek için birbirleri ile çarpılır. Aşağıda alt-faktörler listesi ve SLR’ nin eşitliği verilmiştir (Eş. 3.3):

$$SLR = PLU \cdot CC \cdot SC \cdot SR \cdot SM \quad (3.3)$$

Burada,

Önceki Arazi Kullanımı Alt-faktörü (*PLU, Prior Land-Use*),

Kanopi Örtüsü Alt-faktörü (*CC, Canopy Cover*),

Yüzey Örtüsü Alt-faktörü (*SC, Surface Cover*),

Toprak Pürüzlülüğü Alt-faktörü (*SR, Soil Roughness*) ve

Toprak Nemi Alt-faktörü (*SM, Soil Moisture*)’ dür.

Böylece, bireysel SLR değeri, önemli değişkenlerin sabit kaldığının düşünüldüğü her bir zamansal dönem için hesaplanmaktadır. Daha sonra, bu SLR değerlerinin her biri, ilgili zaman dilimlerine denk düşen yağış ve yüzey akış erozyon gücünün (RUSLE-R) (EI, rainfall and runoff erosivity) oransal katkısı ile ağırlıklı olarak hesaplanmakta ve bu ağırlıklı değerler, bütüncül RUSLE-C faktörünü oluşturmak üzere bir araya getirilmektedir (Eş. 3.4):

$$YETKE - C = \frac{\sum_{i=1}^n SLR_i \cdot EI_i}{EI_T} \quad (3.4)$$

$i, \dots, n$: önemli bitkisel örtü değişkenlerinin sabit kaldığı dönem sayısı, SLR_i : i bitkisel örtü gelişim dönemindeki toprak kaybı oranı, EI_i : i dönemindeki yağış ve yüzey akış erozyon oluşturma gücü, EI_T : toplam EI değeri (Eş. 3.5).

$$EI_T = \sum_i^n EI_i \quad (3.5)$$

Her bir hesaplama diliminin toplam EI içerisindeki oransal katkısı ise Eş. (3.6) ile hesaplanmaktadır.

$$\%EI_i = \frac{EI_i}{EI_T} \cdot 100 \quad (3.6)$$

Hesaplama dilimi aylık olup çalışmanın olduğu Eskişehir İli'nde çalışma alanına en yakın yerde bulunan OMGİ verilerine ait aylık ortalama EI değerlerinden EI_T değerleri hesaplanmış ve % oranları elde edilmiştir (Erpul vd., 2016).

RUSLE-C hesaplamaları 15 günlük (yarım aylık) zaman dilimlerine dayandırılmaktadır. Bu, şu anlama gelmektedir: SLR değerleri yıl boyunca her 15 gün için hesaplanmaktadır ve önemli parametrelerin bu 15 gün süresince sabit kaldığı varsayılmaktadır. Bu doğrultuda yapılacak adımlar da şu şekildedir: Bir yönetimsel tarım işlemi bir dilim içerisinde yapılıyorsa, parametreler burası için artık sabit olarak kabul edilmemekte; o zaman yarım aylık dilim, yeniden ikiye bölünmekte ve bu dilim için iki SLR değeri hesaplanmaktadır. Diğer yönetim işlevleri ile bu daraltılmış dilimler daha da küçük zaman dilimlerine bölünebilmektedir. Böylece bu durumlarda, SLR' nin yeniden hesaplanması gerekebilir, çünkü var olan koşulların yeni hesaplamaları gerektirecek ölçüde yine, toprak/bitki/artık sistemini etkileyen herhangi bir tarla yönetimi veya işlevi veya ani iklim değişimi, SLR değerlerinin değişmesine neden olduğu için, dilimsel SLR değerlerinin yeniden hesaplanmasını zorunlu kılmaktadır. Kısaca, bu tür durumlar, tüm zaman diliminin daha küçük zaman dilimlerine ayrılması ile çözümlenmeye çalışılmaktadır. Her bir dilim iki olgu ile ayırt edilmekte, bunlar ya bir tarla işlevi ya da yeni bir yarım aylık dilimin başlangıcı olarak tanımlanmaktadır. Sonuç olarak, bir dilim

uzunluğu 0 ile 16 gün arasında değiştiği kabul edilmektedir. İki işlev zamansal olarak birbirini hemen takip ediyorsa, dilim uzunluğu 0 gün olabilir; eğer hesaplamalar 31 güne sahip bir ayın ikinci diliminde yapılıyorsa ve burada hiçbir tarımsal işlev yapılmıyorsa, hesaplama dilim uzunluğu 16 gün olacaktır. 0 uzunluktaki dilim belirlenmekte, fakat SLR hesaplanmasını gerektirmemektedir, çünkü buna eşdeğer bir EI değeri yoktur.

Ortalama yıllık ve zamanla değişen yaklaşımlar için SLR hesaplamaları aynıdır ve aynı girdi parametrelerini gerektirir; farklılık hesaplamaların ne sıklıkta yapıldığında yatar. Zamanla değişim yaklaşımında, SLR değeri her bir zaman diliminin ortasındaki bir tarihte hesaplanmaktadır ve bu değer, daha sonra, bu dilime ait EI yüzdesi ile ağırlıklandırılmaktadır. Ortalama yıllık yaklaşımda ise, her şey sabit kabul edilmekte ve bu yüzden hesaplamalar bir kez yapılmaktadır. Kısaca yağış enerjisi (E) ve 30 dk'lık en yüksek şiddeti (I_{30})'nin çarpımına eşittir ve yağışların toprağı aşındırma güzünü ifade eder (Eş. 3.7):

$$YETKE - R = E \cdot I_{30} \quad (3.7)$$

3.2.1.5 RUSLE – C Bitkisel örtü ve ürün yönetimi alt-faktörlerinin hesaplanması (SETM, 2008)

RUSLE-C faktörünün alt-faktör hesaplamalarında verilen formüller kaynağında belirtilen orijinal halledir (U.S. Customary Units). Fakat, elde edilen parametreler metrik sistem (International System of Units, SI) kapsamında ölçülmüş ve alt-faktörler yine metrik sistemde hesaplanarak tezde belirtilmiştir.

3.2.1.5.1 Önceki arazi kullanım alt-faktörü (PLU)

Önceki arazi kullanımı alt-faktörü, önceden yetiştirilen bitkilerin hem toprak erozyonu hem de toprak sıkışması üzerine olan etkilerini açıklamayı amaçlar. Bu etkiler aşağıdaki gibidir (Eşitlik 3.8):

$$PLU = C_f \cdot C_b \cdot \exp \left[- \left((c_{ur} \cdot B_{ur}) + \left(c_{us} \cdot \frac{B_{us}}{c_{uf}} \right) \right) \right] \quad (3.8)$$

Burada;

PLU: önceki arazi kullanımı alt-değişkeni ($0 < PLU \leq 1$),

C_f : toprak yüzeyi sıkışma etmeni,

C_b : toprak-altı bitkisel artıklarının toprak sıkışmasındaki göreceli etkinliği,

B_{ur} : toprağın üst birkaç cm derinliğindeki canlı ve ölü köklerin ağırlığıdır ($\text{lb acre}^{-1} \text{ in}^{-1} = \text{kg da}^{-1} \text{ cm}^{-1}$),

B_{us} : toprağın üst katmanlarına karıştırılan artıkların ağırlığı ($\text{lb acre}^{-1} \text{ in}^{-1} = \text{kg da}^{-1} \text{ cm}^{-1}$),

c_{uf} : yüzeye karıştırılan artıkların etkinliği üzerine toprak sıkışmasının etkisini temsil eder,

c_{ur} ve c_{us} : yüzey altı artıklarının etkilerini gösteren katsayılardır.

C_f değişkeni, toprak işlemeden kaynaklanan yüzey toprağı hacim ağırlığındaki değişimlerinin toprak erozyonu üzerine etkisini açıklamaktadır. Toprak işleme, toprak agregatlarının dağılmasına neden olmakta ve toprak erozyon duyarlılığını arttırmaktadır. Bu, bozulmamış topraklara sahip mera ve otlaklardaki veya “0-toprak işlemeli” tarımsal yönetimlerdeki çok daha düşük toprak kaybı ile açıkça gözlenmektedir. Dissmeyer ve Foster (1981)’in çalışmalarına dayandırılarak, yeni işlenmiş toprak koşullarında C_f değeri 1’dir. Buradaki varsayım, işlemeden sonra toprak, erozyona karşı en duyarlı halde bulunmaktadır. Eğer toprak bozulmadan bırakılırsa, bu değer üssel bir şekilde 7 yıl içerisinde veya kullanıcı tarafından belirlenen diğer bir zaman dilimi içerisinde 0,45 değerini alır. Bu şu amlama gelmektedir: PLU ile ilgili olarak, toprak bozumları en fazla olduğunda $C_f = 1$, toprak işleme hiç olmadığında ise $C_f = 0,45$ olacaktır. Bu durumda C_f , Eşitlik 3.9’daki gibi ifade edilmektedir.

$$C_f(t) = C_{fo} e^{-kt} \quad (3.9)$$

Burada C_{fo} , C_f değerinin başlangıç değerini vermektedir, yani $C_{fo} = 1$ ’dir ve üssel azalan bağıntı eğrisinin düşey eksenini kestiği noktadır; t ve k ise sırasıyla zaman (yıl) ve üssel

azalma oran katsayısıdır. k katsayısı aynı zamanda üssel azalan bağıntı eğrisinin eğimini vermektedir. C_f 'nin değişim aralıklarını göz önünde bulundurarak (7 yılda 1 ile 0,45 değerleri arasında değişmektedir) yıl içerisindeki değişimler düşünüldüğünde t 'nin aylık değişimi 0,083 ($1 \div 12$) olarak düşünülebilir. Tez çalışma alanında yetiştirilen bitkilerin gelişme dönemleri yıllık ya da mevsimlik olarak değişmektedir.

C_b , c_{ur} , c_{us} ve c_{uf} katsayıları yüzeyaltı biyokütlesinin erozyonu düşürmedeki göreceli etkinliğini tanımlamaktadırlar. Bu değerler, Van Liew and Saxton (1983) bilgileri, Tarım El kitabı No:537 (Wischmeier and Smith, 1978)'daki değerleri ve toprak-ışlemlersiz tarım denemelerinin geniş bir serisinden toplanan çok sayıdaki veri-setinin bilgileri kullanılarak elde edilmişlerdir. Bu analizler, $C_b = 0,951$, $c_{ur} = 0,000451$ da $m\ kg^{-1}$, $c_{us} = 0,0000944$ da $m\ kg^{-1}$, ve $c_{uf} = 0,5$ olması ile sonuçlandırılmıştır. Parsellere göre rotasyon sistemindeki farklılık gösterdiğinden yetişen ürünlerin bitki gelişim sürelerinin farklılığı PLU alt-faktörünün hesaplanmasında kullanılan C_f değerlerine de etki etmiştir. Eşitlik 3.9 ile hesaplanan C_f değerlerine ait Çizelge (3.3) aşağıda verilmektedir.

Çizelge 3.3 Dönemsel olarak parsel bazında hesaplanmış toprak sıkışma oranları (C_f)

Parseller	C_f			
Ayçiçeği	FP	1P	2P	3P
1.parsel	1,000	0,972	0,963	0,954
2.parsel	1,000	0,972	0,963	0,954
3.parsel	1,000	0,972	0,963	0,954
Buğday	3P-4P	FP-0P	1P-2P	3P
1.parsel	0,945	0,927	0,949	0,927
2.parsel	0,945	1,000	0,954	0,927
3.parsel	0,945	1,000	0,936	0,927

Toprağa karıştırılan artıkların miktarı, toprak yüzeyine malç eklemeleri ve daha sonra bunun toprak işleme uygulamaları ile toprağa gömülmesi ile (belirli derinliklere karıştırılması) hesaplanmaktadır. Toplam toprak-altı biyokütlesi, bu karıştırılan yüzey artıkları (B_{us}) ve toplam canlı ve ölü kök kütlesi (B_{ur}) tarafından oluşturulmaktadır. RUSLE modelinde canlı köklerin hesapları yapılmaktadır ve bu miktarı, bitki örtüsü araziden kaldırıldığında, kök artıklarına eklemek suretiyle gerçekleştirmektedir.

Kök artıkları, ayrışma alt-işlevine bağlı olarak çürümektedir. Arazide gerçekleştirilen mekanizasyon faaliyetleri Çizelge 3.4’ de parsellerde bitki rotasyon sırası ve mekanizasyon işlemleri Çizelge 3.5’ de verilmiştir.

Çizelge 3.4 Arazide alışılagelmiş tarımsal mekanizasyon faaliyetleri (Renard vd., 1997)

Tarla işlevi	Rastgele pürüzlülük (cm)	Yüzeyde bırakılan artık miktarı (%)	Artık karışım derinliği (cm)	Bozulan toprak yüzeyi (%)
Çizel (Anız bozucu) (tarayıcı keski veya işleyici ayak)	3,048	70	15,24	100
Çizel (doğru noktasal keski)	3,81	60	15,24	100
Çizel (burgu kürekli keski)	4,826	45	15,24	100
Tarla tipi kultivatör* (top. iş.)	1,778	75	7,62	100
Sıra üstü toprak işleyici	1,778	80	5,08	85
Sırt oluşturan toprak işleyici	1,778	40	5,08	90
Tek yollu disk (yalkı)	3,048	30	10,16	100
Ağır disk işleyicisi	4,826	35	15,24	100
Aynı yönlü disk (tandem)	2,032	50	10,16	100
Çift diskli ekici	1,016	90	5,08	85
Derin sırt içi ekici	1,27	70	7,62	90
0-toprak işleme ekicisi	1,016	80	5,08	60
Anız üzerine 0-toprak işleme ekicisi	0,762	90	5,08	20
Gübre makinesi	1,524	80	5,08	15
Dişli tırmık	1,016	80	5,08	100
Çatal uçlu tırmık makinası	1,016	85	5,08	100
Ark açıcı (boğaz doldurma)	2,032	20	10,16	100
Ahır gübresi dağıtım makinası	3,81	50	15,24	40
Kulaklı pulluk	4,826	5	20,32	100
Anız işleyici	1,016	75	5,08	100
0-toprak işleme dikicisi	1,016	85	5,08	15
Sıra üzeri dikici (mibzer)	1,016	90	5,08	15
Ot yolucu	1,016	90	5,08	100
Döner çapa makinası	1,016	85	5,08	100
Toprak altı işleyicisi	3,048	80	7,62	20

* toprağı yırtmak, kabartmak, havalandırmak, yabancı otları kesip köklerini topraktan çıkartmak ve gübre ve serpme ekilen tohumları kapatmak için yapılan makinalı tarla uygulamaları

Çizelge 3.5 Parsellerde uygulanan mekanizasyon işlemleri (Renard vd., 1997)

Tez parselleri (önceki arazi kullanımlar)	Tarla işlevi	Arazide kalan anız miktarı (%)	İşleme derinliği	Arazi yüzey bozulma oranı
Buğday 1. parsel (şekerpancarı)	· Kulaklı pulluk	· %5	· 20,32 cm	· %100
	· Alabora mikser dik rotavator (3 soklu 8'')	· %5	· 20,32 cm	· %100
	· Sıra üzeri dikici	· %90	· 5,08 cm	· %15
Buğday 2. parsel (ayçiçeği)	· Disk	· %30	· 10,16 cm	· %100
	· Tırmık	· %85	· 5,08 cm	· %100
	· Sıra üzeri dikici	· %90	· 5,08 cm	· %15
Buğday 3. parsel (ayçiçeği)	· Disk	· %30	· 10,16 cm	· %100
	· Tırmık	· %85	· 5,08 cm	· %100
	· Sıra üzeri dikici	· %90	· 5,08 cm	· %15
Ayçiçeği 1. parsel (buğday)	· Kulaklı pulluk	· %5	· 20,32 cm	· %100
	· Tırmık	· %85	· 5,08 cm	· %100
	· Sıra üzeri dikici	· %90	· 5,08 cm	· %15
Ayçiçeği 2. parsel (buğday)	· Kulaklı pulluk	· %5	· 20,32 cm	· %100
	· Tırmık	· %85	· 5,08 cm	· %100
	· Sıra üzeri dikici	· %90	· 5,08 cm	· %15
Ayçiçeği 3. parsel (nadas)	· Kulaklı pulluk	· %5	· 20,32 cm	· %100
	· Tırmık	· %85	· 5,08 cm	· %100
	· Sıra üzeri dikici	· %90	· 5,08 cm	· %15

Ayçiçek ekilecek alanlarda:

Parsel 1-2 ve 3 için kulaklı pullukla parseller alt-üst edilmiş ve tırmıkla iki kez arazi yüzeyi düzeltilerek mibzerle tohum ekimi gerçekleştirilmiştir. İlk ölçümde 2 farklı toprak işlemenin etkisi bulunmaktadır. 3. toprak işleme FP ve 1P arası yapıldığından etkisi 1. dönem için hesaplanmıştır.

Buğday ekilecek alanlarda:

Parsel 1 için, şekerpancarı hasadı yapıldıktan sonra parsel kulaklı pulluk ile alt-üst edilmiş sonrasında alabora mikser dik rotavator ile tekrar toprak karıştırılmış ve sonrasında mibzerle buğday tohum ekimi gerçekleştirilmiştir. Parsel 2 ve 3 için, ayçiçeği anızları insan gücü ile toplanmış, sonrasında disk ile toprak derin karıştırıldıktan sonra tırmık ile kalan anızlarla birlikte toprak karıştırılmıştır.

RUSLE’de bitkisel artıkların “2 inç” ($2 \times 2,54 = 5,08 \text{ cm} \sim 5 \text{ cm}$)’den daha az derinliğe karıştırılamayacağı kabul edilmiştir ki bu, B_u değerlerinin uygulanabileceği en düşük toprak derinliğini verir. Yani, RUSLE’de, $< 5 \text{ cm}$ toprak derinlikleri için B_u değeri hesap edilememektedir.

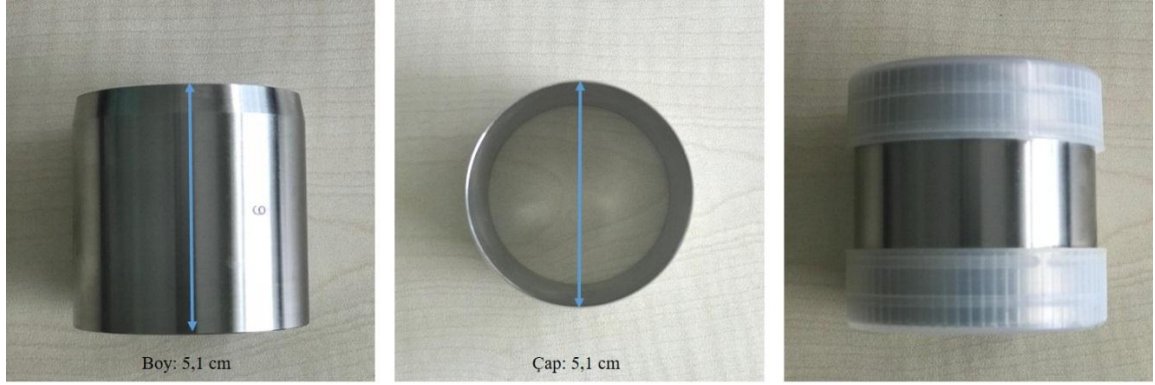
Yüzey artıklarının (canlı, cansız malçlar), toprak işleme derinliğine düzgün ve eşit olarak karıştırıldığı kabul edilmekte ve bu derinlikteki kök kütlesinin de sürüm derinliğinde karıştırıldığı farz edilmektedir.

Kök kütlesi üzerine eldeki bilgiler sadece 4 inç ($4 \times 2,54 = 10,16 \text{ cm} \sim 10 \text{ cm}$) derinliğe kadar elverişlidir fakat eğer $> 10 \text{ cm}$ derinlikten daha derin toprak işleme yapılmış ise, bu derinliğin altında köklerin olmadığı kabulü, artıkların yanlış hesaplanmasına neden olabilmektedir. Bunu önlemek için RUSLE, 4 - 8 inç ($10 - 20 \text{ cm}$)’lik toprak derinliğinin, 0 - 4 in ($0 - 10 \text{ cm}$) derinlikteki kök kütlesinin %80’nini içerdiği kabulüne dayandırmıştır. Burada, toprak katmanları sadece toprak özellikleri ve morfolojisi ile değil, köklerin nerede geliştiği ve hangi derinlikte toprağın işlendiği tarafından da tanımlanmaktadır (Eşitlik 3.10).

$$BK_{10-20} = 0,8BK_{0-10} \quad (3.10)$$

Burada, BK_{10-20} : 10 ile 20 cm arası toprak derinliğindeki kök biyokütlesi ağırlığı ve BK_{0-10} : 0 ile 10 cm arası toprak derinliğindeki kök biyokütlesi ağırlığı anlamına gelmektedir.

Bu alt-faktörlere ait parametrelerin hesaplanması ile birim derinlikteki canlı ve ölü köklerin ağırlıkları belirlenmektedir. Bunun için 5,1 cm genişlikte 5,1 cm yükseklikteki çelik bozulmamış örnek alma kapları (Eijkelkamp, Soil & Water Agrisearch Equipment) kullanılmıştır (Şekil 3.6). Kap yüzey alanı $= 0,002 \text{ m}^2$ ve kap hacmi $= 0,0001 \text{ m}^3$ ’tür.



Şekil 3.8 Bozulmamış örnek alma kabı

Topraktaki kök miktarının belirlenmesi: B_{ur} değeri için gerekli olan toprağın üst birkaç cm derinliğinde bulunan canlı ve ölü köklerin ağırlığı, bozulmamış örnek alma kapları (Eijkelkamp, Soil & Water Agriseach Equipment) ile her örnek noktasının 0-10 cm derinlikten alınan toprak örneklerinden köklerin ayıklanması, kurutulması ve tartılması işlemine dayanmaktadır. 10-20 cm toprak derinliğindeki kök miktarı, Eşitlik 3.8' e göre hesaplanarak elde edilmiştir. Toplam miktar 0-20 cm' deki kök miktarını vermektedir.

Topraktaki toprağın üst katmanlarına karıştırılan artıkların (biyokütle) ağırlığının belirlenmesi: B_{us} değerinin belirlenmesi için parseller üzerinde belirlenmiş örnek noktalarından örnek alma kabı ile alınan toprak örneklerinden bitki artıklarının ayıklanması, kurutulması ve tartılması ve bu miktarın aynı noktadan B_{ur} için elde edilen kök miktarı ile toplanması işlemine dayanmaktadır (Etüvde 4-6 saat süre ile 65-70°C'de)

Topraktaki bitki artıkları ve kök miktarlarının belirlendiği laboratuvar çalışmasına ait görsel Şekil 3.8'de verilmiştir.



Şekil 3.9 Topraktaki kök ve bitki artıkları nın ayıklanma ve kurutulma işlemi

3.2.1.5.2 Kanopi örtüsü alt-faktörü (CC)

Bir kanopi örtüsünün toprak yüzeyine aktarılacak yağış enerjisinde yapacağı azaltma, o örtünün veya bitkisel örtünün etkinliğini açıklamaktadır. Sonuçta örtü tarafından tutulan yağmur damlalarının çoğunluğu toprak yüzeyine ulaşacak, ama önemli oranlarda hızı kesilen yağmur damlalarının yüzeye çarpma enerjisi, herhangi bir bitki örtüsü ile engellenemeyen koşullardaki enerjisinden çok daha az olacaktır. Örtü ile tutulan yağmur damlaları daha az enerjiye sahip, daha küçük su zerreciklerine ayrışarak, ya yaprak kenarlarından ya da bitki gövdesinden düşük enerjiler ile toprak yüzeyine düşeceklerdir. RUSLE – C’de kanopi örtüsü etkinliği Eş. 3.11 ile verilmektedir:

$$CC = 1 - F_c \cdot \exp(-0,1 \cdot 0,0328H) \quad (3.11)$$

Burada, CC, kanopi örtüsü alt-değişkeni $0 < CC \leq 1$, F_c , kanopinin arazi yüzeyini kaplama oranı (%) ve H, yağmur damlalarının kanopiye çarptıktan sonra sahip oldukları düşme yüksekliğidir (ft).

Eşitlik 3.11’de bir kanopinin kapladığı alan oranında yağışı kesintiye uğratacağı ve terminal hızı ile değişik çaplarda düşen damlaların örtü ile tutulduktan sonra, 0,1 inç (=2,54 mm)’lik bir tekdüze çap ile H yüksekliğindeki örtüyü terkettiği kabulüne dayandırılmıştır (Wischmeier ve Smith, 1978). Quinn ve Laflen (1983), bitki gövdesinden düşen damla büyüklüklerinin Wischmeier ve Smith (1978) tarafından farz edilen büyüklüklerden önemli ölçülerde farklı olduğunu bulmalarına karşın, Eşitlik 14’de verilen ilişkinin mısır bitkisi için tatmin edici olduğunu belirtmişlerdir. Diğer araştırmacılar ise, farklı bitkilerin farklı etkileri olduğunu belirtmişlerdir (Armstrong ve Mitchell, 1987, 1988; Finney, 1984; Haynes, 1940). Kanopi kapallılığı çalışma alanındaki ayçiçeği ve buğday parsellerinde Şekil 3.10’ deki gibi fotoğraflanmıştır.



Şekil 3.10 Ayçiçeği ve buğday parsellerinde kanopi kapallılığı (CC) ölçümleri (2P: %50-%75 kapallılık)

3.2.1.5.3 Yüzey örtüsü alt-faktörü (SC)

Yüzey örtüleri, yüzey akışların taşıma kapasitesini önemli bir biçimde düşürmekte (Foster, 1982; Laflen, 1983) ve yağmur damlasının doğrudan etkisine maruz kalacak yüzey alanını azaltmaktadır. Tek başına SLR değerlerini belirleyen en önemli etmen özelliğindedir. Yüzey örtüsü, toprak yüzeyi ile doğrudan temasta bulunan bitki artığı, kaya parçaları ve diğer erozyona dirençli materyalleri içerir (Simanton vd., 1984; Box, 1981; Meyer vd., 1972). RUSLE’ de toprak erozyonu üzerine yüzey örtüsünün etkisi Eş. 3.12 ile verilmekte, bitkisel artık ile örtülen alanın yüzdesi ile yüzeydeki artıkların

kuru ağırlığı arasındaki deneysel matematiksel ilişki (Gregory, 1982) Eşitlik 3.13’de verilmiştir:

$$SC = \exp \left[-b \cdot S_p \cdot \left(\frac{0,6096}{R_u} \right)^{0,08} \right] \quad (3.12)$$

ve

$$S_p = [1 - \exp(-\alpha \cdot B_s)] \cdot 100 \quad (3.13)$$

Burada,

SC: yüzey örtüsü alt-değişkeni,

b: bir deneysel katsayı,

S_p : yüzey örtüsü ile kaplı alanın yüzdesi,

R_u : yüzey pürüzlülüğü (inç).

α : bir artık parçası tarafından yüzeyde kaplanılan alanın bu artık ağırlığına oranıdır (acre lb⁻¹ = da kg⁻¹),

“b” değeri, toprak erozyonunu düşürmede yüzey örtüsünün etkinliğini gösterir. Laflen vd. (1980) ile Laflen ve Colvin (1981), sıra bitkileri için “b” değerlerinin 0,030 ile 0,070 arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Dickey vd. (1983), küçük taneli tahıllar üzerinde gerçekleştirdikleri yapay yağmurlama çalışmalarında “b” değerlerinin 0,024 ile 0,032 arasında değiştiğini bulmuşlardır. Ancak, küçük taneli hububatlar için “b” değerleri 0,050 genel olarak kullanılmaktadır. Simanton vd. (1984), 0,039’luk bir “b” değerini yüzey altı biyokütlesinin uzaklaştırıldığı mera ve otlak koşulları için önermişlerdir. 0,035 değeri için tipik tarım arazilerindeki erozyon koşulu için uygun bir değer olduğu belirtilmektedir. α , ayçiçeği için $2,14 \times 10^{-3}$ ve buğday için $5,26 \times 10^{-3}$ bulunmuştur (RUSLE handbook, Table 5-1). Bu eşitlikte elde edilmesi gereken R_u değeri için “zincir yöntemi” kullanılmıştır (ayrıntılı olarak yüzey pürüzlülüğü başlığı altında anlatılmıştır) (Saleh, 1993) ve yüzey kapallığı 1m×1m’ lik çerçeve içerisinde kalan alanda yüzde olarak belirlenmiştir (arazi ölçümleri esnasında her kapallık alınan örnek noktaları fotoğraflanmıştır, Şekil 3.10).



Şekil 3.11 Ayçiçeği ve buğday (sol: FP, sağ: 0P) parsellerinde SC ve SR alt-faktörlerinin ölçümü

3.2.1.5.4 Toprak nemi alt-faktörü (SM)

Toprağın herhangi bir zamanda içerdiği nem (önceki toprak nemi), su geçirgenliği (infiltrasyon) ve toprak kayıpları üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Karasal iklimlerde, çoğunlukla toprak nemi, erozyonun büyük bir kısmının oluştuğu ilkbahar ve erken yaz aylarında yüksek olmaktadır. Bu yüzden, bitkili parsellerdeki önceki toprak nemi, toprak duyarlılık etmeninin elde edildiği devamlı işlenen nadas koşullarındaki ile paralellik göstermektedir ve sonuçta, toprak nemindeki değişimler için herhangi bir düzeltme yapılmaz.

Kuru tarım bölgelerinde (Austin, 1981) bitki gelişim evrelerindeki toprak nemi, ürün rotasyonu ve yönetimine bağlı olarak değişim göstermektedir. Bu koşullarda kışlık buğday, ya bir önceki kışlık buğdaydan veya daha yüzeysel köklü bir üründen ya da yaz nadasından sonra ekilmektedir. Eğer rotasyonda tam bir yıllık nadas kullanılıyor ise bir önceki kış boyunca depolanan nemin bir kısmı toprak profilinde muhafaza edilir. Bu özellikle etkili bir artık yönetim sistemi kullanıldığında çok daha geçerlidir. Sonuç olarak toprak nemi, yıl boyunca toprak nemindeki değişimleri yansıtmak amacıyla kullanılmakta. Yaz aylarındaki toprak nemi azalması, bitki köklenme derinliğine ve

toprak derinliğine bağlı olarak; toprak neminin yeniden depolanması ise, yağış miktarı ve yine toprak derinliğine bağlı olarak değişmektedir.

Eğer toprak profili tarla kapasitesinde veya buna yakın ise, $SM = 1,0$ 'dır ve bir devamlı nadas parselindeki neme eşdeğer olarak kabul edilir. Toprak profilindeki nem içeriği, 1,8 metre (6 ft) derinlikte solma noktasına yakın olduğunda, SM değeri 0,0'dır ki bu durumda yüzey akış ve erozyon beklenilmediğini işaret eder. SM kış boyunca Ekim 1'den Mart 31'e kadar yükselir. Kuru toprağın yağışlı dönem süresince nem ile yeniden beslenmesi (R) aşağıdaki eşitlik ile ifade edilir (Eş. 3.14):

$$R = 0,5 + 0,062 \cdot (P - 10) \quad (3.14)$$

Burada R, toprak yeniden nem besleme oranıdır (%). $R = 1$ olduğunda $SM = 1$ ve toprak tarla kapasitesinde nem içermektedir. P ise yıllık yağış miktarıdır (inç).

Eş. 3.14'de $254 \text{ mm} \leq P < 457,2 \text{ mm}$ olduğu koşullar için gereklidir. $P \geq 457,2 \text{ mm}$ olduğunda ise $R = 1$ 'dir. Bu çalışmada toplam yıllık ortalama yağış 338,2 mm'dir (Çizelge 3.2) (2015/09-2016/9). Dönemsel olarak parsellerden gravimetrik nem içeriği (%) örnekleme yapıldığından % nem değerleri, nem besleme ve tüketim grafiğine (Şekil 3.13) göre standardize edilmiş ve SM alt-faktörü hesaplanmıştır. RUSLE modeline göre, toprak nemi alt-değişkenini hesaplamak amacıyla kullanılan farklı ürünlerin yetiştirme dönemi boyunca "toprak nemi tüketim oranları" (D, %) Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Yetiştirme dönemi boyunca farklı ürünlerin toprak nemini tüketme oranları

Ürün	Nem Tüketim Oranı (D, %)
Kışlık buğday ve diğer derin köklü ürünler	1,00
Yazlık buğday ve arpa	0,75
Yazlık bezelye ve mercimekler	0,67
Yüzlek köklü ürünler	0,50
Yaz nadası	0,00

Toprak nemini tüketme oranının 1,00 olması, ürün yetiştirme döneminde topraktaki tüm nemin bitki tarafından kullanıldığı anlamına gelmektedir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilen, Alpu İlçesi saatlik toplam yağış verilerine göre çalışma alanında bir bitki gelişim döneminde görülen aylık toplam yağışlar Çizelge 3.3' de verilmiştir.

Çizelge 3.2 Mahmudiye (Eskişehir) Meteoroloji İstasyonu 2015/9-2016/9 arası aylık toplam yağış verileri

P (mm)	2015/9	2015/10	2015/11	2015/12	2016/01	2016/02	2016/03	2016/04	2016/05	2016/06	2016/07	2016/08	2016/09
	3,1	23,2	9,6	1,9	69,7	26,8	63	28,3	29,2	24,3	0,8	14,1	44,3

Mahmudiye Meteoroloji Gözlem İstasyonu (TİGEM/OMGİ) verileri ile hesaplanan yarım aylık EI değerleri Çizelge 3.7' de verilmiştir (Erpul vd., 2016).

Çizelge 3.3 Mahmudiye İlçesi (Eskişehir) yarım aylık EI (MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ yıl⁻¹) değerleri

Aylar	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	Toplam
%EI _{ay} 1.dilim	0,2	0,76	0,27	3,98	14,1	15,4	4,43	6,11	1,02	4,17	0,52	0,21	51,2
%EI _{ay} 2.dilim	0,38	0,95	0,63	11,1	17,6	8,08	2,87	3,33	0,87	2,64	0,2	0,19	48,8

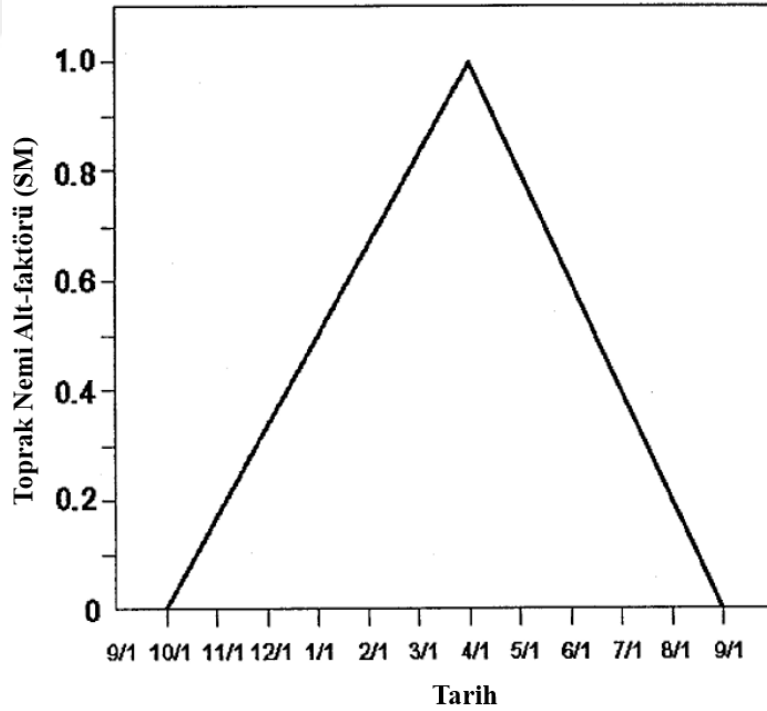
Bu tez çalışmasında, toprak nemi örnek noktalarından ölçüm dönemleri boyunca gravimetrik olarak ölçülmüştür. Gravimetrik nem ölçümü analizinin aşamaları Şekil 3.12' de gösterilmektedir (Eş. 3.15).

$$\% nem = \frac{HKT - FKT}{FKT} \cdot 100 \quad (3.15)$$



Şekil 3.12 Toprak örneklerinin alınma, tartılma ve kurutulma işlemleri

Tez parsellerindeki örnek noktalarından bozulmamış örnek kapları ile alınan toprak örnekleri arazide alüminyum folyo kaplara transfer edilmiş ve aynı gün yaş ağırlıkları ölçülmüştür. Daha sonra yukarıda belirtildiği gibi toprakta % gravimetrik nem tayini analizi yapılmıştır (24 saat 105°C).



Şekil 3.13 Tarla kapasitesi ve solma noktasına göre toprak nemi alt-faktörünün zamansal değişimi (Renard vd. 1997)

3.2.1.5.5 Yüzey pürüzlülüğü alt-faktörü (SR)

Yüzey pürüzlülüğü doğrudan toprak erozyonuna etki etmektedir (Cogo vd., 1984). Bu yüzden dolaylı olarak da örtü (artık) etkinliğine olan etkileri yüzünden de erozyona etki etme şekli yüzey örtüsü alt-faktörüne (SC) ait eşitlikte verildiği gibidir (Eş. 3.14).

Her iki durumda bu etkinlik, yüzeyin tesadüfî (gelişi-güzel) pürüzlülüğünün bir bağıntısı olarak değerlendirilmektedir. RUSLE' de gelişi-güzel pürüzlülük, arazi eğimi ve tesadüfî olmayan toprak işleme izlerinden (karıklar, tarım aletleri ve pulluk izleri) kaynaklanan yüzey değişimleri göz önüne alınmaksızın, yüzey yükseltilerinin standart sapması olarak tanımlanmakta (Allmaras vd., 1966) ve Eşitlik 3.16 ile hesaplanmaktadır.

$$SR = \exp[-0,66(R_u - 0,24)] \quad (3.16)$$

Toprağın un-ufak edildiği bu koşullar dışında, toprak işlemler sonrasında bırakılan pürüzlülüğün yağmur damlaları etkisiyle düzlendiği kabul edilir; eklemeli yağış artarken gelişi-güzel pürüzlülük 0,6096 cm (0,24 inç) değerine yaklaşır. Yağmur damlası etkisiyle pürüzlülüğün yok olması, yani toprak yüzeyinin düzlenmesi, Onstad vd. (1984) tarafından geliştirilen eşitlik ile tanımlanır (Eş. 3.17).

$$D_r = \exp \left[\frac{1}{2} (-0,014 \cdot P_t) + \frac{1}{2} (-0,012 \cdot EI_t) \right] \quad (3.17)$$

Burada,

D_r : birimsiz pürüzlülük azalma (yok olma) katsayısı,

P_t : en son yapılan toprak işlemeden (tüm alansal yüzeyde yapılan bozmalar) sonraki toplam yağış miktarı (inç),

EI_t : aynı işlevden sonraki toplam EI değeridir.

D_r değerleri, hiç yağmur almayan toprak yüzeyi için 1,0'den geniş ölçüde yağmur alan ve büyük ölçüde pürüzlülüğünü kaybetmiş yüzey için 0,0 değeri arasında üssel olarak değişiklik gösterir.

Eğer başlangıç pürüzlülük R_i (inç) olarak tanımlanırsa, halihazırdaki toprak işlemeden önceki yüzey pürüzlülüğü (R_u) Eş. 3.18 ile tanımlanır:

$$R_u = 0,24 + (D_r(R_i - 0,24)) \quad (3.18)$$

Burada, R_u inç olarak elde edilir.

Zincir yöntemi ile toprak pürüzlülüğünün ölçülmesi (Saleh, 1993)

Toprak yüzey pürüzlülüğü su ve rüzgar erozyonu için önemli bir etkiye sahiptir. Toprak pürüzlülüğü, infiltrasyon oranına (Larson, 1962), yüzey akışına (Allmaras vd., 1966), güneş radyasyon yansımaya (Bowers ve Hanks, 1965), evaporasyon oranına (Linden, 1982) ve rüzgar erozyonu olayı esnasında toprak partikül emisyonuna ve tuzaklanmasına etki eden bir faktördür (Hagen, 1988) Toprak yüzey pürüzlülüğü yağış, rüzgar, donma-çözülme ve toprak işleme etkisi altında büyük ölçüde değişmektedir. Zincir yöntemi yaklaşımı “iki nokta arasındaki en kısa mesafe bir doğrudur ve bu iki nokta arasındaki toprak pürüzlülüğü arttıkça aralarındaki yüzeysel mesafe de artmaktadır” şeklinde belirtilmekte ve aşağıda verilen Eşitlik (3.19) ile hesaplanmaktadır.

$$C_r = \left(1 - \frac{L_2}{L_1}\right) \cdot 100 \quad (3.19)$$

Burada, C_r , herhangi bir yönde ölçülen toprak pürüzlülük, L_1 , zincir uzunluğu ve L_2 ise iki nokta arasındaki yüzey mesafesidir. Ancak RUSLE modelinde zincir yöntemi doğrudan kullanılmamaktadır. Bu yüzden örnekleme yapılan dönemlerdeki toprak pürüzlülüğü “Arazi koşullarında elde edilen rastgele pürüzlülük değerleri”ne (Renard vd., 1997) göre standardize edilmiştir. Parsellerde, toprak pürüzlülüğüne ait ölçümler Şekil 3.13’deki gibi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.14 Ayçiçeği ve Buğday parsellerinde yüzey pürüzlülüğü (SR) ölçümleri
(sol: FP – buğday parseli, sağ: OP – ayçiçeği parseli)

3.2.1.6 Yaprak alan indeksinin belirlenmesi (Leaf Area Index, LAI)

Vejetasyon yüzeyi ve atmosfer arasındaki etkileşim vejetasyon tarafından kontrol edilmektedir. Yani, bu etkileşimde radyasyonun yer yüzeyi tarafından ne kadar absorbe edileceği, yansıtılacağı, enerji, gaz ve momentum akılarının nasıl gerçekleşeceği, intersepsiyon ve toprak yüzeyine ne kadar yağışın düşeceği vejetasyon yüzeyi tarafından kontrol edilmektedir. Bu nedenle bitkilerin birim toprak yüzey alanına isabet eden bitkinin yaprak alanlarının toplamı (sadece yaprağın bir yüzünün alanı) bize vejetasyon yüzeyinin bu etkilerini daha iyi analiz etmemizde yardımcı olacak bir değişkeni, yaprak alan indeksini (LAI) vermektedir. Aşağıda Eşitlik (3.20-3.26) LAI değerlerinin hesaplama adımlarını göstermektedir.

Yaprak alan indeksi bitki örtüsünün üzerinde ve bitki örtüsü içinde yapılan ölçümler neticesinde belirlenmektedir. Bu kapsamda bitki örtüsü üzerinde ölçülecek radyasyonun (320-490 nm), bitki örtüsü altında farklı noktalarda ölçülen değerlerle karşılaştırılması, güneş radyasyonunun ne kadarlık bir kısmının bitki örtüsü altına ulaştığı esasına dayanmaktadır. Bu sebeple bitki örtüsü üstünde bir ölçüm, bitki örtüsü altında ise 3 veya 4 ölçüm yapılmaktadır. Güneş radyasyonunun bitki örtüsünün üst kısmından, alt kısmına kadar (bitki boyunca yukarıdan aşağıya) transferi; yaprak alan indeksinin bitkiye her hangi bir zarar vermeden belirlenmesinde kullanılmaktadır. Bu sebeple, bitki

örtüsü altındaki radyasyonun, üstünde ölçülen radyasyona oranı LAI' ın belirlenmesinde önemli bir değişkendir.

Bitki örtüsünün yoğunluğu, yapraklarının genişliği, sayısı vb. faktörler vasıtasıyla gelen bu radyasyonun bitki tarafından ne kadarının toprak yüzeyine ulaşmasının engellendiği Beer-Lambert yasası kullanılarak belirlenmektedir (Monsi ve Saeki, 1953). Dolaylı, temassız ve açıklık (boşluk) oranı esasına dayalı LAI ölçme tekniği aşağıda açıklanmıştır.

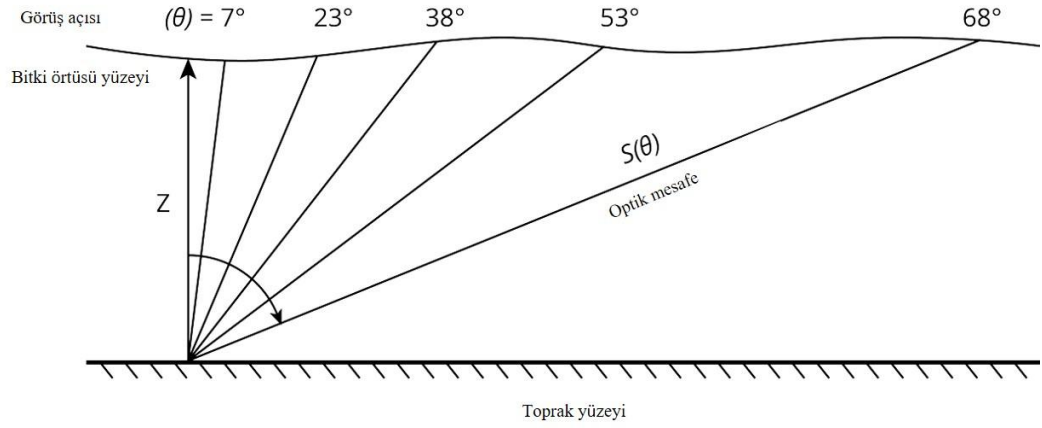
Kullanılabilecek her bir kapak farklı miktarlarda radyasyonun farklı açılarda ölçülmesine olanak sağlamaktadır. Her görüş açısı (zenit açısı) için bitki örtüsü gelen ve bitki örtüsü arasından toprak yüzeyine ulaşan difüz radyasyonlar arasındaki oran her görüş açısı (kapaklar) için aşağıdaki eşitlikle (3.20) tanımlanmaktadır:

$$T(\theta) = \frac{\theta \text{ görüş açısındaki kanopi altına geçen radyasyon intensitesi}}{\theta \text{ görüş açısındaki kanopi üzerine düşen radyasyon intensitesi}} \quad (3.20)$$

$T(\theta)$, θ zenit açısındaki açıklık oranıdır ve. Beer-Lambert yasasına göre; $T(\theta)$ 'da vejetasyonun konumuna, yoğunluğuna ve güneş ışınlarının bitki örtüsüne olan mesafesine bağlıdır (Şekil 3.14).

Tüm bitki örtüsü yüksekliği için z , $S(\theta) = z/\cos\theta$; ve $LAI = \mu \cdot z$ dir. Buna göre LAI aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmaktadır (3.21):

$$LAI = -2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \ln(T(\theta)) \cos \theta \sin \theta d\theta \quad (3.21)$$



Şekil 3.15 Toprak yüzeyine gelen güneş ışınlarının yansıma açısı

Bu çalışmada, yaprak alan indeksi, her örnekleme noktasında üç tekrarlı olarak yapılan ölçümlerle tespit edilmiş, ölçümlerde LAI-ölçer kullanılmıştır (Şekil 3.15) (AccuPAR LP-80 Ceptometer, Decagon Meter Group Inc.).

PAR değerleri ile yaprak alan indeksinin hesaplanması

Bitki kanopisi içerisinde ölçülen PAR değerleri, kanopiye yoluyla iletilen ve kanopideki yapraklar tarafından saçılan radyasyonun bir kombinasyonudur. İletim ve saçılım modelinin tamamı Norman ve Jarvis (1974) tarafından önerilmiştir fakat model karmaşık yapılıdır ve dönüşüme elverişli değildir. Bu yüzden, Norman-Jarvis modeli test etmek ve daha kolay dönüştürülebilen iki basit modeli uyumlamak/ayarlamak için kullanılmaktadır. Eşitlik 3.20’ de verilen ışık saçılımı modeli Gourdriaan (1988) tarafından önerilmiştir. Bu eşitlik iletilen PAR, τ (kanopi altından ölçülen PAR değerinin kanopi üstünden ölçülen PAR değerine oranı) fraksiyonunu vermektedir (AccuPAR LP-80 manual, 2015) (Eşitlik 3.22).

$$\tau = f_b \cdot \exp(-\sqrt{a}) + (1 - f_b) \cdot \exp(-0,87\sqrt{a}) \quad (3.22)$$

Burada, f_b PAR ölçümünde ışın kısmı, a PAR bandında yaprağın soğurganlığı (AccuPAR LAI ölçümleme rutininde 0,9 olarak kabul etmektedir) ve K , kanopi için sönüm katsayısıdır. Sönüm katsayısı birçok yöntemle modellenebilmektedir. Eğer elipsoidal açı dağılım fonksiyonu kabul edilirse (Campbell, 1986),

$$K = \frac{\sqrt{\chi^2 + \tan^2 \theta}}{\chi + 1,744(\chi + 1,182)^{-0,733}} \quad (3.23)$$

Burada θ , güneşin zenit açısı ve χ ise yaprak açısı dağılım parametresidir. $\chi = 1$ koşulunda açısı dağılımı küresel olmakta ve K eşitliği Eşitlik 3.24' de verildiği gibi sadeleşmektedir:

$$K = \frac{1}{2 \cos \theta} \quad (3.24)$$

Norman saçılan ve iletilen PAR değerlerinin tahmini için eşitlik 3.23' den farklı diğer bir eşitliği (3.25) önermektedir:

$$\tau = \exp \left(\frac{A(1-0,47f_b)L}{\left(1-\frac{1}{2K}\right) \cdot f_b - 1} \right) \quad (3.25)$$

Burada $A = 0,283 + 0,785a - 0,159a^2$.

Her iki eşitlik de kanopi PAR değerini tahmin etmektedir. Eşitlik 21 daha hassastır fakat Eşitlik 3.23, LAI değerinin elde edilmesinde daha kolay dönüştürülebilir. İki eşitliğin doğruluklarındaki fark yöntemdeki diğer belirsizliklerden daha küçüktür. LP-80, LAI değerlerinin belirlenmesinde Eşitlik 3.25'i kullanmakta ve sadeleşmiş hali aşağıda verilen Eşitlik 3.26 gibi olmaktadır:

$$LAI = \frac{\left(1-\frac{1}{2K}\right) \cdot f_b - 1}{A(1-0,47f_b)} \ln \tau \quad (3.26)$$

Yaprak alan indeksi gelen ışının yapraklar tarafından ne kadar tutulduğu ve ne kadarının toprak yüzeyine ulaştığı esasına dayanır. LAI' ın belirlenmesinde doğrudan ve dolaylı belirleme yöntemleri vardır (Chen vd., 1997). Bu tez çalışmasında, bitki örtüsüne zarar vermeden, aynı bitki örtüsünün düzenli olarak takip edilebilmesi amacıyla dolaylı ve temas etmeden LAI belirleme yöntemi kullanılmıştır.



Şekil 3.16 LAI-ölçer ile yaprak alan indeksinin ölçülmesi (LP-80 ceptometer)

3.2.1.7 Normalize edilmiş Bitki fark indeksinin (NDVI) hesaplanması

Radyometrik ve atmosferik düzeltme

Uydu görüntüleri T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı ile İTÜ-UHUZAM arasında yapılmış olan işbirliği ile temin edilmiştir. Ortorektifiye olarak gönderilen görüntülerde radyometrik ve atmosferik düzeltme yapılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Uydular tarafından kaydedilen elektromanyetik ışınım dünya yüzeyinden algılayıcıya doğru yol almaktadır ve bu esnada saçılma, gazlar ve aerosoller tarafından yutulma gibi etkiler ortaya çıkmaktadır. Atmosferik etkilere maruz kalan ve bozulmaya uğrayan görüntülerde atmosferik distorsiyon oluşmaktadır. Aydınlanma, atmosferik koşullar, görüş geometrisi ve algılayıcının cevap süresinde oluşan değişimler uydu görüntüleri üzerinde radyometrik distorsiyonlara yani bozulmalara sebep olurlar. Sistem hatalarını ayıklamak ve atmosferik parçacıklardan kaynaklı oluşan bozulma etkilerini en aza indirebilmek için uydu görüntülerinin radyometrik ve atmosferik olarak düzeltilmesi gerekmektedir. (Liang, 2004; Song vd., 2001). Bu çalışmada, PCI Geomatica - ATCOR yazılım modülü kullanılarak uydu görüntülerinin radyometrik ve atmosferik düzeltmeleri gerçekleştirilmiştir.

Bu tez çalışması için seçilen bitki çeşitleri yalnızca yetiştirilme sıklığından dolayı değil aynı zamanda yaprak gelişimleri farklı olduğundan dolayı tercih edilmiştir. Ayçiçeği, yaprak açısal dağılımı (YAD) (LAD, Leaf Angle Distribution) bakımından planofil olan bitki gruplarına dahildir. Bu tür bitkiler, yapraklarını yaklaşık olarak yatayda tutmaktadır. Buğday bitkisi ise Erektofil YAD bitki grubuna dahildir yani yapraklar dikey halde asılı bir şekilde gelişim göstermektedir (Anonim, 2020). Bu durum, bitkilerin ışıktan yararlanmayı en üst düzeye çıkarmak için geliştirilmiş bir strateji olarak düşünülebilir ve büyüme gelişme açısından oldukça önemlidir. Daha detaylı olarak, bir bitkinin gölgelik YAD'ı güneş ışığının bitki örtüsü katmanında yansıma, geçirgenlik ve emilimi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. YAD ayrıca bitkilerin durumunu izlemek için de kantitatif bir indeks olarak işlev görebilir çünkü solma genellikle daha çok erektofil yaprak açılımlarında meydana gelmektedir. Kanopi verimliliği ya da albedo tahmini gibi radyasyon transferi modelleri için bu dağılım dikkate alınmaktadır (Wang vd., 2007) ve YAD kanopi yapısının belirlenmesinde anahtar parametre olarak görev yapmakta ve kanopiler içi ve arası (Thanisawanyangkura vd., 1997) mikro-klima, enerji ve kütle dengesinin belirlenmesinde çok önemli bir rol üstlenmektedir. mikro-iklim ortamına (Mooney vd., 1977; Hegazy ve Army, 1998) ve ışık rekabeti (Hikosaka ve Hirose, 1997) ile etkileşime giren YAD, türler arası ve tür-içi biki kanopi için oldukça fazla değişkendir (Hutchison vd., 1986; Jane vd., 2001) ve oldukça yüksek konumsal ve zamansal değişkenlik göstermektedir (Wirth vd., 2001). LAI, ürün yönetiminden de etkilenmektedir. Örneğin, yüksek bitki popülasyonu LAI değerlerini yükseltirken post-antez dönemi boyunca aktif fotosentetik yaprak alan süresini genellikle azaltmaktadır (Aguirrezabal vd. 1996).

Uzaktan algılama çalışmalarında sık sık kullanılan NDVI, 1975 yılında küresel tarım ve ormancılığı daha iyi değerlendirebilmek amacıyla Landsat verileri kullanılarak geliştirilmiştir (Rouse vd., 1974; Tucker, 1979). Teorik olarak -1.0 (diğer ortak yüzey materyallerine ait düşük değerler) ile 1.0 (yeşil vejetasyona ait yüksek değerler) değerleri arasında değişkenlik göstermektedir. NDVI bitki gelişiminin önemli göstergelerinden biridir. Sağlıklı bir bitki yaprakları vasıtasıyla görünür bölgedeki güneş radyasyonunu (VIS) absorblarken; yakın kızıl ötesi dalga boylarındakileri (NIR)

ise daha az absorbe eder ve daha fazla yansıtmaktadır. Güneş radyasyonunun görünür dalga boyunda bitki tarafından absorbe edilen miktarı fotosentez faaliyeti için kullanılmaktadır. NIR ve VIS arasındaki ilişkiden bitki gelişiminin bir göstergesi olan NDVI değeri Eşitlik 3.27 ile hesaplanmaktadır.

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)} \quad (3.27)$$

Burada, NIR, yakın kızıl ötesi dalga boyu ve kırmızı (Red) ışık bandıdır.

Tezin yürütüldüğü parsellerdeki bitkilerin NDVI değerleri, hem portatif spektrometre (greenseeker) kullanılarak yersel ölçümlerle, hem de yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinden (PHR1A-1B ve Spot 7) hesaplanarak elde edilmiştir. Pleiades takım uydularının (phr1A-1B) çözünürlüğü pankromatik 0,5 m ve multispektral 2,0 m' dir. El tipi NDVI ölçer ise (Trimble, Greenseeker handheld crop sensor, Trimble Inc.) 660-25 nm aralıklarında kırmızı ve 780-25 nm aralığında ise yakın kızıl ötesi emisyon dalga uzunluğuna sahiptir. 325 – 1075 nm aralığındaki dalga boylarındaki refleksiyon değerlerinin belirlenmesi suretiyle bunlardan yararlanarak NDVI değerleri belirlenmiştir (Şekil 3.17).



Şekil 3.17 Yersel (sol) ölçümlerde kullanılan el tipi spektrometre ve uydu görüntüleri ile (sağ) elde edilen NDVI tabakaları

C-faktörünün NDVI ile hesaplanması

C değişkeninin elde edilmesinin yanında bu katsayıların uydu verileri ile olan bağlantıları da (Eş 3.27) bulunan NDVI değerinin C değişkenine çevrilmesinde Eşitlik (3.28) kullanılmaktadır (Van der Kniff vd., 2000):

$$C = \exp \left[-\alpha \frac{NDVI}{\beta - NDVI} \right] \quad (3.28)$$

Burada α ve β , ve sırasıyla 2 ve 1 olarak alınan regresyon katsayılarıdır.

3.2.1.8 İstatistik analizler

Tez veri setinde yapılan istatistik analizler aşağıda detaylı olarak açıklanmıştır:

3.2.1.8.1 Normallik testi

Ayçiçeği ve buğday parsellerinde tekrarlı (sistemik) ve rastgele örnekleme yapılmıştır. Bu ölçümlerden elde edilen veri setleri ile oluşturulan histogramların normal dağılım göstermediğinden ve örneklem sayısı $n > 50$ olduğundan bu durum Kolmogorov-Smirnov (K-S) testi ile değerlendirilmiştir. Bu test, kuramsal dağılıma göre ortaya çıkabilecek birikimli sıklık dağılımı ve örneklemelerden gözlemlenen birikimli sıklık dağılımı karşılaştırmaya yöneliktir. Dolayısıyla K-S testi ile iki birikimli sıklık dağılımı arasındaki farkın en büyük olduğu noktadaki farklılığın önemli olup olmadığını araştırılmıştır.

3.2.1.8.2 Tanımlayıcı istatistik

Bu tez çalışmasında elde edilen verisetine ait en küçük, en büyük, ortalama, medyan (ortanca değer), standart sapma, varyans, basıklık ve çarpıklık değerleri belirlenmiş ve hesaplanmıştır (Eş. 3.29-3.32).

$$\text{Aritmetik ortalama: } \bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad (3.29)$$

Burada, $\bar{x}$, örneklem ortalaması, $x_1 \dots x_3$, ..ci örneklem ve n , örnek sayısıdır.

$$\text{Standart sapma: } \sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (3.30)$$

Burada, σ , Standart sapma; N , verisetindeki örneklem sayısı; x_i , veri setinin i.inci örneği ve $\bar{x}$ verisetindeki örneklem ortalaması, σ^2 ise varyanstır.

$$\text{Basıklık (skewness): } B = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{n S^4} \quad (3.31)$$

Burada, B , basıklık katsayısı; x_i , i.inci gözlem değeri; S^4 , standart sapmanın 4. kuvvetidir.

$B < 3$ ise dağılım, normal dağılımdan daha basıktır.

$B = 3$ ise dağılım basıklığı, normal dağılım ile aynıdır.

$B > 3$ ise dağılım, normal dağılımdan daha diktir.

$$\text{Çarpıklık (Kurtosis): } \zeta = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{n S^3} \quad (3.32)$$

Burada, B , basıklık katsayısı; x_i , i.inci gözlem değeri; S^3 , standart sapmanın küpüdür.

$\zeta < 0$ ise dağılım, sola (- yönde) çarpıktır.

$\zeta = 0$ ise dağılım, simetriktir.

$\zeta > 0$ ise, dağılım sağa (+ yönde) çarpıktır.

3.2.1.8.3 Korelasyon analizleri

Tez çalışmasında belirlenen RUSLE-C alt faktörleri (PLU, SC, CC, SM ve SR) ve bitki indisleri ($NDVI_{sat}$, $NDVI_{gs}$ ve LAI) arasındaki doğrusal ilişkinin derecesi *Pearson Korelasyon katsayısı* ile belirlenmiştir (Eş. 3.33).

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{\sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n}}{\sqrt{(\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n})(\sum_{i=1}^n y_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n y_i)^2}{n})}} \quad (3.33)$$

r değeri, 1' e yakın değerler alıyor ise değişkenler arasında pozitif; -1'e yakın değerler alıyorsa negatif yönde ilişki olduğu belirtilmektedir. r = 0 ise iki değişken arasında doğrusal bir ilişkiden söz edilememektedir.

3.2.1.8.4 Varyans Analizleri

Normal dağılım göstermeyen tez veri seti için Kruskal-Wallis H-testi (sıralama) uygulanmıştır. İki'den fazla verisetinin bağımlı bir değişkene ilişkin ölçümlerinin karşılaştırılarak dağılımları arasında anlamlı bir fark olup olmadığını test etmek amacıyla kullanılmıştır. Normal dağılım göstermeyen varyans analizlerinde gruplar arası karşılaştırmada medyan esas alınmaktadır (Demir vd., 2017). Teste ait hipotezler:

H₀: k-tane verisetinin dağılım fonksiyonları benzerdir.

H₁: En az bir verisetinin dağılım fonksiyonları diğerlerinden farklıdır.

3.2.1.8.5 Regresyon analizi

Çalışmada yapılan ölçümler ve örneklemeler sonucunda hesaplanan değerlerle bitkisel örtü ve ürün yönetimi faktörüne ait alt-faktörlerin NDVI_{sat}, NDVI_{gs} ve LAI ile olan ilişkileri incelenmiştir. (Eş. 3.34-3.39).

$$PLU = f(NDVI_{gs}, LAI, NDVI_{sat}) \quad (3.34)$$

$$SC = f(NDVI_{gs}, LAI, NDVI_{sat}) \quad (3.35)$$

$$CC = f(NDVI_{gs}, LAI, NDVI_{sat}) \quad (3.36)$$

$$SM = f(NDVI_{gs}, LAI, NDVI_{sat}) \quad (3.37)$$

$$SR = f(NDVI_{gs}, LAI, NDVI_{sat}) \quad (3.38)$$

$$SLR = f(NDVI_{gs}, LAI, NDVI_{sat}) \quad (3.39)$$

Yaprak alan indeksi ve alt faktörler arasında oluşturulacak regresyon modellerinden adımsal (kademeli) (stepwise) regresyon analizine tabi tutularak aşamalı olarak tüm değişkenler modele dahil edilerek olası ilişkilerin anlamlı olup olmadığı incelenmiştir. Dolayısıyla, modelde olması gereken ya da olmaması gereken değişkenler belirlenerek alt-faktör tahmininde hangi indislere ait ana faktörlerin ya da interaksiyonlarının belirleyici özelliğe sahip oldukları incelenmiştir. Bu tez çalışmasında *MINITAB* 17.1 (2010) ve *SPSS* 26.0 (IBM-SPSS, 2019) *İstatistik paket programları* kullanılmıştır.

3.2.1.8.6 Jeostatistik analizler

Tarımsal anlamda araştırmacılar, toprak özelliklerinin konumsal değişkenliğe sahip olduğunu, kısa mesafelerde kayda değer değişimler ortaya koyduklarını (Trangmar vd., 1985; Warrick vd., 1986) ve bu yüzden konumsal bağımlılığın analiz edilmesinde jeostatistiksel yöntemlerin kullanılması gerektiğini belirtmişlerdir (Journel ve Huijbregts, 1991). Bir alanda yerel olarak ortaya çıkan düzensiz yönelmenin sebepleri, bazı konumsal yapılar veya farklı konumsal ölçeklerde çeşitli fiziksel, kimyasal veya biyolojik süreçlerin ortak etkileri olabilir. Bu yüzden toprak özelliklerinin konumsal değişkenliğinin tanımlanması toprak ve çevresel faktörler arasındaki karmaşık ilişkilerin anlaşılabilmesi için gereklidir (Goovaerts, 1998).

Jeostatistik, konumu bilinen (örnek noktalarının koordinatları) ana kütle örneklem değerlerinin istatistiğidir ve üç farklı ortam (doğru-düzlem-uzay) için uygulanabilir olsa da genellikle iki boyutlu düzlemde (haritada veya uydu görüntüsü gibi iki boyutlu düzlemde üzerinde) uygulanmaktadır. Ayrıca veri setlerinin dağılım modelini belirlemek için veri setinin merkez değeri, yayılımı vb. gibi özellikleri hakkında bilgi sahibi olmak gerektiğinden veri setinin istatistiksel dağılım parametreleri (ortalama, varyans, st. sapma, çarpıklık, basıklık vb.) hesaplanmalıdır.

Uzaklığa Bağlı İlişki Fonksiyonu (Variogram)

Bölgesel değişkenlerin değerleri arasındaki fark, bu değişkenler arasındaki uzaklığın bir fonksiyonudur (Matheron, 1970; Journel, 1986). Jeostatistikte bölgesel değişkenlerin

uzaklığa bağlı değişimleri variogram fonksiyonu ile belirtilmekte ve bu fonksiyon birbirinden “h” kadar uzaktaki iki değişken arasındaki farkın varyansı olarak ifade edilmektedir. Bir başka deyişle, iki nokta arasındaki farkın varyansının büyüklüğü noktalar arasındaki mesafenin büyüklüğüne bağlıdır (Eşitlik 3.40).

$$2\gamma(h) = (\text{var}(Z(a) - Z(a + h))) \quad (3.40)$$

Burada,

$2\gamma(h)$: variogram fonksiyonu

$Z(a)$: a noktasındaki rastlantı değişkeninin değeri

$Z(a+h)$: a noktasından h kadar uzaklıktaki rastlantı değişkeninin değeridir.

h: noktalar arası uzaklık (lag mesafesi) ve yarıvariogram denklemi Eşitlik (3.41):

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2 \quad (3.41)$$

Burada, $N(h)$; h uzaklığına karşılık gelen örnek çifti sayısını belirtmektedir.

Variogram fonksiyonu (γ) bilindiğinde incelenen değişkenin homojenlik ve anizotropluk dereceleri, düzenliliği ve bir örneğin etki mesafesi, sayısal olarak belirlenebilmektedir (Tercan ve Saraç, 1998).

Deneysel variogram parametreleri ve özellikleri

Külçe Varyansı (C_0): Teorik olarak yarı-variogram fonksiyonunun orijin civarındaki değeri sıfır “0” olmalıdır. Ancak, bazı değişkenler için elde edilen yarı-variogram fonksiyonunda orijinde de süreksizlikler olabilir ve bu durum da, değişkenin değişiminde külçe (nugget) varyansının etkisi gözlemlenir. Yarı-variogramın orijindeki süreksizliğini gösteren külçe varyansı, örnekleme ve ölçüm hatalarından veya değişkenin yapısından kaynaklanmaktadır.

Eşik Değer (C_0+C): variogram fonksiyonunun belirli bir düzlüğe ulaştığı noktadır. Eşik

(Sill) değeri, variogramı hesaplamak için kullanılan tüm örneklerin varyansıdır.

Külçe etki oranı ($\epsilon = C_0/C$): Deneysel yarı-variogram değerlerinden külçe etkisinin (C_0), yapısal varyansa (C) oranına külçe etki oranı ($e = C_0/C$) denmektedir. Jeostatistiksel yöntemlerle yapılacak tahminlerde, külçe etki oranı (e) ile orantılı olarak tahmin değerlerinde düzeltme yapılmalıdır. Külçe etki oranı (külçe etki), değişkenin rassal değişiminin büyüklüğünü göstermektedir.

Etki mesafesi (a): Variogram fonksiyonunun düzlüğe ulaştığı uzaklıktır ve belirtilen bir örnek noktasından belirli bir uzaklıkta bulunan diğer örnek noktası değerlerinin o ilk örnek noktası değerini etkilediğini göstermektedir. Bölgesel değişken, içerik açısından zengin ve yoksul bölgeler şeklinde geçişli bir yapı sergiliyorsa, diğer bir ifadeyle toprak özellikleri belirli bir mesafe içerisinde değişim gösteriyorsa variogram belirli bir uzaklıktan sonra artışını durdurur ve belirli bir değerde sabit kalır. Bu değere Tepe değeri (C), variogramın bu değeri aldığı uzaklığa da yapısal uzaklık (a) denir. Bu uzaklık kovaryansın sıfır olduğu ve fiziksel olarak bir örneğin etki zonunu belirtmektedir. Etki zonu dışında örneklerin birbiriyle korelasyonu yoktur ve birbirlerinden bağımsızdırlar (Konuk, 2011).

Uzaklığın sıfıra eşit olduğu ($h=0$) durumlarda variogramın değeri de teorik olarak sıfıra eşittir. Ayrıca, uzaklığa bağlı değişimin verilerden belirlenebileceği sınır bir uzaklık bulunmaktadır. Bu da bütün örnekler içinde, birbirine en yakın iki örnek arasındaki uzaklığa eşittir. Veri bulunmadığı için bu uzaklıktan daha küçük mesafelerde bu değer belirlenemez ve bu durum variogramın orijininde bir süreksizliğe neden olur. Orijindeki süreksizliğin bir başka nedeni de, örnekleme ve analiz hatalarıdır. Sıfırdan farklı bir değer örnek alınmadaki hataları göstermekte veya örnek aralığından daha küçük bir yapısal uzaklığa sahip çok küçük ölçekte yapılanmış bir bileşenin tepe değerini göstermektedir. Süreksizliğe yol açan bu kaynakları birbirinden ayırmak mümkün değildir ve bu durum variogramda külçe etkisi (nugget effect) şeklinde belirtilir ve C_0 simgesi ile gösterilir. İdeal olarak aynı noktadan alınmış iki örneğin değerleri aynı olacağından külçe etkisinin sıfır olması gerekmektedir (Tercan ve Saraç, 1998).

Not: Külçe varyansı, örneklenen değişkenin bölgesel homojenliğini gösterir. Yüksek değerdeki külçe varyansı, değişkenin çok zayıf şekilde geniş bir alana yayıldığını veya örnekleme ve analiz hatalarının yapıldığını ifade etmektedir.

Düşük değerdeki külçe varyansı ise değişkenin en kısa mesafede bile devamlılığa ve sürekliliğe sahip olduğunu gösterir.

Variogram fonksiyonunun özellikleri

Variogram fonksiyonunun özellikleri Isaaks ve Srivastava (1989)'dan derlenerek maddeler halinde aşağıda belirtilmiştir.

Variogramın $h=0$ uzaklığındaki değeri sıfıra eşittir (Bu sonuç Eşitlik 3.43'de h yerine 0 değeri verilerek elde edilir).

$$\gamma(0) = 0 \quad (3.42)$$

Variogram iki rastlantı değişkeni arasındaki farkın varyansı olarak tanımlandığı için hiç bir zaman negatif değer alamaz.

$$\gamma(h) \geq 0 \quad (3.43)$$

Variogram simetrik özellik gösteren bir fonksiyondur.

$$\gamma(h) = \gamma(-h) \quad (3.44)$$

Variogram modelleri

Araziden hesaplanan deneysel variogramlarda, variogram değerleri belirli uzaklıklar için hesaplanır ve bunun dışındaki uzaklıklarda variogram değerleri bilinmemektedir. Bu yüzden bölgesel değişkenin özelliklerinin belirlenmesinde ve örneklenmemiş noktalardaki değerlerinin kestiriminde, variogramı bütün uzaklıklarda bilmek

gerekmektedir. Bu durum ise variogram hesaplamayı yani deneysel variogram değerlerine bir fonksiyon uyarlamayı gerektirmektedir.

Variogram her zaman pozitif değerler aldığından seçilecek fonksiyonun da pozitif tanımlı bir fonksiyon olması gerekmektedir. Günümüzde kullanılan variogram modelleri tepe değerinin olup olmamasına göre iki gruba ayrılır (Journel ve Huijbregts, 1978).

- Tepe Değerli Modeller
- Tepe Değeri Olmayan Modeller
- Tepe değerli modeller küresel model, üssel model, gauss modeli ve külçe etki modeli olarak tanımlanmıştır. Tepe değeri olmayan modellere ise doğrusal model örnek olarak verilebilir.

Yönsel etki mesafesi oranı ($a_{\max}/a_{\min}$): Yönsel olarak değişen yarıvariogram değerleri analiz edilerek, en büyük etki mesafesinin ($a_{\max}$) ve en küçük etki mesafesinin ($a_{\min}$) gözlemlendiği yönlerin bulunması ve yönsel etki mesafesi oranının hesaplanması, jeostatistiksel tahminlerde kullanılacak elipsoidal etki alanının belirlemede önemli olmaktadır.

Kuramsal variogram modelleri

Küresel (Spherical) model: Bu model tüm variogram modelleri içinde en yaygın şekilde kullanılan variogram modelidir. Küresel modelin eşitliği aşağıdaki gibi verilebilir:

$$\gamma(h)=0 \quad h=0 \quad (3.45)$$

$$\gamma(h)= C [(3h/2a) - ((h^3) / (2a^3))] \quad h \leq a \quad (3.46)$$

$$\gamma(h)= C \quad h > a \quad (3.47)$$

C: variogramın en yüksek olduğu değer, a: yapısal uzaklık ve $\gamma(h)$: h mesafesindeki variogram değeri

Küresel variogram, orijinden başlayarak artan h uzaklığı ile artar. Yapısal uzaklığa ulaşıldığında artışını durdurur ve bu uzaklıkta, variogramın değeri C' ye eşittir (Isaaks ve Srivastava, 1989).

$$\gamma(h) = C \left(\frac{3h}{2a} - \frac{h^3}{2a^3} \right) \quad h \leq a \text{ olduğu zaman} \quad (3.48)$$

$$\gamma(h) = C \quad h \geq a \text{ olduğu zaman} \quad (3.49)$$

Üstel (Exponential) model: Bu model ilk başta doğrusal iken tepe değerine daha teğetsel olarak ulaşır. Model, tepe değerine dereceli ulaştığı için gerçek yapısal uzaklık teorik yapısal uzaklığın yaklaşık 1/3 'ü kadardır (Clark, 1979). Pratikte (a) variogramın tepe değerine yaklaştığı yapısal uzaklıktır.

$$\gamma(h) = C \left(1 - \exp\left(-\frac{h}{a}\right) \right) \quad h < a \quad (3.50)$$

Doğrusal model:

$$\gamma(h) = p \cdot h^\lambda \quad (3.51)$$

p: doğrunun eğimi , λ : doğrunun üssel artışı, tam doğrusal $\lambda = 0$ Genellikle λ , 0 ile 2 arasında değerler alır (2'ye eşit olmamalıdır).

Gauss modeli: Yapısal uzaklık $a \approx 7\ell/4$ olmak üzere tanımlanır. Gauss modeli orijinde parabolik davranış gösteren tek variogram modelidir (Clark, 1979).

$$\gamma(h) = C(1 - e^{-(h*\ell/\ell*\ell)}) \quad (3.52)$$

Külçe etkisi modeli: Külçe etkisi modeli bir lokasyondan diğerine ani olarak değişen bir bölgesel değişkenin davranışını temsil etmektedir (Eşitlik 3.53-3.54) (Tercan ve Saraç, 1998).

$$\gamma(h) = 0 \quad h = 0 \quad (3.53)$$

$$\gamma(h) = C_0 \quad h > 0 \quad (3.54)$$

Özet olarak, klasik konumsal tahmin yönteminde: en yakın komşu yöntemi, yüzey trend analizi ve ağırlıklı ters uzaklık interpolasyonu kullanılırken; Krigingde ağırlık katsayıları, yarı-variogram model parametreleri ile hesaplanmaktadır, tahmin varyansı en küçük olacak şekilde tahmin yapılmaktadır, yarı-variogram kullanıldığı için yönsel değişim önem kazanır ve her noktanın tahmin hatası belirlenmektedir.

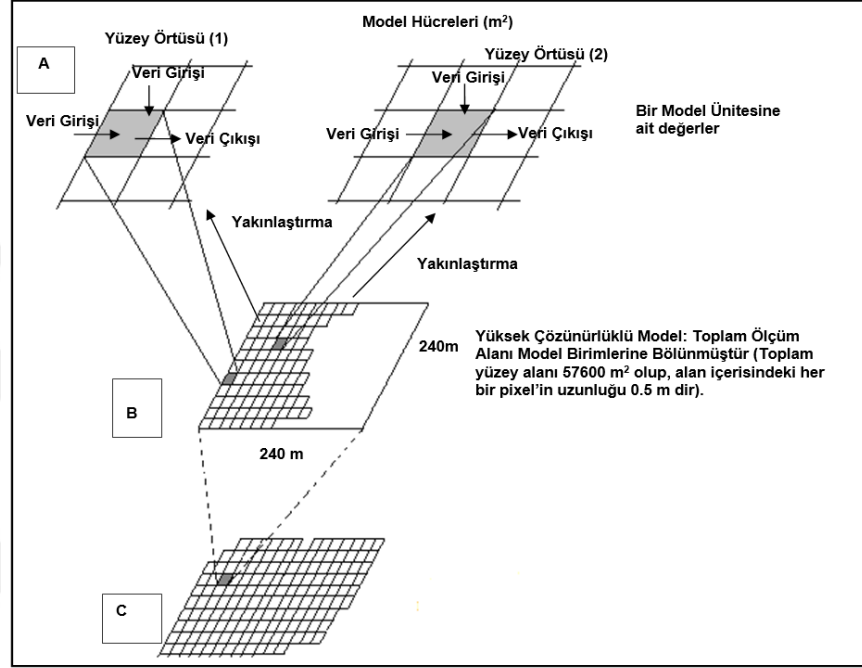
Jeoistatistik İnterpolasyon Yöntemleri (Kriging - 2. Kuşak)

Kriging yöntemleri otokorelasyon kavramına dayanmaktadır. Otokorelasyon uzaklığın bir fonksiyonudur ve bu jeoistatistiği tanımlayan bir özelliktir. Klasik istatistikte, gözlemler bağımsız olarak kabul edildiğinden değişkenlerin mesafeye bağlı ilişkileri/bağımlılıkları değerlendirilmemektedir. Jeostatistikte ise konumsal yerlere ait bilgiler gözlemler arası uzaklığı hesaplamaya ve otokorelasyonu uzaklığın bir fonksiyonu olarak modellemeye olanak sağlamaktadır (Diggle ve Riberio, 2007).

Bu da doğal bir olayda gözlenen bazı konumsal değişimlerin konumsal otokorelasyona bağlı rassal süreçlerle modellenebilmesi anlamına gelmektedir. Jeostatistikle ilişkilendirilen birçok yöntem bulunmaktadır (ordinary, simple, universal, probability, disjunctive kriging, vb.) ve bunların hepsi kriging ailesi içerisinde değerlendirilmektedir (Ordinary, simple ve universal kriging verilerin normal dağılım gösterdiğini varsayar). Ancak kriging iki farklı başlık altında değerlendirilmesi daha uygundur: verilerin konumsal yapısını belirlemek (1) ve tahmin üretmek (2). Yapının hesaplanması, “*variogram*” olarak bilinen verilere konumsal bir dayanak model oluşturulmasıdır. Belirli bir lokasyonda bilinmeyen bir noktayı tahmin etmek için kriging, variogramın en uygun modeli, konumsal veri kurulumunu ve tahmin bölgesindeki ölçülmüş örnek noktalarının değerlerinin kullanacaktır (Webster ve Oliver, 2007).

3.2.1.8.7 Üst-ölçeklendirme

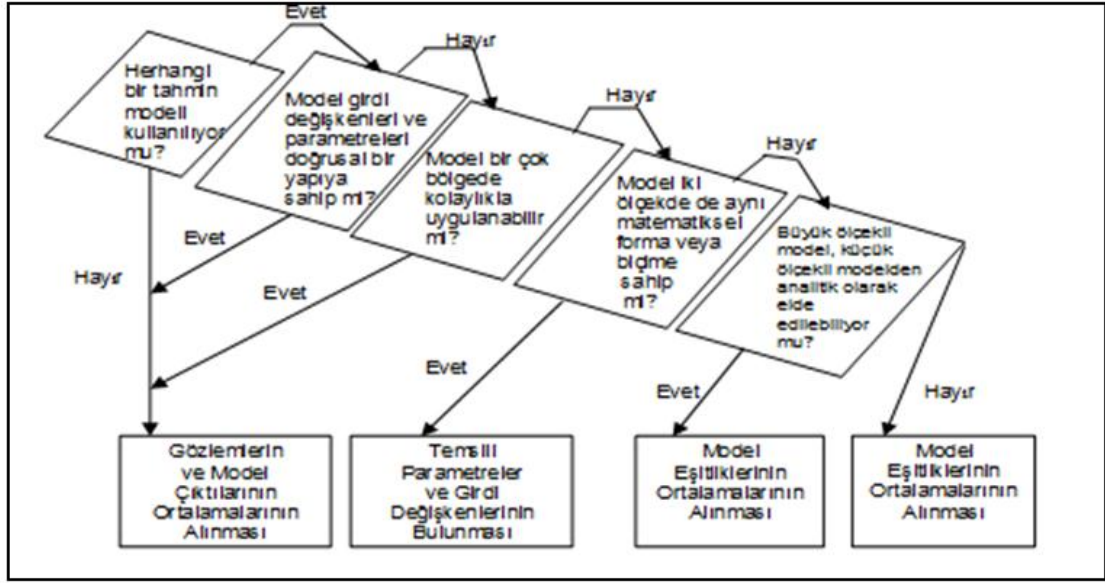
Çalışma alanında dağılım gösteren arazi kullanımları için oluşturulan model noktasal verilerin mevcut teknikler kullanılarak bölgesel ölçeğe yükseltilmesi gerçekleştirilmiştir (Bierkens vd. 2000).



Şekil 3.18 Modelin yüksek çözünürlükten düşük çözünürlüğe getirmek için olasılıksal (stokastik) alansal genelleme yöntemi (Karssenber, 2006'dan uyarlanmıştır)

Şekil 3.17'de verilen aşama A ve B, iki farklı arazi örtüsü için yüksek çözünürlüklü modeli tasvir etmektedir. Aşama B yüksek çözünürlüklü modelleme alanındaki ayrıntıları temsil etmektedir ve her bir araştırma ünitesi içerisinde C değişken değerlerinin giriş ve çıkışları (bütün alt değişkenler) gösterilmiştir. Aşama C yüksek çözünürlüklü model parametrelerinin düşük çözünürlüklü modele aktarılmasını ifade etmektedir. Bu aşamada, yüksek çözünürlüklü aşamada dağıtılmış olarak ayrıntılandırılan süreçler, toplu parametrelili bir sistem veya model içerisinde temsil edilerek, alansal genişleme veya yayılma gerçekleştirilmektedir. Diğer bir deyişle, noktasal veriler ile parsel ölçeğinden bölgesel ölçeğe geçiş yapılmaktadır; ayrıntılı ölçekte ve fiziksel süreç temelinde dağıtılmış model, süreçler ve etkilerinin istatistiksel

olarak bir-araya getirilmesi ile ortalama tahminlerin yapılabilirdi toplu parametrelili bir modele çevrilmektedir (stokastik veya olasılıksal modelleme) (Karssenbergl, 2006; Bierkens et al., 2000). Açık olarak, olasılıksal bir modelin kullanılabilir olup olmadığı, model özelliklerine hangi alansal genelleme yönteminin uygulanabileceğine bağlıdır (Şekil 3.18).



Şekil 3.19 Alansal genelleme yöntemleri için karar verme şeması (Bierkens et al., 2000)

Arazi ölçekli RUSLE modelinin alansal tahminlerini genişletmek amacıyla, C faktörü alt bileşenleri ile LAI ve NDVI gibi bitki örtüsü desenlerine ait parametreleri arasındaki ilişkiler bölgesel ölçekte, doğrusal regresyon yöntemleri ile bölgesel ölçekli modeli oluşturmak üzere kullanılmıştır. Parsel ölçekli modelin girdi ve çıktı verileri arasındaki ilişki kullanılarak bölgesel ölçekli modeli elde etmeye ilişkin yöntemsel yaklaşım Şekil 3.19’de gösterilmektedir. Konu olan veri dağılımları için doğrusal modeller elde edilmiştir (Eşitlik 42-43). Alansal genelleme yöntemi için karar verme şeması Şekil 3.23’de verilmiştir (Bierkens et al., 2000). Bu tez çalışmasında jeostatistik analizler için GS+ (Robertson, 2008) , üst-ölçeklendirme işlemi için ArcGIS (Esri, 2018) yazılımları kullanılmıştır.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1 RUSLE-C Alt-Faktörleri ve Bitki İndislerine Ait Tanımlayıcı İstatistik

Tez çalışma alanında RUSLE-C faktörünün alt faktörleri olan PLU, SC, CC, SM ve SR ile bitki indislerinden $NDVI_{gs}$ ve LAI ve $NDVI_{sat}$ için ölçümler ve örneklemeler gerçekleştirilmiştir. Ayçiçeği ekili alanlarda dönemsel olarak elde edilen, alt-faktör ve indislere ait değerlerin tanımlayıcı istatistik özet bilgileri Çizelge 4.1 ve 4.2’de verilmiştir. Diğer ayrıntılı tanımlayıcı istatistik parametreleri ise EK-1’de yer almaktadır.

Çizelge 4.1 Ayçiçeği parsellerine ait dönemsel RUSLE-C alt-faktörleri tanımlayıcı İstatistikleri

	A-1		A-2		A-3	
	Ortalama	St. Sapma	Ortalama	St. Sapma	Ortalama	St. Sapma
FP						
PLU*	0,950	0,006	0,949	0,004	0,951	0,003
SC	0,709	0,001	0,711	0,001	0,709	0,001
CC	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000
SM	0,592	0,146	0,435	0,128	0,459	0,091
SR	0,905	0,020	0,853	0,023	0,904	0,018
1P						
PLU	0,924	0,001	0,922	0,003	0,924	0,001
SC	0,828	0,001	0,839	0,000	0,841	0,000
CC	0,703	0,000	0,519	0,001	0,515	0,002
SM	0,372	0,069	0,187	0,075	0,201	0,088
SR	0,990	0,020	1,000	0,002	0,953	0,017
2P						
PLU	0,912	0,008	0,909	0,007	0,913	0,002
SC	0,916	0,000	0,916	0,000	0,916	0,000
CC	0,400	0,144	0,587	0,200	0,436	0,239
SM	0,108	0,032	0,122	0,026	0,137	0,031
SR	0,999	0,002	0,998	0,002	0,999	0,002
3P						
PLU	0,903	0,005	0,901	0,003	0,896	0,002
SC	0,932	0,000	0,932	0,000	0,932	0,000
CC	0,519	0,117	0,611	0,180	0,541	0,127
SM	0,006	0,002	0,007	0,002	0,008	0,001
SR	0,995	0,006	1,000	0,000	0,999	0,004

*PLU: Önceki Arazi Kullanım (Prior Land Use), SC: Yüzey Kapalılığı (Surface Cover), CC: Kanopi Kapalılığı (Canopy cover), SM: Toprak Nemi (Soil Moisture) ve SR: Toprak pürüzlülüğü (Surface Roughness)

Çizelge 4.2 Ayçiçeği parsellerine ait dönemsel bitki indisleri tanımlayıcı istatistikleri

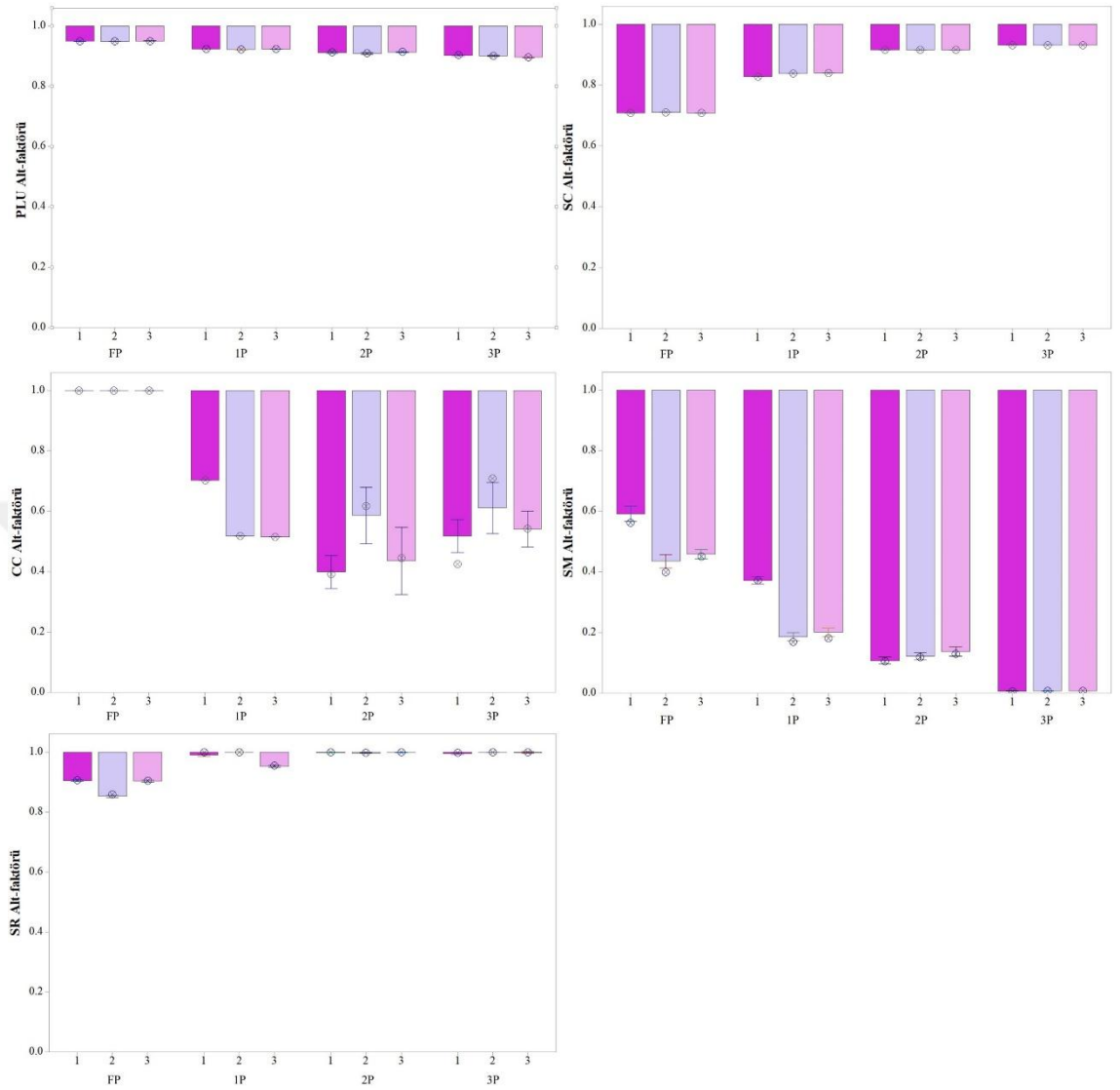
	A-1		A-2		A-3	
	Ortalama	St. Sapma	Ortalama	St. Sapma	Ortalama	St. Sapma
FP						
NDVI_{gs}	0,078	0,011	0,083	0,012	0,084	0,012
LAI	0,078	0,088	0,078	0,077	0,118	0,118
NDVI_{sat}	0,125	0,004	0,127	0,004	0,154	0,009
1P						
NDVI_{gs}	0,703	0,089	0,767	0,050	0,759	0,029
LAI	1,062	0,494	1,612	0,473	1,031	0,449
NDVI_{sat}	0,657	0,061	0,687	0,084	0,605	0,034
2P						
NDVI_{gs}	0,735	0,058	0,539	0,186	0,726	0,069
LAI	1,850	0,691	1,148	0,520	1,189	0,636
NDVI_{sat}	0,762	0,101	0,785	0,063	0,843	0,069
3P						
NDVI_{gs}	0,245	0,076	0,214	0,065	0,186	0,057
LAI	0,678	0,356	0,489	0,327	0,600	0,249
NDVI_{sat}	0,236	0,026	0,384	0,077	0,298	0,031

*NDVI_{gs}: yersel, greenseeker el tipi spektoradyometre ile ölçülen NDVI), LAI: Yaprak Alan İndeksi (Leaf Area Index), NDVI_{sat} (uydu görüntülerinden hesaplanan NDVI)

İlk FP ölçümleri 1, 2 ve 3. parseller için sırasıyla 5-6-7 Nisan 2016 tarihinde gerçekleştirilmiştir. 1P ölçümleri ilk parsel için 10-17 Haziran 2016, ikinci parsel için 28 Haziran 2016 ve üçüncü parsel için 29 Haziran 2016 tarihlerinde yapılmıştır. 2P ölçümleri 1. ve 2. parsel için 08/09/2016 ve 3. parsel için 09/09/2016 tarihinde son olarak da 3P dönemi ölçümleri 1. ve 2. parsel için 05/09/2016 ve 3. parsel için 06/09/2016 tarihinde yapılmıştır. Farklı parselelerdeki ayçiçeği bitkisinin gelişme dönemlerine ait görseller Şekil 4.1’de, bu dönemsel değişimlere ait ortalama ve medyan değerler grafiği ise Şekil 4.2’ de verilmiştir.

	1A	2A	3A	Günler		
				A-1	A-2	A-3
0P				1	1	1
1P				67	84	84
2P				126	125	125
3P				154	153	153

Şekil 4.1 Ayçiçeği parsellerinin dönemlere göre bitki gelişimi



Şekil 4.2 Ayçiçeği parselleri (1-2-3) dönemsel RUSLE-C alt-faktörleri ortalama ve medyan değişim grafiği

Buğday ekili alanlarda dönemsel olarak elde edilen, alt-faktör ve indislere ait değerlerin tanımlayıcı istatistik bilgileri özet bilgileri Çizelge 4.3 ve 4.4’de verilmiştir. Diğer ayrıntılı tanımlayıcı istatistik parametreleri ise EK-2 yer almaktadır.

Çizelge 4.3 Buğday parsellerine ait dönemsel RUSLE-C alt-faktörleri tanımlayıcı İstatistikleri

	B-1		B-2		B-3	
	Ortalama	St. Sapma	Ortalama	St. Sapma	Ortalama	St. Sapma
3P (1. parsel) - 4P (2. ve 3. parsel)						
PLU	0,898	0,001	0,898	0,001	0,897	0,004
SC	0,376	0,001	0,131	0,001	0,111	0,001
CC	0,233	0,037	1,000	0,000	1,000	0,000
SM	0,005	0,002	0,003	0,002	0,003	0,001
SR	0,814	0,020	0,806	0,015	0,824	0,019
FP (1. parsel) - 0P (2. ve 3. parsel)						
PLU	0,880	0,003	0,958	0,005	0,960	0,006
SC	0,158	0,001	0,577	0,001	0,577	0,001
CC	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000
SM	0,189	0,046	0,093	0,023	0,138	0,028
SR	0,628	0,035	0,837	0,021	0,835	0,022
1P (1. ve 2. parsel) - 2P (3. parsel)						
PLU	0,902	0,001	0,897	0,005	0,899	0,003
SC	0,700	0,001	0,832	0,002	0,832	0,002
CC	0,254	0,000	0,259	0,002	0,118	0,002
SM	0,692	0,099	0,354	0,074	0,344	0,064
SR	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000
3P						
PLU	0,879	0,005	0,877	0,004	0,878	0,003
SC	0,913	0,001	0,832	0,002	0,837	0,001
CC	0,128	0,001	0,172	0,001	0,119	0,001
SM	0,154	0,040	0,169	0,047	0,131	0,032
SR	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000

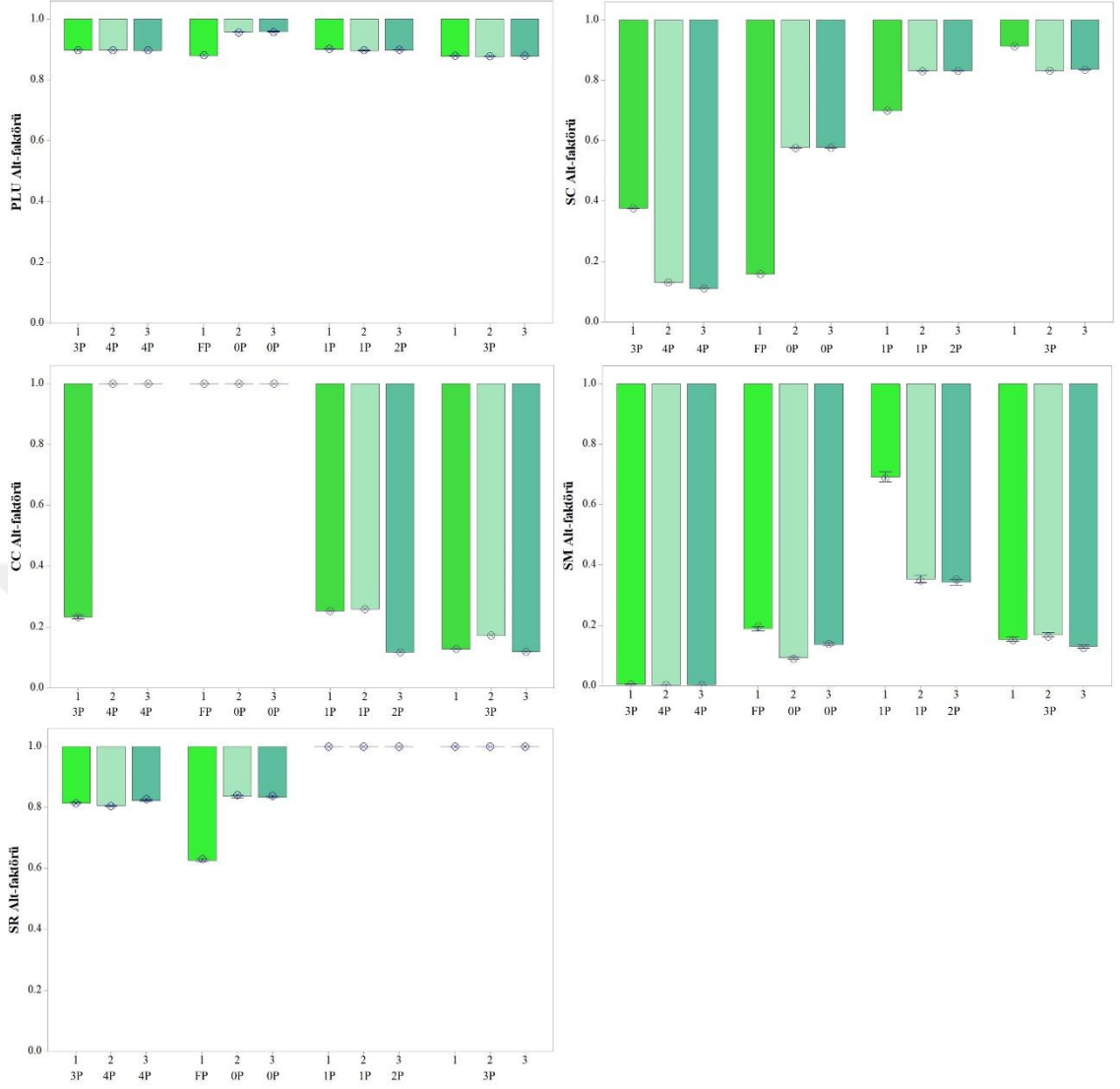
Çizelge 4.4 Buğday parsellerine ait dönemsel bitki indisleri tanımlayıcı istatistikleri

	B-1		B-2		B-3	
	Ortalama	St. Sapma	Ortalama	St. Sapma	Ortalama	St. Sapma
3P (1. parsel) - 4P (2. ve 3. parsel)						
NDVI_{gs}	0,624	0,028	0,195	0,020	0,227	0,023
LAI	1,855	0,576	0,186	0,196	0,222	0,221
NDVI_{sat}	0,849	0,028	0,370	0,032	0,367	0,033
FP (1. parsel) - 0P (2. ve 3. parsel)						
NDVI_{gs}	0,091	0,009	0,079	0,009	0,083	0,008
LAI	0,028	0,027	0,020	0,017	0,049	0,045
NDVI_{sat}	0,347	0,024	0,193	0,008	0,190	0,004
1P (1. ve 2. parsel) - 2P (3. parsel)						
NDVI_{gs}	0,680	0,117	0,664	0,156	0,622	0,070
LAI	1,130	0,644	1,310	0,691	1,933	0,654
NDVI_{sat}	0,620	0,090	0,550	0,073	0,685	0,074
3P						
NDVI_{gs}	0,115	0,021	0,107	0,016	0,129	0,013
LAI	1,168	0,464	0,842	0,385	1,454	0,358
NDVI_{sat}	0,408	0,037	0,300	0,025	0,282	0,030

Buğday parsellerinin önceki arazi kullanım türleri sırasıyla şekerpancarı (1) - ayçiçeği (2) - ayçiçeği (3)' dir. İlk parselin ölçümleri şekerpancarının 3. döneminde gerçekleştirilmiştir. Diğer parseller ise bir önceki ürün olan ayçiçeklerinin 4. döneminde yapılmıştır. Parsellere göre ilk ölçüm sıralaması 3-1-2' dir ve 17-18-19/09/2015 tarihlerinde arazi çalışmaları yapılmıştır. Sonraki ölçümler ilk parsel için FP (13/11/2015-07/12/2015); 2. ve 3. parseller için tohum yatağı dönemidir (0P: 11-21 Kasım 2015 ve 12-22 Kasım 2015). 1. parsel için 14 Nisan 2016, ikinci parsel için 22 Nisan 2016 tarihlerinde 1P için ölçüm yapılmış ve 3. parsel için 01-02/06/2016 tarihlerinde 2P için ölçümler gerçekleştirilmiştir. 3P ölçümleri sırasıyla 1, 2 ve 3. parsel için 11-12-13 Temmuz 2016 tarihlerinde yapılmıştır (Şekil 3.6). Farklı parsellerdeki buğday bitkisinin gelişme dönemlerine ait görseller Şekil 4.3'de, bu dönemsel değişimlere ait ortalama ve medyan değerler grafiği ise Şekil 4.4' de verilmiştir.

	1B	2B	3B	Günler		
				B-1	B-2	B-3
3P 4P				1	1	1
FP 0P				81	64	67
1P 2P				210	217	260
3P				298	298	301

Şekil 4.3 Buğday parsellerinin dönemlere göre bitki gelişimi



Şekil 4.4 Buğday parselleri (1-2-3) dönemselsel RUSLE-C alt-faktörleri ortalama ve medyan değişim grafiği

4.1.1 PLU Alt-faktörü

Çizelge 4.1’ de verilen ortalama ve standart sapma sonuçlarına göre; ayçiçeği ekili parsellerin birincisinde, PLU’nun FP’ den 3P’ye kadar, ortalama olarak 0,950 ile 0,903; ikinci parselde 0,949 ile 0,901 arasında ve üçüncü parselde ise 0,951 ile 0,896 arasında az bir değişim gösterdiği görülmektedir. En yüksek PLU değeri tüm parsellerin 3. döneminde gözlemlenmiştir (sırasıyla 0,903, 0,901 ve 0,896). Kolmogorov-Smirnov normallik testine göre PLU, hiçbir dönem ve parsel için normal dağılım göstermemektedir ($p < 0,010$). Bunun sebebi ise genel olarak örneklerin yalnızca 1/7’si

rastgele 6/7'si ise sistematik olmasından ve sistematik örnek noktalarının değişim aralığının çok dar olmasından kaynaklanmaktadır. Yani, tekrarlı veri setinden oluşmaktadır. İlk ölçümler yapıldığında (FP), her üç parselde anızlar alt-üst edilmiş, arazi yüzeyinde kalan tüm bitki artıkları temizlenerek parseller düzeltilmiş ve böylelikle sürüm derinliğinde homojen bir artık miktarı oluşmuştur. Bu durum PLU değerlerinin artık yönetimi yapılmamasından ötürü daha düşük düzeyde hesaplanmasına sebep olmuştur. Bu, aynı zamanda dönemsel ortalama PLU değerlerinin değişim grafiğinde (Şekil 4.2) açıkça görülmektedir.

Buğday parselleri için yapılan istatistik analiz sonucunda (Çizelge 4.3) dönemler arası PLU değerinin çok dar bir aralıkta değişim gösterdiği görülmektedir. 1. parselde 0,879-0,902; 2. parselde 0,877-0,958 ve 3. parselde, 0,878-0,960 arası değişen PLU, 2. ve 3. parsellerin tohum yatağı hazırlık dönemi (0P) hariç belirgin artış ya da azalış eğilimi göstermemiş neredeyse sabit kalmıştır. PLU, her parsel için 3P döneminde en yüksek değerini vermiştir. Çünkü, gelişme dönemi boyunca toprak sıkışma oranının azalması, yeni bitkilerin gelişimi süresince yüzeyel köklerin oluşması ve önceki arazi kullanımdan kalan bitki artıklarının korunarak ayrışmadan kalması gösterilebilir. Buğday bitkisinin saçak kök yapısı ile derinlere ilerlemesi ve ayçiçeği kadar yüzlek kök yapısı barındırmaması göz ardı edilmemelidir. Ayçiçeği bitkisinde olduğu gibi, parseller dönemsel olarak kendi içlerinde homojendir. Yani noktasal olarak yapılan toprak örnekleme ile hesaplanan biyokütle değerleri parsel içerisinde dikkate değer bir değişim göstermemektedir. Bu da, PLU değerlerinin normal dağılım göstermemesine yol açmaktadır ($p < 0,010$).

PLU alt-faktörünün bir önceki üründen kalan yüzey altı bitki artıklarının toprak erozyonuna ve buna bağlı olarak gerçekleştirilen önceki toprak işleme yöntemlerinin toprak sıkışmasına olan etkisini ifade etmektedir (Renard et al., 1997). Dolayısıyla Eşitlik 3.9'a göre hesaplanan toprak sıkışma oranı (C_f) değerleri ile birlikte ayçiçeği bitkisinde PLU değerleri zamansal olarak azalmakta yani etkinliği artmaktadır (Şekil 4.4). Benzer durum buğday parselleri için de geçerlidir. FP döneminden sonraki tohum yatağı hazırlığı dönemine (0P) geçiş ile toprak sıkışması azalarak devam etmiştir. Bu da PLU değerinin üssel azalan eğri ile 0'a yaklaşması anlamına gelmektedir. Çalışma

alanında, rotasyon sistemindeki bir önceki ürüne ait bitki kök ve artıkları, ayçiçeği parsellerinde gelişme süresince önce azalma eğilimi göstermiş ve sonrasında bir denge ile sabit kalmıştır (Şekil 4.2). Streck ve Cogo (2003)'ün yapmış olduğu RUSLE-C/PLU alt-faktörünün toprağın sıkışması ile ilişkisini araştırdığı çalışmada, toprak işlemenin yapıldığı ve yapılmadığı farklı parsel türleri için yapılan çalışmalarda benzer sonuçlar alındığı belirtilmektedir. Bitki artıklarının çürüme işlemi artıkların toprağa temas etmesi ile başlamaktadır. Ayrışma süreci üç birleşenin interaksiyonu ile kontrol edilmektedir. Bunlar, toprak biyolojik süreçleri, bitki artıklarının kalitesi ve fiziksel ve kimyasal çevredir. Bu bileşenlerin kombinasyonu ile sadece bitki artıklarının ayrışma oranı değil aynı zamanda ayrışma sürecinin son ürününü de belirlemekle birlikte toprak tekstürü ve pH'sinin ürün artıklarının ayrışmasında önemli rol oynadığı bilinmektedir (Yadvinder-Singh vd., 2005). Kil, organik maddeyi ayrışmadan koruduğu için kil oranının az olduğu topraklarda ayrışma killi topraklara nazaran daha fazla olmuştur (Jenkinson, 1977; Merckx vd., 1985; Ladd vd., 1996). Kil miktarı arttıkça, toprak yüzey alanı da artmakta ve bu durum organik karbon stabilizasyon oranının da artması ile sonuçlanmaktadır. Kilin organik maddeyi stabilize etmesi sıcak topraklarda daha da önem kazanmaktadır. Çünkü sıcaklık ile ayrışma daha yüksek oranlara taşınmaktadır (Yadvinder-Singh vd., 2005). Asitli topraklarda ayrışma süreci, nötr ya da alkali topraklara göre daha hızlı olmaktadır. Dönem içerisinde hem ayçiçeği hem de buğday parsellerinden alınan toprak örneklerinden, bitki ve kök ayıklama işlemi ile elde edilen PLU'nun değişim aralığı oldukça dar ve noktasal örneklemelerle elde edilen değerlerin birbirine çok yakın olduğu yani parsellerin kendi içerisinde homojen olduğu; daha açık bir ifadeyle, zamansal olarak toprak sıkışmasının etkisi göz önünde bulundurularak bitki kök ve artıklarının ayrışmasından ötürü oluşan değişimin tüm dönemler boyunca birbirine yakın olduğu görülmüştür. Ayçiçeği ve buğday parselleri, hem alkali hem de kil oranı yüksek topraklardır. Bu da var olan bitki kök ve artıklarının daha az ayrışmasına neden olmaktadır. Ayçiçeğinin 1P döneminde PLU'nun en yüksek değere ulaşmasındaki en önemli neden ise ayçiçeğinin gelişimi ile yüzeyel köklerin de varlık göstermesi şeklinde belirtilebilir.

4.1.2 SC Alt-faktörü

Ayçiçeği parsellerinde, SC değerleri ise, 1. parselde ortalama 0,709 ile 0,932; ikinci parselde 0,711 ile 0,932 ve 3. parselde 0,709 ile 0,932 arasında değişim göstermiştir. SC alt-faktörü her üç ayçiçeği parselinde de benzer değişim göstermiş bitki gelişim süresince yüzey kapallılığını oluşturan materyallerden bitki artıklarının çürümesi ile azalma eğiliminde olmuş ve son dönemde 1' e yaklaşmıştır (Şekil 4.2). Yani yüzey kapallılığı yaratan bitki artıkları zaman içerisinde fiziksel ve kimyasal ayrışma ile azalma göstermiştir.

Yüzey kapallılığının hesaplanmasında kullanılan yüzey pürüzlülüğü (R_u) de zamansal olarak azalma eğilimindedir. Bunu aynı zamanda, aynı parametreyi kullanan SR alt-faktörünün zamansal değişiminden de gözlemlememiz mümkündür. Azalmanın önemli sebebi parselde sıra arası ve sıra üzeri bitkiler tam kapallılık durumuna geçinceye kadar yağışlardan ve sulamadan kaynaklı oluşan pürüzlülük kaybı ve kaymak tabakası oluşumudur. Diğer yandan yüzey örtüsü ile alan yüzdesi gelişme dönemi boyunca azalmıştır. SC alt-faktörü, arazi ölçümleri esnasında S_p değerleri, FP' de % 10, 1P' de % 5, 2P' de % 2,5 ve 3P' de %2 yüzey örtüsü alan yüzdesi olarak belirlenmiş ve hesaplanmıştır (Şekil 4.1).

Buğday parsellerinde, SC değerleri 1. parselde ilk ölçümün şekerpancarı'nın hasat öncesinde olmasından dolayı yalnızca yüzeyde kuruyan şekerpancarı yapraklarının etkisi ile ortalama 0,376 ($\pm 0,001$) olarak bulunmuş ve ölçüm zamanından ötürü 2 ve 3. parselde göre daha düşük (1' e yakın) bir değer hesaplanmıştır (sırasıyla 0,131 ($\pm 0,001$) ve 0,111 ($\pm 0,001$)). Diğer iki parselde hasat gerçekleşmiş, büyük anızlar insan gücü ve tırmık ile toplanmıştır ancak yine de toprak yüzeyinde kayda değer miktarda anız kalmıştır. 2. ve 3. parsellerin SC alt-faktörü değişimleri ortalama olarak 2. parselde 0,131 ile 0,833 arasında; 3. Parselde ise 0,111 ile 0,837 arasında olmuş en yüksek (0'a yakın) SC değerleri ilk ölçümde (4P) kaydedilmiş ve zamansal değişimi azalma eğilimli olmuştur. İlk parselin en yüksek değeri ise önceki ürün olan şekerpancarlarından kalan bitki artıkları ile 0. dönemde hesaplanmıştır. Farklılaşmalar da buğday ekiminden sonra azalarak 1. ve 2. dönemle birlikte birbirlerine yakın değerler vermeye başlamışlardır

(sırasıyla 1P ve 2P için 0,700, 0,832 ve 0,832; 3P için 0,913, 0,833 ve 0,837). 2 ve 3. parsellerde ortalama olarak birbirine yakın değerlerin elde edildiği gözlemlenmiştir. S_p değerleri, 1. Buğday parselinde dört dönem için sırasıyla %30, %50, %5 ve %2,5; diğer iki buğday parselinin S_p değerleri ise, %60, %15, %10 ve %5 olarak alınmıştır (Şekil 4.3 ve Şekil 4.4). Önceki arazi kullanımı şekerpancarı olan 1. parselin R_u değerleri önce artma ve sonra azalma eğilimi göstermiştir. 2. ve 3. parselin R_u değerleri zamansal olarak azalma eğilimi göstermiştir. Pürüzlülük uzunluğu, kapalılığı sık ve yoğun olan bitki türleri için azalırken seyrek bitki örtüleri için arttığı bilinmektedir (Shaw, 1982). Özellikle buğday bitkisi tam kapallılık durumuna geçtiğinde toprak yüzey pürüzlülüğü ölçülmemiş SR değeri olarak aerodinamik pürüzlülük değeri (Z_0) alınmıştır. Bunun için de RUSLE modeli'ne göre en küçük pürüzlülük değeri olan 6,096 mm (0,24 inç) ile hesaplamalar yapılmıştır.

Çalışma alanı olan ayçiçeği ve buğday parselleri ise 2000'li yılların başlarında toplulaştırılmış, geleneksel tarımsal faaliyetlerin hiç duraksamadan devam ettiği ve yarı-kurak ekosistem içerisinde alanlardır. Bu tür tarım alanlarında ürün artık yönetimi önemsenmemekte, hasat sonrası artıkların etkinliği genelde çiftçiler tarafından toprak alt-üst edilerek, sürülerek ya da toplanarak ortadan kaldırılmakta ve bir sonraki ürün ekimi için parseller hazırlanmaktadır. Bu da hasat sonrası toprağın erozyona açık hale getirilmesi anlamına gelmektedir (Panagos vd., 2015). Yüzey kapalılığı yoğunluğu toprak erozyonunun gelişmesi açısından büyük rol oynamaktadır çünkü, bu kapallılık doğrudan toprak yüzeyini yağmur damlasının etkisine karşı korumaktadır (Singer vd., 1981; Renard vd., 1997; Loch, 2000). Bitki artıklarının etkinliği üzerine yapılan çalışmalar da ürün artıklarının korunması yalnızca toprak yüzeyini sıçrama erozyonundan korumamakta aynı zamanda toprak infiltrasyon hızının arttırmakta (Unger ve Vigil, 1998) ve yüzey akışlarını azaltarak (Greenland vd., 1975) toprak kayıpları oranının daha az olmasını sağlamaktadır.

4.1.3 CC Alt-faktörü

Ayçiçeği parsellerinde F döneminde toprak üstünde yetişmiş bitki yoktur. Dolayısıyla F dönemi için tüm ayçiçeği parsellerinde $CC = 1,000$ 'dir. Tüm dönemler dikkate alındığında CC değerleri ilk parselde, 1,000 ile 0,400; ikinci parselde 1,000 ile 0,519 ve

üçüncü parselde 1,000 ile 0,436 arasında değişim göstermiştir. Bitki örtüsü kapalılığı arttıkça yani çimlenme ve büyüme dönemleri süresince kanopilerin gelişmesi ile CC değeri de 0' a yaklaşmaktadır (Şekil 4.2). Son dönemde, olgunlaşma sebebiyle biyokütledeki su kaybı, hacimsel olarak bitkinin kuruyarak küçülmesine sebep olmuş ve bu durum son dönem CC değerlerinin az da olsa azalarak 1'e yaklaşmasını açıklamıştır (3P: 1. parsel: $0,519 \pm 0,117$; 2. parsel: $0,611 \pm 0,180$ ve 3. parsel: $0,541 \pm 0,127$) (Şekil 4.1). Kanopi kapalılığı ölçümleri, örnek noktasının fazlalığı ve örneklemenin zahmetli olmasından ötürü yalnızca rastgele örnek noktalarında yapılmış; diğer sistematik noktalar için ise ortalama bir bitki yüksekliği alınarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla değişim aralığı her parsel içerisinde çok az olmuştur. Diğer yandan zayıflayan bitki örtüsü ile sıra arası ve sıra üzeri boşluklar önceki döneme göre artmıştır.

Buğday parsellerinde ise, ölçüm dönemleri dikkate alındığında kanopi ilk 1P'de ölçülmüştür (Şekil 4.4). Geç ekilen buğday tohumları 0P döneminden sonra Aralık (2015) Şubat-Mart aylarında (2016) çimlenmiş ve Nisan ayında kardeşlenmiştir. Tohum ekimi ve çimlenme arası geçen sürede çimlenme durgunluğu (dormansi) gözlemlenmiştir. 1P'nin ilk ölçümleri Nisan ortasında (14-22/04/2016) gerçekleştirilmiştir. Boyları, ortalama 20 – 45 cm arası değişen buğday (1 ve 2. parsel) 2P döneminde (3. parsel) ortalama 74 cm' e ulaşmıştır.

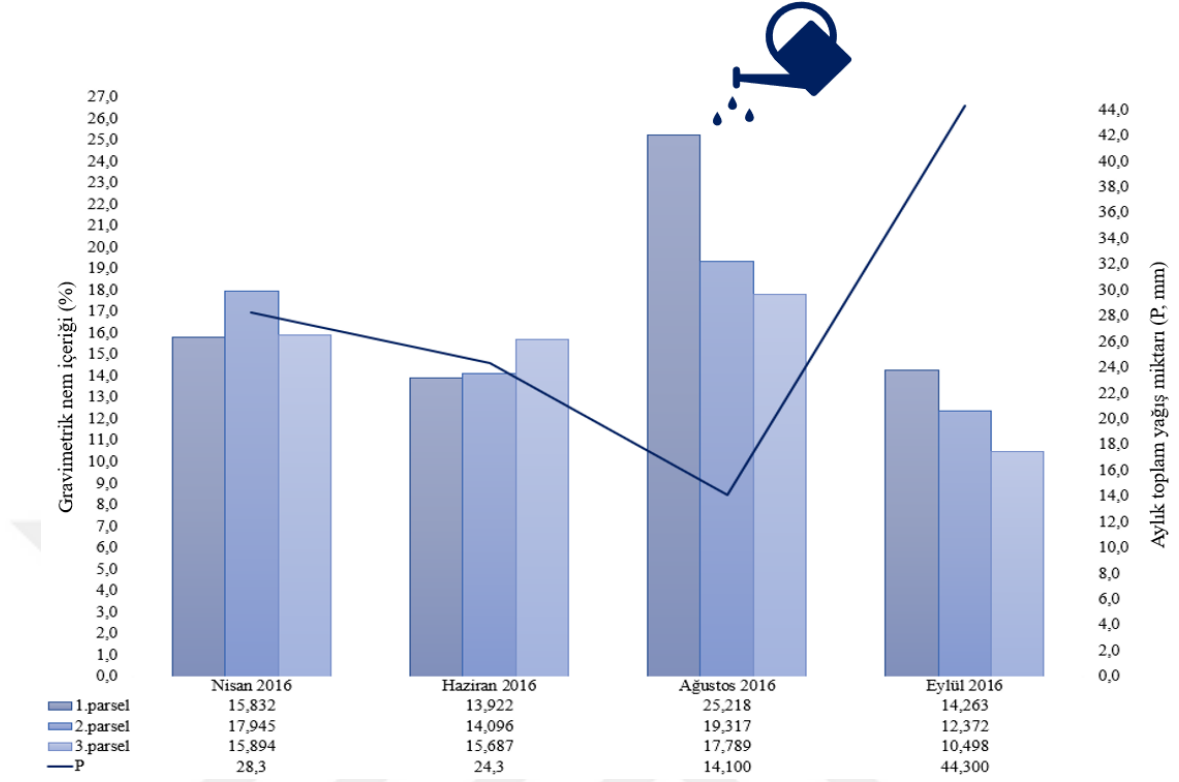
Olgunlaşma döneminde (3P) ise ortalama 80 ile 115 cm arası değişiklik göstermiştir. Buğday 1. parsel hasat öncesi 3P ölçümüyle CC değeri ($0,233 \pm 0,037$) diğer iki parselde göre farklılık gösterirken, 2 ve 3. parsellerde 4P döneminden ötürü kanopi kapalılığı oluşmamaktadır ($CC = 1,000$). Genel olarak ilk parselin değişim aralığı 0,128 ile 1,000 değerleri arasında değişim göstermekte, ikinci parsel 0,172 ile 1,000 ve 3. parsel 0,118 ile 1,000 arası değişim göstermektedir (Çizelge 4.3). Gelişim dönemleri boyunca zamansal olarak kanopi kapalılığı arttığı için değerler 0'a yaklaşmaktadır. Son olgunlaşma döneminde ise kanopideki su kaybından dolayı bitkiler kurumuş ancak bitki fizyolojisinden ötürü (erektofil) ayçiçeğinde gerçekleştiği oranda kanopi kapalılığında bir düşüş gözlemlenmemiştir. Ekim sıklığı nem, sıcaklık ve toprak bitki besin maddelerinin durumuna ayrıca tohum iriliğine bağlı olarak parselde atılan tohum miktarı değişmektedir. Buğday bitkisi her ne kadar dikey gelişen yapraklara sahip olsa da

kardeşlenme sonrası sık ekimin de etkisi ile kardeşlenme sonrası kanopi kapalılığı da en yüksek seviyesine ulaşmaya başlamaktadır. Ayçiçeği parsellerinde olduğu gibi buğday parsellerinde de Ccalt-faktörü rastgele örnek noktalarında ölçülmüş, ortalama bitki boyu alınarak tüm parsel için CC alt-faktörü hesaplanmıştır.

CC alt-faktörü, yalnızca kanopinin oluşturduğu kapalılık fraksiyonunun yüzdesi (F_c) ile değil aynı zamanda yağmur damlalarının kanopiye çarptıktan sonraki düşme yüksekliğinin de dâhil edilmesiyle hesaplanmaktadır. Böylelikle kanopinin toprak yüzeyine aktaracağı yağış enerjisindeki azalma ile kanopinin oluşturduğu örtünün etkinliği de açıklanmış olmaktadır. Diğer bir deyişle, koruyucu/örtücü bitkilerin varlığı ile toprak yapısı gelişmekte, infiltrasyon artmakta ve toprak yüzeyi korunmakta ve toprağa aktarılacak enerjiyi dağıtmakta ve yüzeydeki suyun hareketini azaltmaktadır (Smith vd., 1987). Örtücü bitkilerin toprak erozyonu azaltmadaki etkinliği bir çok çalışma ile kanıtlanmıştır (Nyakatawa vd. 2001, Verstraeten vd. 2002, Wall vd. 2002, Bazzoffi 2007).

4.1.4 SM Alt-faktörü

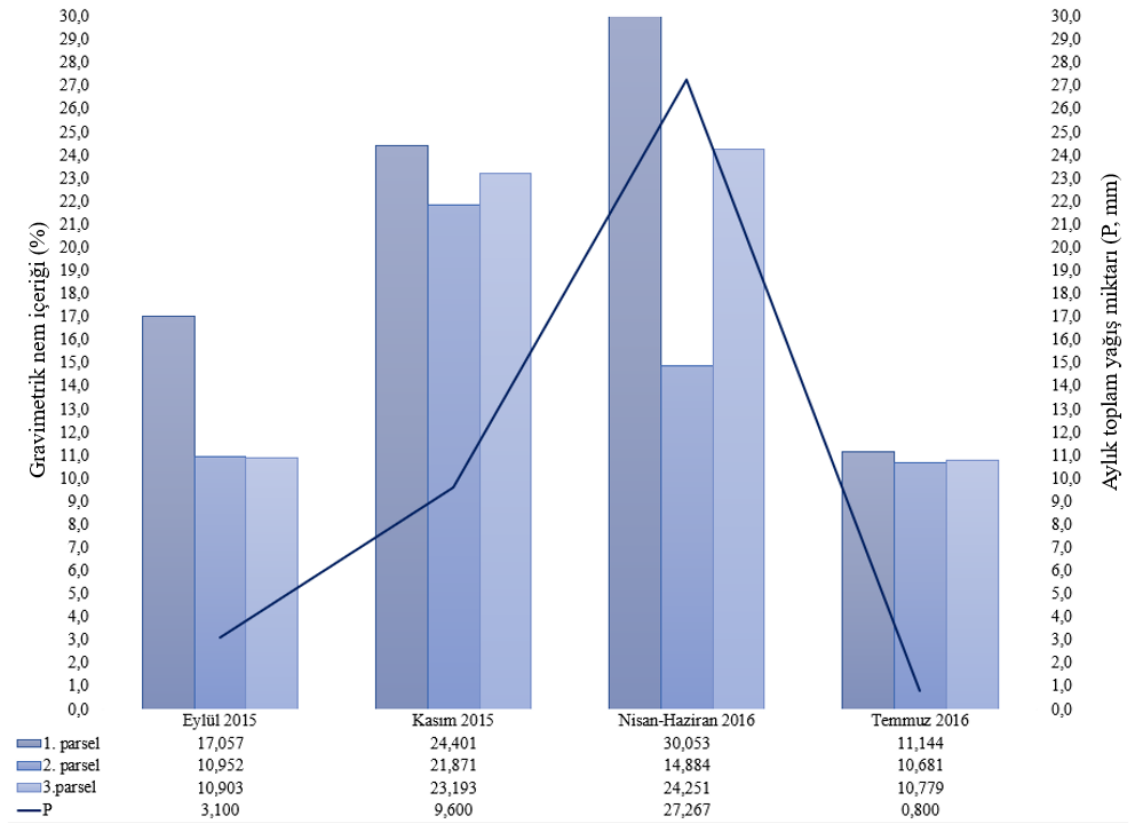
SM değerlerinin elde edilmesi için her dönemde her örnek noktasından toprak örnekleri alınarak % gravimetrik nem tayini yapılmıştır. Ancak % nem doğrudan RUSLE modelinde kullanılamamaktadır. Bu yüzden, nem değerleri (Şekil 4.3), RUSLE el kitabı Şekil 5-5’de verilen (Renard vd., 1997), “*tarla kapasitesi ve solma noktasına göre toprak nemi alt faktörünün zamansal değişimi*” grafiğinden (Şekil 3.13) yararlanılarak standardize edilmiş ve RUSLE modeline SM alt-faktörü olarak dahil edilmiştir. İlk parseldeki değişim, ortalama olarak 0,592 ile 0,006; ikinci parselde 0,435 ile 0,007 ve üçüncü parselde 0,459 ile 0,008 arasında değişim gösteren SM alt-faktörü sıfıra yaklaşan bir eğilim göstermiştir (Şekil 4.2).



Şekil 4.5 Ayçiçeği parselleri (1-2-3) dönemsel ortalama nem içerikleri (%) ve aylık toplam yağış miktarı (mm)

Parsellerin dönemler bazında ölçülen % gravimetrik nem değerleri (Şekil 4.3) Şekil 3.7'ye göre normalize edilmesi ile Nisan – Ağustos dönemi SM alt-faktörü hesaplanmıştır (Şekil 4.2).

Yağlık ayçiçeği tarımının yapıldığı bölgede mevsim yağışları yetersiz kalmış ve tamamlayıcı sulama yapılmıştır. Normalize edilen nem değerleri ile sulamadan kaynaklı elde edilen aşırı nem değerleri de minimize edilmiştir. Ayçiçeği bitkisi ihtiyacı olan suyun %20'sini, tabla oluşuma kadar, en kritik dönem olan tabla oluşumu ile çiçeklenme dönemi arasında da %60'ını kullanmaktadır. Geriye kalan %20'lik su çiçeklenme sonrası yağ oluşumunda kullanmaktadır. Bu istinaden sulama suyu miktarı da giderek artmıştır (Tan, 2007). Arazi ölçümleri daha önce de belirtildiği gibi FP döneminde, 1, 2 ve 3. dönemlerin sonunda gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.6 Buğday parselleri (1-2-3) dönemsel ortalama nem içerikleri (%) ve aylık yağış miktarı (mm)

Buğday parsellerinde yapılan gravimetrik nem içeriği analizleri sonucunda dönemsel olarak nem oranının önce arttığı daha sonra da azaldığı görülmektedir (Şekil 4.6). İlk parselde 0,005 ile 0,692; ikinci parselde 0,003 ile 0,354 ve üçüncü parselde 0,003 ile 0,344 arası değişim göstermektedir. Toprak tekstürünün de ağır ve orta ağır bünyeli olmasından ötürü % nem değerleri özellikle Kasım 2015, Nisan ve Haziran 2016 dönemlerinde oldukça yüksek çıkmıştır.

4.1.5 SR Alt-faktörü

SR alt-faktörü, ortalama değişim aralığı ayçiçeği için ilk parselde 0,905-0,999; ikinci parselde 0,853 ile 1,000 ve üçüncü parselde 0,904 ile 0,999'dür. Yani pürüzlülük çok azdır ve dar bir aralıkta değişim göstermiştir. Bunun sebebi parsel içerisinde hasat sonrası bitki artıklarının temizlenmesi ve tırmık ile parselin düzeltilerek ekime hazır hale getirilmesidir. En yüksek pürüzlülük değerleri her parsel için ilk dönemde, en

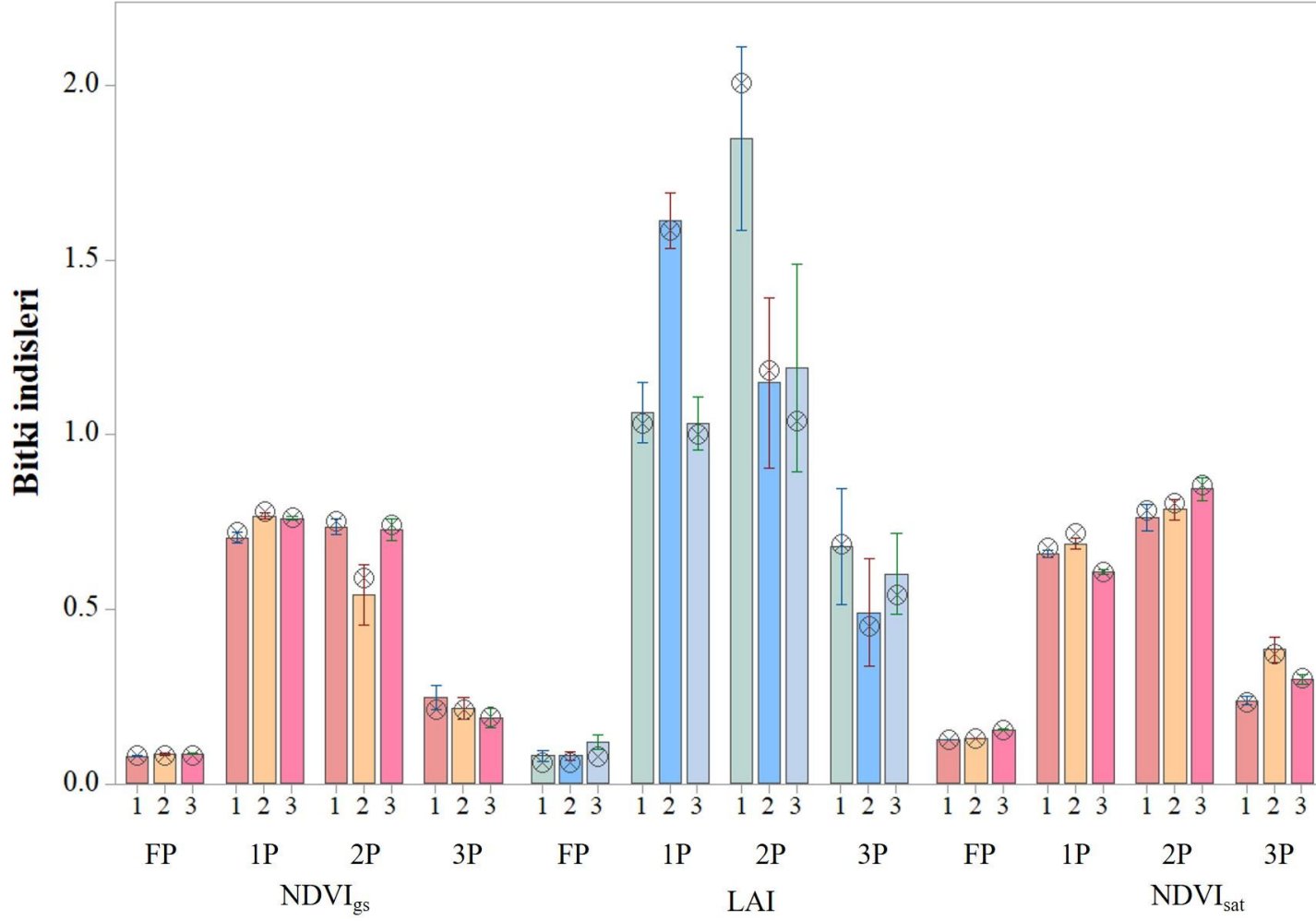
düşük değerler de büyüme (2P) ve olgunlaşma (3P) dönemlerinde ölçülmüştür (Çizelge 4.1 ve Şekil 4.2).

Buğday parsellerinde SR alt-faktörünün değişimi kapallılık durumundan ötürü ayçiçeğinden farklılaşmaktadır. İlk parsel, 0,628 ile 1,000; ikinci parsel, 0,806 ile 1,000 ve üçüncü parsel 0,824 ile 1,000 arasında değişim göstermiş en yüksek değerlerini 1. parsel FP (0,873) (şekerpancarı 3P dönemi göz ardı edilirse), 2 ve 3. parseller OP' de göstermiştir (Çizelge 4.3). Gelişim dönemleri boyunca toprak yüzey pürüzlülüğünde azalan bir eğilim söz konusudur. 1P'den itibaren buğday tam kapallılık durumundadır. Bitkinin dikey gelişimi önemlidir. Yüksek ağırlık merkezi olan kaba bitkiler düşük bitki yoğunluğu oluştururken (ayçiçeği vb.), alçak ağırlık merkezi olan bitkiler (buğdaygil vb.) yüksek bitki yoğunluğu göstermektedirler. Diğer yandan, kanopi ile kaplı alanlarda, pürüzlülük, kanopinin yüksekliği, bitki parçalarının yapısı ve esnekliği, ekim sıklığı, bitki boyutları ve bitki yapısal parçalarının düzeni ile belirlenmektedir (Shaw, 1982). Birçok tarımsal ürün için, LAI değerleri artarken Z_0/h oranının (pürüzlülük uzunluğu/yer değiştirme yüksekliği) azaldığı gözlemlenmiştir (Thom, 1971) Bu yüzden, kanopi yoğunluğu arttıkça ve kanopi üstü rüzgar profili orijini vejetasyonun toplam yüksekliğinin daha büyük bir fraksiyonu olmakta, etkili pürüzlülük de azalmaktadır. Dolayısıyla RUSLE modelinde minimum rastgele yüzey pürüzlülüğü (R_u) kabul edilen 0,6096 cm (0,24 inç) buğday tam kapallılığa ulaştığındaki R_u değeri olarak kabul edilmiş ve SR alt-faktörü hesaplanmıştır.

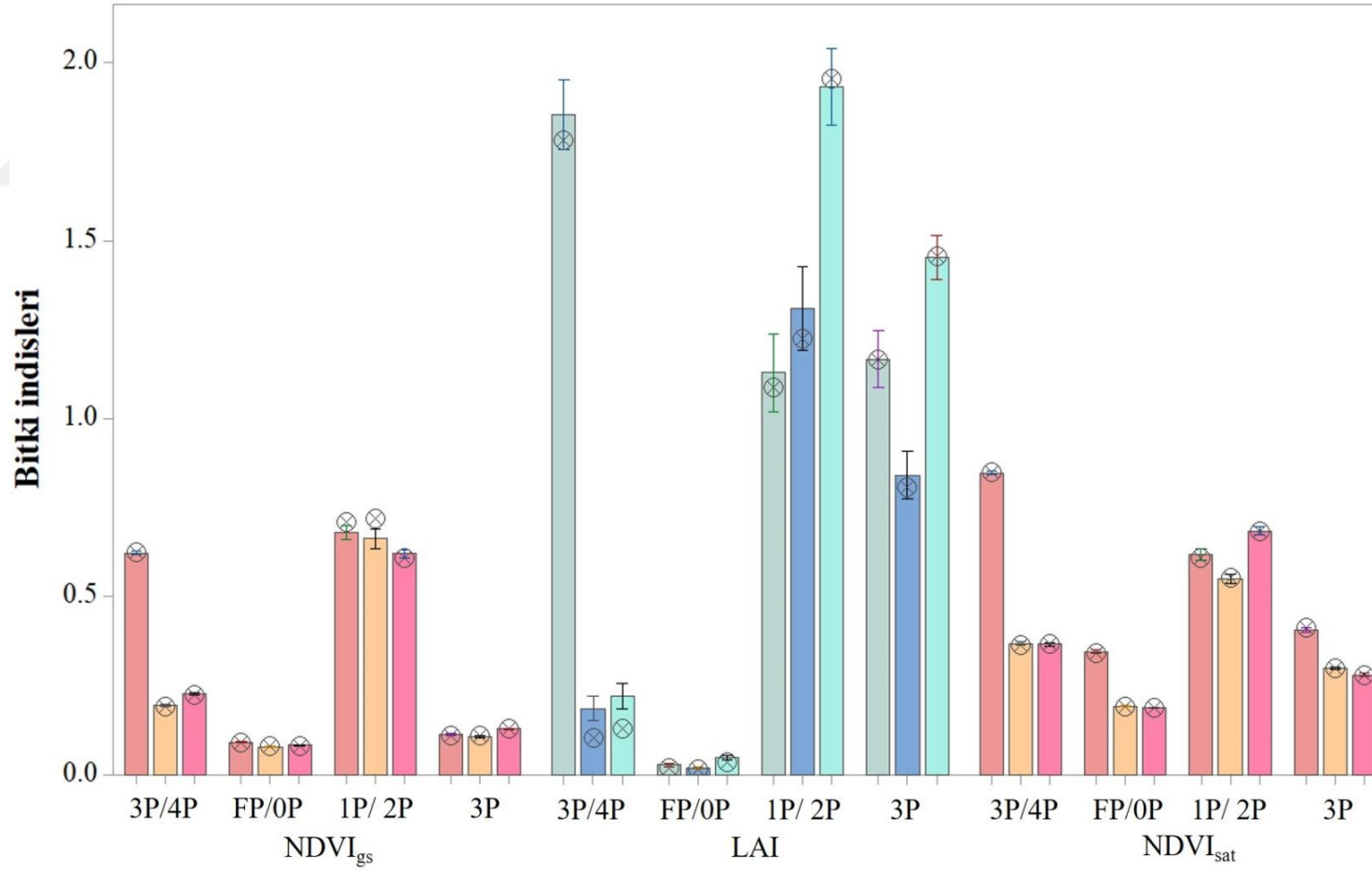
Toprağın tarımsal faaliyetler ya da mekanizasyon uygulamaları sonucunda geldiği durum, toprak tipi, işleme sırasındaki toprak nemi ve ekim geçmişi gibi faktörlere önemli derecede bağlıdır. Toprak suyu yönetimini uygulayabilmek için toprağın durumunu şekillendiren iki parametreden biri işlemeye maruz kalmış toprak katmanının geçirgenliği ve diğeri toprak yüzey pürüzlülüğüdür (Allmaras vd., 1996). Toprak tabakası, işleme ile gevşetilmiş ya da sıkıştırılmışsa toprağın tabaka kalınlığı ve porozitesi değişim göstermektedir. Toprak pürüzlülüğü sulamadan bağımsız olarak eğer yoğun bir yağış söz konusu ise depresyonlardaki su birikme miktarını etkilediği gibi aynı zamanda yağış süresince toprak yüzeyinin sıkışması, yüzeyde oluşan kabuğun dayanımı ve toprak ve atmosferdeki ısı, hava ve su değişimleri ile de bağlantılıdır

(Allmaras vd., 1996). Ayçiçeği parsellerinde, SR alt-faktörü, tüm dönemler boyunca neredeyse etkisizdir. Tohum ekimi sonrasında yalnızca sulama ve gübreleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanındaki toprak tekstürünün kil ve killi tın olmasından dolayı orta ağır bünyelidir ve su tutma kapasitesi yüksektir. Sulama işlemleri boyunca bölgesel göllenmelerin de etkisi ile kaymak tabakası oluşumu söz konusudur. Çalışma alanı için mekanizasyon işlemlerinden sonra sulama, toprak pürüzlülüğünün en aza inmesinde en fazla etkiye sahiptir denebilir. Toprak işlemeden kaynaklı oluşan rastgele pürüzlülük de en düşük seviyesindedir. Yani, bölgede korumalı toprak işleme uygulamaları kullanılmadığı açıkça belirtilebilir.

Ayçiçeği ve buğday bitkilerinin gelişim dönemi boyunca yersel olarak ölçülen ($NDVI_{gs}$ ve LAI) ve uydu görüntülerinden hesaplanan ($NDVI_{sat}$) bitki indislerinin değişimleri Şekil 4.7 ve 4.8’ de verilmiştir.



Şekil 4.7 Ayçiçeği parselleri (1-2-3) dönemsel $NDVI_{gs}$, LAI ve $NDVI_{sat}$ ortalama ve medyan değişimi grafiği



Şekil 4.8 Buğday parselleri (1-2-3) dönemsel NDVI_{gs}, LAI ve NDVI_{sat} ortalama ve medyan değişim grafiği

4.1.6 Bitki indisleri (NDVI ve LAI)

Normalize Edilmiş Fark Bitki örtüsü İndeksi (NDVI)

Ayçiçeği parsellerinde, $NDVI_{gs}$ değerleri parsel farketmeksizin ortalama olarak 0,078 ile 0,767 arasında değişim göstermektedir. Elde edilen en düşük dönemsel değerler arazinin bitkiden arındırılmış, yani toprağın her türlü dış etkene açık halde olduğu ilk dönemler olmuştur (FP). En yüksek değerlerin elde edildiği dönemler 1. Parsel için 2P iken, 2 ve 3. parsel için 1P dönemleridir (Çizelge 4.2).

Şekil 4.1 ve 4.4' de görüldüğü gibi ayçiçeğinin FP döneminde minimum düzeydeki anız ve çıplak toprak yüzeyi yansımından ötürü el spektoradyometresi ile ölçülen değerler sıfır değerine oldukça yakındır. 1P döneminde ilk parselde ölçüm zamanı Haziran ayı başıdır ve bitki boyları ortalama 30-35 cm aralığındadır. Kapalılık ise %30 civarındadır. Ancak diğer 2. ve 3. parsellerin boyları Haziran ayı sonu ölçüm yapıldığından daha uzun boyludurlar ve sırasıyla ortalama 140 ve 112 cm civarındadırlar. Yaprak gelişimin fazla olmuş olması da kapalılık bakımından 1. parselden ayırmıştır ve kanopi kaplama oranı (F_c) % 50 civarındadır. 1. parselin çok az düşük olmasının sebebi toprak alan yansımalarının da ölçümlerde etkili olmasından ötürüdür. 2P döneminde (08-09/08/2016) ise bitki boyları en yüksek seviyesindedir ve sıralaması ortalama 1. parsel için 156 cm , 2. parsel için 172 cm ve 3. parsel için 148 cm'dir. 2. parsel diğer iki parselde göre daha hızlı bir gelişme dönemi geçirmiş ve olgunlaşma dönemine geçmiştir. Şekil 4.1' de de bu açıkça görülmektedir.

Bitkilerin olgunlaşmadan kaynaklı klorofil oranları azalmış ve renkleri daha sarımsı bir hal almıştır. Her üç parseldeki ayçiçeği de yağlıktır ancak ekim zamanının farklılığından ötürü bu değişimler gözlemlenmektedir. Ekim sıralaması 2-1-3 şeklindedir ve son sulamaları bu dönem içerisinde yapılmıştır. Son dönemde (3P) ise her üç parselin okumaları da Eylül (05-06/09/2016) ayında gerçekleştirilmiştir. Bitkiler hasata hazırdır. Düşük klorofil içeriği $NDVI_{gs}$ değerlerine yansımıştır. Farklı bitki çeşitlerinin gelişme dönemleri boyunca veya farklı yıllar arasındaki değişimlerin gözlemlenmesinde NDVI değerlerinin değişimleri araştırmacılar tarafından gözlemlenmiş ve birçok çalışmaya

konu olmuştur (Yu vd. 2017; Junges vd., 2018; Tunca vd., 2018). Plenofil bitki olan ayçiçeğinin de gelişme dönemi boyunca NDVI değerlerinin giderek arttığı ve olgunlaşma dönemi ile değerlerde düşüş elde edildiği yapılan çalışmalarda belirtilmiştir (Momm vd., 2020; Belgü ve Csilik 2017).

Buğday parsellerindeki NDVI_{gs} değişimleri, 1. parselde 0,092 ile 0,680; 2. Parselde 0,079 ile 0,664 ve 3. parselde 0,083 ile 0,622 arasında değişiklik göstermektedir (Çizelge 4.3, Şekil 4.8). En düşük değerler FP-0P döneminde en yüksek değerler de 1P-2P' de kaydedilmiştir. 1P dönemi ile birlikte gelişme dönemindeki buğday bitkisi toprak yüzeyini kapatmaya başlamıştır ve klorofil miktarındaki artış ile NDVI_{gs} değerleri 2P'nin sonuna kadar yüksek olarak elde edilmiştir. Yeşil biyokütlenin bir tahmini olan NDVI, fizyolojik olarak olgunlaşma dönemine girmesi ile daha düşük değerler vermektedir. Çok sayıda çalışmaya konu olan buğdayın gelişme sürecinde değişen spektral yansıma değerleri için benzer sonuçlar alınmıştır (Verhulst vd., 2011; Joshi vd., 2019; De la Casa vd., 2013).

NDVI_{sat} değerleri ise yersel ölçümlerden elde edilen NDVI değerleri gibi ayçiçeğinin ilk döneminde en düşük, büyüme ve gelişme dönemlerinde en yüksek ve olgunlaşma döneminde bir önceki dönemlerine nazaran daha düşük elde edilmiştir (Çizelge 4.2, Şekil 4.1). Ayçiçeğinin olgunlaşma dönemine ait değerler her zaman anız bozmadan ekime kadar süren ilk döneme göre daha büyük olduğu gözlemlenmiştir (FP < 3P). NDVI_{gs} değerleri gibi gelişme dönemi boyunca artan eğri olgunlaşma dönemi ile azalan eğim yönüne geçmiştir (Şekil 4.7). NDVI_{gs} değerleri ile karşılaştırıldığında tüm parsellerin yansıma dönemler içerisinde benzer değerleri verdiği görülmekle beraber NDVI_{sat} değerleri daha yüksek olmuştur (Şekil 4.2). Bu farklılığın en önemli sebepleri parseller içerisinde bitki gelişimleri bakımından dalgalanmaların olduğu ve GPS ile gidilen örnek noktalarında az da olsa farklılığın ortaya çıkmış olması olarak gösterilebilir. Diğer bir etmen ise ayçiçeği parsellerinin tabanındaki yabancı otların fazla olması ve bunların da yansıma değerini etkilemesidir. Farklı bitki çeşitlerinin gelişme dönemleri boyunca verim, nem içeriği, kapalılık gibi parametrelerin izlenmesinde NDVI her zaman destekleyici olmuştur (Ghosh vd., 2018) ve gelişme

dönemleri boyunca elde edilen trendler ile bu tez çalışmasında elde edilen NDVI değişim eğilimleri benzerlik göstermiştir.

Buğday bitkisinin spektral yansıması, ayçiçeği bitkisine göre farklılık göstermektedir. Buğday bitkisi olgunlaşma dönemine girmesi ile tamamen sarı-kahverengi renge dönmekte ve ayçiçeğinin olgunlaşma döneminden çok daha düşük NDVI değerleri göstermektedir (Çizelge 4.4). Ayçiçeği tane olgunlaşma döneminde hala yeşil aksamı sahiptir ancak klorofil miktarındaki azalmadan ötürü daha açık renklidir. 1. parselin önceki ürünün 3P zamanındaki yansıma değerleri göz ardı edildiğinde, zamansal NDVI_{sat} değerleri de buğday parsellerinde gelişme süresi içerisinde zamanla artan bir eğri çizmiş ve daha sonra azalmıştır (Şekil 4.8). Parsel farketmeksizin NDVI_{sat} > NDVI_{gs} durumu buğday bitkisi için de geçerli olmuş uydu görüntüsünden hesaplanan ortalama NDVI değerleri 0,190 ile 0,849 arasında değişim göstermiştir. 3P’de uydu görüntülerinden hesaplanan NDVI değerleri FP ve 0P’deki NDVI_{sat} değerlerinden ayçiçeğinde de gözlemlenildiği gibi büyüktür.

Yaprak Alan İndeksi (LAI)

LAI değerleri ayçiçeği bitkisi için NDVI_{gs}’ ye paralel bir şekilde önce artmış daha sonra azalmıştır (Şekil 4.4). İlk parselde ortalama olarak 0,078 ile 1,850; ikinci parselde 0,078 ile 1,612 ve üçüncü parselde 0,118 ile 1,189 arası değişim göstermiştir. FP, LAI’nın en düşük olduğu dönemdir. Gelişme (1P) ve büyüme dönemlerinde (2P) ise en yüksek seviyelerindedir. Olgunlaşma döneminde (3P) ise klorofilin azalmasına ve biyokütledeki su kaybına bağlı olarak yatayda gelişim gösteren yapraklar sönmüş ve dolayısıyla değerlerde düşüş gözlemlenmiştir (Şekil 4.1).

LAI değerleri, ayçiçeği bitkisinin vejetatif aksamının gelişmesi ve büyümesi ile artan bir eğilim göstermekte ve yine olgunlaşma döneminin etkisi ile biyokütle su kaybederek küçüldüğünden değerler azalmaktadır. En yüksek LAI değeri 1. Parselde 2P dönemi (3,09 m²/m²) 2. ve 3. Parselde 1P döneminde (sırasıyla 2,84 ve 2,32 m²/m²) gözlemlenmiştir (Şekil 4.2, EK-1). Olgunlaşmaya bağlı su kaybından son dönemde LAI değerlerinde azalma gözlemlenmiştir. Fieuzal ve Baup (2016)’nın yapmış olduğu

çalışmalarda da ayçiçeği bitkisinin boy-yaprak alan indeksi uydu ve radar görüntüleri ile tahmin edilmiş ve gelişim dönemi boyunca LAI zaman serisinin önce arttığı ve ürünlerin hasat zamanının gelmesi ile azaldığı belirtilmiştir.

Buğdayda LAI değeri gelişme dönemi boyunca artış göstermiştir. Tane olgunlaşma ile bitki kurumaya başlamış ve artış, bitki fizyolojisinden ötürü kayda değer azalma göstermeden sonlanmış ve bitki hasata hazır hale gelmiştir. 1. buğday parselinin ilk ölçümünde şekerpancarı olduğundan LAI değeri diğer iki parselin 4P' deki durumuna göre oldukça yüksektir. Yine bu ölçüm göz ardı edildiğinde buğday bitkisinin kendi gelişim dönemi boyunca her üç parseldeki LAI değeri benzer eğilim gösterdiği görölmektedir. En yüksek LAI değeri 2 ve 3. parseller için buğdayın 1P-2P dönemlerinde ölçölmüştür. 1. parselin son dönemindeki LAI değeri diğer iki parselde kıyaslandığında önceki döneme göre yüksek olmasının sebebi diğer parsellerden farklı olarak daha iri bir buğday çeşidinin ekili olmasından ötürü kapalılık bakımından daha etkin olabileceği düşünölmektedir (Şekil 4.3, Şekil 4.8). Diğer iki parselde ekili olan buğdaylar kılçıklı yapıda olmalarına rağmen birinci parselde göre daha zayıf yapıdadırlar.

RUSLE C alt-faktörleri ve bitki indisleri dönemseller olarak parsel düzeyinde homojenlik gösterebilmektedir yani değişkenlik çok dar bir aralıkta olduğundan bu tez çalışmasına ait veriler parsel ve dönem düzeyinde, ayrı ayrı normal dağılım göstermeyen dönemlerden oluşmaktadır. Normal dağılım gösteren veri grupları yalnızca birkaç tane olduğundan ve geneli yansıtmadığından tüm veriseti parametrik değilmiş gibi kabul edilmiştir. Diğer yandan, tek değere sahip dönemler olduğundan veri-seti aynı zamanda kategoriktir.

4.2 RUSLE-C Alt-Faktörleri ve Bitki İndisleri Kruskal-Wallis H-Testi

RUSLE-C alt faktörleri ve bitki indislerinin farklı parsellere ve gelişim dönemlerine göre farklılaşıp farklılaşmadığını görebilmek adına Kruskal-Wallis H-testi uygulanmıştır. Ayçiçeği bitkisi için Çizelge 4.5-4.6'da ve buğday bitkisi için Çizelge 4.7-4.8' de sıralama ve test istatistiği sonuçları verilmiştir. Post-Hoc analizleri (Tamhane's T2) Ek 3' de verilmiştir.

Çizelge 4.5 Ayçiçeği bitkisi Kruskal-Wallis H-testi sıralama

Sıralama							
Parsel etkisi		N	Ortalama sıralama	Dönem etkisi		N	Ortalama sıralama
PLU	1	315	494,23	PLU	1	405	730,02
	2	310	423,91		2	399	329,17
	3	308	482,52		3	69	92,87
	Toplam	933			4	60	36,50
SC	1	315	386,90	SC	Toplam	933	
	2	310	520,03		1	405	203,00
	3	308	495,55		2	399	605,00
	Toplam	933			3	69	839,00
CC	1	315	520,10	CC	4	60	903,50
	2	310	478,00		Toplam	933	
	3	308	401,62		1	405	731,00
	Toplam	933			2	399	272,16
SM	1	315	578,81	SM	3	69	210,79
	2	310	391,25		4	60	276,00
	3	308	428,89		Toplam	933	
	Toplam	933			1	405	697,13
SR	1	315	509,81	SR	2	399	355,81
	2	310	469,01		3	69	138,77
	3	308	421,50		4	60	30,50
	Toplam	933			Toplam	933	
NDVI _{gs}	1	315	427,25	NDVI _{gs}	1	405	206,83
	2	310	492,08		2	399	640,82
	3	308	482,41		3	69	724,38
	Toplam	933			4	60	771,25
LAI	1	315	452,92	LAI	Toplam	933	
	2	310	500,11		1	405	203,16
	3	308	448,07		2	399	711,54
	Toplam	933			3	69	628,54
NDVI _{sat}	1	315		NDVI _{sat}	4	60	435,98
	2	310	429,1		Toplam	933	
	3	308	483,9		1	405	210,98
	Toplam	933	488,7		2	399	680,74
				LAI	3	69	720,00
					4	60	482,80
					Toplam	933	
					1	405	203,0
				NDVI _{sat}	2	399	672,3
					3	69	855,8
					4	60	436,9
					Toplam	933	

Çizelge 4.6 Ayçiçeği bitkisi test istatistiği

Test istatistiği^{a,b}								
	PLU	SC	CC	SM	SR	NDVI_{gs}	LAI	NDVI_{sat}
Kruskal-Wallis H	12,164	43,295	33,836	84,883	17,146	10,612	7,071	9,46
df	2	2	2	2	2	2	2	2
Asymp. Sig.	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,029	0,009
a. Kruskal Wallis Testi								
b. Gruplama Değişkeni: Parsel etkisi								
Test istatistiği^{a,b}								
	PLU	SC	CC	SM	SR	NDVI_{gs}	LAI	NDVI_{sat}
Kruskal-Wallis H	775,232	782,308	756,038	623,067	703,895	747,020	678,652	764,57
df	3	3	3	3	3	3	3	3
Asymp. Sig.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
a. Kruskal Wallis Testi								
b. Gruplama Değişkeni: Dönem etkisi								

Kruskal Wallis H-testi sonuçlarına göre ayçiçeği bitkisi için teste tabi tutulan RUSLE-C alt-faktörleri ve bitki indisleri medyan değerleri sıralanmış (Çizelge 4.5) ve parsel ve dönemsel değişimlere göre farklılık göstermekle birlikte $p < 0,05$ düzeyinde anlamlı oldukları görülmüştür (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.7 Buğday bitkisi Kruskal-Wallis H-testi sıralama

Sıralama							
Parsel etkisi		N	Ortalama sıralama	Dönem etkisi		N	Ortalama sıralama
PLU	1	410	503,5	PLU	1	405	855,6
	2	40	650,72		2	413	746,3
	3	421	692,57		3	403	235,7
	Toplam	1231			Toplam	1231	
SC	1	410	568,06	SC	1	405	208,0
	2	40	600,75		2	413	661,3
	3	421	675,86		3	403	988,3
	Toplam	1231			Toplam	1231	
CC	1	410	663,81	CC	1	405	1024,0
	2	40	752,30		2	413	478,4
	3	421	439,94		3	403	336,9
	Toplam	1231			Toplam	1231	
SM	1	410	761,74	SM	1	405	383,7
	2	40	538,35		2	413	1017,3
	3	421	547,85		3	403	444
	Toplam	1231			Toplam	1231	616
SR	1	410	569,71	SR	1	405	208
	2	40	641,38		2	413	823,5
	3	421	636,96		3	403	823,5
	Toplam	1231			Toplam	1231	
NDVI _{gs}	1	410	651,6	NDVI _{gs}	1	405	237
	2	40	569,43		2	413	1024
	3	421	625,59		3	403	588,1
	Toplam	1231			Toplam	1231	
LAI	1	410	574,9	LAI	1	405	210,5
	2	40	541,67		2	413	869,1
	3	421	726,65		3	403	774,2
	Toplam	1231			Toplam	1231	
NDVI _{sat}	1	410	791,0	NDVI _{sat}	1	405	295,8
	2	40	514,1		2	413	1022,3
	3	421	542,4		3	403	529,3
	Toplam	1231			Toplam	1231	

Çizelge 4.8 Buğday bitkisi test istatistiği

Test istatistiği^{a,b}								
	PLU	SC	CC	SM	SR	NDVI_{gs}	LAI	NDVI_{sat}
Kruskal-Wallis H	64,406	20,132	176,979	103,462	14,748	11,358	63,751	150,20
df	2	2	2	2	2	2	2	2
Asymp. Sig.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,003	0,000	0,000
a. Kruskal Wallis Test								
b. Gruplama değişkeni: Parsel etkisi								
Test istatistiği^{a,b}								
	PLU	SC	CC	SM	SR	NDVI_{gs}	LAI	NDVI_{sat}
Kruskal-Wallis H	705,22	996,89	894,88	797,66	1163,54	1025,02	829,09	900,16
df	2	2	2	2	2	2	2	2
Asymp. Sig.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
a. Kruskal Wallis Test								
b. Gruplama değişkeni: Dönem etkisi								

Kruskal Wallish H-testi sonuçlarına göre buğday bitkisi için teste tabi tutulan RUSLE-C alt-faktörleri ve bitki indisleri medyan değerleri sıralanmış (Çizelge 4.7) ve parsel ve dönemsel değişimlere göre farklılık göstermekle birlikte $p < 0,05$ düzeyinde anlamlı oldukları görülmüştür (Çizelge 4.8).

Tüm parametreler hem ayçiçeği hem de buğday bitkisi için mekansal ve zamansal farklılığa sahiptir. Bu şu anlama gelmektedir: Ayçiçeği ve buğday (2 tür bitki $\times$ 3 farklı parsel) ekili parsellerden elde edilen parametreler parsellere göre değişim göstermektedir. Aynı şekilde, hem ayçiçeği hem de buğday bitkisinin kendine özgü gelişim evreleri vardır ve bu evreler bir bitki gelişme dönemi boyunca benzerlik göstermemektedir. Dolayısıyla parametrelerin her gelişim evresinde verdiği ölçüm ve hesaplama sonucu da farklılık göstermektedir. Ancak, RUSLE-C alt-faktörleri ve bitki indisleri arasındaki ilişkiler değerlendirilirken farklı parsellerden aynı dönem içerisinde elde edilen parametreler birbirlerine oldukça yakın olduğundan ve gelişim dönemi

boyunca değişiklikleri gözlemleyebilmek adına parsel düzeyinde tüm dönemler bir arada olacak şekilde analizler gerçekleştirilmiştir. Bunun yanında parsellerin ilgili dönem ortalamaları (parseller ortalaması) ile korelasyon ve regresyon analizleri gerçekleştirilmiştir.

4.3 RUSLE-C Alt-Faktörleri ile Bitki İndisleri Arasındaki Korelasyon

Ayçiçeği ve buğday parsellerinden ölçüm ve örneklemeler sonucu hesaplanmış RUSLE-C alt faktörleri ile hem yersel (LP-80 Ceptometer) hem de PLEIADES (1A-1B) ve SPOT (7) uydu görüntülerinden elde edilen bitki indisleri arasındaki *Pearson korelasyon analizi* parseller düzeyinde Ayçiçeği için Çizelge 4.9, 4.10, 4.11 ve 4.12’de ve buğday için 4.13, 4.14 ve 4.15 ve 4.16’da verilmiştir.

Ayçiçeği

Çalışma alanında farklı parsellerde incelenen RUSLE-C alt-faktörleri ve bitki indisleri arasındaki ilişkilerin düzeyini belirlemek amacıyla Eşitlik 30’ a göre korelasyon analizi yapılmıştır. Veri-setini oluşturan parametreler parametrik değildir yani normal dağılım göstermemektedir. Fakat, doğrusal ilişkilerin değerlendirilmesi açısından *Spearman’s rho* yerine *Pearson Korelasyon Katsayısı (PCC)* tercih edilmiştir. Bu tez çalışmasında fizyolojik gelişim özellikleri farklı olan ayçiçeği ve buğday bitkisi seçilmiş ve her bir ürün deseni için 3 farklı parselde çalışılmıştır. Değerlendirmeler yapılırken her bir bitkinin gelişme dönemi göz önünde bulundurularak parsel düzeyinde hesaplanan tüm parametreler değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.9 Ayçiçeği 1. Parsel *Pearson Korelasyon Katsayıları*

1.	parsel	PLU	SC	CC	SM	SR	NDVI _{gs}	LAI	NDVI _{sat}
PLU	Pearson Korelasyon	1	-,957**	,903**	-,801**	-,843**	-,735**	-,695**	-,727**
	Önem (2-trf)		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	N	315	315	315	315	315	315	315	315
SC	Pearson Korelasyon	-,957**	1	-,957**	,850**	,855**	,751**	,734**	,755**
	Önem (2-trf)	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	N	315	315	315	315	315	315	315	315
CC	Pearson Korelasyon	0,903	-,957**	1	-,809**	-,821**	-,754**	-,751**	-,767**
	Önem (2-trf)	0,000	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	N	315	315	315	315	315	315	315	315
SM	Pearson Korelasyon	-,801**	,850**	-,809**	1	,692**	,545**	,599**	,548**
	Önem (2-trf)	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000
	N	315	315	315	315	315	315	315	315
SR	Pearson Korelasyon	-,843**	,855**	-,821**	,692**	1	,839**	,702**	,828**
	Önem (2-trf)	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000	0,000
	N	315	315	315	315	315	315	315	315
NDVI _{gs}	Pearson Korelasyon	-,735**	,751**	-,754**	,517**	,839**	1	,762**	,960**
	Önem (2-trf)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
	N	315	315	315	315	315	315	315	315
LAI	Pearson Korelasyon	-,695**	,734**	-,751**	,599**	,431**	,762**	1	,767**
	Önem (2-trf)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000
	N	315	315	315	315	315	315	315	315
NDVI _{sat}	Pearson Korelasyon	-,727**	,755**	-,767**	,548**	,828**	,960**	,767**	1
	Önem (2-trf)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
	N	315	315	315	315	315	315	315	315

** . Korelasyon 0,01 düzeyinde anlamlıdır (2-tarahlı).

** . Korelasyon 0,01 düzeyinde anlamlıdır (2-terafli).

Not: Korelasyon katsayılarının verildiği tüm tablolarda (ayçiçeği: Çizelge 4.5-4.7 ve buğday: Çizelge 4.8-4.10) RUSLE-C alt faktörleri ve bitki indisleri arasındaki ilişki düzeyi %70'in üzerinde olanlar vurgulanmıştır.

Çizelge 4.10 Ayçiçeği 2. Parsel *Pearson korelasyon katsayıları*

2.	parsel	PLU	SC	CC	SM	SR	NDVI _{gs}	LAI	NDVI _{sat}
PLU	Pearson Korelasyon	1	-,970**	,835**	,797**	-,895**	-,674**	-,649**	-,802**
	Önem (2-trf)		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	N	310	310	310	310	310	310	310	310
SC	Pearson Korelasyon	-,970**	1	-,857**	,821**	,915**	,699**	,665**	,827**
	Önem (2-trf)	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	N	310	310	310	310	310	310	310	310
CC	Pearson Korelasyon	,835	-,857**	1	,727**	-,934**	-,901**	-,821**	-,911**
	Önem (2-trf)	0,000	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	N	310	310	310	310	310	310	310	310
SM	Pearson Korelasyon	,797**	-,821**	,727**	1	-,782**	-,598**	-,563**	-,685**
	Önem (2-trf)	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000
	N	310	310	310	310	310	310	310	310
SR	Pearson Korelasyon	-,895**	,915**	-,934**	-,782**	1	,874**	,815**	,914**
	Önem (2-trf)	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000	0,000
	N	310	310	310	310	310	310	310	310
NDVI _{gs}	Pearson Korelasyon	-,674**	,699**	-,901**	,532**	,874**	1	,885**	,919**
	Önem (2-trf)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
	N	310	310	310	310	310	310	310	310
LAI	Pearson Korelasyon	-,649**	,665**	-,821**	-,536**	,815**	,885**	1	,850**
	Önem (2-trf)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000
	N	310	310	310	310	310	310	310	310
NDVI _{sat}	Pearson Korelasyon	-,802**	,827**	-,911**	-,685**	,914**	,919**	,850**	1
	Önem (2-trf)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
	N	310	310	310	310	310	310	310	310
**. Korelasyon 0,01 düzeyinde anlamlıdır (2-tarafli).									

Çizelge 4.11 Ayçiçeği 3. Parsel *Pearson* korelasyon katsayıları

3. parsel		PLU	SC	CC	SM	SR	NDVI _{gs}	LAI	NDVI _{sat}
PLU	Pearson Korelasyon	1	-,980**	,870**	,867**	-,868**	-,673**	-,639**	-,736**
	Önem (2-trf)		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	N	308	308	308	308	308	308	308	308
SC	Pearson Korelasyon	-,980**	1	-,914**	,867**	,891**	,749**	,691**	,824**
	Önem (2-trf)	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	N	308	308	308	308	308	308	308	308
CC	Pearson Korelasyon	,870	-,914**	1	,796**	-,789**	-,889**	-,740**	-,896**
	Önem (2-trf)	0,000	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	N	308	308	308	308	308	308	308	308
SM	Pearson Korelasyon	,867**	-,867**	,796**	1	-,739**	-,645**	-,560**	-,696**
	Önem (2-trf)	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000
	N	308	308	308	308	308	308	308	308
SR	Pearson Korelasyon	-,868**	,891**	-,789**	-,739**	1	,611**	,552**	,712**
	Önem (2-trf)	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000	0,000
	N	308	308	308	308	308	308	308	308
NDVI _{gs}	Pearson Korelasyon	-,673**	,749**	-,889**	,599**	,611**	1	,779**	,953**
	Önem (2-trf)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
	N	308	308	308	308	308	308	308	308
LAI	Pearson Korelasyon	-,639**	,691**	-,740**	-,560**	,552**	,779**	1	,778**
	Önem (2-trf)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000
	N	308	308	308	308	308	308	308	308
NDVI _{sat}	Pearson Korelasyon	-,736**	,824**	-,896**	-,696**	,712**	,953**	,778**	1
	Önem (2-trf)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
	N	308	308	308	308	308	308	308	308

**. Korelasyon 0,01 düzeyinde anlamlıdır (2-terafı).

Çalışma alanındaki 3 farklı ayçiçeği parseline ait *Pearson* korelasyon katsayıları karşılaştırıldığında tüm parselerde RUSLE-C alt-faktörlerinin hem kendi aralarında hem bitki indisleri ile olan ilişkileri ve bitki indislerinin kendi aralarındaki ilişkiler $p < 0,01$ düzeyinde istatistik açıdan anlamlı bulunmuştur (Çizelge 4.9 - 4.10 - 4.11). Bunun yanı sıra parseller ortalaması alınmış ve ayçiçeği için hesaplanan ve ölçülen RUSLE-C alt-faktörleri ve bitki indisleri için elde edilen pearson korelasyon katsayıları ve önem dereceleri Çizelge 4.12’ de verilmiştir.

Çizelge 4.12 Ayçiçeği parselleri (1-2-3) ortalama *Pearson* korelasyon katsayıları

Tüm parseller		PLU	SC	CC	SM	SR	NDVI _{gs}	LAI	NDVI _{sat}
PLU	Pearson Korelasyon	1	-,988**	,932**	,926**	-,941**	-,714**	-,759**	-,778**
	Önem (2-trf)		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	N	303	303	303	303	303	303	303	303
SC	Pearson Korelasyon	-,988**	1	-,946**	-,928	,949**	,737	,780**	,812
	Önem (2-trf)	0,000		0,000	0,000	0,000	0,147	0,000	0,355
	N	303	303	303	303	303	303	303	303
CC	Pearson Korelasyon	,932**	-,946**	1	,862**	-,970**	-,893**	-,879**	-,922**
	Önem (2-trf)	0,000	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	N	303	303	303	303	303	303	303	303
SM	Pearson Korelasyon	,926**	-,928	-,862**	1	-,873**	-,645**	-,693**	-,713**
	Önem (2-trf)	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000
	N	303	303	303	303	303	303	303	303
SR	Pearson Korelasyon	-,941**	,949**	-,970**	,873**	1	,861**	,862**	,892**
	Önem (2-trf)	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000	0,000
	N	303	303	303	303	303	303	303	303
NDVI _{gs}	Pearson Korelasyon	-,714**	,737	-,893**	,645**	,861**	1	,926**	,969**
	Önem (2-trf)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
	N	303	303	303	303	303	303	303	303
LAI	Pearson Korelasyon	-,759**	,780**	-,879**	,693**	,862**	,926**	1	,930**
	Önem (2-trf)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000
	N	303	303	303	303	303	303	303	303
NDVI _{sat}	Pearson Korelasyon	-,778**	,812	-,922**	,713**	,892**	,969**	,930**	1
	Önem (2-trf)	0,000	0,355	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
	N	303	303	303	303	303	303	303	303
*. Korelasyon 0,05 düzeyinde anlamlıdır (2-tarafı).									
**. Korelasyon 0,01 düzeyinde anlamlıdır (2-tarafı).									

PLU, SC ve CC ilk parselde tüm alt-faktörler ile çok yüksek; bitki indisleri ile yüksek düzeyde ilişkili bulunmuştur. SM, SR ile yüksek, bitki indisleri ile orta düzeyde; SR ise NDVI_{gs} ve NDVI_{sat} ile çok yüksek LAI ile yüksek düzeyde ilişki olarak bulunmuştur. Bitki indislerinde ise, uydu görüntüsünden elde edilen ve yersel olarak ölçülen NDVI değerleri arasındaki ilişki düzeyi çok yüksek iken NDVI'ların LAI ile olan ilişkileri yüksek düzeydedir. 2. parselde PLU alt-faktörü, SC, CC, SR ve NDVI_{sat} ile çok yüksek,

SM, NDVI_{gs} ve LAI ile yüksek düzeyde; SC tüm alt-faktörlerle çok yüksek düzeyde ilişkili, NDVI_{gs} ve LAI ile yüksek NDVI_{sat} ile çok yüksek düzeyde; CC alt-faktörü, yalnızca SM ile yüksek; SR ve tüm bitki indisleri ile çok yüksek, SM alt-faktörü, SR ve NDVI_{sat} ile yüksek diğer bitki indisleri ile orta düzeyde ilişkili ve SR, tüm bitki indisleri ile çok yüksek düzeyde ilişkili olarak bulunmuştur. Bitki indisleri birbirleri ile çok yüksek ilişkilidir. 3. parselde PLU alt-faktörü, tüm alt-faktörlerle çok yüksek düzeyde ilişkili, bitki indisleri ile yüksek düzeyde; SC alt-faktörü, diğer tüm alt-faktörlerle ve NDVI_{sat} ile çok yüksek, NDVI_{gs} ve LAI ile yüksek düzeyde ilişkili; CC alt-faktörü NDVI_{gs} ve NDVI_{sat} ile çok yüksek, SM, SR ve LAI ile yüksek düzeyde; SM alt-faktörü, SR ve NDVI_{gs} ile yüksek, LAI ve NDVI_{sat} ile orta düzeyde ilişkili ve SR alt-faktörü, NDVI değerleri ile yüksek, LAI değeriyle orta düzeyde ilişkili olarak bulunmuştur. Bitki indisleri arasındaki ilişkilerde ise NDVI değerleri kendi aralarında çok yüksek düzeyde ilişkili LAI ile yüksek düzeyde ilişkili olarak elde edilmiştir. Tüm parsellerin ilgili dönemlerin ortalaması ile oluşturulan verisetinde PLU ve SC tüm alt-faktörlerle çok yüksek ve tüm indislerle yüksek, CC alt-faktörü SM ve SR ve indislerle çok yüksek, SM alt-faktörü, SR ile çok yüksek, bitki indisleri ile yüksek seviyede ve SR tüm indislerle çok yüksek düzeyde ilişkili olarak bulunmuştur. Bitki indislerinin kendi aralarındaki ilişki düzeyi ise çok yüksek olarak elde edilmiştir (Çizelge 4.9 - 4.10 - 4.11 - 4.12).

PLU'nun etkisi yapılan mekanizasyon çalışmalarının etkisini göstermektedir. Anıza ekim ya da tarlada belirli bir oranda anız bırakma gibi bir durumun aksine bitki artıkları olabildiğince temizlenmiş ve toprak alt-üst edilerek toprak işleme derinliğinde bitki ve kök artıkları homojen bir hale getirilmiş ve aslında artık oranı minimize edilmiştir. Dolayısıyla Çizelge 4.1' de ve Şekil 4.1 ve 4.2' de görüldüğü üzere PLU değerleri oldukça düşüktür. Parsellerde yetiştirilen ürünler nedeniyle kök gelişiminin aktif olması, tarımsal mekanizasyon işlemlerinin her ne kadar toprağın alt-üst edilerek homojen karışmasına, bitki kök ve artıklarından temizlenmesine neden olsa da üretimin yalnızca başlangıcında gerçekleşmesi ve buna bağlı olarak gelişme süresince zamanla toprak sıkışmasındaki azalma PLU'nun bitkisel örtü ve ürün yönetimi içerisindeki etkinliğinin az da olsa artmasını sağlamaktadır. Parsellerde kalan ana ürün ve yabancı ot tohumlarının varlığı ile kök gelişimi sınırlı da olsa devam etmekte ve parsellerde

bölgesel olarak yer yer yeşil aksama sahip bitki varlığı kısmen yüksek NDVI yansımalarına da sebep olmakta, bu da ilişki düzeylerinin bu denli yüksek olmasının sebebini arttırmaktadır. Buna ek olarak, bitki gelişimi ile artan klorofil miktarı ve buna bağlı olarak da yansıma değerleri ile NDVI ve LAI değerlerindeki zamansal artış, PLU'nun da zamansal artması ile pozitif yönde ve yüksek düzeyde ilişkili olmasının da açıklaması olmaktadır.

SC alt-faktörünün hesaplanmasında artık kapalılık oranı ve rastgele pürüzlülük değerleri kullanılmaktadır. Her ne kadar ayçiçeği parsellerinde SC değerleri ilk dönemde yüksek olsa da aslında genel anlamda kapalılıktan söz edilememektedir. Yüzey kapalılığı CC alt-faktörü ile ters orantılıdır. Gelişme süresince kanopi gelişimi ile birlikte artıkların fiziksel ve kimyasal faktörlerle ayrışmasından ötürü azalma görülmektedir. Kanopi gelişimi arttıkça yüzey akışında azalma olur. Yüzey kapalılığı da, C-faktörü denkleminde aslında yüzey akışının engellenmesinin bir göstergesidir (Foster, 1982) ve bu yüzden SC'nin NDVI değerine ikame edebileceği belirtilmiştir (Tanyas vd., 2015). Bitki indislerinin SC ile yüksek seviyedeki korelasyonu ise SC değerlerinin gelişme dönemi boyunca özellikle ilk üç dönemde 1'e yaklaşması -ki bu RUSLE modelinde azaldığı, etkisizleştiği ve toprak yüzeyinin erozyona açık bir hale geldiğini ifade etmektedir- ve NDVI ve LAI değerlerinin de yine bu üç dönemde artması ile ilgilidir. Bitki indislerinin son döneminde olgunlaşmadan kaynaklı azalma durumu da korelasyon katsayısına yansımaktadır. Ancak durum aslında tam tersidir. Yani bitki indisleri değerleri artış gösterirken SC alt-faktör değeri azalmaktadır.

CC alt-faktörü, gelişim süresince artış gösterirken SM alt-faktörü de 0'a yaklaşarak etkinliği artmıştır. Bitkilerdeki olgunlaşma ile son dönem azalma eğilimi göstermesi CC-SM arası yüksek ilişki seviyesini açıklamaktadır. Yine yoğun tarımsal mekanizasyon etkisi ile fiziksel yapısı bozulan topraklar yetersiz yağış ve yapılan tamamlayıcı sulamanın da etkisi ile toprak yüzeyinde kaymak tabakasının oluşumuna ve yüzey pürüzlülüğünün azalmasına neden olmuştur (Şekil 4.1 ve Şekil 4.2). Bitki örtüsü etkinliği artarken pürüzlülük azalmıştır. Kanopi kapalılığının bitki indisleri olan ilişkisi incelendiğinde ise, bitki kanopisinin toprağı kaplama yüzdesi ile değil aynı zamanda yağmur damlalarının kanopiye çarptıktan sonraki düşme yüksekliğinin dahil edilmesi ile

hesaplanmasında (Renard et al., 1997) yüksek kararlılığa sahip (Hassan vd., 2019), bitkilerdeki klorofillerin kırmızı bölgede ışık tutma ve yakın-kızıl ötesi bölgede ışığı yansıtma kapasitelerinin yüksek olması sebebiyle yalnızca kırmızı bölge ve yakın-kızılötesi bölge yansımalarının kombinasyonu ile ölçülen NDVI (Tucker, 1979), kanopi kapallılığının yüksekliğe bağlı olarak erozyona karşı etkinliğini tam olarak açıklayamamaktadır. Bu da, CC ile NDVI arasındaki ilişkilerin düzeyini yalnızca belirli bir oranda ifade edebildiğini göstermektedir. Bu yüzden, yapılan bir çok çalışmada (El-Shikha vd., 2008; La vd., 2013; Nielsen vd., 2015; Pordel vd., 2018) CC alt-faktörü (Wischmeier ve Smith, 1978) yerine kanopi yüzey kaplama oranı (FVC, Fraction of Vegetation Cover) veya kanopi kapallılığı (CC, Canopy Cover, %) parametre olarak kullanılmıştır. Gelişim süresince CC alt-faktöründeki artış ile birlikte son dönemde olgunluğa bağlı azalmaya karşılık bitki indisleri de özellikle plenofil formda gelişme gösteren ayçiçeği bitkisi ile benzer eğilimler göstermiştir. Su (Pereyra-Irujo vd., 2008) ve bitki besin maddesi eksikliği (Davies vd., 2000) yaprak gelişimini etkilediği bilinmektedir. Suyun yetersiz olması, yaprak büyüme oranını %44 - %67 arası etkileyerek gelişimi oranını azaltmakta ve süresini %2 ile %26 arası uzatmaktadır. Yaprak açılma dağılımının LAI üzerine etkisi büyük olduğundan (Alberio vd., 2015) bitki besin maddelerinin eksikliği yaprak alanını önemli ölçüden etkilemekte fakat etkisi suyun yetersiz olduğu durumlar karşısında çok daha küçük olmaktadır (Trapani ve Hall, 1996).

Toprak nemi, toprak pürüzlülüğü ile yüksek düzeyde ilişkili olarak bulunmuştur. Toprak yüzeyinin tamamen düzleşmesi (kaymak tabakasının oluşması) veya patlamış mısır gibi pürüzlü olması mikrotopografya içerisindeki yüzey değişimlerini ve böylelikle, yüzey depresyonlarında suyun depolanması ile infiltrasyonu, buharlaşmayı ve toprak neminin üst toprak katmanlarındaki hareketini de etkilemektedir. Mikrotopografya, hidrolik direnci, yüzey akışını ve su ile kaplı toprak yüzey oranını değiştirmekte, yüzey akışını başlatması ve sürdürmesi için gerekli olan fazla yağış miktarını düzenlemektedir (Allmaras vd., 1966; Solé-Benet vd., 1997; Dunkerley, 2004). Toprak yüzey pürüzlülüğünün varlığı ya da yokluğu, belirli bir alandaki toprakta suyun tutulma süresini oldukça etkileyebilmekte (Dunkerley, 2004), su kaynaklarının bağlantısallığını (connectivity) düzenlemektedir (Armstrong vd., 2011). Toprak nemi ve

bitki indisleri arasındaki ilişkinin açıklanmasında NDVI gecikme etkisi, mevsimsellik, vejetasyon tipi ve toprak özellikleri gibi faktörler önemli rol oynamaktadırlar (Zheng vd., 2012).

Hatta bazı araştırmacılar, yağışa karşılık olarak NDVI gecikme etkisinin bitki gelişim aşamalarının zamanlamasına göre değişiklik gösterdiğini belirtmişlerdir (Di vd. 1994, Ji ve Peters 2004, 2005). Yapılan çalışmalarda, yağış ve NDVI arasında yakın ilişkiler olduğunu gösterse de, NDVI'nin bitkinin su içeriğini göstermesinde, yakın-kızılötesi ve kırmızı bandlardan hesaplanan NDVI'nin bitki su içeriğine göre bitki klorofil içeriğine veya basitçe yeşilliğine daha duyarlı olduğu kabul edilmektedir (Hunt ve Rock, 1989; Gao, 1996). Toprak nemi ve vejetasyon, toprak ve atmosfer etkileşimlerinin açıklanması açısından her ikisi de çok önemli parametrelerdir. Toprak neminin giderek artması ve buna bağlı olarak yaprak alan indeksinin de tüm gelişim dönemi boyunca artış göstermesi bu etkileşimi desteklemektedir. 3P gelişim dönemi süresince sulama yapılmamasına rağmen kil tekstür özelliğine sahip parsellerde toprak nemi için yüksek değerler elde edilmiştir. LAI değerinin son dönemde azalma göstermesinden ötürü ayçiçeği parselleri için elde edilen korelasyon katsayıları orta düzeyde ilişki göstermektedir. Özellikle killi yapıya sahip toprak tiplerinde, toprak nemi ve yaprak alan indeksi arasındaki ilişkiler üzerine yapılan çalışmalarda benzer sonuçlar elde edilmiştir (Liu vd., 2016).

Toprak yüzey pürüzlülüğü (SR) 1 ve 2. parsellerde bitki indisleri ile aralarında çok yüksek-yüksek düzeyde ilişkiler elde edilmiştir. 3. parselde elde edilen ilişkiler ise orta-yüksek düzeydedir. Bunun sebebi olarak 3. Parsele geç ekim yapılması ve diğer iki parselde göre bitki gelişiminin geriden takip etmeksini gösterilebilir. Yabancı ot probleminin 1. ve 2. parsellere nazaran daha az olması, yansıma değerlerini de etkilemiştir. 1. parselde SR-NDVI_{sat}, SR-LAI, 2. parselde SR-NDVI_{gs}, SR-LAI, SR-NDVI_{sat} yüksek ve çok yüksek ilişki düzeyleri ile öne çıkmaktadır. Yüzey pürüzlülüğü daha önce de belirtildiği gibi ayçiçeği parsellerinde gelişme dönemleri süresince azalma eğilimi göstermiş ve 1'e yaklaşmıştır. Tam kapalılık durumuna geçen ayçiçekleri için ölçülen NDVI ve LAI değerleri ile ilişkili olan artık toprak yüzey pürüzlülüğü değil aerodinamik pürüzlülük uzunluğudur. Bitki örtüsü ile kaplı alanlarda kanopi yüksekliği,

yapısı ve yoğunluğu aerodinamik pürüzlülük için anahtar değişkenlerdir (Yu vd., 2016). Yüzey bilgisini bölgesel veya küresel olarak alabilmek ve aerodinamik pürüzlülüğü parametreleştirmek için uzaktan algılama yöntemlerinin kullanıldığı bir çok çalışma gerçekleştirilmiştir (Hasager ve Jensen, 1999; Menenti vd., 1996; Menenti ve Ritchie, 1994). Bitki örtüsü fiziksel/yapısal parametrelerinin bir fonksiyonu olan rastgele pürüzlülük için LAI, (Choudhury ve Monteith, 1988; Myneni vd., 2002) CAI (Canopy Area Index) ve FAI (Frontal Area Index) gibi bir çok model geliştirilmiştir (Roupach, 1994; Schaudt ve Dickinson, 2000). Ayrıca, NDVI gibi uzaktan algılama ile hesaplanan optik parametrelerin rastgele pürüzlülük için kullanımı oldukça yaygındır (Schaudt ve Dickinson, 2000; Li vd., 1999; Gupta vd., 2002). Ekili araziler için gelişme dönemi boyunca rastgele pürüzlülük NDVI ile yakından ilişkili olarak bulunmuştur (Schaudt ve Dickinson, 2000; Li vd., 1999).

Ayçiçeği parsellerinde bitki indisleri hemen hemen aynı hafta içerisinde ölçülmüştür. Ölçümlerdeki maksimum gün farkı 1. parselin ilk dönemi içindir ve 15 günlük bir sapma söz konusudur. Tüm parselde bitki indisleri arasındaki ilişki yüksek düzeyde; yalnızca 2. parselde ise $NDVI_{gs}$ -LAI ilişkisi çok yüksek düzeyde elde edilmiştir. Bitki indisleri gelişme dönemi süresince önce artmış ve son dönemlerinde de azalma eğilimi göstermiştir. NDVI ve LAI ilişkilerinin araştırıldığı çalışmalarda her iki indis arasındaki ilişki düzeyleri benzer seviyelerde elde edildiği görülmüştür (Royo ve Villegas, 2011; Goswami vd., 2015). Fakat bunun ötesinde, bitki indislerle ilgili bazı sınırlamalar bulunmaktadır. Örneğin NDVI, LAI değerlerinin ortalama seviyelerinde iken ve eğer çok fazla toprak etkisi bulunmuyorsa daha kullanışlı olmaktadır. Eğer 4'ün üzerinde LAI değerlerine ulaşıyorsa hassasiyet kaybolmaktadır. Yani ışığın çoğu kanopi tarafından yakalanmakta ve emilmektedir. Bu nedenle, LAI değerlerindeki artış FPAR değişkenleri üzerinde etkili olmamaktadır. Buğday ve mısır bitkisinde yapılan bir çalışmada (Gitelson, 2004) hassasiyet kaybının kırmızı banttaki doygunluktan kaynaklandığı belirtilmektedir. Gölge içersinde ölçülen değerler, yakın kızıl-ötesi yansıma buğday ve mısır kanopilerinin tüm spektrumunda hassastır. Fakat, kırmızı nispeten daha hızlı bir şekilde doygunluğa ulaşmaktadır. Kırmızının doymaya başladığı yer NDVI'nin doymaya başladığı yerdir. Ayçiçeği parsellerinde özellikle 1 ve 2P boyunca noktasal olarak 4 ve üzeri değerleri elde edilmesine rağmen ortalama bu değerlerin

altındadır. Fakat bu ölçümlerde toprak etkisinin yani toprağın yansımından kaynaklı etkinin olduğu göz ardı edilmemektedir (Anonim, 2017).

Buğday

Çizelge 4.13 Buğday 1. Parsel *Pearson korelasyon katsayıları*

1. parsel		PLU	SC	CC	SM	SR	NDVI _{gs}	LAI	NDVI _{sat}
PLU	Pearson Korelasyon	1	,191**	-0,323	,931**	-437**	,928**	,308**	,838**
	Önem (2-trf)		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	N	410	410	410	410	410	410	410	410
SC	Pearson Korelasyon	,191**	1	-,990**	,186**	,956**	,275**	,735**	,406**
	Önem (2-trf)	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	N	410	410	410	410	410	410	410	410
CC	Pearson Korelasyon	-,323	-,990**	1	-,319**	-,985**	-,405**	-,754**	-,516**
	Önem (2-trf)	0,000	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	N	410	410	410	410	410	410	410	410
SM	Pearson Korelasyon	,931**	,186**	-,319**	1	,435**	,934**	,301**	,848**
	Önem (2-trf)	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000
	N	410	410	410	410	410	410	410	410
SR	Pearson Korelasyon	,437**	,956**	-,985**	,435**	1	,515**	,753**	,604**
	Önem (2-trf)	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000	0,000
	N	410	410	410	410	410	410	410	410
NDVI _{gs}	Pearson Korelasyon	,928**	,275**	-,405**	,934**	,515**	1	,419**	,877**
	Önem (2-trf)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
	N	410	410	410	410	410	410	410	410
LAI	Pearson Korelasyon	,308**	,735**	-,754**	,301**	,753**	,419**	1	,481**
	Önem (2-trf)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000
	N	410	410	410	410	410	410	410	410
NDVI _{sat}	Pearson Korelasyon	,838**	,406**	-,516**	,848**	,604**	,877**	,481**	1
	Önem (2-trf)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
	N	410	410	410	410	410	410	410	410

**, Korelasyon 0,01 düzeyinde anlamlıdır (2-tarafli).

Çizelge 4.14 Buğday 2. Parsel *Pearson korelasyon katsayıları*

2.parsel		PLU	SC	CC	SM	SR	NDVI _{gs}	LAI	NDVI _{sat}
PLU	Pearson Korelasyon	1	-,964**	,981**	,487**	-,951**	,306**	,621**	,527**
	Önem (2-trf)		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	N	524	524	524	524	524	524	524	524
SC	Pearson Korelasyon	-,964**	1	-,996**	,656**	,987**	-,510**	,711**	,702**
	Önem (2-trf)	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	N	524	524	524	524	524	524	524	524
CC	Pearson Korelasyon	,981**	-,996**	1	-,595**	-,983**	-,434**	-,682**	-,638**
	Önem (2-trf)	0,000	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	N	524	524	524	524	524	524	524	524
SM	Pearson Korelasyon	,487**	,656**	-,595**	1	,648**	,828**	,654**	,885**
	Önem (2-trf)	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000
	N	524	524	524	524	524	524	524	524
SR	Pearson Korelasyon	-,951**	,987**	-,983**	,648**	1	,506**	,702**	,695**
	Önem (2-trf)	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000	0,000
	N	524	524	524	524	524	524	524	524
NDVI _{gs}	Pearson Korelasyon	,306**	-,510**	-,434**	,828**	,506**	1	,630**	,891**
	Önem (2-trf)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
	N	524	524	524	524	524	524	524	524
LAI	Pearson Korelasyon	,621**	,711**	-,682**	,654**	,702**	,630**	1	,679**
	Önem (2-trf)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000
	N	524	524	524	524	524	524	524	524
NDVI _{sat}	Pearson Korelasyon	,527**	,702**	-,638**	,885**	,695**	,891**	,679**	1
	Önem (2-trf)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
	N	524	524	524	524	524	524	524	524
*. Korelasyon 0,05 düzeyinde anlamlıdır (2-taraflı).									
**. Korelasyon 0,01 düzeyinde anlamlıdır (2-taraflı).									

Çizelge 4.15 Buğday 3. Parsel *Pearson korelasyon katsayıları*

3.parsel		PLU	SC	CC	SM	SR	NDVI _{gs}	LAI	NDVI _{sat}
PLU	Pearson Korelasyon	1	,967**	-,963**	-,240**	,947**	,354**	,776**	,436**
	Önem (2-trf)		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	N	566	566	566	566	566	566	566	566
SC	Pearson Korelasyon	,933**	1	-,1,000**	,432**	,986**	,556**	,852**	-,627**
	Önem (2-trf)	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	N	566	566	566	566	566	566	566	566
CC	Pearson Korelasyon	-,958**	-1,000**	1	-,446**	-,987**	-,569**	-,856**	-,639**
	Önem (2-trf)	0,000	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	N	566	566	566	566	566	566	566	566
SM	Pearson Korelasyon	-,240**	,432**	-,446**	1	,444**	,890**	,566**	,883**
	Önem (2-trf)	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000
	N	566	566	566	566	566	566	566	566
SR	Pearson Korelasyon	,947**	,986**	-,987**	,444**	1	,561**	,845**	,630**
	Önem (2-trf)	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000	0,000
	N	566	566	566	566	566	566	566	566
NDVI _{gs}	Pearson Korelasyon	,354**	-,556**	-,569**	,890**	,561**	1	,651**	,957**
	Önem (2-trf)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
	N	566	566	566	566	566	566	566	566
LAI	Pearson Korelasyon	,776**	,852**	-,856**	,566**	,845**	,651**	1	,706**
	Önem (2-trf)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000
	N	566	566	566	566	566	566	566	566
NDVI _{sat}	Pearson Korelasyon	,436**	-,627**	-,639**	,883**	,630**	,957**	,706**	1
	Önem (2-trf)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
	N	566	566	566	566	566	566	566	566
*. Korelasyon 0,05 düzeyinde anlamlıdır (2-taraflı).									
**. Korelasyon 0,01 düzeyinde anlamlıdır (2-taraflı).									

Çizelge 4.16 Buğday parselleri (1-2-3) ortalama *Pearson korelasyon katsayıları*

Tüm parseller		PLU	SC	CC	SM	SR	NDVI _{gs}	LAI	NDVI _{sat}
PLU	Pearson Korelasyon	1	-,968**	,944**	-,155**	-,915**	-,180**	-,762**	-,341**
	Önem (2-trf)		0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000
	N	407	407	407	407	407	407	407	407
SC	Pearson Korelasyon	-,968**	1	-,996**	-,374**	,982**	-,400**	,862**	,546**
	Önem (2-trf)	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	N	407	407	407	407	407	407	407	407
CC	Pearson Korelasyon	,944**	-,996**	1	-,451**	-,993**	-,477**	-,887**	-,615**
	Önem (2-trf)	0,000	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	N	407	407	407	407	407	407	407	407
SM	Pearson Korelasyon	-,155**	,374	-,451**	1	,512**	,963**	,618**	,944**
	Önem (2-trf)	0,002	0,000	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000
	N	407	407	407	407	407	407	407	407
SR	Pearson Korelasyon	-,915**	,982**	-,993**	,512**	1	,537**	,898**	,667**
	Önem (2-trf)	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000	0,000
	N	407	407	407	407	407	407	407	407
NDVI _{gs}	Pearson Korelasyon	-,180**	-,400**	-,477**	,963**	,537**	1	,645**	,958**
	Önem (2-trf)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
	N	407	407	407	407	407	407	407	407
LAI	Pearson Korelasyon	-,762**	,862**	-,887**	,618**	,898**	,645**	1	,741**
	Önem (2-trf)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000
	N	407	407	407	407	407	407	407	407
NDVI _{sat}	Pearson Korelasyon	-,341**	,546**	-,615**	,944**	,667**	,958**	,741**	1
	Önem (2-trf)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
	N	407	407	407	407	407	407	407	407
*. Korelasyon 0,05 düzeyinde anlamlıdır (2-taraflı).									
**. Korelasyon 0,01 düzeyinde anlamlıdır (2-taraflı).									

PLU, önceki arazi kullanım türü şekerpancarı olan ilk parselde F döneminde, özellikle toprak yüzeyinde kalan şekerpancarı yaprakları ile gelişim dönemi boyunca kayda değer bir değişim göstermediğinden alt-faktörler ile olan ilişkileri SC, CC, SR ve LAI ile orta ve zayıf düzeyde olurken, SM, NDVI_{gs} ve NDVI_{sat} ile çok yüksek düzeyde ilişkili bulunmuştur. Bunun en önemli sebebi, ilk ölçüm döneminde hem PLU hem de SM' den yüksek değerler elde edilirken gelişme dönemi boyunca önce azalan sonra artan eğim göstermesidir.

Bitki indisleri ise tam tersi yönünde olmuş önce artmış ve daha sonra azalmıştır. Diğer alt-faktörler (SC, CC ve SR) ve LAI gelişme dönemi süresince sadece artış eğilimi göstermiştir. Dolayısıyla, SC alt-faktörü, 1. parselde CC ve SR ile çok yüksek düzeyde, LAI ile yüksek düzeyde ilişkili olarak bulunmuştur. CC alt-faktörü, SR ile çok yüksek ve LAI ile yüksek düzeyde ilişkilidir. SM NDVI değerleri ile yüksek ilişkili olarak bulunurken SR alt-faktörü LAI ile yüksek ilişkili olarak elde edilmiştir. LAI, NDVI_{gs} ve NDVI_{sat} ile orta düzeyde ilişkili olarak bulunmuştur. Yersel ve uydu görüntüsünden elde edilen NDVI değerleri kendi aralarında çok yüksek ilişki düzeyine sahiptirler. İlk parselde alt-faktörler arasında gözlenen ilişkiler 2. ve 3. parsellerde rotasyon sisteminin farklı olmasından ötürü değişiklik göstermiştir. PLU alt-faktörü, 2. parselde SC, CC ve SR ile çok yüksek; LAI ile yüksek düzeyde ilişkili; SM ve NDVI (gs+sat) değerleri ile orta düzeyde ilişki olarak bulunmuştur. SC alt-faktörü, CC ve SR ile çok yüksek, SM, LAI ve NDVI_{sat} ile yüksek ve SM ve NDVI_{gs} ile orta düzeyde ilişkilidir. CC alt-faktörü SR ile çok yüksek, LAI ve NDVI_{sat} ile yüksek, NDVI_{gs} ile orta düzeyli ilişkilidir. SM alt-faktörü NDVI değerleri ile çok yüksek, SR ve LAI ile yüksek düzeyde ilişkili iken SR, NDVI_{gs} ile orta, LAI ve NDVI_{sat} ile yüksek düzeyde ilişkili olarak bulunmuştur. Bitki indislerinden NDVI değerleri kendi aralarında çok yüksek düzeyde ilişkili iken LAI değerleri ile yüksek düzeyde ilişki olarak elde edilmiştir. PLU alt-faktörü, 2. parselde olduğu gibi 3. parselde de SC, CC ve SR ile çok yüksek ilişkilidir; LAI ile yüksek düzeyde, SM ve NDVI_{gs} ilişki düzeyi zayıf NDVI_{sat} ile orta düzeyde düzeydedir. CC alt-faktörü 3. Parselde, SR ve LAI ile çok yüksek; NDVI_{sat} ile yüksek; SM ve NDVI_{gs} ile orta düzeyde ilişki olarak bulunmuştur. SM alt-faktörü, NDVI_{gs} ve NDVI_{sat} ile çok yüksek ilişkili, SR ve LAI ile orta düzeyde ilişkilidir. SR alt-faktörü, LAI ile çok yüksek, NDVI_{gs} ile orta NDVI_{sat} ile yüksek düzeyde ilişkilidir. NDVI değerleri (gs+sat) kendi aralarında çok yüksek düzeyli ilişkili iken LAI ile yüksek düzeyde ilişkili olarak bulunmuştur. Ortalama değerlerin olduğu verisetinde ise PLU alt-faktörü, SM ve NDVI_{gs} ile çok zayıf düzeyde ilişkili iken NDVI_{sat} ile zayıf, LAI ile yüksek ve SC, CC ve SR ile çok yüksek düzeyde ilişkili olarak bulunmuştur. SC alt-faktörü, CC, SR ve LAI ile yüksek düzeyde ilişkili SM ile zayıf, NDVI_{gs} ve NDVI_{sat} ile orta düzeyde ilişkilidir. CC alt-faktörü SR, LAI ile çok yüksek, NDVI_{sat} ile yüksek, SM ve NDVI_{gs} ile orta düzeyde ilişkilidir. SM, NDVI deperleri ile çok yüksek, LAI ile yüksek SR ile orta düzeyde ilişkili iken, SR alt-faktörü LAI ile çok yüksek, NDVI_{sat} ile yüksek ve

NDVI_{gs} ile orta düzeyde ilişkili olarak bulunmuştur. Bitki indislerinden NDVI değerleri kendi aralarından çok yüksek ilişki düzeyine sahipken LAI ile olan ilişkileri yüksek düzeyde olmuştur (Çizelge 4.13 - 4.14 - 4.15 - 4.16).

Ayçiçeği için yapılan ölçüm dönemlerinden farklı olarak buğday parsellerinin ilk ölçümleri (araziye çıkış zamanına bağlı olarak) bir önceki ürünlerin şekerpancarı-3P ve ayçiçeği-4P dönemlerine denk geldiği ve asıl ürün (buğday) için erken gözlem durumunda kaldığından döneme ait tanımlayıcı istatistik bilgileri tezde verilmiş ve grafiklerde gösterilmiş fakat tez konusu gereği seçilen bitki türlerinin kendi gelişim dönemleri süresince elde edilen parametreler dikkate alındığından korelasyon ve regresyon analizlerine dahil edilmemiştir.

Buğday ekilen parsellerde rotasyon sistemi parseller arası farklılık gösterdiğinden mekanizasyon işlemleri ve zamanları farklılık göstermiştir. İlk parselde bir önceki ürün şekerpancarı iken diğer iki parselin önceki ürünü ayçiçeğidir (Çizelge 3.5). Hasat, toprak işleme ve tohum yatağı hazırlama açısından değerlendirildiğinde 2. ve 3. parsellerdeki ayçiçekleri Eylül (2015) ayında hasat edilmiş ancak 1. parselde şekerpancarı hasat öncesi döneme (4P) girmiştir. Kasım (2015) ayında ilk parsel FP dönemi içerisindeyken, 2 ve 3. parsellerin toprak hazırlığı bitmiş ve buğday tohumları ekilmiştir (0P). Tüm bu işlemlere bağlı olarak toprak sıkışma oranına etki etmesi ile beraber, koruyucu toprak işleme önlemleri alınmamasından ötürü 0-20 cm toprak derinliğindeki bitki ve kök artık miktarlarının da değişmesine neden olmuştur.

Buğday parsellerinde hesaplanan PLU alt-faktörü değerleri ayçiçeğinde olduğu gibi oldukça düşüktür. Gelişim dönemi süresince FP/0P döneminde çok az bir artış olmasına rağmen kayda değer bir değişim göstermemiş hemen hemen aynı kalmıştır. İlk parselden hesaplanan PLU değerleri NDVI değerleri ile çok yüksek ilişkili olsalar da diğer iki parselde tam tersi olarak LAI değerleri ile daha yüksek ilişkili olmuşlar ve NDVI değerleri ile zayıf düzeyde ilişkili olarak bulunmuşlardır (Çizelge 4.13, 4.14 ve 4.15). Bunun en önemli sebebi ilk parseldeki şekerpancarı yapraklarının gösterdiği yüksek NDVI değerlerine sahip olması ve ölçüm ve örneklem dönemlerinin parseller arasında farklı zamanlarda yapılmış olmasından ötürüdür. Daha açık bir ifade ile, parsel

örneklemelelerinde ilk aşamada NDVI ve LAI değerleri okunmuş, yüzey ve kanopi kapallılığı ve toprak pürüzlülüğü ölçülmüş ancak toprak örnekleme (PLU ve SM) bir sonraki arazi ölçümlerinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.6). Arada geçen zaman içerisinde parsellerdeki ayçiçeği anızları insan gücü ve tırmık ile temizlenmiştir. Dolayısıyla bu zaman farkından ötürü toprak altı ve toprak üstü biyokütle miktarındaki değişim kaçınılmaz olmuştur. Benzer durum buğday parsellerinin diğer dönemlerinde de yaşanmıştır. İlk parselde, PLU'nun SM ve $NDVI_{gs}$ ve $NDVI_{sat}$ ile ilişki düzeyinin çok yüksek olduğu görülmektedir. FP döneminde parselde hasat sonrası kalan şekerpancarı yaprakları ile SC en yüksek seviyesindedir ve gelişme dönemi boyunca azalma eğilimi göstermiştir. CC alt-faktörü de F döneminde en düşük iken (= 1,000) 1. dönemde en yüksek seviyesindedir ve son dönemde çok az azalma göstermektedir. SR alt-faktörünün gösterdiği eğilim SC ile benzerdir; pearson korelasyon katsayıları da bu durumu açıklamaktadır. Diğer iki parselin dahil olduğu rotasyon farklı olduğundan dolayı elde edilen korelasyon katsayıları da farklı olmuştur ve alt-faktörler arasında SM hariç hepsi birbirleri ile yüksek ve çok yüksek düzeyde ilişkili olmuşlardır. PLU 1. parselde NDVI değerleri ile yüksek ve çok yüksek düzeye ilişkili iken, 2 ve 3. parselde ilk parselin aksine LAI ile yüksek ilişki düzeyine sahiptir. 1. Parselin değişimi NDVI ile; 2 ve 3. parselin değişim trendi de LAI ile uyumlu olmuştur.

Yüzey kapallılığı alt-faktörü (SC), gelişim dönemi süresince ayçiçeği parsellerinde olduğu gibi azalma eğilimi göstermiştir. SC değerlerinin azalmasıyla bitki boyu ve kanopilerin oluşturduğu kapallılık giderek artmıştır. Bu da, CC ile ters orantılı bir ilişkiyi ifade etmektedir. Buğday (kışlık) bitkisinin gelişim süresi ayçiçeği bitkisinden daha uzundur. Yıl içerisinde yağışa ve toprak yapısına bağlı olarak topraktaki nem, Ekim ayında en az iken önce artmış ve gelişim dönemi sonunda azalmıştır. Yani, SM alt-faktörü bir gelişim döneminin başlangıcındayken solma noktasındayken sonbahar ve kış yağışları ile doygunluğa ulaşarak 1 değerine yaklaşmış ve ilkbahar yağışları sonrası yaz mevsimi ile yeniden solma noktasına ulaşmıştır (Şekil 3.13). İlk parseldeki % nem değişimi diğer iki parselde göre fazladır. Yani 1. parsel tarla kapasitesi durumuna daha yakın iken 2 ve 3. parsellerin solma noktasına daha yakın olması (dönemler arası farkın az olması) parseller arası ölçümlerin zamansal farklılığı ile ve 1. parselde F dönemindeki koruyucu artık örtüsünün varlığından kaynaklanmaktadır. Bitki

artıklarının ayrışarak yok olması 1. dönemde gözlemlenmektedir. Bu durum da SC alt-faktörünün SM alt-faktörü ile ilişki düzeyleri ilk parselde zayıf iken diğer iki parselde neden çok zayıf düzeyde olduğunu açıklamaktadır. SC alt-faktörü ile SR alt-faktörü gelişme dönemleri boyunca birlikte azalma eğilimi göstermişlerdir (3P ve 4P' de önceki ürünlerin hasat öncesi ve sonrası dönemlerini yansıtmakla birlikte FP ve OP süresince toprak işleme pürüzlülüğünde artış gözlemlenmiştir). Bitki indislerinden $NDVI_{gs}$ ve $NDVI_{sat}$ ile ilk parselde sırasıyla düşük ve orta düzeydeki ilişki 2 ve 3. parselde sırasıyla orta ve yüksek olarak elde edilmiştir. Buradaki temel farklılık ilk parselin F döneminde olmasından ötürü parsel yüzeyinde şekerpancarı bitki artıklarının yansımından; diğer iki parselin ise OP döneminde ve bitkiler henüz çimlenmiş olduklarından yalnızca az miktarda artık ve toprak yüzey yansımından kaynaklanmaktadır. LAI ise, gelişme dönemi süresince artarken SC alt-faktörü azalmış ve bu da her ikisinin ilişki düzeylerinin yüksek ve çok yüksek olmasını açıklamıştır.

Buğday gelişme dönemi boyunca 1. ve 2. parsellerde kanopi kapalılığında gösterdiği artış 3. parselde son dönemde olgunlaşmadan kaynaklı biyokütlenin su kaybetmesi ile az da olsa azalma olarak devam ederek sonlanmıştır. Bunun sebebi 1 ve 2. parselin 1. dönemine karşılık 3. parselin 2. dönem ölçümlerinin yapılmış olması ve 1. dönemdeki bitkilerin gelişmenin başında olmasından kaynaklanmaktadır. Erektofil yaprak açışal dağılımına sahip buğday, kardeşlenme dönemi ile birlikte kapalılık oluşumu hızlıdır. Kanopi kapalılığı her üç parsel için en yüksek düzeyde ilişkili olduğu toprak yüzey pürüzlülüğüdür. CC alt-faktörü artarken, SR alt-faktörü azalma eğilimi göstermektedir. Buğdayın kanopi kapalılığı oranı ayçiçeği bitkisine göre daha fazladır. Ayçiçeği bitkisi, her ne kadar yatayda yaprak gelişimi gösterse de sıra arası ve sıra üzeri boşluklar, gelişime bağlı zayıflıklar ve olgunlaşmadan kaynaklı biyokütlenin küçülmesi buğdaya oranla çok daha fazla olmuştur. Dolayısıyla buğdayda CC-SR ilişkisi için elde edilen PCC oranı ayçiçeğinden yüksek olmuştur. Bitkide dikey yapı ön plana çıkmaktadır. Düşük bitki yoğunluklarında ağırlık merkezi yüksekte olan bitkiler kaba bitkiler olurken, yüksek yoğunluktaki alçak ağırlık merkezine sahip bitkiler daha pürüzsüz olarak nitelendirilmektedir (Shaw, 1982). Buğday bitkisinin CC alt-faktörünün bitki indisleri ile olan ilişkisinde ise olgunlaşma döneminde klorofil ve su içeriğinin düşerek bitkinin sararması NDVI ile olan ilişkileri oldukça zayıflatmış, LAI ile olan ilişkiler ise

etkilenmemiştir. Bitkiler su içerikleri, hücre yapıları, yaprak ve yüzey genişlikleri ve bulundukları ortamdaki konumlarına göre farklı yansıma özelliği göstermektedirler. Buna ek olarak, bitkilerin kızılötesi ışınları güçlü bir şekilde fakat farklı oranda yansıtma uzaktan algılama ve analiz etme bakımından kolaylık sağlanmaktadır (Duran, 2007). Erektofil bitkilerin, yatay gelişim gösteren yaprak yapısına sahip bitkilerle kıyaslandığında, ışığı çok daha iyi tutma ya da daha küçük sönümleme katsayısına sahip oldukları belirtilmektedir (San-oh vd., 2008). Bu yüzden farklı kanopi mimarisine sahip bitkiler (erektofil, planofil ve yatay yapılı) farklı spektral cevaplar üretebilmektedirler ve bunlar da yüksek spektral çözünürlüklü sensörlerle belirlenebilmektedir (Galvao vd., 2005). Pinter vd. (1985), planofil bitkilerin, erektofil bitkilere göre her dalgaboyunda daha fazla yansıma özelliğine sahip olduklarını belirtmişlerdir (Zhao vd., 2010). Diğer yandan, birçok tabakadan oluşmuş yaprak, tek bir yaprağın ışığı yansıtması ile kıyaslandığında, spektrumun yakın kızıl ötesi bölgesinde (%85' e kadar) daha yüksek yansıtmaya neden olmaktadır. Bunun nedeni toplamsal yansımadır. Orta kızılötesi bölgede (1,3 – 2,7 μm) ise bitkilerin su içerikleri spektral yansımayı etkilemektedir. Bitkiye gelen güneş enerjisinin bitki tarafından yutulma derecesi bitkideki su miktarının bir fonksiyonudur. Yapraktaki su içeriği ile yansıma ters orantılı olup, yaprak kalınlığı ile de orantılıdır (Duran, 2007). Bitkilerdeki nem oranı azaldıkça -ki bu toprağın nem içeriği ile de yakından ilişkilidir- orta kızılötesindeki yansıma artmakta (Maktav ve Sunar, 1991) 1,5 μm 'nin üzerindeki yansımalarda önemli bir azalma görülmektedir (NASA, 2003b). Yani yüksek nem koşullarındaki yaprak tüm dalga boylarında daha az yansıma gösterirken, düşük nem koşullarında gelişmiş bitkiler daha fazla yansıma göstermektedir. Ayrıca, yaprak yüzeyinin parlak, mat ve tüylü olması da yansımayı etkilediğinden (Duran, 2007) buğday bitkisinin kılçıklı ya da kılçıksız oluşu da farklılık yaratmaktadır. 1. buğday parselinde yetiştirilen buğday da diğer ikisinin aksine kılçıklı bir yapıdadır. Tez parsellerinde ölçülen NDVI değerlerinin toprak nemi ile olan ilişkisi her üç parselde de çok yüksek olmuştur. Gelişim dönemi boyunca en düşük seviyedeki toprak nemi ölçüldüğünde NDVI değerleri de en düşük seviyesindedir. Aslında korelasyon, bir parametre artarken diğeri azaldığından ters orantılıdır. Kış ve bahar yağışlarını takiben artan SM ve NDVI, yaz mevsimindeki yağışların azalması ve bitkinin olgunlaşmaya girmesi ile birlikte toprak nemi solma noktasına kadar düşmüş ve NDVI değeri klorofil

değerlerinin düşmesi ile oldukça azalmıştır. İlk parselde toprak nemi ile LAI değerleri düşük iken, 2 ve 3. parsellerde SM-LAI ilişkisi çok daha yüksektir. Bunun sebebi, 1. parsel ekimi geç olduğundan olgunlaşmaya daha geç girmiştir. 1P ve 3P dönemlerine ait okumalarda ise 1P dönem başlangıcında (Nisan ilk hafta), 2. parsel için bu 1P ortalarına (Nisan 3. hafta) ve 3. parsel için 2P dönemine (Haziran ilk hafta) denk gelmektedir.

SR alt-faktörüyle bitki indislerinin arasındaki ilişkilerin belirlenmesinde buğday parsellerinde her ne kadar ilk ölçümler dahil edilmese de buğday öncesi ürün olan ayçiçeği anızlarının yüzey pürüzlülüğünü göz ardı etmemek gerekir. Bu ölçümler esnasında ayakta kalan bitki anızları toprak yüzeyine aktarılabilecek momentum transferi için rüzgarın enerjisini azaltarak aerodinamik pürüzlülüğü oldukça arttırmaktadır (Aiken vd., 2003). Dolayısıyla başlangıçta belirli pürüzlülüğe sahip olan 2. ve 3. buğday parselleri (sırasıyla SR: $0,806 \pm 0,015$ ve $0,824 \pm 0,019$) F ve OP sürecinde ise mekanizasyondan kaynaklı pürüzlülük oluşumu ile neredeyse sabit kalmış ve gelişme dönemi sürecinde bitki gelişimi ile $SR = 1,000$ olmuştur (en az pürüzlülük). Elde edilen sonuçlara göre toprak pürüzlülüğü (SR), özellikle LAI ile, yersel ve uydu görüntülerinden elde edilen NDVI değerlerine göre daha yüksek ilişkili olarak elde edilmiştir. Yaprak alanın indeksi, kanopi kapallığı ve belirli bir yüksekliğe sahip bitkinin aerodinamik pürüzlülüğü ile yakından ilişkilidir. Aerodinamik pürüzlülük (Z_0) ve LAI arasındaki ilişki, teorik olarak NDVI, albedo, fotosentetik potansiyel veya brüt birincil üretimden (Gross Primary Productivity, GPP) daha doğrudandır (Alekseychik vd., 2017). Kanopi yüksekliği ve LAI'nin değişimi mısır gibi otsu bitkilerde eş zamanlı olarak değiştiği belirtilmiştir (Gao vd., 2013).

Bitki indislerinin buğday bitkisi için kendi aralarındaki korelasyonuna bakıldığından $NDVI_{gs}$ ile $NDVI_{sat}$ arasında çok yüksek ilişki düzeyi elde edilirken, su kaybı, topraküstü bitki aksamının olgunlaşmaya bağlı küçülmesi ve klorofil içeriğinin azalmasına bağlı olan sararmadan ötürü NDVI-LAI arasındaki ilişkilerin orta ve yüksek düzeyli olduğu görülmektedir. Yapılan bir çok çalışmada da buğday bitkisinde ölçülen, NDVI ve LAI değerlerine ait benzer sonuçlar elde edilmiştir.

4.4 RUSLE-C Alt-Faktörleri ile Bitki İndisleri Arasındaki İlişkiler

RUSLE modelindeki altı farklı girdi parametresinden ($A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$) biri olan ve arazi kullanım ile arazi/toprak yönetimi uygulamalarının toprak kayıpları üzerindeki etkilerini ifade eden, çiftçilerin ve karar vericilerin toprak kayıplarının azaltılmasında faktörler arasında en kolay müdahale edebilecekleri bitkisel örtü ve ürün yönetimi faktörü (RUSLE-C), beş farklı alt-faktör ile hesaplanmakta ve aslında toprak, bitki ve iklim şartlarına bağlı olarak zahmetli ve zaman alıcı olmaktadır. Bitki indisleri ise ölçülen vejetasyon özelliklerine bağlı olarak RUSLE-C alt-faktörlerine ait parametrelerin ölçülmesi ve hesaplanmasına nazaran çok daha pratik ve kolay olmaktadır. Bu tez çalışmasında, RUSLE modeli yaklaşımı ile elde edilen C alt-faktörleri üzerinde hem yersel ($NDVI_{gs}$ ve LAI) hem de uydu görüntülerinden ($NDVI_{sat}$) elde edilen bitki indislerinin hangi düzeyde etkisi olduğunu incelemek amacıyla regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Her parametre için ölçüldüğü ve hesaplandığı parseller içerisinde ve yetiştirilen bitki gelişim süresi boyunca tanımlayıcı istatistik, Kruskal Wallis H-testi (Complete Random Design) ve korelasyon analizleri yapılmış olsa da, aslında parsellerin birbirinin tekrarı (paraleli) olduğu göz ardı edilmemelidir.

İstatistik analizler sonucu parsel faktörünün önemli olarak bulunması hasat sonrası tohum yatağı hazırlama, ekim için uygulanan mekanizasyon işlemleri her ne kadar ayçiçeği parsellerinin tamamında aynı şekilde uygulanmış olsa da, toprak hazırlığı, ekim zamanı, yağış, bitki gelişim hızı, sulama gibi faktörlerle zamansal olarak oluşan farklılıklardan ileri gelmektedir. Her iki bitki türüne ait parsellerin yalnızca 1 tanesi (ayçiçeği 3. parsel, nadas; buğday 1. parsel, şekerpancarı) farklı rotasyon sistemine sahiptir ve ölçüm ve hesaplamalarla ilgili farklılıklar en çok buğday 1. parselde gözlemlenmiş, ayçiçeğindeki rotasyon farklılıkları ölçüm ve hesaplarda kayda değer bir varyasyon yaratmamıştır. Yine ölçümlerdeki zamansal farklılıklar buğday bitkisi için hesaplanan alt-faktörlerde ayçiçeğine göre daha fazla olmuştur. Tüm bunlar dikkate alındığında parselle göre değişim kaçınılmazdır ve parsel faktörünün de önemli olmasının sebebidir ancak asıl yetiştiriciliği yapılan bitkiler için tüm değerlendirmeler göz önüne alındığında parsel faktörünü bitki türüne ait deneysel tekrar olarak kabul edip yalnızca dönemsel farklılıklara göre ayırım yapılan regresyon modelleri kurulmuş yani modeller dönemsel olarak geliştirilmiştir.

4.4.1 Ayçiçeği RUSLE-C Alt-faktörleri ve bitki indisleri arasındaki ilişkiler

Bitki indisleri ile RUSLE-C alt-faktörlerin tahmin edilmesinde, doğrusal regresyon modeli oluşturulurken bitki indislerinin ve dönem faktörünün ana etkileri ve bunların ikili ve/veya üçlü interaksiyonları dahil edilerek tam modeller oluşturulmuştur. Daha sonra oluşturulan tam modeller içerisinde hangi parametrelerin önemli olduğu göz önünde tutularak indirgenmiş (reduced) modeller elde edilmiştir.

RUSLE modeli ile hesaplanan ve dönemselsel indirgenmiş eşitlikler ile tahmin edilen alt-faktörler arasındaki ilişkilere ait eşitlikler ve hata değerleri (RMSE) verilmiştir. Eşitlikler tüm parsel ve dönem verileri ile elde edilmiş fakat şekiller (4.9, 4.10, 4.11, 4.12, 4.13, 4.14, 4.15, 4.16, 4.17 ve 4.18) ortalama değerlerle özetlenmiştir.

$$PLU = f(NDVI_{gs}, LAI, NDVI_{sat})$$

PLU alt-faktörünün bitki indisleri ile tahmin edilmesinde elde edilen doğrusal ilişkiye ait *Faktöriyel ANOVA* tablosu (Çizelge 4.21) ve indirgenmiş, dönemselsel doğrusal eşitlikler aşağıda verilmiştir. Dönemselsel eşitlikler ile tahmin edilen PLU_t ve RUSLE modeli ile hesaplanan PLU_{RUSLE} ilişkisi ortalama değerler olarak Şekil 4.9’ da verilmiştir.

Çizelge 4.17 Bitki indisleri ile elde edilen PLU faktöriyel ANOVA tablosu

Parametre	df	Adj SS	Adj MS	F-değeri	P-değeri
Regresyon	12	0,253	0,021	1387,83	0,000
NDVI _{gs}	1	0,000	0,000	0,66	0,416
LAI	1	0,000	0,000	3,90	0,048
NDVI _{sat}	1	0,000	0,000	4,56	0,033
Dönem	3	0,003	0,000	63,13	0,000
NDVI _{gs} × Dönem	3	0,000	0,000	2,85	0,036
NDVI _{sat} × Dönem	3	0,000	0,000	2,69	0,045
Hata	920	0,014	0,000		
Toplam	932	0,267			
Model R ² : 0,9470 (adj [*])					

*Adjusted: Ayarlanmış belirleme katsayısı oranı

NDVI_{gs} kendi başına önemli olarak bulunmazken dönem ile olan interaksyonu önemlidir. LAI ve NDVI_{sat} ana faktör olarak önemlidir. Dönem faktörü önemlidir ve NDVI_{sat}'ın dönemsel değişimi önemli bulunmuştur. ve dönem faktörü ve LAI'in NDVI_{gs} ve dönem ile olan interaksyonları önemli çıkmıştır. Önemli parametrelerle ($p < 0,05$) oluşturulan indirgenmiş dönemsel modeller aşağıda verilmektedir. Dönemsel eşitliklerle hesaplanan ve tahmin edilen önceki arazi kullanım alt-faktörü değerlerine arasındaki ilişkinin kök ortalama kare hatası (RMSE) 0,002 olarak bulunmuştur.

Dönemsel regresyon eşitlikleri – indirgenmiş modeller

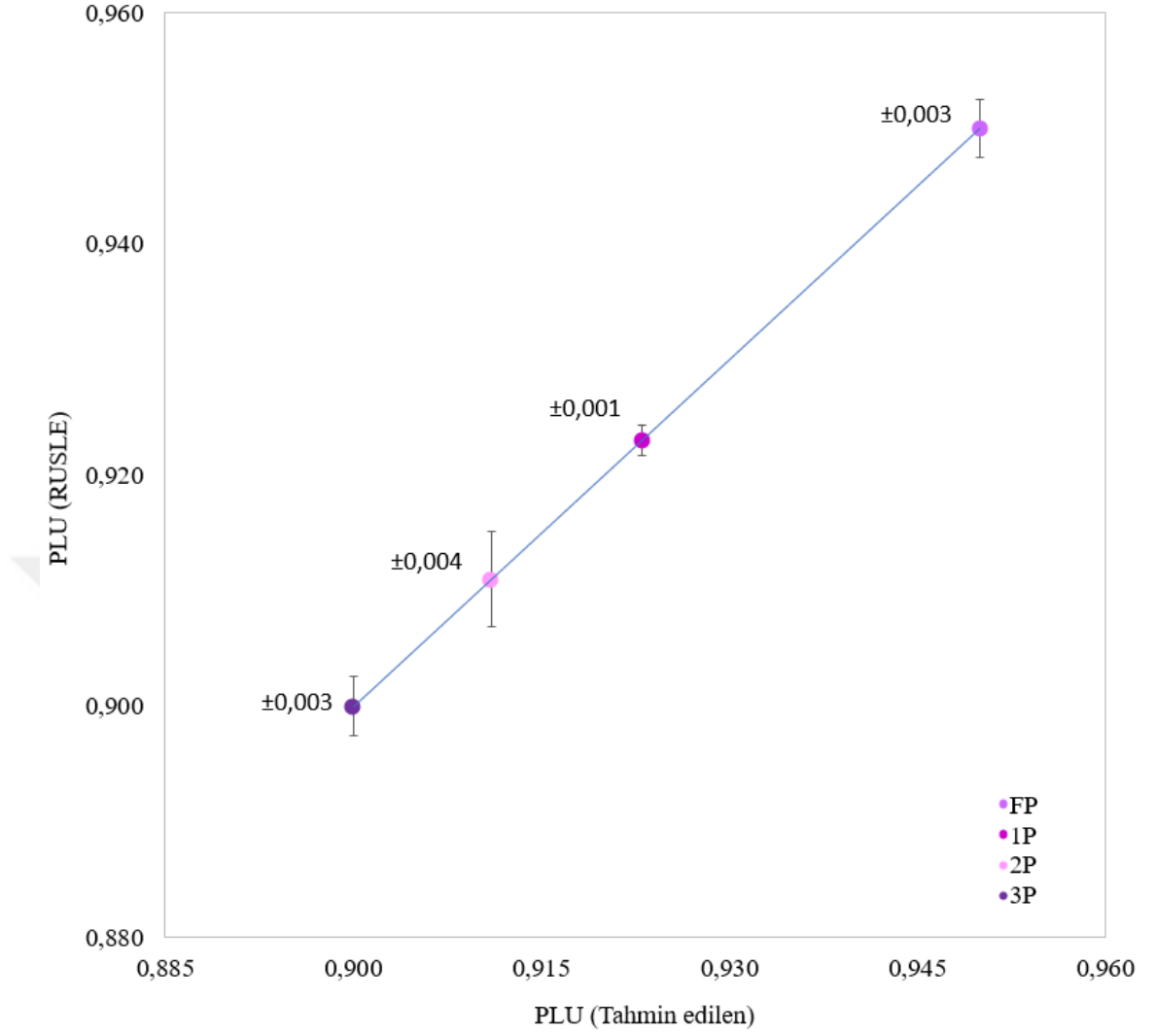
F dönemi: $PLU = 0,94720 - 0,0135NDVI_{gs} - 0,000632LAI + 0,0293NDVI_{sat}$

1. dönemi: $PLU = 0,92513 + 0,00077NDVI_{gs} - 0,000632LAI - 0,00258NDVI_{sat}$

2. dönemi: $PLU = 0,89918 + 0,01267NDVI_{gs} - 0,000632LAI + 0,00560NDVI_{sat}$

3. dönemi: $PLU = 0,90200 + 0,00513NDVI_{gs} - 0,000632LAI - 0,00870NDVI_{sat}$

$PLU_{RUSLE} = 0,9999PLU_t + 0,0001 R^2 = 0,9476, RMSE = 0,002$



Şekil 4.9 Ayçiçeği ekili alanlarda dönemsel eşitliklerle tahmin edilen PLU_t ve RUSLE modeli ile hesaplanan PLU ortalama değerleri arasındaki ilişki

$$SC = f(NDVI_{gs}, LAI, NDVI_{sat})$$

SC alt-faktörünün bitki indisleri ile tahmin edilmesi sonucu elde edilen doğrusal ilişkiye ait *Faktöriyel ANOVA* tablosu (Çizelge 4.18), dönemsel doğrusal eşitlikler aşağıda verilmiştir. Dönemsel eşitlikler ile tahmin edilen SC_t ve RUSLE modeli ile hesaplanan SC_{RUSLE} olan ilişkilerine ait ortalama değerler grafiği Şekil 4.10' de verilmiştir. Dönemsel eşitliklerle tahmin edilen ve RUSLE modeli ile hesaplanan SC alt-faktörleri arasındaki ilişkiye ait RMSE, 0,003 olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.18 Bitki indisleri ile elde edilen SC faktöriyel ANOVA tablosu

Parametre	df	Adj SS	Adj MS	F-değeri	P-değeri
Regresyon	31	5,756	0,186	17335,35	0,000
NDVI _{gs}	1	0,000	0,000	0,90	0,343
LAI	1	0,000	0,000	0,24	0,621
NDVI _{sat}	1	0,000	0,000	0,35	0,552
Dönem	3	0,001	0,000	32,31	0,000
NDVI _{gs} × LAI	1	0,000	0,000	0,29	0,591
NDVI _{gs} × NDVI _{sat}	1	0,000	0,000	0,73	0,394
LAI × NDVI _{sat}	1	0,000	0,000	0,23	0,632
NDVI _{gs} × Dönem	3	0,000	0,000	0,34	0,799
LAI × Dönem	3	0,000	0,000	1,03	0,380
NDVI _{sat} × Dönem	3	0,000	0,000	0,70	0,550
NDVI _{gs} × LAI × NDVI _{sat}	1	0,000	0,000	0,27	0,604
NDVI _{gs} × LAI × Dönem	3	0,000	0,000	0,47	0,702
NDVI _{gs} × NDVI _{sat} × Dönem	3	0,000	0,000	0,43	0,732
LAI × NDVI _{sat} × Dönem	3	0,000	0,000	0,97	0,405
NDVI _{gs} × LAI × NDVI _{sat} × Dönem	3	0,000	0,000	0,56	0,641
Hata	901	0,009	0,000		
Toplam	932	5,765			
Model: R ² = 0,9983 (adj)					

Dönem faktörü dışında hiçbir bağımsız değişken ve birbirleri ile olan interaksyonu önemli bulunmamıştır. Dönemsel tam modeller aşağıda verilmektedir.

Dönemsel regresyon eşitlikleri - tam modeller

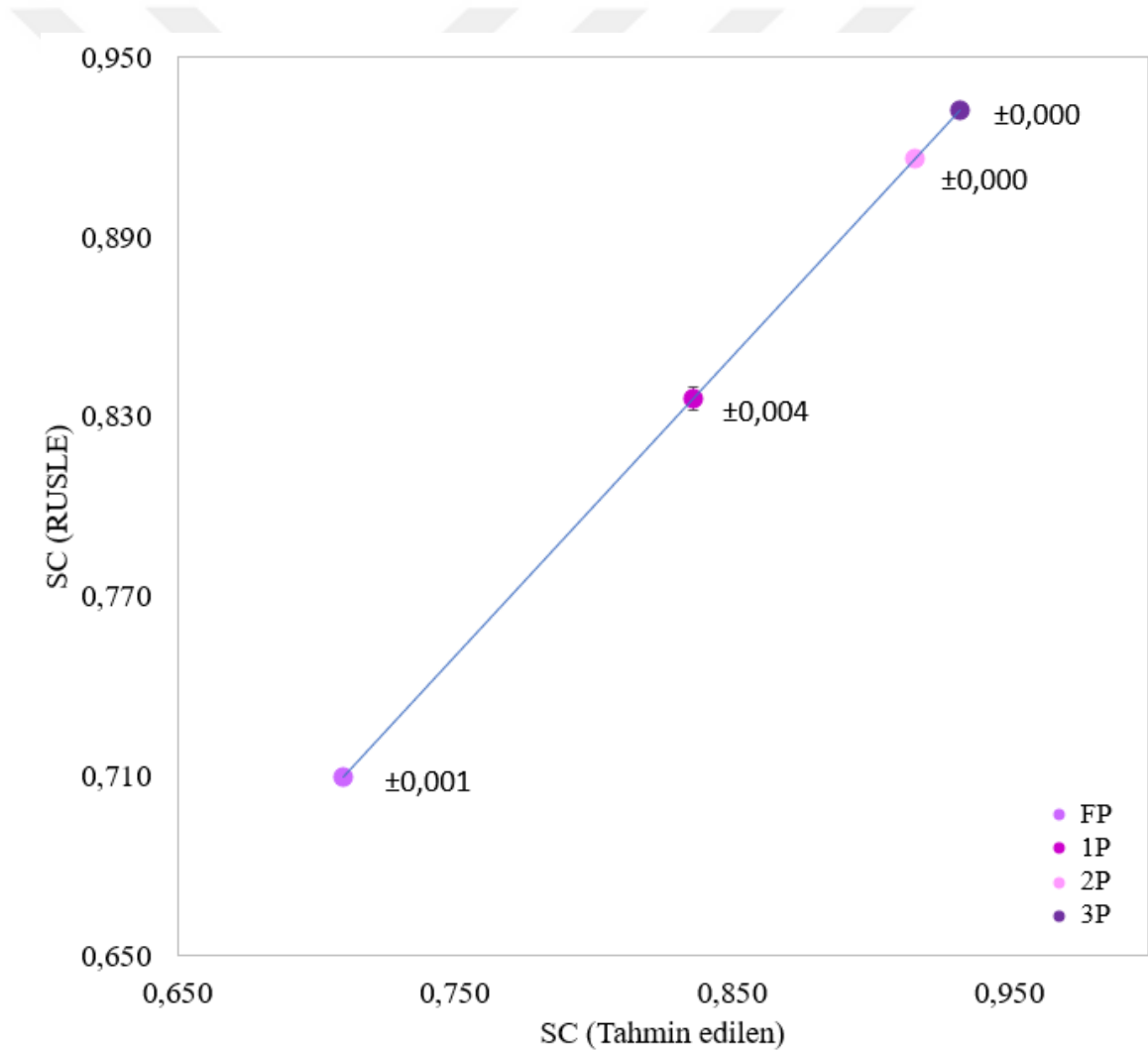
$$\begin{aligned} \text{F dönemi: } SC = & 0,6978 + 0,198NDVI_{gs} + 0,072LAI + 0,0076 NDVI_{sat} - \\ & 0,93 NDVI_{gs} \cdot LAI - 1,30 NDVI_{gs} \cdot NDVI_{sat} - 0,50LAI \cdot NDVI_{sat} + \\ & 6,4 NDVI_{gs} \cdot LAI \cdot NDVI_{sat} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{1.dönem: } SC = & 0,8809 - 0,0256NDVI_{gs} - 0,0807LAI - 0,1225 NDVI_{sat} + \\ & 0,090 NDVI_{gs} \cdot LAI + 0,107 NDVI_{gs} \cdot NDVI_{sat} + 0,13740LAI \cdot NDVI_{sat} - \\ & 0,1534 NDVI_{gs} \cdot LAI \cdot NDVI_{sat} \end{aligned}$$

2.dönem: $SC = 0,9097 + 0,01NDVI_{gs} + 0,0067LAI + 0,0083 NDVI_{sat} - 0,0097 NDVI_{gs} \cdot LAI - 0,013 NDVI_{gs} \cdot NDVI_{sat} - 0,0083LAI \cdot NDVI_{sat} + 0,012 NDVI_{gs} \cdot LAI \cdot NDVI_{sat}$

3.dönem: $SC = 0,9311 + 0,0025NDVI_{gs} - 0,0004LAI + 0,0025 NDVI_{sat} + 0,005 NDVI_{gs} \cdot LAI - 0,003 NDVI_{gs} \cdot NDVI_{sat} + 0,002LAI \cdot NDVI_{sat} - 0,021 NDVI_{gs} \cdot LAI \cdot NDVI_{sat}$

$SC_{RUSLE} = 1,0008SC_t + 0,00063 R^2 = 0,9983, RMSE = 0,003$



Şekil 4.10 Ayçiçeği ekili alanlarda dönemsel eşitliklerle tahmin edilen SC_t ve RUSLE modeli ile hesaplanan SC ortalama değerleri arasındaki ilişki

$$CC = f(NDVI_{gs}, LAI, NDVI_{sat})$$

CC alt-faktörünün bitki indisleri ile tahmin edilmesi sonucu elde edilen doğrusal ilişkiye ait *Faktöriyel ANOVA* tablosu (Çizelge 4.19) ve indirgenmiş dönemsel doğrusal eşitlikler aşağıda verilmiştir. Dönemsel eşitlikler ile tahmin edilen CC_t ve RUSLE modeli ile hesaplanan CC_{RUSLE} olan ilişkilerin ortalama değerleri Şekil 4.11’ da verilmiştir.

Çizelge 4.19 Bitki indisleri ile elde edilen CC faktöriyel ANOVA tablosu

Parametre	df	Adj SS	Adj MS	F-değeri	P-değeri
Regresyon	12	0,432	0,031	7,77	0,000
NDVI_{gs}	1	0,049	0,049	12,31	0,000
LAI	1	0,006	0,006	1,57	0,044
NDVI_{sat}	1	0,019	0,019	4,70	0,031
Dönem	2	0,015	0,008	1,88	0,127
LAI × NDVI_{sat}	1	0,007	0,007	1,71	0,019
LAI × Dönem	2	0,046	0,023	5,77	0,003
NDVI_{sat} × Dönem	2	0,029	0,015	3,65	0,006
LAI × NDVI_{sat} × Dönem	2	0,055	0,028	6,97	0,001
Hata	515	2,037	0,004		
Toplam	527	2,469			
Model R ² : 0,2296 (adj)					

Bitki indislerinden NDVI_{gs}, LAI ve NDVI_{sat} ana etki olarak önemlidir. Dönem faktörü önemli bulunmamıştır. LAI × Dönem, LAI × NDVI_{sat}, NDVI_{sat} × Dönem ve LAI × NDVI_{sat} × Dönem interaksiyonları $p < 0,01$ düzeyinde önemli çıkmıştır. Önemli parametrelerle oluşturulan indirgenmiş dönemsel modeller aşağıdadır. Dönemsel eşitliklerle hesaplanan CC alt-faktörü ile RUSLE modeli ile hesaplanan CC alt-faktörü ilişkisine ait RMSE = 0,106 olarak bulunmuştur. İlk dönem CC = 1,000 olduğundan modele dahil edilmemiştir.

Dönemsel regresyon eşitlikleri – indirgenmiş modeller

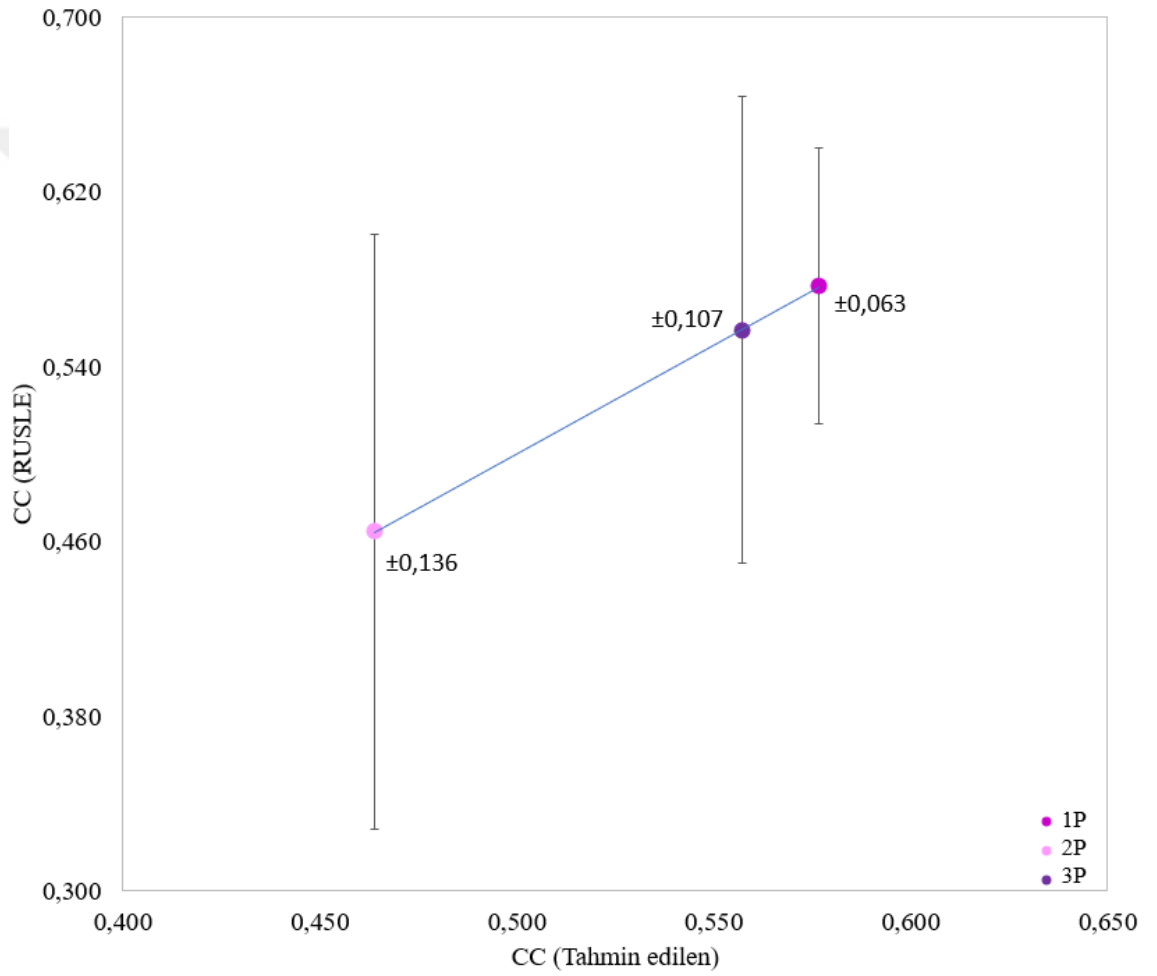
F dönemi: $CC = 1,000$

1. *Dönem*: $CC = 0,568 - 0,4548NDVI_{gs} + 0,1945LAI + 0,598NDVI_{sat} - 0,348LAI \cdot NDVI_{sat}$

2. Dönem: $CC = 0,198 - 0,4548NDVI_{gs} + 0,215LAI + 0,716NDVI_{sat} - 0,269LAI \cdot NDVI_{sat}$

3. Dönem: $CC = 0,830 - 0,4548NDVI_{gs} - 0,421LAI - 0,676NDVI_{sat} + 1,590LAI \cdot NDVI_{sat}$

$CC_{RUSLE} = 0,00102 + 0,9987CC_t$ $R^2 = 0,270$, $RMSE = 0,106$



Şekil 4.11 Ayçiçeği ekili alanlarda dönemsel eşitliklerle tahmin edilen CC_t ve RUSLE modeli ile hesaplanan CC değerleri arasındaki ilişki

$$SM = f(NDVI_{gs}, LAI, NDVI_{sat})$$

SM alt-faktörünün bitki indisleri ile tahmin edilmesi sonucu elde edilen doğrusal ilişkiye ait *Faktöriyel ANOVA* tablosu (Çizelge 4.20) ve indirgenmiş dönemsel doğrusal eşitlikler aşağıda verilmiştir. Dönemsel eşitlikler ile tahmin edilen SM_t ve RUSLE modeli ile hesaplanan SM_{RUSLE} ortalama değerler grafiği Şekil 4.12’ de verilmiştir.

Çizelge 4.20 Bitki indisleri ile elde edilen SM faktöriyel ANOVA tablosu

Parametre	DF	ADJ SS	ADJ MS	F-değeri	P-değeri
Regresyon	12	24,022	2,002	149,75	0,000
NDVI _{gs}	1	0,025	0,025	1,86	0,173
LAI	1	0,073	0,073	5,45	0,020
NDVI _{sat}	3	0,201	0,201	15,05	0,000
Dönem	3	0,770	0,257	19,20	0,000
NDVI _{gs} × Dönem	3	0,355	0,118	8,84	0,000
NDVI _{sat} × Dönem	920	0,189	0,063	4,72	0,003
Hata	932	12,298	0,013		
Toplam		36,321			
Model R ² : 0,6570 (adj)					

NDVI_{gs} ana etki olarak önemli bulunmazken dönem ile interaksyonu önemli bulunmuştur. LAI ve NDVI_{sat} ana etki olarak önemlidir. NDVI_{sat}’ın dönemsel değişimi önemlidir. Dönemsel eşitliklerle ve RUSLE modeli ile hesaplanan SM değerleri arasındaki ilişkiye ait RMSE, 0,115 olarak bulunmuştur.

Dönemsel regresyon eşitlikleri – indirgenmiş modeller

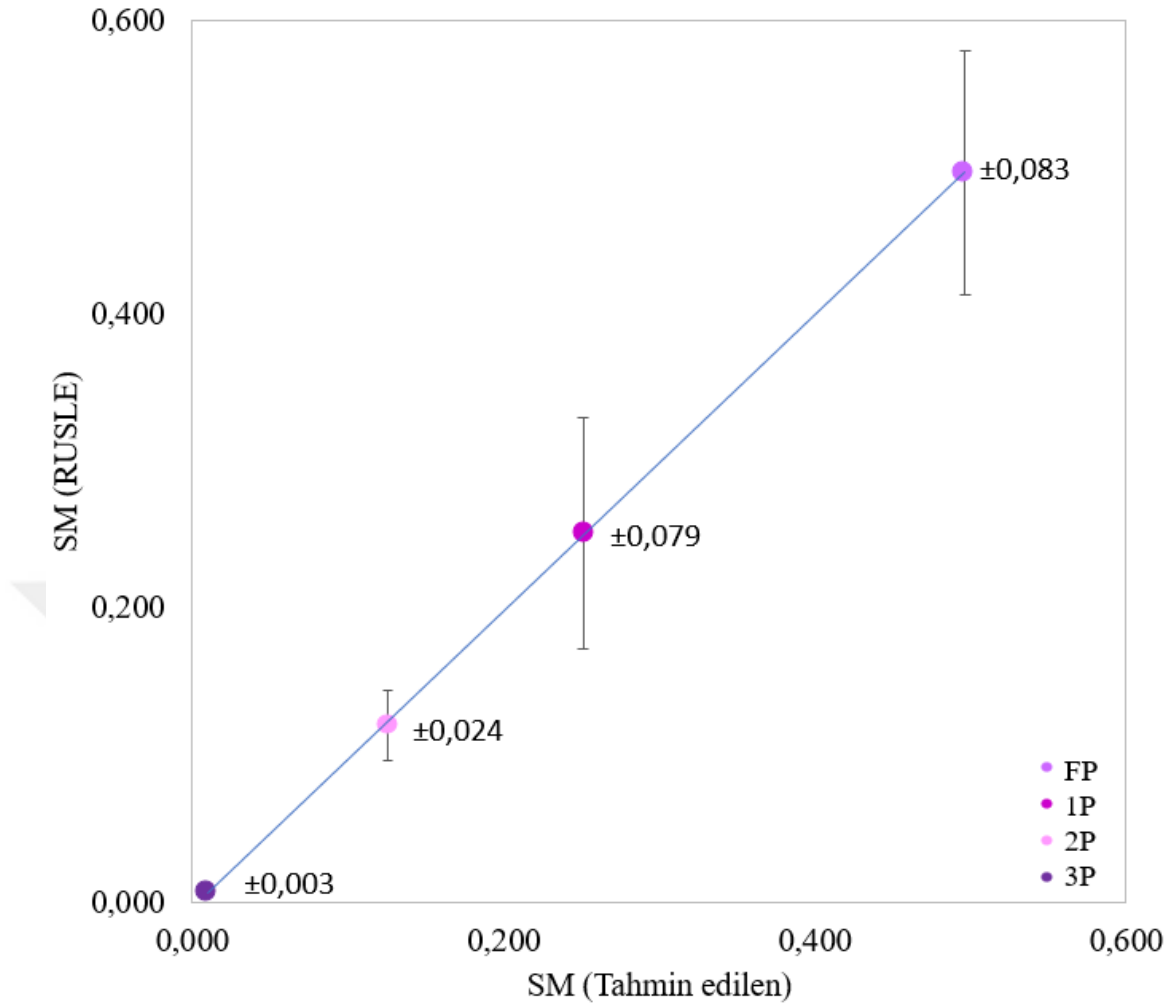
$$F \text{ dönemi: } SM = 0,7668 - 0,672NDVI_{gs} - 0,02214LAI - 1,578NDVI_{sat}$$

$$1. \text{ Dönem: } SM = 0,7416 - 0,6004NDVI_{gs} - 0,02214LAI - 0,0256NDVI_{sat}$$

$$2. \text{ Dönem: } SM = 0,199 + 0,476NDVI_{gs} - 0,02214LAI - 0,099NDVI_{sat}$$

$$3. \text{ Dönem: } SM = 0,0296 - 0,022NDVI_{gs} - 0,02214LAI - 0,015NDVI_{sat}$$

$$SM_{RUSLE} = 0,9198SM_t^{0,9894} \quad R^2 = 0,8410, \quad RMSE = 0,115$$



Şekil 4.12 Ayçiçeği ekili alanlarda dönemsel eşitliklerle tahmin edilen SM_t ve RUSLE modeli ile hesaplanan SM değerleri arasındaki ilişki

$$\underline{SR = f(NDVI_{gs}, LAI, NDVI_{sat})}$$

SR alt-faktörünün bitki indisleri ile tahmin edilmesi sonucu elde edilen doğrusal ilişkiye ait *Faktöriyel ANOVA* tablosu (Çizelge 4.21) ve indirgenmiş dönemsel doğrusal eşitlikler aşağıda verilmiştir. Dönemsel eşitlikler ile tahmin edilen SR_t ve RUSLE modeli ile hesaplanan SR_{RUSLE} ile olan ilişkilerin ortalama değerler grafiği Şekil 4.13’de verilmiştir.

Çizelge 4.21 Bitki indisleri ile elde edilen SR faktöriyel ANOVA tablosu

Adımsal model	DF	ADJ SS	ADJ MS	F-değeri	P-değeri
Regresyon	8	2,290	0,286	455,58	0,000
LAI	1	0,006	0,006	8,99	0,003
NDVI_{sat}	1	0,037	0,037	58,37	0,000
Dönem	3	0,078	0,026	41,48	0,000
NDVI_{sat} × Dönem	3	0,034	0,011	17,87	0,000
Hata	924	0,581	0,001		
Toplam	932	2,870			
Model R ² : 0,7960 (adj)					

SR alt-faktörünün tahmin edilmesinde Dönem faktörü, LAI ve NDVI_{sat} indisleri ile NDVI_{sat}'ın dönem faktörü ile olan interaksyonu önemli bulunmuştur. Dönemsel eşitliklerle elde edilen ve RUSLE modeli ile elde edilen SR alt-faktörleri arasındaki ilişkinin RMSE değeri 0,025 olarak hesaplanmıştır.

Dönemsel regresyon eşitlikleri – indirgenmiş modeller

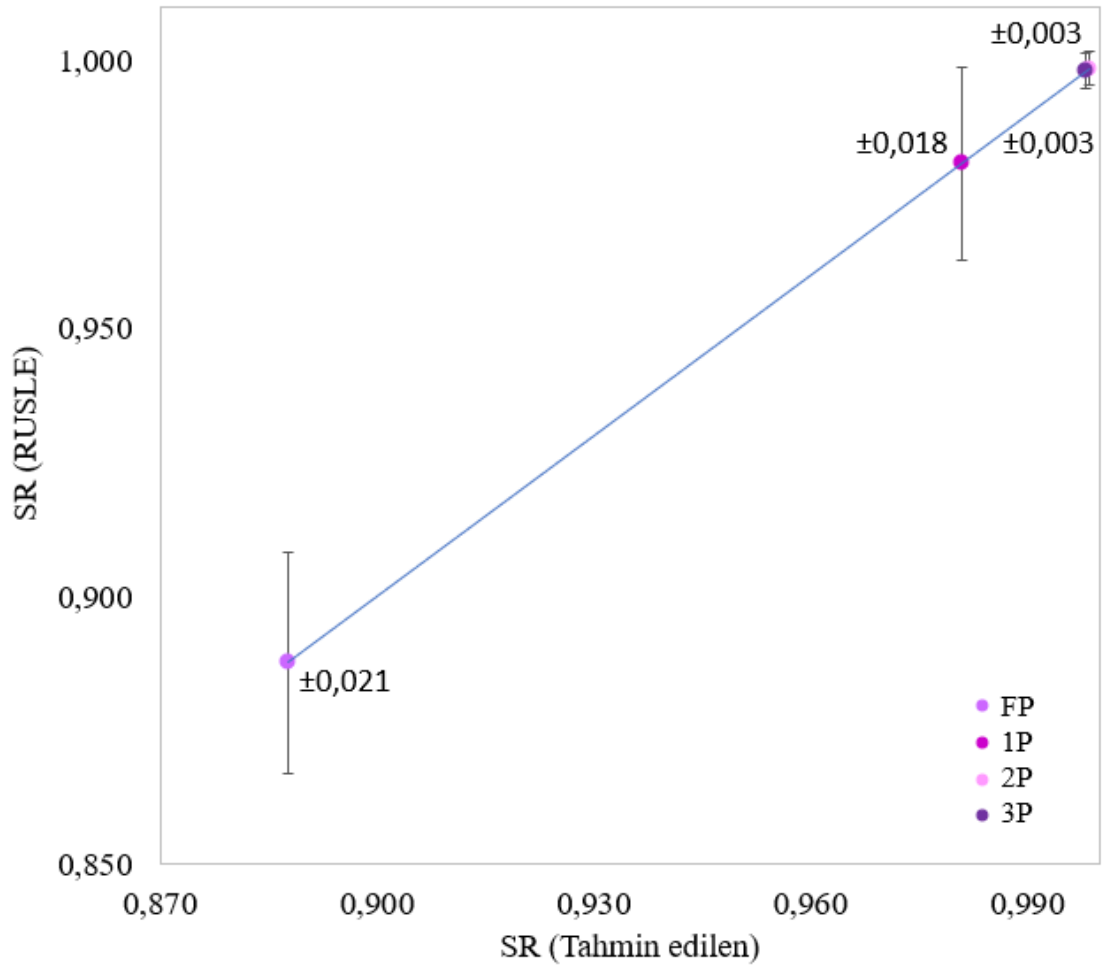
F Dönemi: $SR = 0,7965 + 0,00607LAI + 0,6697NDVI_{sat}$

1. *Dönemi*: $SR = 0,8882 + 0,00607LAI + 0,1310NDVI_{sat}$

2. *Dönem*: $SR = 0,9777 + 0,00607LAI + 0,0152NDVI_{sat}$

3. *Dönem*: $SR = 0,9877 + 0,00607LAI + 0,0227NDVI_{sat}$

$$SR_{RUSLE} = 1,00002SR_t + 0,00004 R^2 = 0,7978, RMSE = 0,025$$



Şekil 4.13 Ayçiçeği ekili alanlarda dönemsel eşitliklerle tahmin edilen SR_t ve RUSLE modeli ile hesaplanan SR ortalama değerleri arasındaki ilişki

Tüm alt-faktörlerin tahmin edilmesinde, regresyon eşitlikleri bitki indislerinin ve dönem faktörünün ana etkileri ve bunların interaksiyonları dahil olacak şekilde yazılmıştır. Ayçiçeği bitkisi için yapılan ölçüm ve hesaplamalar parseller arasında aynı dönemde olduğundan toplamda 4 dönem üzerinden değerlendirilirken buğday parselleri mevsimsel yağış, arazi çıkış tarihleri vb.gibi durumlardan ötürü ölçüm ve okuma tarihleri ilk iki dönem için farklılık göstermiştir. 1. parselin ilk dönem ölçümleri F döneminde; 2 ve 3. parsellerin ilk dönem ölçümleri ise 0 döneminde yapılmıştır. 1. dönemde 1. ve 2. parselin, 2. dönemde ise, 3. parselin ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Son dönem ölçümleri ise tüm parseller için aynı olmuştur (3P). Fakat buna rağmen, blok etkisini de göz önünde bulundurmak kaydıyla toplam 3 dönem üzerinden indirgenmiş modeller oluşturulmuştur.

$$PLU = f(NDVI_{gs}, LAI, NDVI_{sat})$$

PLU alt-faktörü ile bitki indisleri arasındaki doğrusal ilişkiye ait varyans tablosu (Çizelge 4.22) ve dönemsel eşitlikler aşağıda verilmiştir. Dönemsel eşitlikler ile tahmin edilen PLU (PLU_t) ile hesaplanan PLU (PLU_{RUSLE}) ilişkisine ait ortalama değerler grafiği Şekil 4.14’ de verilmiştir.

Çizelge 4.22 Bitki indisleri ile elde edilen PLU faktöriyel ANOVA tablosu

Parametre	df	Adj SS	Adj MS	F-değeri	P-değeri
Regresyon	11	1,163	0,106	2864,69	0,000
NDVI_{gs}	1	0,000	0,000	5,40	0,020
LAI	1	0,000	0,000	0,37	0,545
NDVI_{sat}	1	0,408	0,408	11069,27	0,000
Dönem	2	0,117	0,059	1584,58	0,000
NDVI_{gs} × Dönem	2	0,000	0,000	3,00	0,050
LAI × Dönem	2	0,000	0,000	2,36	0,094
NDVI_{sat} × Dönem	2	0,315	0,158	4272,76	0,000
Hata	1219	0,045	0,000		
Toplam	1230	1,208			
Model R ² : 0,9624 (adj [*])					

Bitki indislerinden NDVI (yersel ve uydu) ve Dönem faktörü ana etkileri ve dönem ile interaksiyonları önemli bulunmuştur. Buna göre elde edilen indirgenmiş dönemsel regresyon eşitlikleri aşağıda verilmektedir. Dönemsel eşitliklerle tahmin edilmiş olan PLU ile RUSLE modeli ile hesaplanan PLU ilişkisi arasındaki RMSE, 0,006 olarak bulunmuştur.

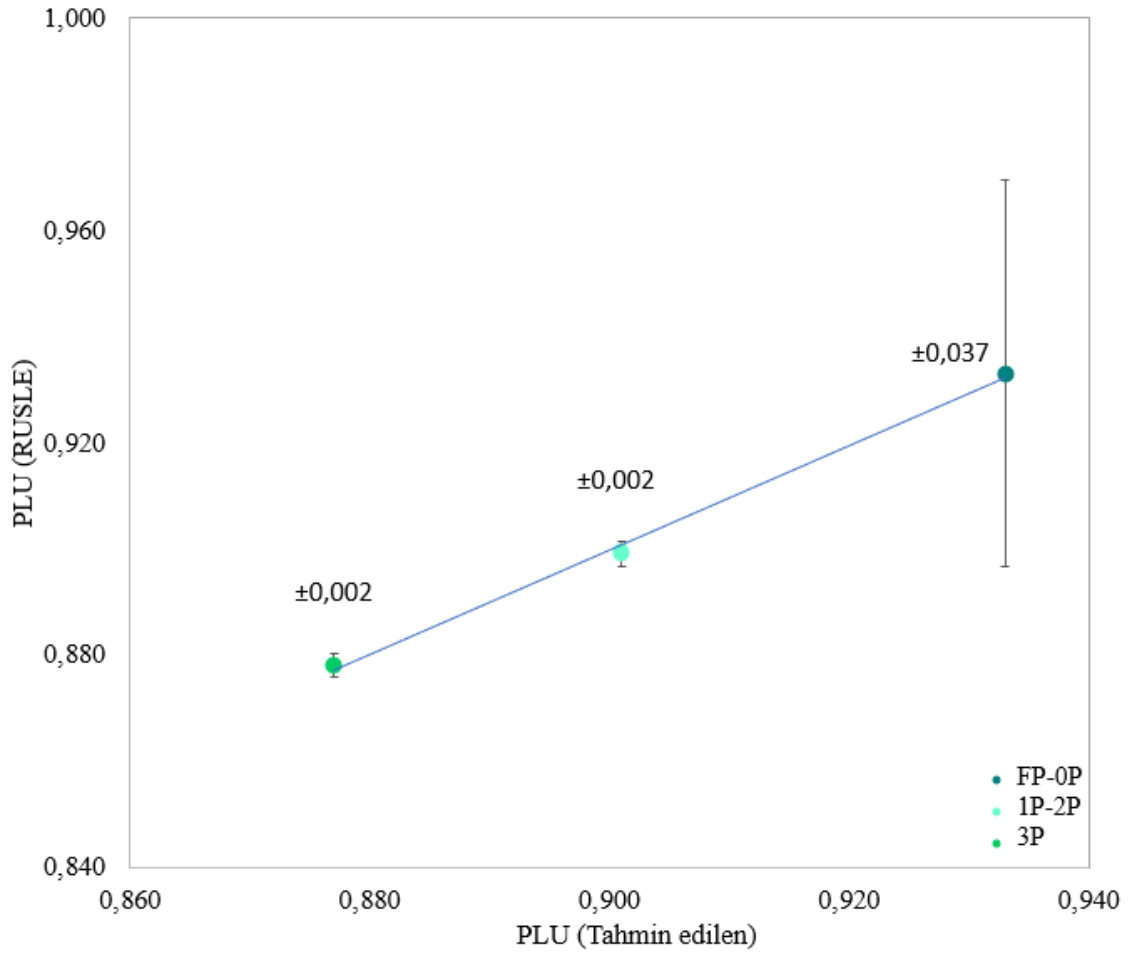
Dönemsel regresyon eşitlikleri – indirgenmiş modeller

F - 0 dönemi: $PLU = 1,056 - 0,077NDVI_{gs} - 0,480NDVI_{sat}$

1 - 2. Dönem: $PLU = 0,894 + 0,004NDVI_{gs} + 0,007NDVI_{sat}$

3. dönem: $PLU = 0,874 - 0,007NDVI_{gs} + 0,009NDVI_{sat}$

$$PLU_{RUSLE} = 0,9927PLU_t + 0,0064 \quad R^2 = 0,9618, \quad RMSE = 0,006$$



Şekil 4.14 Buğday ekili alanlarda dönemsel eşitliklerle tahmin edilen PLU_t ve RUSLE modeli ile hesaplanan PLU ortalama değerleri arasındaki ilişki

$$SC = f(NDVI_{gs}, LAI, NDVI_{sat})$$

SC alt-faktörünün bitki indisleri ile tahmin edilmesi sonucu elde edilen doğrusal ilişkiye ait *Faktöriyel ANOVA* tablosu (Çizelge 4.23) ve indirgenmiş dönemsel doğrusal eşitlikler aşağıda verilmiştir. Dönemsel eşitlikler ile tahmin edilen SC_t ve RUSLE modeli ile hesaplanan SC_{RUSLE} olan ilişkilere ait ortalama değerler grafiği Şekil 4.15’de verilmiştir.

Çizelge 4.23 Bitki indisleri ile elde edilen SC faktöriyel ANOVA tablosu

Parametre	df	Adj SS	Adj MS	F-değeri	P-değeri
Regresyon	14	58,270	4,162	2374,36	0,000
NDVI _{gs}	1	0,003	0,003	1,75	0,187
LAI	1	0,000	0,000	0,12	0,732
NDVI _{sat}	1	8,416	8,416	4801,21	0,000
Dönem	2	0,407	0,203	115,97	0,000
NDVI _{gs} × LAI	1	0,011	0,011	5,97	0,015
NDVI _{gs} × NDVI _{sat}	1	0,015	0,015	8,37	0,004
LAI × NDVI _{sat}	1	0,005	0,005	2,75	0,098
NDVI _{gs} × Dönem	2	0,013	0,006	3,64	0,027
LAI × Dönem	2	0,011	0,005	3,08	0,046
NDVI _{sat} × Dönem	2	4,941	2,417	1409,32	0,000
Hata	1215	2,130	0,002		
Toplam	1229	60,400			
Model R ² : 0,9643 (adj)					

NDVI_{gs} ve LAI'nın hem ana etkileri önemli değil iken dönemsel değişimleri (dönemle olan interaksiyonları) önemli bulunmuştur. NDVI_{sat} ana etkisi, dönem ve NDVI_{gs} ile olan interaksiyonları önemlidir. Dönemsel eşitliklerle tahmin edilmiş olan SC ile RUSLE modeli ile hesaplanan SC tahmin edilmiş ve RMSE = 0,045 olarak bulunmuştur. Şekil 4.15' da ise dönemsel ortalama değerler ile SC-SC_t arasındaki ilişki gösterilmiştir ve ortalama değerler için hesaplanan eşitlik verilmiştir.

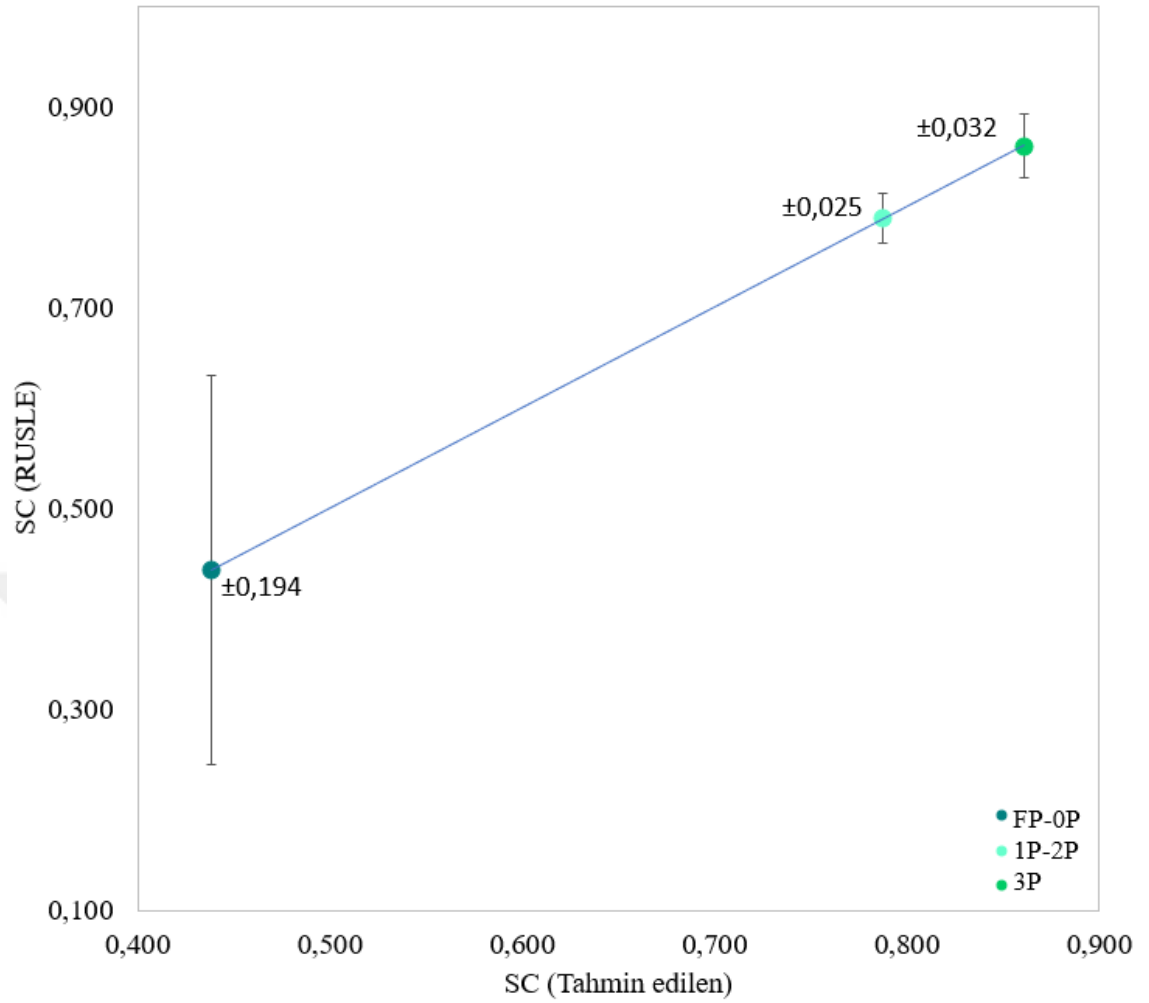
Dönemsel regresyon eşitlikleri – indirgenmiş modeller

$$\text{0 ve 1 dönemi: } SC = 1,0856 - 0,308NDVI_{gs} - 0,0208LAI - 2,5069NDVI_{sat} - 0,056NDVI_{gs} \cdot LAI - 0,590NDVI_{gs} \cdot NDVI_{sat} + 0,0482LAI \cdot NDVI_{sat}$$

$$\text{1 ve 2. dönem: } SC = 0,610 + 0,336NDVI_{gs} + 0,0338LAI + 0,254NDVI_{sat} - 0,056NDVI_{gs} \cdot LAI - 0,590NDVI_{gs} \cdot NDVI_{sat} + 0,0482LAI \cdot NDVI_{sat}$$

$$\text{3. dönem: } SC = 0,6741 + 0,317NDVI_{gs} - 0,0062LAI + 0,5116NDVI_{sat} - 0,056NDVI_{gs} \cdot LAI - 0,590NDVI_{gs} \cdot NDVI_{sat} + 0,0482LAI \cdot NDVI_{sat}$$

$$SC_{RUSLE} = 1,0002SC_t - 0,00001 R^2 = 0,9647, RMSE = 0,045$$



Şekil 4.15 Buğday ekili alanlarda dönemsel eşitliklerle tahmin edilen SC_t ve RUSLE modeli ile hesaplanan SC ortalama değerleri arasındaki ilişki

$$CC = f(NDVI_{gs}, LAI, NDVI_{sat})$$

CC alt-faktörünün bitki indisleri ile tahmin edilmesi sonucu elde edilen doğrusal ilişkiye ait *Faktöriyel ANOVA* tablosu (Çizelge 4.24) ve indirgenmiş dönemsel doğrusal eşitlikler aşağıda verilmiştir. Dönemsel eşitlikler ile tahmin edilen CC_t ve RUSLE modeli ile hesaplanan CC_{RUSLE} olan ilişkilerin ortalama değerler grafiği Şekil 4.16'da verilmiştir.

Çizelge 4.24 Bitki indisleri ile elde edilen CC faktöriyel ANOVA tablosu

Parametre	df	Adj SS	Adj MS	F-değeri	P-değeri
Regresyon	15	0,804	0,053	82,90	0,000
NDVI _{gs}	1	0,000	0,000	0,45	0,502
LAI	1	0,001	0,001	1,09	0,297
NDVI _{sat}	1	0,001	0,001	2,11	0,146
Dönem	1	0,001	0,001	1,81	0,178
NDVI _{gs} × LAI	1	0,001	0,001	1,04	0,308
NDVI _{gs} × NDVI _{sat}	1	0,000	0,000	0,43	0,512
LAI × NDVI _{sat}	1	0,001	0,001	0,85	0,357
NDVI_{gs} × Dönem	1	0,004	0,004	5,42	0,020
LAI × Dönem	1	0,000	0,000	0,21	0,648
NDVI _{sat} × Dönem	1	0,001	0,001	1,51	0,219
NDVI _{gs} × LAI × NDVI _{sat}	1	0,001	0,001	0,81	0,368
NDVI _{gs} × LAI × Dönem	1	0,000	0,000	0,02	0,886
NDVI_{gs} × NDVI_{sat} × Dönem	1	0,003	0,003	4,44	0,035
LAI × NDVI _{sat} × Dönem	1	0,000	0,000	0,59	0,445
NDVI _{gs} × LAI × NDVI _{sat} × Dönem	1	0,000	0,000	0,14	0,709
Hata	800	0,517	0,001		
Toplam	815	1,321			
Model R ² : 0,6012 (adj)					

CC'nin tahmin edilmesinde NDVI_{gs} × Dönem ve NDVI_{gs} × NDVI_{sat} × Dönem interaksyonu önemlidir. Dönem faktörü önemli çıkmamıştır. Hesaplanan ve tahmin edilen CC alt-faktörleri arasındaki doğrusal ilişkiye ait RMSE, 0,217 olarak bulunmuştur. Grafikte ilk dönem kanopi oluşumu gözlemlenmediğinden CC = 1' dir ve bu yüzden son iki döneme ait modeller geliştirilmiştir ve Şekil 4.16'daki grafikte de ortalama değerler ve standart sapmaları verilmiştir.

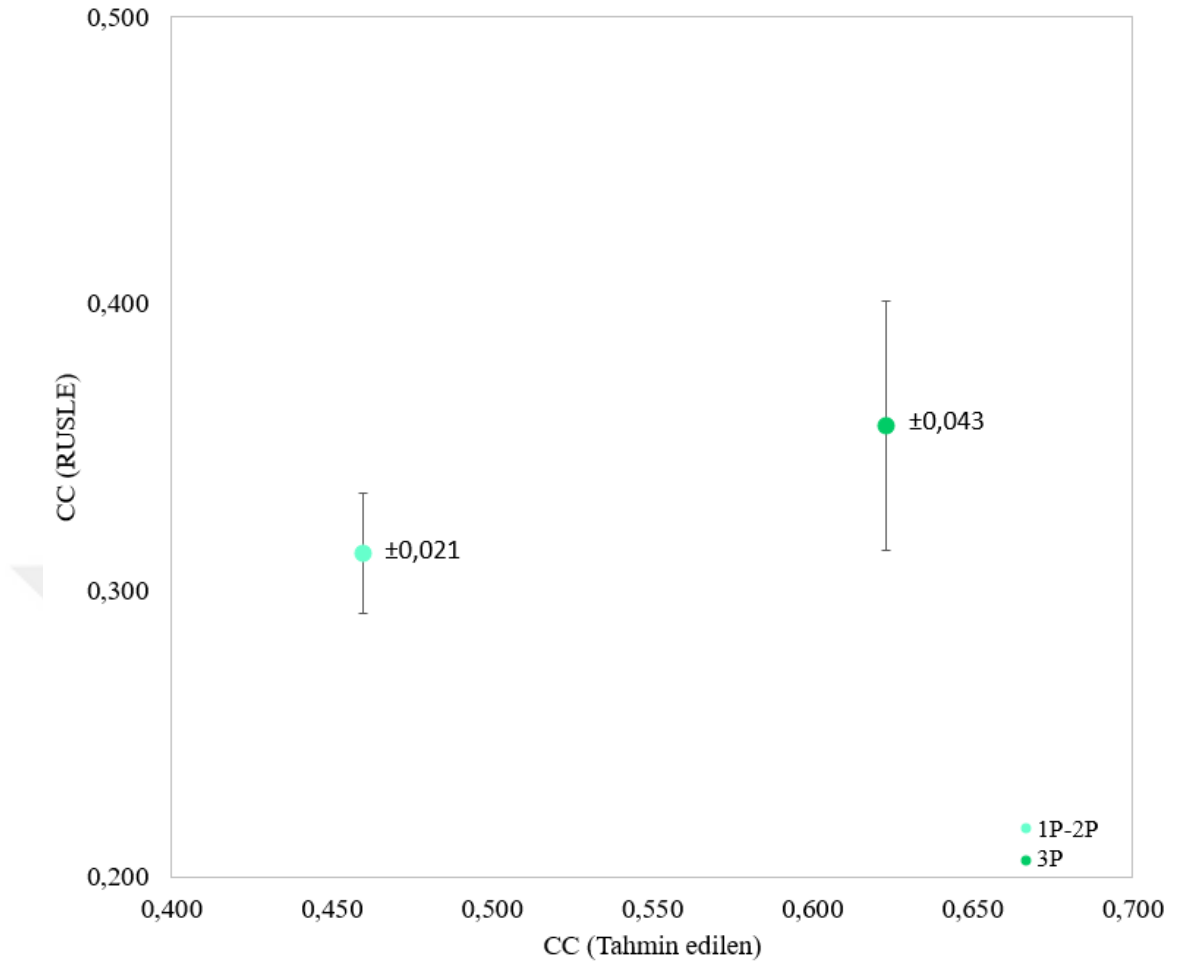
Dönemsel regresyon eşitlikleri – indirgenmiş modeller

F - 0 dönemi: CC = 1

1 - 2. dönem: CC = 0,4579 - 0,099NDVI_{gs} + 0,164NDVI_{gs} · NDVI_{sat}

3. dönem: CC = 0,666 - 2,52NDVI_{gs} + 6,55NDVI_{gs} · NDVI_{sat}

$$CC_{RUSLE} = 0,2913CC_t + 0,1775 R^2 = 0,4215, RMSE = 0,217$$



Şekil 4.16 Buğday ekili alanlarda dönemsel eşitliklerle tahmin edilen CC_t ve RUSLE modeli ile hesaplanan CC değerleri arasındaki ilişki

$$\underline{SM = f(NDVI_{gs}, LAI, NDVI_{sat})}$$

SM alt-faktörü ile bitki indisleri arasındaki doğrusal ilişkiye ait varyans tablosu (Çizelge 4.25) ve dönemsel eşitlikler aşağıda verilmiştir. Dönemsel eşitlikler ile tahmin edilen SM (SM_t) ile hesaplanan SM (SM_{RUSLE}) olan ilişkilere ait ortalama değerler grafiği Şekil 4.17' de verilmiştir.

Çizelge 4.25 Bitki indisleri ile elde edilen SM faktöriyel ANOVA tablosu

Parametre	df	Adj SS	Adj MS	F-değeri	P-değeri
Regresyon	14	30,032	2,145	204,00	0,000
NDVI _{gs}	1	0,014	0,000	0,02	0,888
LAI	1	0,093	0,014	1,35	0,246
NDVI _{sat}	1	0,277	0,093	8,82	0,003
Dönem	2	0,072	0,139	13,17	0,000
NDVI _{gs} × LAI	1	0,150	0,072	6,84	0,009
NDVI _{gs} × NDVI _{sat}	1	0,033	0,149	14,21	0,000
LAI × NDVI _{sat}	1	0,043	0,033	3,09	0,079
NDVI _{gs} × Dönem	2	0,083	0,022	2,06	0,128
LAI × Dönem	2	0,123	0,042	3,96	0,019
NDVI _{sat} × Dönem	2	12,787	0,062	5,87	0,003
Hata	1216	42,819	0,011		
Toplam	1230				
Model R ² : 0,6979 (adj)					

Bitki indislerinden yalnızca NDVI_{sat} ve dönem faktörü ana etki olarak önemli bulunuren NDVI_{gs} ve LAI önemli bulunmamıştır. NDVI_{gs} × LAI, NDVI_{gs} × NDVI_{sat}, LAI × Dönem, NDVI_{sat} × Dönem interaksiyonları önemlidir. $P < 0,05$ düzeyinde olan parametre ve interaksiyonlarla oluşturulan indirgenmiş modeller aşağıda verilmiştir (RMSE = 0,505).

Dönemsel regresyon eşitlikleri – indirgenmiş modeller

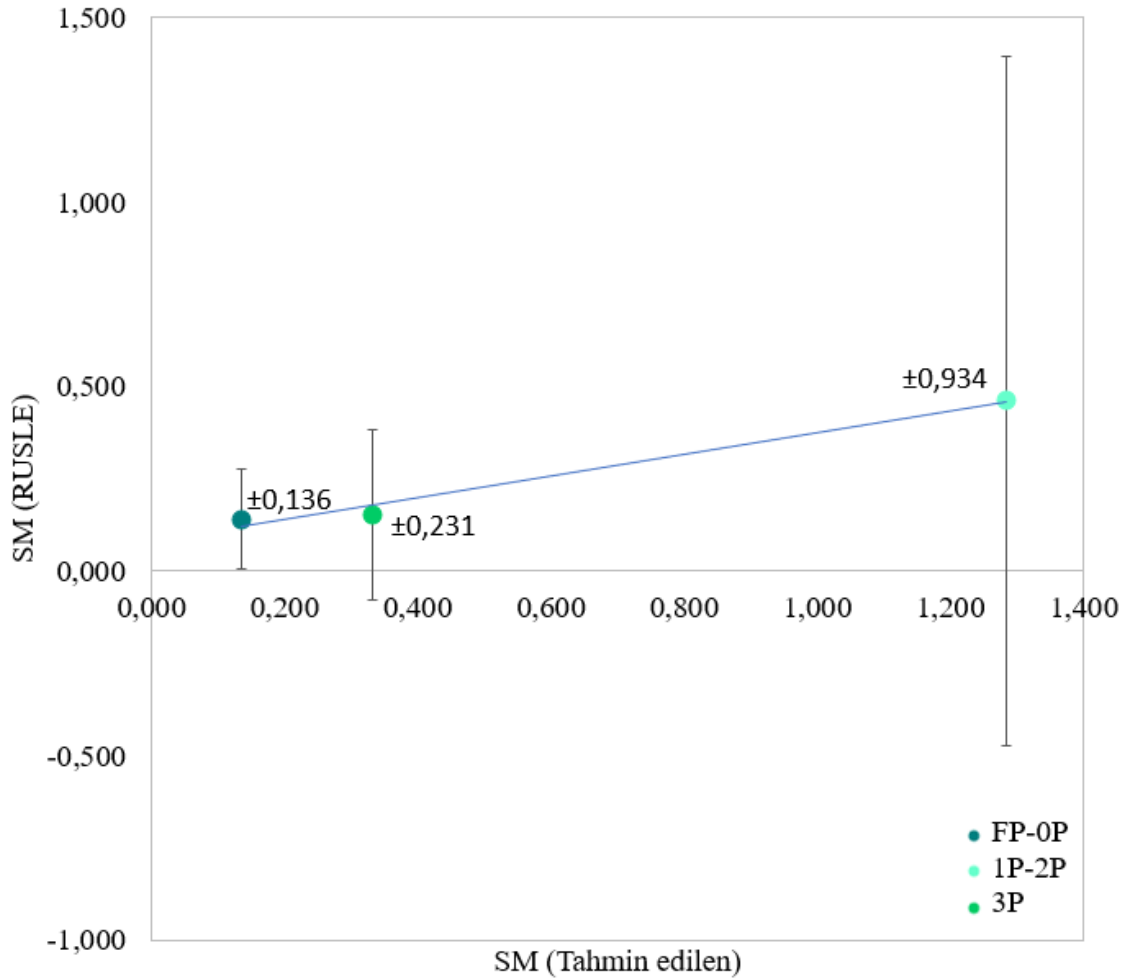
$$\text{F - 0 dönem: } SM = 0,0255 + 0,173LAI + 0,2632NDVI_{sat} + 0,1467NDVI_{gs} \cdot LAI + 1,881NDVI_{gs} \cdot NDVI_{sat}$$

$$\text{1 - 2. dönem: } SM = 0,995 - 0,0918LAI - 0,779NDVI_{sat} + 0,1467NDVI_{gs} \cdot LAI + 1,881NDVI_{gs} \cdot NDVI_{sat}$$

$$\text{3. dönem: } SM = 0,2428 + 0,0119LAI - 0,049NDVI_{sat} + 0,1467NDVI_{gs} \cdot LAI + 1,881NDVI_{gs} \cdot NDVI_{sat}$$

$$SM_{RUSLE} = 0,1094e^{1,050SM_t} \quad R^2 = 0,6965, \quad RMSE = 0,505$$

Eşitliklerle tahmin edilen toprak nemi alt-faktöründe, 1 ve 2 döneme denk düşen değerler 1,000 değerinin üzerinde gözlemlenmiştir. Bu yüzden SM_t ye ait standart sapma değerleri büyüktür ve daha geniş bir aralıkta yayılım göstermesine sebebiyet vermiştir.



Şekil 4.17 Buğday ekili alanlarda dönemsel eşitliklerle tahmin edilen SM_t ve RUSLE modeli ile hesaplanan SM değerleri arasındaki ilişki

$$SR = f(NDVI_{gs}, LAI, NDVI_{sat})$$

SR alt-faktörü ile bitki indisleri arasındaki doğrusal ilişkiye ait varyans tablosu (Çizelge 4.26) ve dönemsel eşitlikler aşağıda verilmiştir. Dönemsel eşitlikler ile tahmin edilen SR (SR_t) ile hesaplanan SR (SR_{RUSLE}) olan ilişkileri Şekil 4.18’ de verilmiştir.

Çizelge 4.26 Bitki indisleri ile elde edilen SR faktöriyel ANOVA tablosu

Parametre	df	Adj SS	Adj MS	F-değeri	P-değeri
Regresyon	1	3,865	3,865	3661,54	0,000
NDVI_{sat}	1	3,865	3,865	3661,54	0,000
Hata	413	0,36	0,001		
Toplam	414	4,301			
Model R ² : 0,8986					

Buğday bitkisi ekili alanlarda yalnızca ilk dönem yani F ve 0 dönemlerini kapsayan dönem için eşitlik geliştirilmiştir. Çünkü diğer dönemlerde bitki örtüsü tam kapalılık gösterdiğinden ötürü SR değerleri 1'e eşittir. SR alt-faktörünün elde edilmesinde yalnızca NDVI_{sat} ana etki olarak önemli bulunmuştur. SR_t ile SR_{RUSLE}'nin tahmin edilmesinde model belirleme katsayısı (R²) 0,8986 ve karesel ortalama hata (RMSE) 0,029 olarak bulunmuştur. Tek dönem için eşitlik geliştirildiğinden grafik eklenmemiştir.

Dönemsel regresyon eşitlikleri – indirgenmiş modeller

F - 0 dönemi: $SR = 1,080 - 1,290NDVI_{sat}$

1 - 2.dönem: $SR = 1,000$

3.dönem: $SR = 1,000$

$$SR_{RUSLE} = 1,000SR_t \quad R^2 = 0,8986, \quad RMSE = 0,029$$

Ayçiçeği ekili alanlar için PLU, SC, CC ve SM alt-faktörlerinde tüm indisler modele dahil olurken SR alt-faktörü yalnızca LAI ve NDVI_{sat} indisi ile tahmin edilebilmiştir. Buğday ekili alanlarda ise PLU ve CC alt-faktörleri için yalnızca modellere yersel ölçümlerle ve uydu görüntülerinden elde edilen NDVI dahil olurken SC ve SM alt-faktörleri için oluşturulan modellere tüm indisler dahil olmuştur. SR alt-faktörü ise yalnızca NDVI_{sat} ile tahmin edilebilmiştir.

4.4.1.1 Bitki indisleri arası ilişkiler (ayçiçeği)

Plenofil yapılı ayçiçeği bitkisinin fizyolojik olarak yatay gelişen yaprak tipine sahip olduğu için gelişme dönemi boyunca yeşil aksamdaki artış LAI değerlerinin ve buna bağlı olarak klorofil miktarının artmasıyla da NDVI değerlerinin artışı söz konusudur. Daha önce de belirtildiği gibi olgunlaşma dönemine giren ve su kaybı ile birlikte solma ve kurumaya bağlı olarak biyokütlesinde azalma meydana gelen ayçiçeği, klorofil miktarındaki azalmanın da etkisi ile hasat öncesinde LAI ve NDVI değerlerinde bir düşüş olması anlamına gelmektedir. Tüm ayçiçeği parsellerinde gözlemlenen dört dönem (F, 1, 2 ve 3) boyunca bitki indislerinin zamansal değişimi Şekil 4.18’ de verildiği gibidir. Çizelge 4.27 ve 4.28 ayçiçeği ekili alanlarda bitki indisleri arası doğrusal ilişkileri göstermektedir.

Çizelge 4.27 Ayçiçeği tüm parsel ve ortalama parsel bitki indisleri arası ilişkiler

Ayçiçeği parselleri ortalaması	NDVI _{gs} -NDVI _{sat}	DF	SS	MS	F	P
	Regresyon	1	29,151	29,151	4634,32	0,000
	Hata	301	1,893	0,006		
	Toplam	302	31,045			
	Model R ² : %93,90					
	NDVI _{gs} = -0,07065+1,171 NDVI _{sat}					
	NDVI _{gs} = 1,0097NDVI _{gs-t} ^{1,0393} (R ² 0,9793 RMSE = 0,079)					
	LAI- NDVI _{gs}	DF	SS	MS	F	P
	Regresyon	1	92,292	92,292	1797,47	0,000
	Hata	301	15,455	0,051		
Ayçiçeği parselleri ortalaması	Toplam	302	107,747			
	Model R ² : %85,7					
	LAI = -0,01316+1,724 NDVI _{gs}					
	LAI = 0,5036 ln(LAI _t)+1,134 LAI _t (R ² 0,8751 RMSE = 0,226)					
	LAI-NDVI _{sat}	DF	SS	MS	F	P
	Regresyon	1	93,182	93,182	1925,74	0,000
	Hata	301	14,565	0,048		
	Toplam	302	107,747			
	Model R ² : %86,50					
	LAI = 0,1656+2,094 NDVI _{sat}					
	LAI = 0,4895ln(LAI _t)+1,1309 (R ² 0,8735 RMSE = 0,219)					

Çizelge 4.28 Ayçiçeği tüm parsel ve ortalama parsel bitki indisleri arası ilişkiler

Ayçiçeği parselleri 1-2-3	NDVI_{gs}-NDVI_{sat}	DF	SS	MS	F	P
	Regresyon	1	87,014	87,014	6939,33	0,000
	Hata	931	11,674	0,013		
	Toplam	932	98,688			
	Model R ² : %88,20					
	NDVI _{gs} = -0,05497+1,137 NDVI _{sat}					
	NDVI_{gs} = 1,01775NDVI_{gs-t}^{1,0825} R² 0,9407 RMSE = 0,112					
	LAI-NDVI_{gs}	DF	SS	MS	F	P
	Regresyon	1	297,681	297,681	1641,35	0,000
	Hata	931	168,850	0,181		
	Toplam	932	466,530			
	Model R ² : %63,80					
	LAI = -0,00922+1,737 NDVI _{gs}					
	LAI = 0,5131ln(LAI_t)+1,1457(NDVI_{gs}) R² 0,6435 RMSE = 0,425					
	LAI-NDVI_{sat}	DF	SS	MS	F	P
	Regresyon	1	297,630	297,630	1640,58	0,000
	Hata	931	168,900	0,181		
	Toplam	932	466,530			
	Model R ² : %63,80					
	LAI = 0,1579+2,104NDVI _{sat}					
	LAI = 0,9200ln(LAI_t)+0,8511 (NDVI_{sat}) R² 0,6467 RMSE = 0,530					

4.4.1.2 Bitki indisleri arası ilişkiler (buğday)

Erektofil bitki grubundan olan buğday bitkisinde ise kardeşlenme aşamasından hemen sonra bitkilerin toprak yüzeyini neredeyse tam kapallık olacak şekilde kaplaması, parsel içlerindeki bölgesel boşluklar göz ardı edildiğinde uydu görüntüleri ya da yersel ölçümlerle elde edilen NDVI değerlerinin toprak yansımından çok etkilenmemesine neden olmaktadır. LAI değerleri de bitki gelişim süresince artış göstermekte ancak ayçiçeğinde olduğu gibi olgunlaşma döneminin etkisi biyokütle kaybı çok fazla yansımamıştır. Yani LAI değerlerinde azalma ayçiçeği ile kıyaslandığında oldukça az olmaktadır. Fakat NDVI değerleri, olgunlaşma ile sararma ve klorofil pigmentlerini kaybetmeden ötürü son döneminde düşüş göstermektedir (Şekil 4.18). Buğday parsellerinde bitki indisleri arasındaki ilişkiler incelendiğinde yersel ve uydu görüntüleri arasındaki ilişkilerin zayıf olmasının en önemli iki nedeni ölçüm zamanlarında farklılık olmuş olması ve ilk parselin rotasyonu diğer ikisine göre farklı olmasından ötürüdür. Özellikle uydu görüntüsünün çekim tarihinde toprak yüzeyinde şekerpancarı yaprakları

olduğundan 1. parselin ilk dönem okumaları diğer iki parselde göre biraz daha yüksek olmuştur (Şekil 4.18). Fakat, yersel ölçümlerin pancar kalıntılarının biraz daha çürümesi sonrası yapıldığı için kuruyan yapraktaki klorofilin multispektral olarak algılanamamasına sebep olmuş ve değerler biraz daha düşük seviyede elde edilmiştir. Çizelge 4.29 ve 4.30 buğday ekili alanlarda bitki indisleri arası doğrusal ilişkileri göstermektedir.

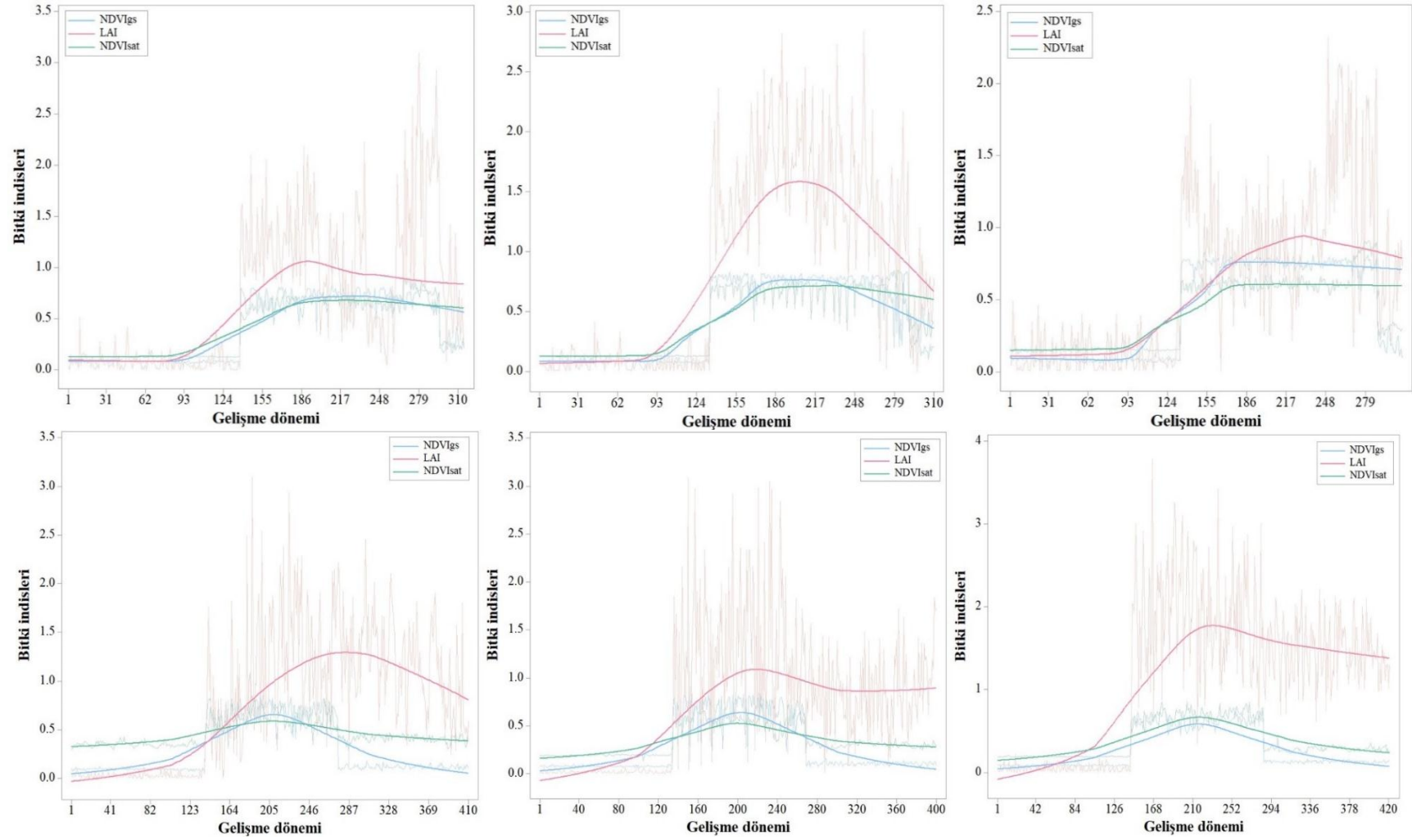
Çizelge 4.29 Buğday parselleri bitki indisleri arasındaki ilişkiler

Buğday parselleri ortalaması	NDVI_{gs}-NDVI_{sat}	DF	SS	MS	F	P
	Regresyon	1	25,597	25,597	4402,55	0,000
	Hata	397	2,308			
	Toplam	398	27,905			
	Model R ² : %91,7					
	NDVI _{gs} = -0,3288+1,544NDVI _{sat}					
	NDVI_{gs} = 0,06894e^{3,46873NDVI_{gs}-t} (R² 0,9511 RMSE = 0,073)					
	LAI- NDVI_{gs}	DF	SS	MS	F	P
	Regresyon	1	74,120	74,120	282,29	0,000
	Hata	397	104,238	0,263		
	Toplam	398	178,358			
	Model R ² : %41,6					
	LAI = 0,4158+1,630NDVI _{gs}					
	LAI = 0,9986ln(LAI_t)+11,1143(R² 0,4434 RMSE = 0,498)					
	LAI-NDVI_{sat}	DF	SS	MS	F	P
	Regresyon	1	97,850	97,850	482,52	0,000
	Hata	397	80,507	0,203		
	Toplam	398	178,358			
	Model R ² : %54,90					
	LAI = -0,3198+3,018NDVI _{sat}					
	LAI = 0,9912ln(LAI_t)+1,1596 (R² 0,6663 RMSE = 0,433)					

Çizelge 4.30 Buğday parselleri bitki indisleri arasındaki ilişkiler

Buğday – parsel 1-2-3	NDVI _{gs} -NDVI _{sat}	DF	SS	MS	F	P
	Regresyon	1	66,367	66,367	3346,35	0,000
	Hata	1229	24,352	0,020		
	Toplam	1230	90,720			
	Model R ² : %73,20					
	NDVI _{gs} = -0,2263+1,289 NDVI _{sat}					
	NDVI _{gs} = 0,068e ^{3,4752NDVI_{gs}-t} R ² 0,7809 RMSE = 0,141					
	LAI- NDVI _{gs}	DF	Adj SS	Adj MS	F	P
	Regresyon	1	232,210	232,210	510,61	0,000
	Hata	1229	558,910	0,455		
	Toplam	1230	791,120			
	Model R ² : %29,40					
	LAI = 0,4230+1,600NDVI _{gs}					
	LAI = 1,0234ln(LAI ₀ +1,1196 R ² 0,3206 RMSE = 0,674					
	LAI-NDVI _{sat}	DF	SS	MS	F	P
	Regresyon	1	287,291	287,291	700,80	0,000
	Hata	1229	503,829	0,410		
	Toplam	1230	791,120			
	Model R ² : %36,30					
	LAI = 0,1854+2,681 NDVI _{sat}					
	LAI = 0,5470LAI _t 2,3645R ² 0,4050 RMSE = 0,640					

Yalnızca farklı bitki türlerinde ölçülen bitki indisleri arası ilişkiler inceleneceğinde tüm parsellerin ayrı ayrı dahil edildiği tüm veriseti ve parsellerin ilgili dönem ortalamasının alındığı ortalama veriseti oluşturulmuştur (Çizelge 4.27 - 4.30). Ayçiçeği ekili alanlar için NDVI değerleri arasındaki ilişkiye bakıldığında NDVI değerleri arası ilişkinin belirleme katsayısı 0,8820, LAI indisinin tahmin edilmesinde NDVI_{gs} ve NDVI_{sat} ayrı ayrı elde edilen belirleme katsayısı 0,6380; ortalama veride bu katsayı NDVI değerleri arasındaki ilişki için 0,9390 olarak bulunurken NDVI_{gs}-LAI için 0,857 ve NDVI_{sat}-LAI için 0,867 olarak bulunmuştur. Buğday bitkisinde ise tüm veri seti ile yapılan tahminlerde NDVI_{sat} ve NDVI_{gs} arası ilişkinin belirleme katsayısı 0,7320; NDVI_{gs}-LAI için R², 0,294 ve NDVI_{sat}-LAI için R², 0,363 olarak bulunmuştur. Belirleme katsayıları ortalama veri setinde artmış ve NDVI değerleri arası ilişkide 0,917; NDVI_{gs}-LAI için 0,416 ve NDVI_{sat}-LAI için 0,549 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.18 Ayçiçeği (üst) ve buğday (alt) bitkilerinde gelişme dönemleri boyunca bitki indisleri zamansal değişimi

4.4.2 Dönemsel toprak kaybı oranları (SLR) ile bitki indisleri arasındaki ilişkiler

4.4.2.1 Ayçiçeği parselleri dönemsel SLR ile bitki indisleri arası ilişkiler

Ayçiçeği ekili alanlar için dört ana ölçüm dönemi (FP-1P-2P-3P) bulunmaktadır. Her ölçüm belirli bir ayın ilk 15 günlük ya da son 15 günlük döneminde yapılmıştır. Parsel düzeyinde ilgili bitki gelişim dönemleri için hesaplanan SLR (Eşitlik 3) de yarım aylık olacak şekilde hesaplanmış ve sonrasında yine ilgili dönemlere denk düşen yarım aylık %EI değerlerinin (Eşitlik 6) ağırlıklı katkısıyla bitkinin tüm gelişme dönemlerinin dahil olduğu ortalama C-faktörü (Eşitlik 4) hesaplanmıştır. Elde edilen dönemlik SLR değerleri ile bitki indisleri arasındaki ilişkiler araştırılmış, SLR ve bitki indisleri arasındaki korelasyon katsayısı Çizelge 4.33’de tüm parseller tekrar olarak dahil edilerek bitki indislerinden elde edilen SLR faktöriyel ANOVA tablosu Çizelge 4.34’ de tüm parsellerin ortalaması alınarak bitki indislerinden elde edilen SLR faktöriyel ANOVA tablosu Çizelge 4.35’ de verilmiştir.

Çizelge 4.31 Bitki indisleri ile tahmin edilen SLR faktöriyel ANOVA tablosu

Parsel 1-2-3	df	Adj SS	Adj MS	F-değeri	P-değeri
Regresyon	8	10,738	1,342	273,42	0,000
NDVI _{gs}	1	0,022	0,022	4,41	0,036
LAI	1	0,033	0,033	6,81	0,009
Dönem	3	0,559	0,187	37,98	0,000
NDVI _{gs} × Dönem	3	0,130	0,044	8,86	0,000
Hata	924	4,536	0,005		
Toplam	932	15,274			
Model R ² : 0,7005 (adj)					

Tüm verilerin dahil edildiği şartlar için SLR’nın tahmin edilmesinde NDVI_{gs} ve LAI indisleri önemli olarak bulunmuştur. Bunun yanı sıra NDVI_{gs}’nin dönemsel değişimi de (dönem ile olan interaksyonu) önemlidir. Dönemsel eşitliklerle tahmin edilen ve RUSLE modeli ile hesaplanan toprakkaybı oranı değerleri arasındaki ilişki ye ait RMSE değeri 0,003 olarak bulunmuştur.

Dönemsel regresyon eşitlikleri – indirgenmiş modeller

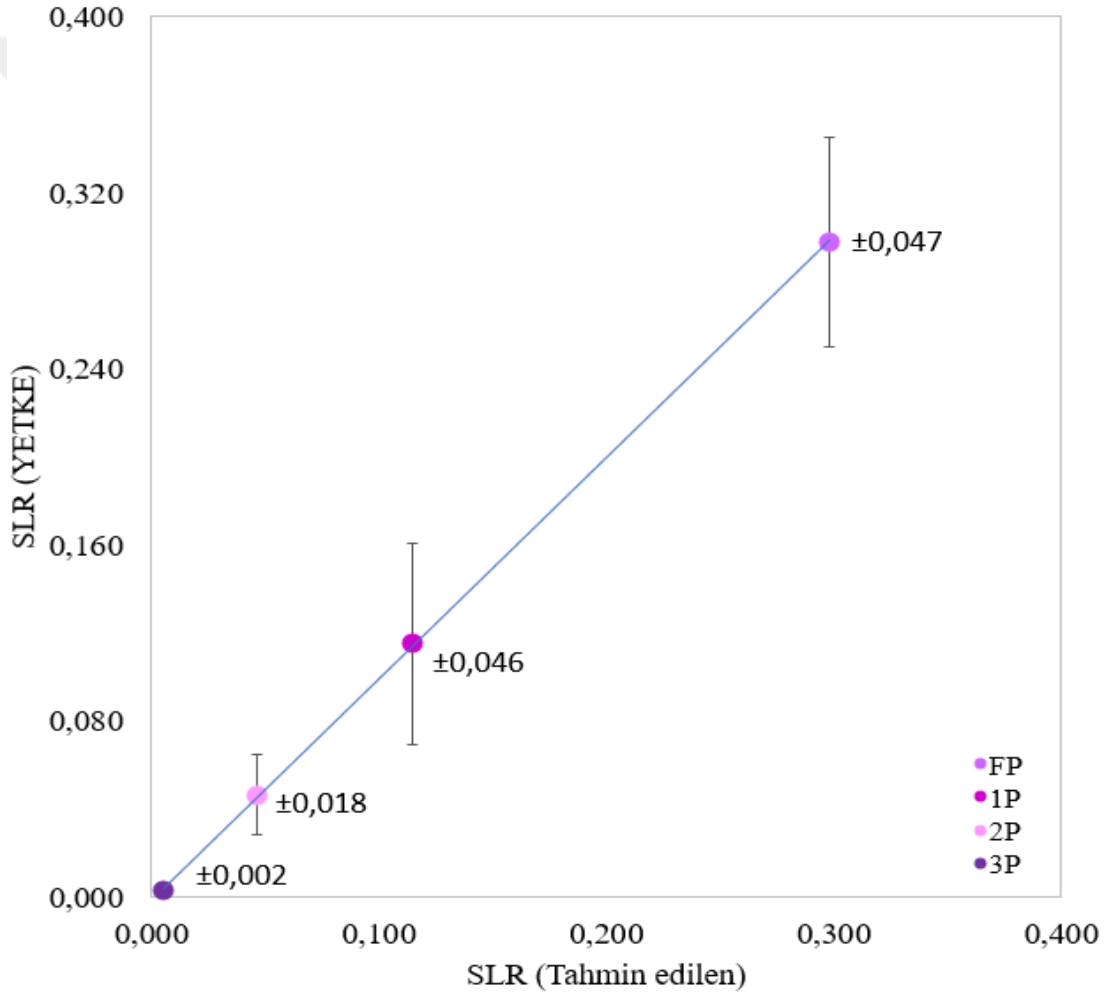
F dönemi: $SLR = 0,3499 - 0,624NDVI_{gs} - 0,01464LAI$

1. *Dönem:* $SLR = 0,4214 - 0,3875NDVI_{gs} - 0,01464LAI$

2. *Dönem:* $SLR = 0,0761 - 0,012NDVI_{gs} - 0,01464LAI$

3. *Dönem:* $SLR = 0,0148 - 0,013NDVI_{gs} - 0,01464LAI$

$$SLR = 0,8981SLR_t^{0,9985} \quad R^2 = 0,7968, \quad RMSE = 0,003$$



Şekil 4.19 Ayçiçeği bitkisi için ölçülen ve tahmin edilen toprak kaybı oranı (SLR) dönemsel ortalama değerler (tüm parseller)

Çizelge 4.32 Bitki indisleri ile elde edilen SLR faktöriyel ANOVA tablosu

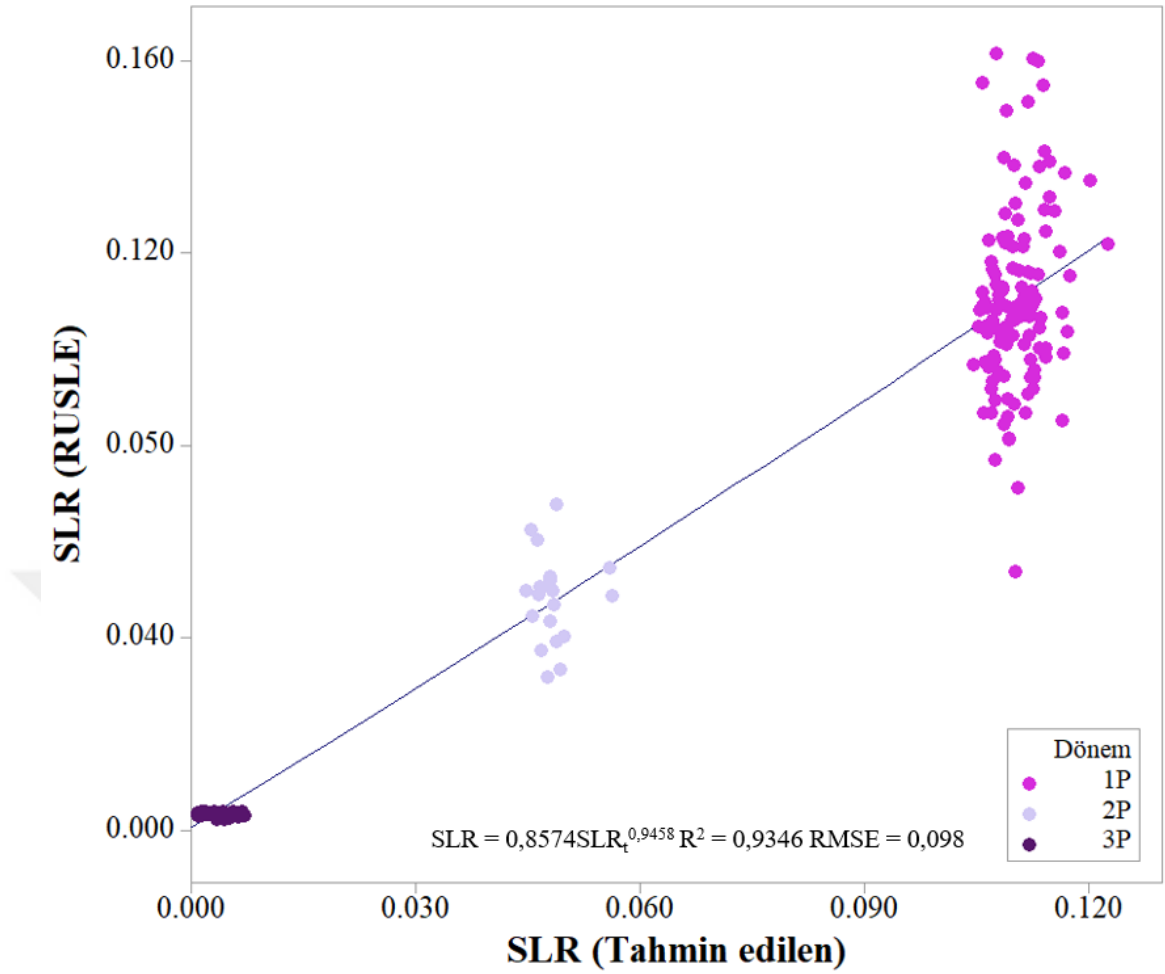
Parsel 1-2-3 ortalama	df	Adj SS	Adj MS	F-değeri	P-değeri
Regresyon	3	0,302	0,101	293,67	0,000
NDVI _{sat}	1	0,003	0,003	8,18	0,012
Dönem	2	0,239	0,120	349,11	0,000
Hata	158	0,054	0,000		
Toplam	161	0,356			
Model R ² : 0,8495					

SLR'nin dönemsel olarak tahmin edilmesinde tahmin edici olan bitki indislerinden NDVI_{sat} ana etken olarak önemlidir. İndirgenmiş dönemsel modeller aşağıda verilmiştir. Ortalama değerler üzerinden oluşturulan doğrusal modelde F döneminin katkısı ile dönem faktörü hariç hiçbir parametre önemli çıkmazken, F döneminin verisetinden çıkarılması ile NDVI_{sat} değerleri p<0,050 düzeyinde önemli bulunmuş ve SLR değerleri tahmin edilmiştir. İndirgenmiş modeller aşağıda verilmektedir.

Dönemsel regresyon eşitlikleri – indirgenmiş modeller

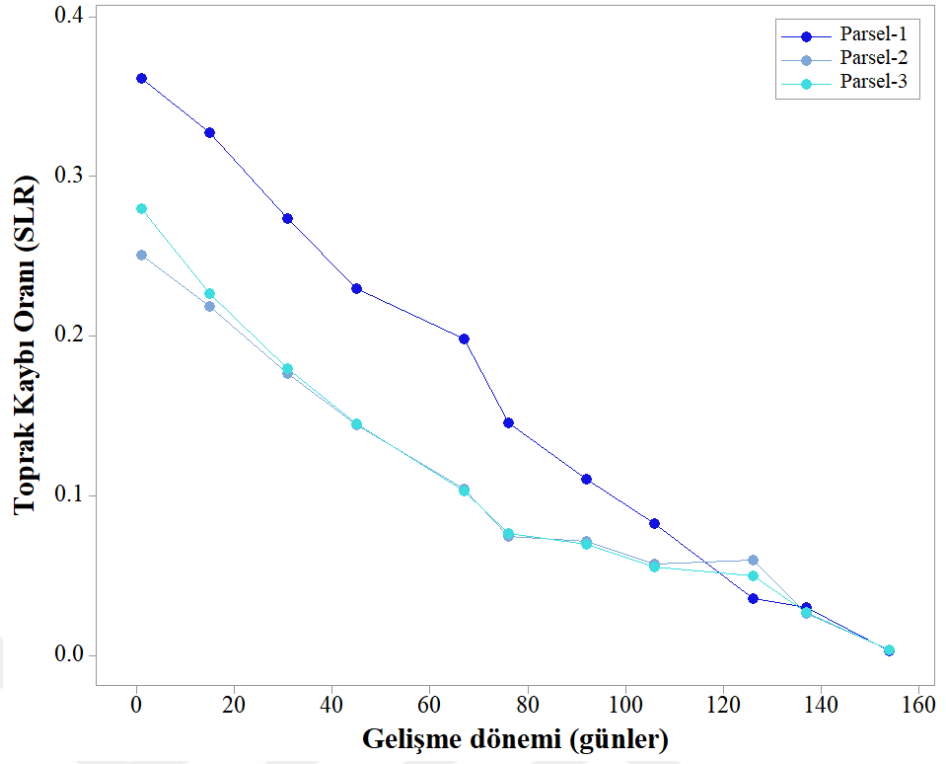
1. Dönem: $SLR = 0,167 - 0,0872NDVI_{sat}$
2. Dönem: $SLR = 0,1194 - 0,0872NDVI_{sat}$
3. Dönem: $SLR = 0,030 - 0,0872NDVI_{sat}$

$$SLR = 0,8574SLR_t^{0,9458} R^2 = 0,9346, RMSE = 0,098$$

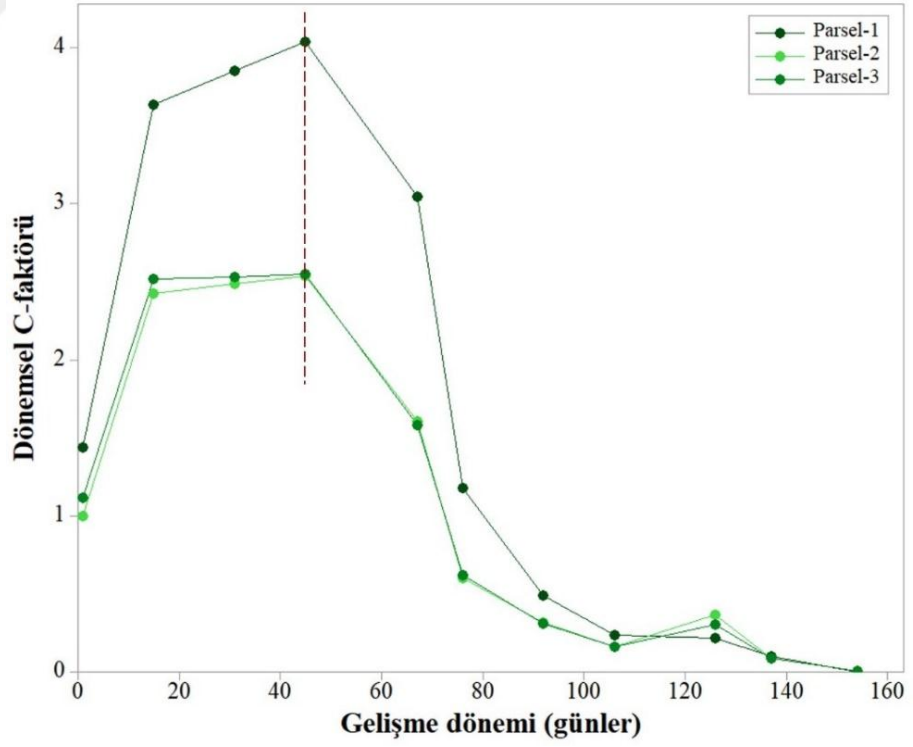


Şekil 4.20 Ayçiçeği bitkisi için ölçülen ve tahmin edilen toprak kaybı oranı (SLR) dönemsel ortalama değerler (Parseller ortalaması)

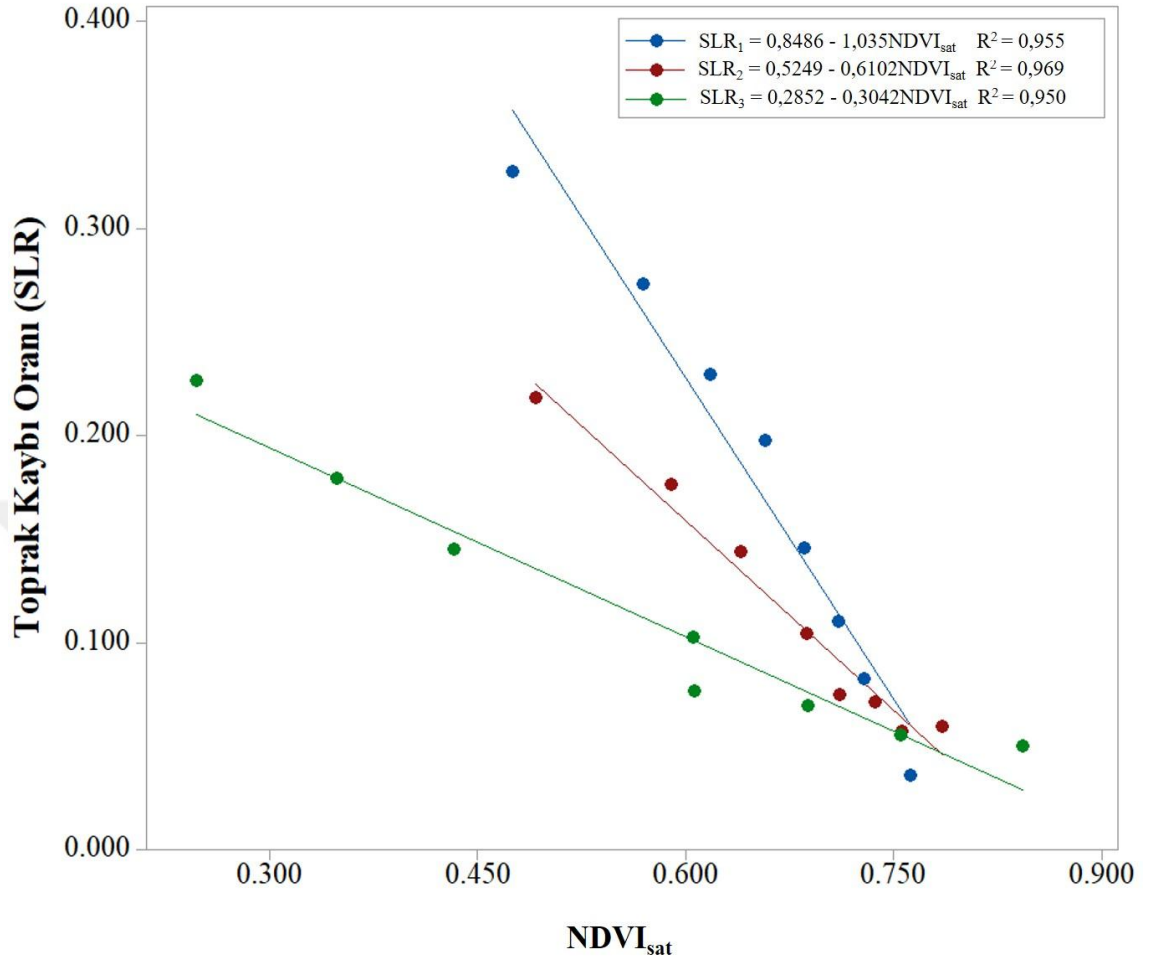
Ayçiçeği bitkisi için tüm parsellerin dahil edildiği koşul için bitki indisleri ile SLR değerinin tahmin edilmesinde ise $NDVI_{gs}$ ve LAI hem ana etki olarak hem de $NDVI_{gs}$ 'nin dönemle olan interaksyonu önemli çıkmıştır (Çizelge 4.35). Modelin belirleme katsayısı 0,7005 olarak bulunmuştur. İndirgenmiş modellerle tahmin edilen SLR ile RUSLE modeli ile hesaplanan SLR değerleri arasındaki regresyon modelinin belirleme katsayısı 0,7968 ve hatası (RMSE) 0,003 olarak bulunmuştur. Diğer yandan her üç parselinde ilgili dönemin ortalaması ile oluşturulan veri-seti ile oluşturulan regresyon modelinde $NDVI_{sat}$ ana etki olarak önemli bulunmuştur ve modelin belirleme katsayısı 0,8495'dir (Çizelge 4.32). Dönemsel regresyon eşitlikleri ile elde edilen SLR ile RUSLE modeli ile hesaplanan SLR arasındaki regresyon belirleme katsayısı 0,9346 ve hatası (RMSE) 0,098 olarak bulunmuştur.



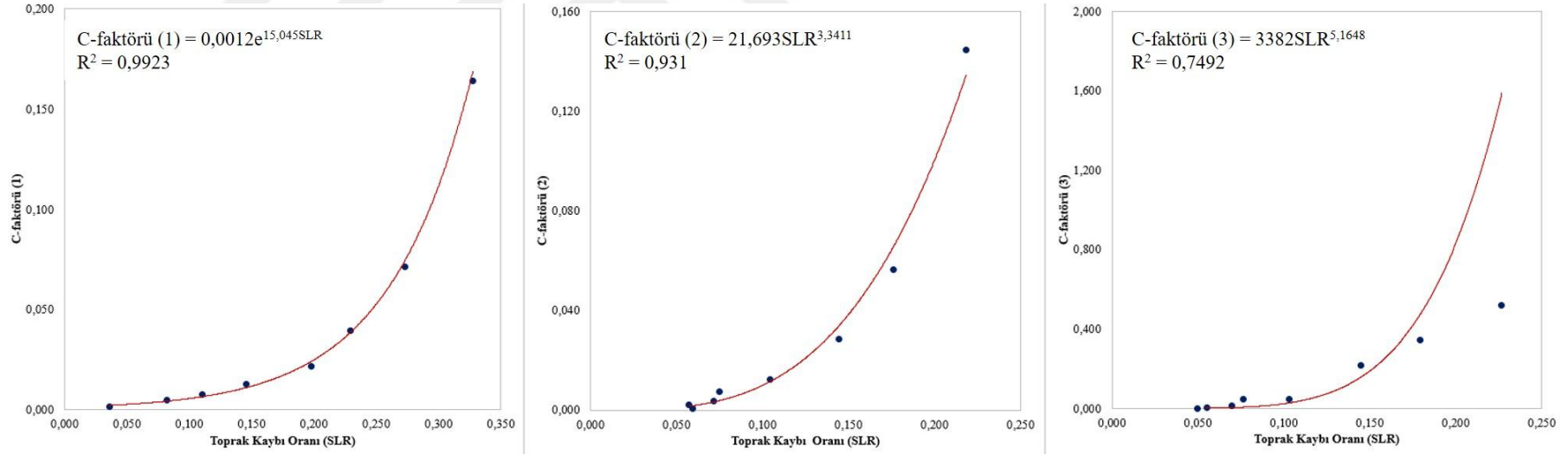
Şekil 4.21 Parsellere göre Toprak Kaybı Oranı değişimi (ayçiçeği)



Şekil 4.22 Parsellere göre dönemsel ayçiçeği C-faktörü ($SLR \times \%EI$)



Şekil 4.23 Ayçiçeği parselleri için yarım aylık $NDVI_{sat}$ değerleri ile tahmin edilen SLR değerleri arasındaki ilişkiler (15. gün ile 137. gün arası)



Şekil 4.24 Ayçiçeği parselleri için yarım aylık RUSLE-SLR değerleri ile tahmin edilen Eşitlik 3.28 ile elde edilmiş C-faktörü değerleri arasındaki ilişkiler (15. gün ile 137. gün arası)

Ayçiçeği parsellerinde dört dönemden elde edilen SLR değerleri yarım aylık olacak şekilde interpolasyon yöntemi ile tüm gelişme dönemine yayılmıştır ve parsel düzeyinde SLR'nin tüm bitki gelişim dönemi boyunca gösterdiği değişim Şekil 4.21' de verilmiştir. Şekil 4.22' de dönemsel C-faktörlerinin değişim grafiği yer almaktadır. Şekil 4.23' da parsel düzeyine SLR değerleri ile $NDVI_{sat}$ arasındaki ilişkiler 3. dönem (olgunlaşma) göz ardı edilerek verilmiştir ve Son olarak Şekil 4.24' da ise Eşitlik 3.28 ile $NDVI_{sat}$ değerlerinden hesaplanan C-faktörüyle RUSLE modeli ile hesaplanmış SLR değerleri arasındaki doğrusal ilişkiler verilmiştir. 3. dönem olan olgunlaşma dönemi regresyon analizine dahil edilmemiştir. Yapılan araştırmalarda da genel olarak C-faktörü ile NDVI arasında doğrusal (Durigon vd., 2014; Lin Lin vd Chou, 2002) veya üstel bir ilişki (Van der Knijff vd., 1999) olduğu şeklindedir.

Elde edilen bulgulara göre, SLR'nin önceki arazi kullanıma ait anızın bozulmasından hasata kadar geçen süre boyunca azaldığı görülmektedir. Yani bir gelişme süresi boyunca ayçiçeği parsellerinde toprak kaybının zamansal değişimini göstermektedir. Yine parsellere göre, ilgili yarım aylar için hesaplanan %EI değerlerinin (yağış ve yüzey akış erozyon gücünün oransal katkısı, R-faktörü) SLR değerleri ile çarpımıyla elde edilen dönemsel C-faktörü (Şekil 4.22)' nde 45. gün çizgisi, ayçiçeği parselleri için F ve SB dönemlerini bitirerek 1. döneme yani gelişme dönemine girişin hemen öncesini göstermektedir. SM alt-faktörü değerinin 1' e yakın olduğu yani yağış etkisinin en fazla görüldüğü dönem olması itibariyle değerler en yüksek noktasındadır.

4.4.2.2 Buğday parselleri dönemsel SLR ile bitki indisleri arası ilişkiler

Buğday ekili alanlar için ölçüm dönemleri üç ana döneme karşılık gelecek şekilde değerlendirilmiştir (0P/FP - 1P/2P - 3P). Her ölçüm belirli bir ayın ilk 15 günlük ya da son 15 günlük döneminde yapılmıştır. Parsel düzeyinde ilgili bitki gelişim dönemleri için hesaplanan SLR (Eşitlik 3.3) de yarım aylık olacak şekilde hesaplanmış ve sonrasında yine ilgili dönemlere denk düşen yarım aylık %EI değerlerinin (Eşitlik 3.6) ağırlıklı katkısıyla bitkinin tüm gelişme dönemlerinin dahil olduğu ortalama C-faktörü (Eşitlik 3.4) hesaplanmıştır. Birden fazla yarım aya denk düşen dönemlik ölçümlerde %EI ortalaması ile C faktörü hesaplanmıştır. Elde edilen dönemlik SLR değerleri ile

bitki indisleri arasındaki ilişkiler araştırılmış ve tüm parseller tekrar olarak dahil edilerek Çizelge 4.33’ de tüm parsellerin ortalaması ile elde edilmiş ilişkiler ise Çizelge 4.34’ de verilmiştir.

Çizelge 4.33 Bitki indisleri ile elde edilen SLR faktöriyel ANOVA tablosu

Parsel 1-2-3	df	Adj SS	Adj MS	F-değeri	P-değeri
Regresyon	15	0,851	0,057	148,36	0,000
NDVI _{gs}	1	0,000	0,000	0,13	0,727
LAI	1	0,001	0,001	3,09	0,079
NDVI _{sat}	1	0,091	0,091	238,26	0,000
Dönem	2	0,020	0,010	26,04	0,000
NDVI _{gs} × LAI	1	0,003	0,003	7,75	0,005
NDVI _{gs} × NDVI _{sat}	1	0,008	0,008	20,56	0,000
LAI × NDVI _{sat}	1	0,000	0,000	0,37	0,542
NDVI _{gs} × Dönem	2	0,005	0,002	5,84	0,003
LAI × Dönem	2	0,008	0,004	10,74	0,000
NDVI _{sat} × Dönem	2	0,020	0,010	26,45	0,000
NDVI _{gs} × LAI × NDVI _{sat}	2	0,001	0,001	2,50	0,114
Hata	1215	0,000	0,000		
Toplam	1230				
Model R ² : 0,6425					

Adımsal regresyon modeline göre, NDVI_{sat} ve dönem faktörü ana etkisi, bunların yanı sıra NDVI_{gs} × LAI, NDVI_{gs} × NDVI_{sat}, NDVI_{sat} × Dönem, LAI × Dönem ve NDVI_{gs} × Dönem interaksiyonları önemli çıkmıştır. Buna göre geliştirilen indirgenmiş dönemsel eşitlikler aşağıda verilmiştir. Tahmin edilen ve hesaplanan SLR değerleri arasındaki doğrusal ilişkinin RMSE değeri 0,033’ dür.

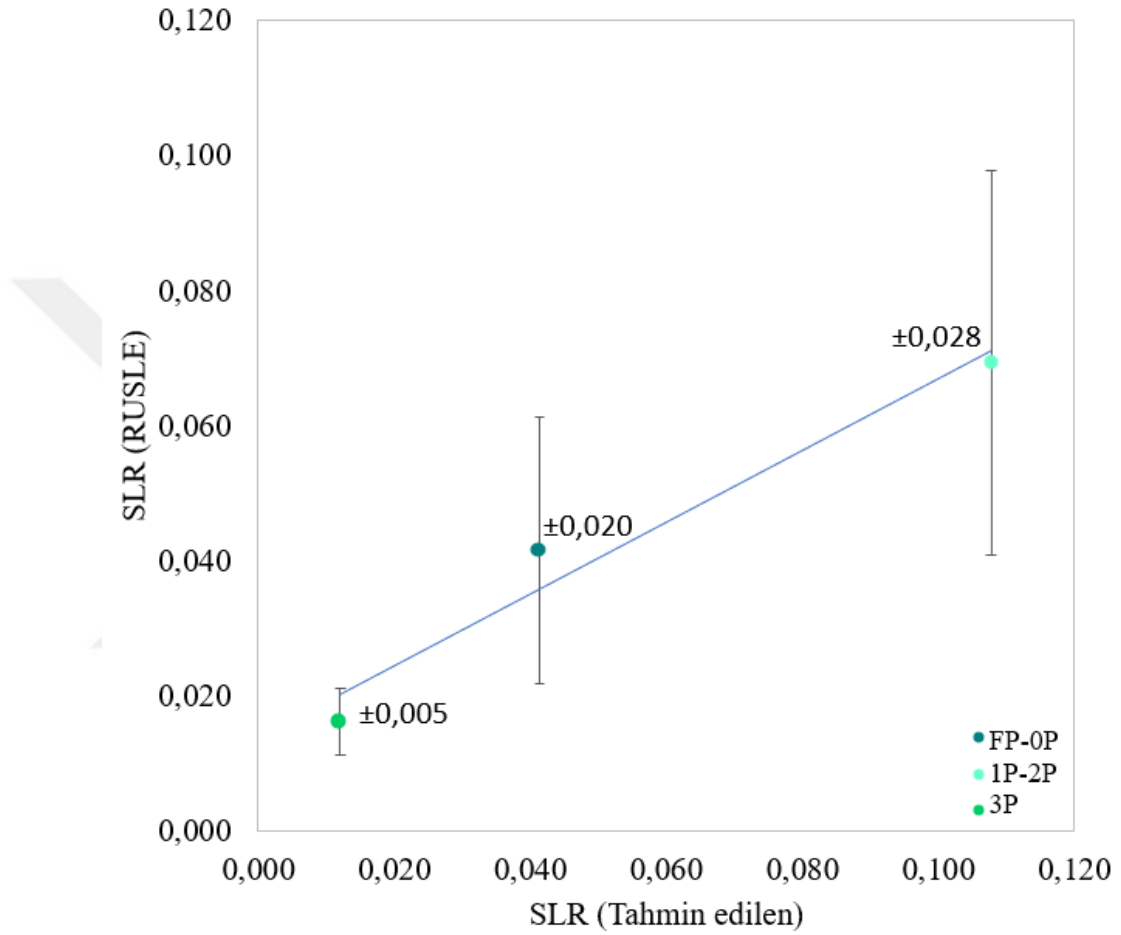
Dönemsel regresyon eşitlikleri – indirgenmiş modeller

F ve 0 dönemi: $SLR = 0,09474 + 0,039NDVI_{gs} + 0,0526LAI - 0,2924NDVI_{sat} + 0,1060NDVI_{gs} \cdot LAI + 0,586NDVI_{gs} \cdot NDVI_{sat}$

1 ve 2. Dönem: $SLR = 0,3028 - 0,3470NDVI_{gs} - 0,0615LAI - 0,3519NDVI_{sat} + 0,1060NDVI_{gs} \cdot LAI + 0,586NDVI_{gs} \cdot NDVI_{sat}$

3.dönem: $SLR = 0,0656 - 0,355NDVI_{gs} - 0,0193LAI - 0,0812NDVI_{sat} + 0,1060NDVI_{gs} \cdot LAI + 0,586NDVI_{gs} \cdot NDVI_{sat}$

$SLR = 0,5373SLR_t + 0,0135 R^2 = 0,5028, RMSE = 0,033$



Şekil 4.25 Buğday bitkisi için ölçülen ve tahmin edilen toprak kaybı oranı (SLR) dönemsel ortalama değerler

Çizelge 4.34 Bitki indisleri ile elde edilen SLR faktöriyel ANOVA tablosu

Parsel 1-2-3 ortalama	df	Adj SS	Adj MS	F-değeri	P-değeri
Regresyon	3	0,190	0,063	1785,52	0,000
$NDVI_{sat}$	1	0,000	0,000	4,74	0,030
Dönem	2	0,096	0,048	1346,00	0,000
Hata	395	0,014	0,000		
Toplam	398	0,204			
Model R^2 : 0,9313					

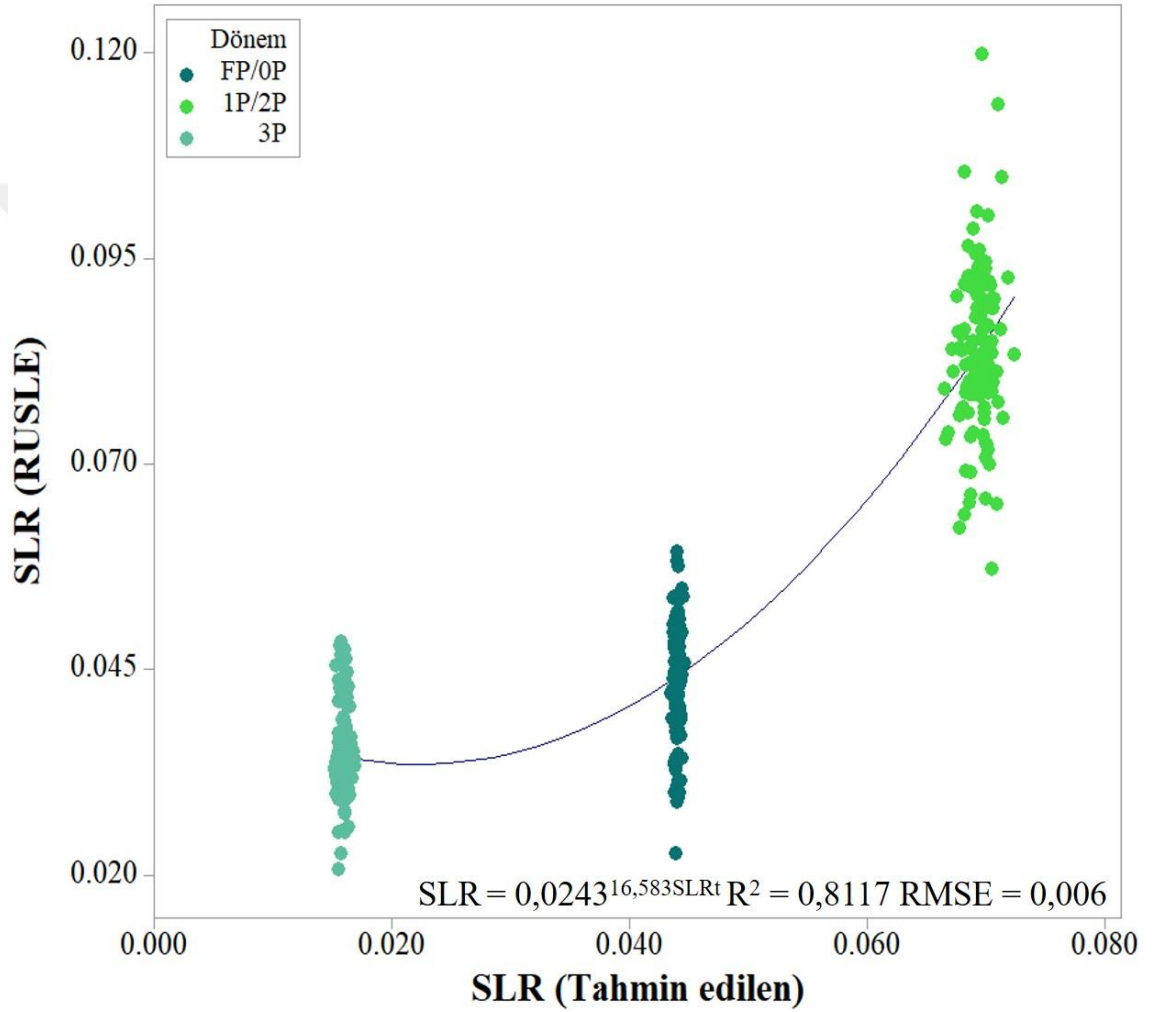
Dönemsel regresyon eşitlikleri – indirgenmiş modeller

F - 0 dönemi: $SLR = 0,3895 + 0,02101NDVI_{sat}$

1 - 2. Dönem: $SLR = 0,05645 + 0,02101NDVI_{sat}$

3.dönem: $SLR = 0,0090 + 0,02101NDVI_{sat}$

$SLR = 0,0243^{16,583SLRt} R^2 = 0,8117, RMSE = 0,006$

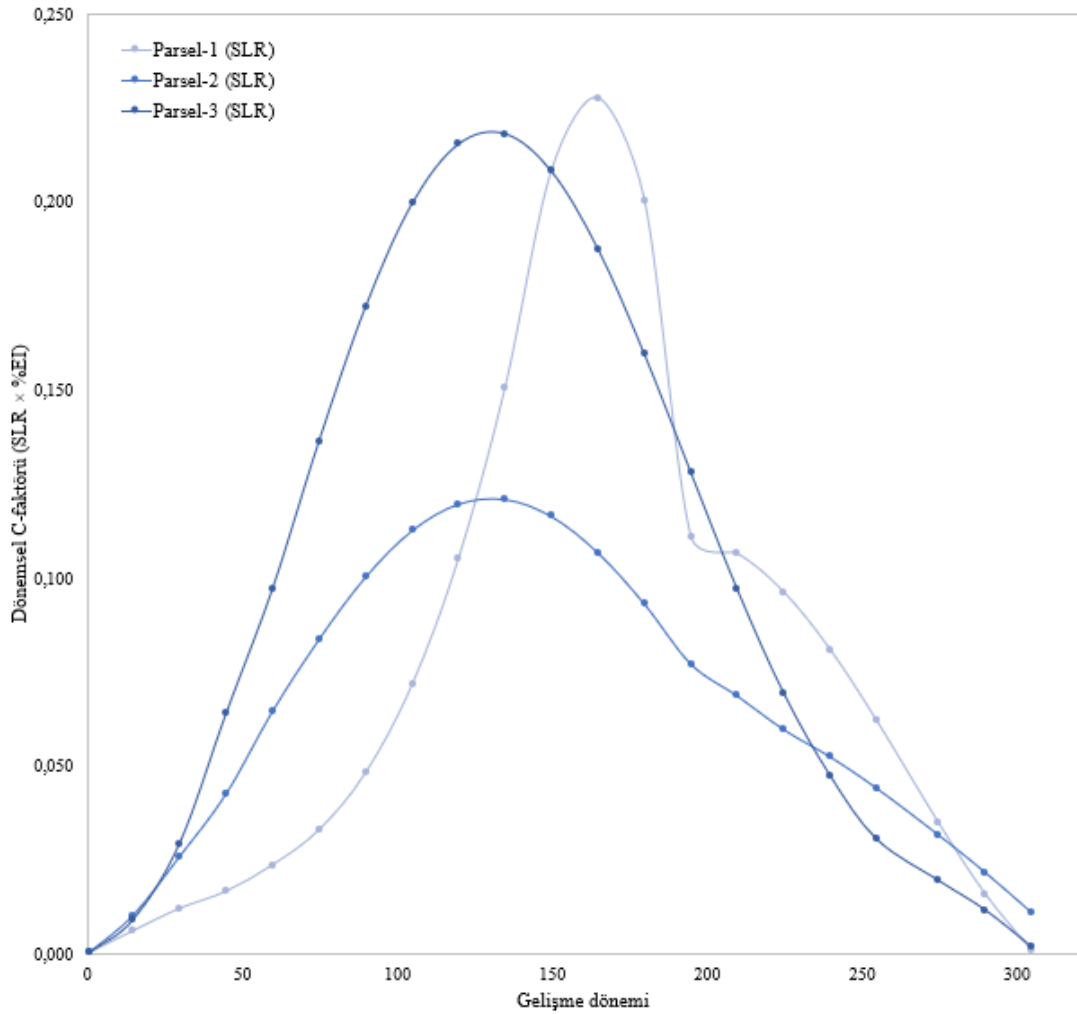


Şekil 4.26 bitkisi için ölçülen ve bitki indisleri ile elde edilmiş dönemsel denklemlerle tahmin edilen SLR (parsellerin ortalaması)

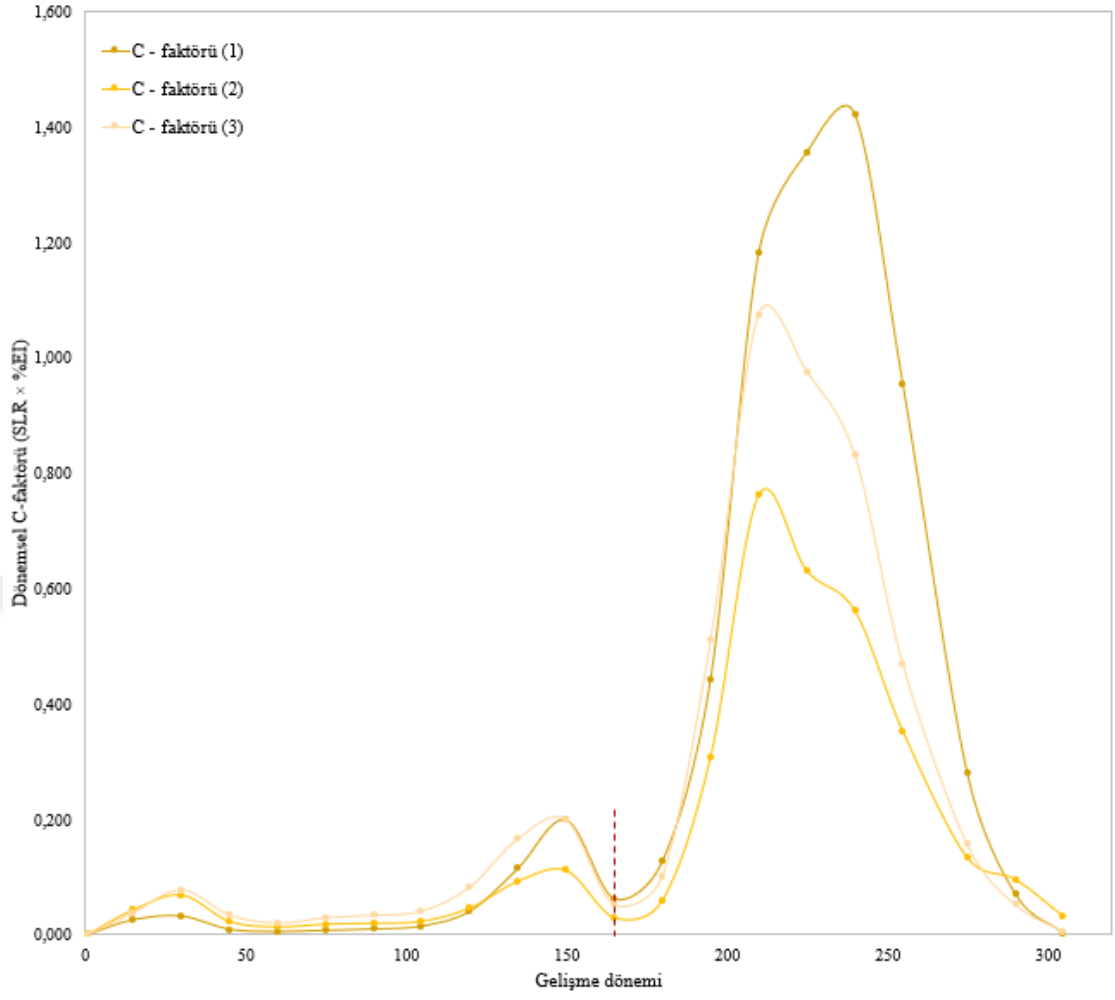
Buğday bitkisi için tüm parseller bir arada değerlendirildiğinde, bitki indisleri ile SLR değerlerinin tahmin edilmesinde ise model belirleme katsayısı 0,6425 olarak bulunmuştur. *Faktöriyel ANOVA*'ya göre $NDVI_{sat}$ ve dönem ana etki olarak önemlidir.

NDVI_{gs} ve LAI ana etki olarak önemli bulunmamasına rağmen NDVI_{gs}'nin LAI ile olan interaksiyonu önemli bulunmuştur. NDVI_{sat}'ın NDVI_{gs} ile ve dönemle olan interaksiyonları da önemlidir. İndislerle tahmin edilen SLR ile RUSLE modeli ile hesaplanan SLR değerleri arasındaki regresyon belirleme katsayısı 0,5028 ve hatası (RMSE) 0,033 olarak bulunmuştur (Şekil 4.25).

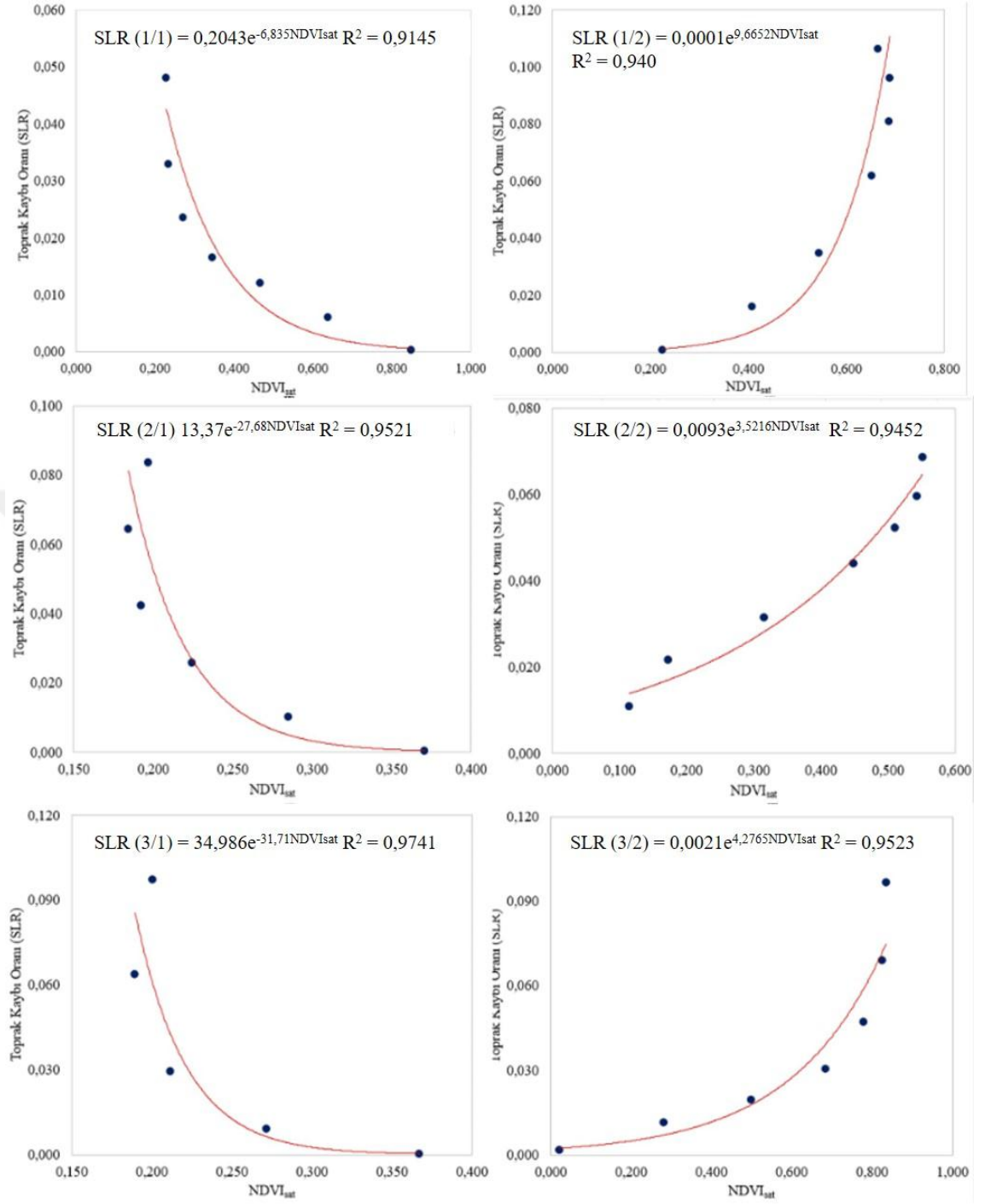
Parsellerin ortalaması ile elde edilen veri-setinde NDVI_{sat} ve dönem faktörü önemli olarak bulunmuştur. Modelin belirleme katsayısı 0,9313' dür. Tahmin edilen ve hesaplanan SLR değerleri arasındaki regresyonun belirleme katsayısı ise 0,8117 ve hatası (RMSE) 0,006'dır (Şekil 4.26).



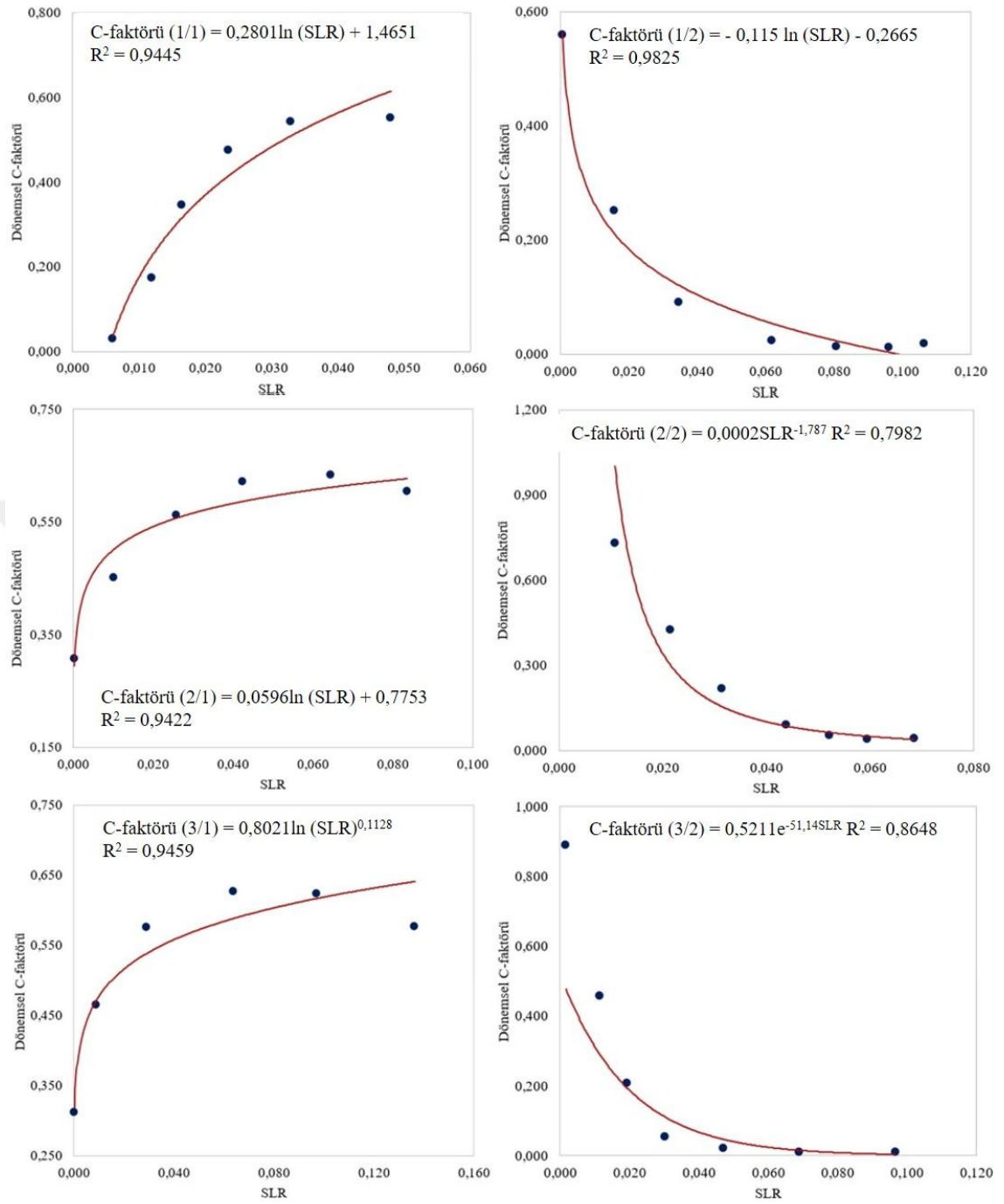
Şekil 4.27 Parsellere göre Toprak Kaybı Oranı değişimi (buğday)



Şekil 4.28 Parsellere göre buğday ekili alanlarda dönemsel C-faktörü ($SLR \times \%EI$)



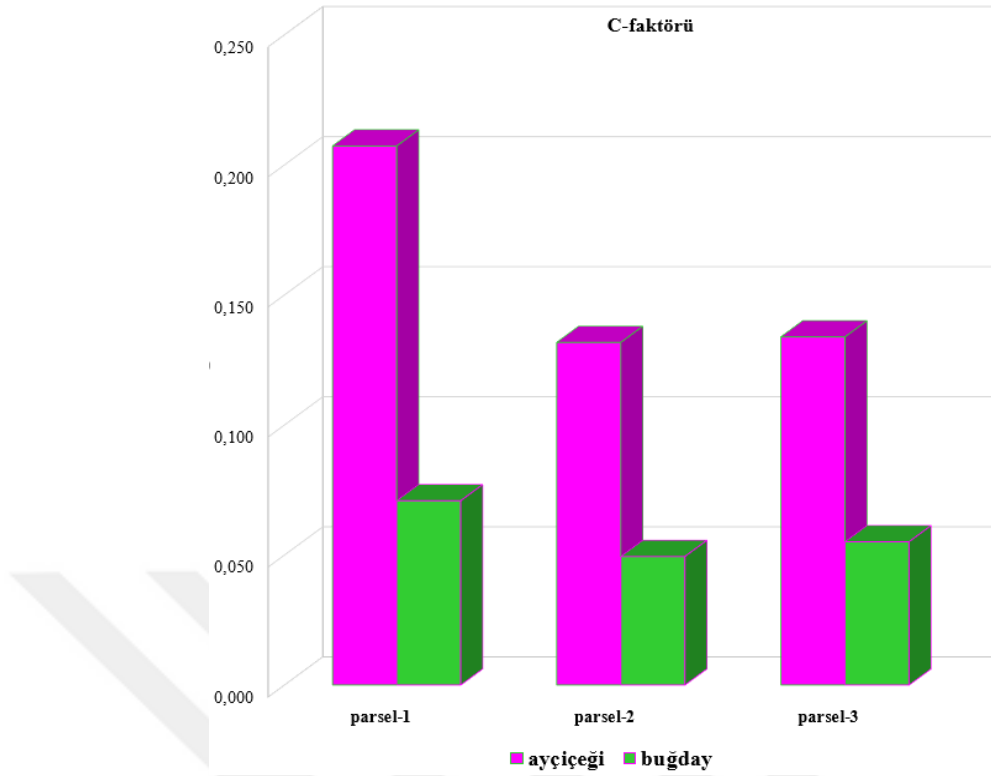
Şekil 4.29 Buğday parselleri yarımlık hesaplanan NDVI_{sat} ve SLR değerleri arasındaki ilişkiler (sol: 1.parsel; orta: 2.parsel; sağ: 3.parsel)



Şekil 4.30 Buğday parselleri için yarım aylık SLR ile C-faktörü (Eş. 3.28) değerleri arasındaki ilişki (sol: 1. parsel; orta: 2. parsel; sağ: 3. parsel)

Buğday parsellerinin gelişme süresi ayçiçeğine göre çok daha uzundur. Ekim-Kasım aylarında toprak işleme ve tohum yatağının hazırlığı işlemleri ile buğdayın çimlenmesi Aralık ayında ve dormansi süresini tamamlaması yaklaşık olarak Mart ayına denk gelmiştir. Haziran ayının sonunda hava sıcaklığı ve nemin de etkisiyle olgunlaşma dönemine giren buğday Temmuz ayı içerisinde hasat edilmiştir. Şekil 4.27’ de SLR 3. parsel için daha düşük bir tepe değeri vermiştir. Bunun sebebi, 1. ve 2. parselin 1. dönem ölçümleri Nisan ayında yapılmış ancak 3. parsel için 1. dönem değil Haziran ayında 2. dönem ölçülebilmektedir. Haziran ayında kanopi tam kapalılık durumunda olduğundan bunun etkisi de SLR’ye yansımıştır.

Şekil 4.28’ de ise her üç buğday parseli için hesaplanan SLR değerinin %EI değerleri ile ağırlıklandırılmış katkısı olan yarım aylık dönemsel C-faktörü değerlerinin zamansal değişimi verilmiştir. Yarım aylık R-faktörünün oransal katkısı da 180 ve 211. günler arası en yüksek seviyesine ulaşmıştır. 1. günden 165. güne kadar geçen süreç toprağın işlenmesi, tohum yatağının hazırlanması, ekim, dormansi ve çimlenme sonrasında 1. döneme kadar geçen süreçtir. Sürecin sonu Mart ayına denk düşmektedir. Yarım aylık R-faktörünün oransal katkısı da 210 ve 275. günler arası en yüksek seviyesine ulaşmıştır. Şekil 4.29 ve 4.30’de ise $NDVI_{sat} - SLR$ ve $SLR - C$ -faktörü (Eş. 3.28 ile $NDVI$ değerlerinden hesaplanan) ilişkileri iki farklı dönem olacak şekile incelenmiştir. İlk yarı 1. buğday parseli için 1-90 günler arasını 2 parsel için 1-75. gün arasını ve 3. parsel için ise 1-60. gün arasını göstermektedir. Bu sürece parsel topraklarının alt-üst edilerek hazırlanması ve sonrasında tohum yatağı hazırlıklarının tahmamlanması ile ekim işlemlerinin gerçekleşmesi kapsamaktadır. Sonraki dilim ise tüm parseller için 210-305. günler arasıdır. Bu dönemler Şekil 4.30’ de ise ilk parsel için 15-90. günler arası ve ikinci dilim 195-305. günler arasıdır. İkinci ve üçüncü parsel için 1-75. günler arası ve ikinci dilim 210-305. günler arası olmuştur.



Şekil 4.31 Ayçiçeği ve buğday parsellerinin ortalama C-faktörü değerleri

Parsellerin C-faktörü ortalamasına bakıldığında (Şekil 4.31) ayçiçeği ekili parsellerin buğday ekili parsellerden daha düşük (1'e yakın) değerlerine sahip oldukları görülmektedir. Bunun en önemli sebebi, toprak yüzey kapalılığının buğdaydan çok daha az olmasından ileri gelmesidir. PLU, SC ve SR alt-faktörlerinin etkinlikleri denklem içerisinde oldukça düşüktür. CC ve SM alt-faktörlerinin etkisiyle C-faktörü sıfıra yaklaşmaktadır. Bu da aslında toprak işleme faaliyetlerini yoğun olması ve artık yönetimin yetersiz kalmasını açıklamaktadır. Özellikle ayçiçeğinde bitkinin gelişme göstermesi ile sulama ihtiyacı arttığından ve tamamlayıcı sulama yapıldığından bu iki faktörün paralel olarak geliştiği gözlemlenmektedir. Bitkilerin fizyolojik yapıları gereği yatay yaprak gelişimi gösteren ayçiçeği bitkisi her ne kadar kapatıcı olsa da aslında buğday kadar etkili olmadığı, sıra arası ve sıra üzeri boşluklarla ve hasat öncesi çekirdek dolum evresinde su kaybına bağlı biyokütledeki küçülmesi ile parsel içerisinde toprak yüzeyinin hem daha açık olması ve her ne kadar hacimsel bir küçülme gözlemlense de bitki boyunun hala çok uzun olmasından ötürü yağmur damlası çarpma yüksekliği için fazla olması da göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Buğday bitkisinde ise, ayçiçeğinden farklı olarak ekim hazırlıkları öncesi toprak yüzeyinin anız ve bitki artıkları ile kaplı olması, yabancı ot oluşumunun ayçiçeğinden daha az olması, SC ve SR alt-faktörlerinin etkinliğini arttırmıştır. Diğer yandan, buğdayın daha önce de belirtildiği gibi kardeşlenme sonrası kapalılık oranı birden arttığından, düşük ağırlık merkezli yatayda gelişim gösteren bitki türü olmasından, toprak yüzeyinin bitki hasat edilse bile yeni bir toprak işlemeye kadar korunmaya devam etmesini sağlamaktadır. Buğdaydaki biyokütle azalması çok az olduğundan toprak yüzeyi tamamen kaplı kalmaya devam etmektedir. Toprak yüzeyinin korunması açısından buğday ekili alanlarda en savunmasız olabileceği dönem, tohum ekimi sonrası dormansi döneminde yağışların da etkin olduğu kış dönemine denk gelen süreçtir. Kıyaslama sonucunda toprak koruma açısından ürünlerin yönetim etkinliği aynı düzeyde olmasalar da yine de etkin durumdadırlar.

Yapılan çalışmalarla, kanopi ve toprak erozyonu arasındaki ilişkiyi belirlemede en önemli kriterlerden bir tanesinin bitkisel örtüsü olması ve genel olarak toprak erozyonunun, bitkisel örtünün artması ile azaldığı sonucunun elde edilmesi ile bu ilişki toprak erozyonu sınıflandırmalarında, erozyon riskinin belirlenmesinde (Vrieling vd., 2008) ve toprak kaybı değerlendirmelerinde (De Asis ve Omasa, 2007; Wang vd., 2002; Zhou vd., 2008) bitkisel örtünün geniş bir şekilde kullanımına olanak sağlamaktadır. Ancak yapılan çalışmalar sonucu seçilen alanlarda toprak erozyonunun bitki tipine ve yapısına bağlı olarak değiştiği göz ardı edilmemelidir (Zheng vd., 2008).

4.4.2.3 Jeostatistik ve Üst-ölçeklendirme

Bu çalışmada kullanılan üst-ölçeklendirme yönteminin amacı, yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri ile görüntü hücrelerini agregatlaştırarak SLR değerlerinin geniş alanlar için incelenmesidir. Parsel düzeyinde elde edilen değerlerin parselden daha geniş alanlara zamansal ve konumsal olarak yayılabilmesi için her iki bitki türü için geliştirilen SLR eşitlikleri kullanılmıştır (Eş. 3.55-3.56). Bunun için, öncelikle ayçiçeği (1P) ve buğday (3P) bitkisi gelişim dönemlerinin ilgili dönemlerine denk düşen 25-06-2016 tarihli uydu görüntüsü kullanılmıştır. İlgili dönemlere ait NDVI_{sat} ve SLR değerlerinin yarı-variogramları oluşturularak parametrelerin değişim aralıkları belirlenmiştir.

Her iki parametre için elde edilen en yüksek belirleme katsayılarına sahip minimum değişim mesafeleri isotropik modelde elde edilmiş ve bu mesafeler görüntü hücre büyüklüğü olacak şekilde yüzey haritaları yeniden ölçeklendirilmiştir (Şekil 4.32, 4.35, 4.36 ve 4.38). Ayçiçeği ekili alanlar için oluşturulan yarı-variogramlara ait model bilgileri Çizelge 4.35-4.37' de, buğday ekili alanlar için oluşturulan yarı-variogramlara ait model bilgileri Çizelge 4.38-4.40' da verilmiştir. Ayçiçeği ekili alanlarda son iki döneme ait örnekler konumsal istatistik için yeterli olmadığından bu dönemlere ait yarı-variogramlar oluşturulmamıştır.

Ayçiçeği için kullanılan eşitlik (1. dönem):

$$SLR = 0,030 - 0,0872 \cdot NDVI_{sat} \quad (3.55)$$

Buğday için kullanılan eşitlik (3. dönem):

$$SLR = 0,0090 + 0,02101 \cdot NDVI_{sat} \quad (3.56)$$

Bununla birlikte zamansal değişimi gösterebilmek adına, Nisan, Haziran ve Ağustos aylarına ait multispektral uydu görüntüleri ve bunlardan oluşturulan sınıflama (maximum likelihood) (Şekil 4.31, 4.33 ve 4.37) ve NDVI (Eş. 3.27) tabakaları verilmiştir (Şekil 4.32, 4.34 ve 4.38). Üst-ölçeklendirilmiş $NDVI_{sat}$ ve SLR tabakasında ayçiçeklerine ait parseller oldukça uyumlu olduğu görülmektedir. RUSLE modeli ile ayçiçeği için hesaplanan ortalama SLR değeri 0,125'dir. Buğday parselleri için ilgili döneme ait hesaplanmış ortalama SLR değeri ise 0,022'dir. Eşitlik 3.55' de verilen SLR eşitliğinin model belirleme katsayısı (R^2) 0,8495 olarak bulunmuştur. Kırmızı çerçeveli alanlar ayçiçeği ve pembe çerçeveli alanlar buğday parselleridir. Eşitliğin (3.56) model belirleme katsayısı (R^2) 0,9313 olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.35 Ayçiçeği 1.parsel SLR ve bitki indislerinin konumsal değişimleri

Ayçiçeği-1	NDVI_{gs}	LAI	NDVI_{sat}	SLR
1AF*	Külçe etkisi	K.K. trans./ Külçe e.	Doğrusal	K.K. trans./Doğrusal
C ₀	0,00011	0,02554	5,085E-005	4,385E-003
C ₀ +C	0,00011	0,02554	5,921E-005	5,5354E-003
A ₀	107,78	107,82	107,78	107,78
R ²	0,001	0,303	0,761	0,830
RSS	1,747E-10	5,736E-05	1,237E-01	1,081E-07
1A1	Doğrusal	Küresel	Küresel	Küresel
C ₀	0,00009	0,0001	0,00207	0,0006
C ₀ +C	0,00493	0,2222	0,00462	0,0012
A ₀	109,47	39,50	187,80	97,10
R ²	0,748	0,852	0,953	0,919
RSS	4,034E-06	2,322E-10	1,065E-07	1,633E-08
1A2	Doğrusal	Külçe etkisi	Doğrusal	(karekök trans.) Üstel
C ₀	0,00009	0,455254	0,00253	1,00E-06
C ₀ +C	0,00493	0,45254	0,01192	1,522E-003
A ₀	109,47	109,47	109,47	35,80
R ²	0,748	0,004	0,735	0,721
RSS	4,034E-06	0,0552	1,622E-05	1,954E-07

*AF: Ayçiçeği parseli F dönemi, A1: Ayçiçeği parseli 1. Dönem, A2: Ayçiçeği parseli 2.dönem

Çizelge 4.36 Ayçiçeği 2.parsel SLR ve bitki indislerinin konumsal değişimleri

Ayçiçeği-2	NDVI_{gs}	LAI	NDVI_{sat}	SLR
2AF**	K.K. trans./Gaussian	Külçe et	Külçe etkisi	Üstel
C ₀	1,00E-006	0,21419	0,00726	0,0002
C ₀ +C	9,820E-004	0,21419	0,00726	0,00097
A ₀	20,90	207,80	207,80	21,60
R ²	0,677	0,00	0,006	0,734
RSS	1,753E-07	8,024E-04	3,280E-06	3,850E-08
2A1	Küresel	Küresel	Külçe etkisi	Küresel
C ₀	0,000	0,0018	0,00726	0,00025
C ₀ +C	0,0027	0,19260	0,00726	0,0099
A ₀	43,90	34,50	207,80	23,10
R ²	0,647	0,865	0,006	0,785
RSS	1,669E-06	4,40E-04	3,280E-06	3,085E-08

Çizelge 4.37 Ayçiçeği 3.parsel SLR ve bitki indislerinin konumsal değişimleri

Ayçiçeği-3	NDVI_{gs}	LAI	NDVI_{sat}	SLR
3AF	Üstel	Külçe etkisi	K.K. trans./Üstel	Külçe etkisi
C ₀	5,000E-005	0,01330	1,290E-005	0,00296
C ₀ +C	4,020E-004	0,01330	1,280E-004	0,00296
A ₀	17,80	227,37	18,90	5,50
R ²	0,635	0,000	0,799	0,000
RSS	8,44E-09	9,19E-06	4,809E-10	2,836E-07
3A1	Üstel	Gaussian	Küresel	Üstel
C ₀	0,00012	0,02640	0,00004	0,00032
C ₀ +C	0,00084	0,13280	0,00099	0,00084
A ₀	22,90	23,50	31,90	34,00
R ²	0,758	0,735	0,763	0,879
RSS	4,123E-08	1,075E-03	1,687E-08	1,486E-08

Çizelge 4.38 Buğday 1.parsel SLR ve bitki indislerinin konumsal değişimleri

Buğday-1	NDVI_{gs}	LAI	NDVI_{sat}	SLR
1BF**	Külçe et	K.K. trans./Küresel	K.K.trans/Doğrusal	Külçe et.
C ₀	0,00009	1,00E-005	1,027E-004	0,00002
C ₀ +C	0,00009	6,570E-003	4,179E-004	0,00002
A ₀	107,76	28,60	107,76	107,76
R ²	0,370	0,960	0,973	0,273
RSS	1,992E-09	2,183E-07	1,565E-09	6,949E-12
1B1	Küresel	Üstel	Küresel	Külçe et.
C ₀	0,000	0,253	0,00199	0,0002
C ₀ +C	0,01296	0,594	0,01031	0,0002
A ₀	26,80	148,80	134,70	107,69
R ²	0,941	0,950	0,995	0,054
RSS	8,302E-07	8,325E-04	1,650E-07	2,779E-09
1B3	Küresel	Küresel	Doğrusal	Külçe et.
C ₀	0,000	0,0001	0,00082	0,000006
C ₀ +C	0,00041	0,20420	0,00133	0,000006
A ₀	25,30	38,00	107,65	107,61
R ²	0,722	0,886	0,888	0,675
RSS	4,209E-09	1,736E-03	1,924E-08	9,292E-12

**BF: Buğday parseli F dönemi, B1: Buğday parseli 1. Dönem, B3: Buğday parseli 3.dönem

Çizelge 4.39 Buğday 2. parsel SLR ve bitki indislerinin konumsal değişimleri

Buğday-2	NDVI_{gs}	LAI	NDVI_{sat}	SLR
2B0***	Üstel	K.K. trans./Küresel	Üstel	K.K. trans./Küresel
C ₀	0,00003	1,00E-005	0,000	1,00E-006
C ₀ +C	0,00006	4,770E-003	0,00009	4,461E-004
A ₀	34,70	32,40	84,00	29,80
R ²	0,908	0,925	0,992	0,863
RSS	3,512E-11	3,251E-07	2,095E-11	5,871E-09
2B1	Küresel	Küresel	Üstel	K.K. trans./Küresel
C ₀	0,00001	0,013	0,0005	1,00E-006
C ₀ +C	0,02712	0,445	0,00524	3,930E-004
A ₀	36,80	30,40	50,30	27,50
R ²	0,885	0,825	0,942	0,783
RSS	2,239E-05	4,954E-03	5,344E-07	1,439E-08
2B3	Küresel	Küresel	Küresel	K.K. trans./Küresel
C ₀	0,00001	0,0001	0,00004	1,00E-006
C ₀ +C	0,00025	0,13120	0,00058	6,17E-004
A ₀	25,40	30,80	51,00	28,20
R ²	0,877	0,966	0,973	0,766
RSS	5,297E-10	9,155E-05	2,758E-09	1,655E-08

*** B0: Buğday parseli 0 (SB) dönemi, B1: Buğday parseli 1. Dönem, B3: Buğday parseli 3.dönem

Çizelge 4.40 Buğday 3. parsel SLR ve bitki indislerinin konumsal değişimleri

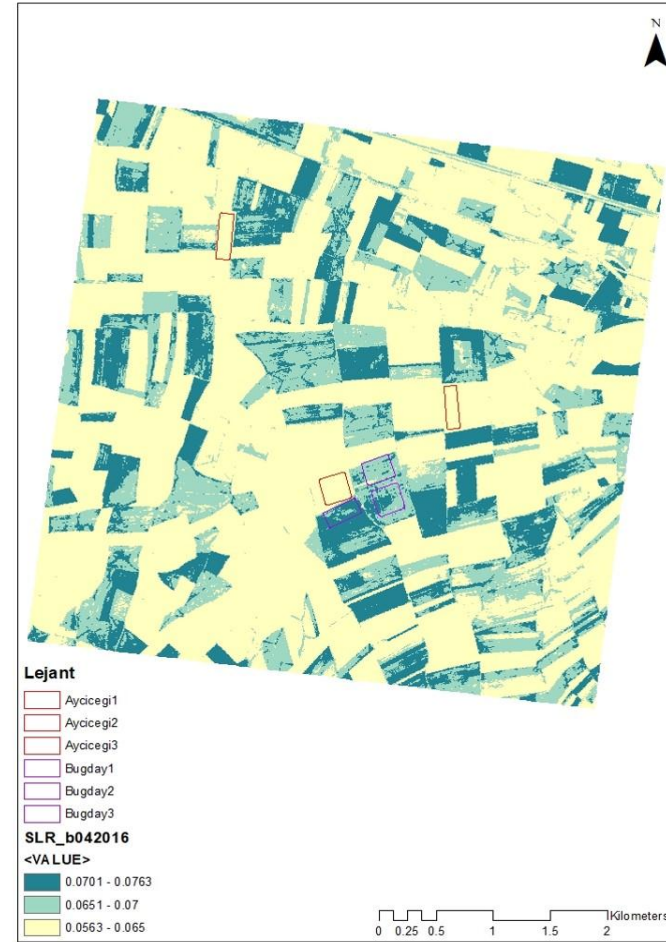
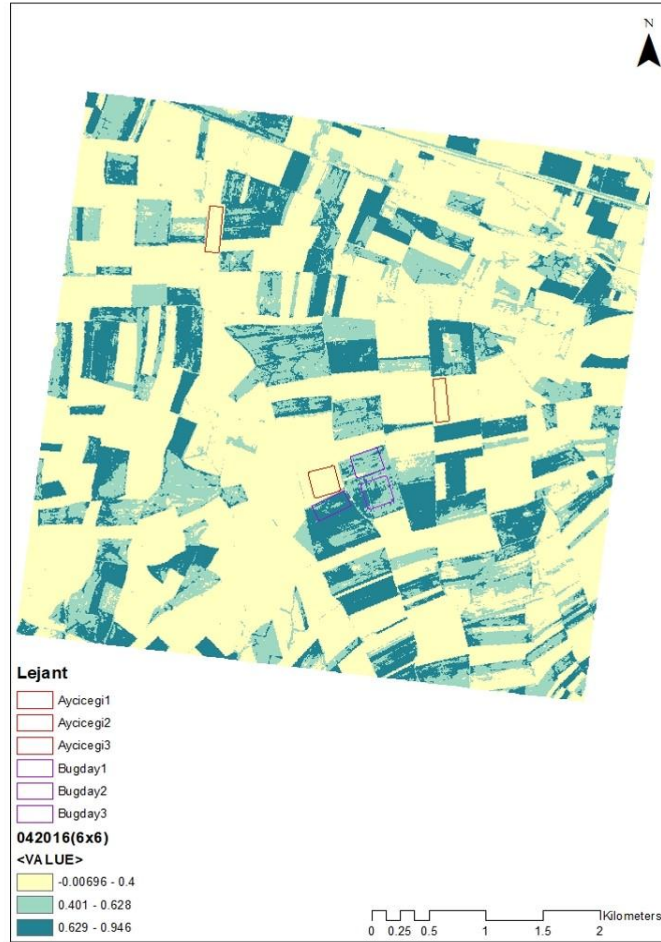
Buğday-3	NDVI_{gs}	LAI	NDVI_{sat}	SLR
3B0	Küresel	K.K. trans./Doğrusal	Küresel	Küresel
C ₀	0,000	0,01112	0,000	0,000
C ₀ +C	0,00007	0,01326	0,00002	0,00016
A ₀	27,80	167,14	32,90	35,60
R ²	0,849	0,855	0,964	0,868
RSS	6,141E-11	6,386E-07	2,419E-12	5,587E-10
3B2	Küresel	Üstel	Küresel	Külçe etkisi
C ₀	0,000	0,253	0,00199	0,0002
C ₀ +C	0,01296	0,594	0,01031	0,0002
A ₀	26,80	148,80	134,70	107,69
R ²	0,941	0,950	0,995	0,054
RSS	8,302E-07	8,325E-04	1,650E-07	2,779E-09
3B3	Küresel	Küresel	Doğrusal	Gaussian
C ₀	0,0009	0,00270	5,610E-004	0,000
C ₀ +C	0,00018	0,11440	8,165E-004	0,0000019
A ₀	50,90	29,20	167,20	20,21
R ²	0,950	0,778	0,793	0,810
RSS	1,346E-10	3,820E-04	1,407E-08	4,852E-13

Çizelge 4.35-4.36- ve 4.37' de ayçiçeği parselleri için hesaplanan ve ölçülen SLR ve bitki indislerinin konumsal değişimleri verilmiştir: 1. Ayçiçeği parseli F döneminde $NDVI_{gs}$ ve LAI yarı-variogramları külçe etkisi gösterirken $NDVI_{sat}$ yarı-variogramı doğrusal, SLR yarı-variogramı ise küresel model ile tanımlanmıştır. 1. dönemde, $NDVI_{gs}$ yarı-variogramı doğrusal, LAI, $NDVI_{sat}$ ve SLR yarı-variogramları küresel olarak tanımlanmıştır. 2. dönemde ise, LAI külçe etkisi gösterirken, $NDVI_{gs}$ ve $NDVI_{sat}$ yarı-variogramları küresel ve SLR ise üstel model ile tanımlanmıştır. 2. ayçiçeği parselinde F döneminde LAI ve $NDVI_{sat}$ külçe etkisi gösterirken, $NDVI_{gs}$ ve SLR yarı-variogramları sırasıyla Gaussian ve üstel modelle tanımlanmışlardır. 1. dönemde $NDVI_{gs}$, LAI ve SLR yarı-variogramları küresel model ile tanımlanırken, $NDVI_{sat}$ külçe etkisi göstermiştir. 3. ayçiçeği parselinde F döneminde LAI ve SLR külçe etkisi gösterirken $NDVI_{gs}$ ve $NDVI_{sat}$ yarı-variogramları üstel model ile tanımlanmıştır. 1. dönemde ise $NDVI_{gs}$ ve SLR yarı-variogramları üstel model ile tanımlanırken LAI, Gaussian ve $NDVI_{sat}$ Küresel model ile tanımlanmıştır. Çizelge 4.38-4.39 ve 4.40 buğday parselleri için hesaplanan ve ölçülen SLR ve bitki indislerinin konumsal değişimleri verilmiştir: Buğday parsellerinde ise 1. Parsel F döneminde $NDVI_{gs}$ ve SLR külçe etkisi göstermiş, LAI ve $NDVI_{sat}$ sırasıyla küresel ve doğrusal modellerle tanımlanmışlardır. 1. dönemde NDVI yarı-variogramları küresel modellenirken, LAI üstel olarak modellenmiş ancak SLR külçe etkisi göstermiştir. 3. dönemde $NDVI_{gs}$ ve LAI yarı-variogramları küresel, $NDVI_{sat}$, doğrusal model ile tanımlanırken SLR külçe etkisi göstermiştir. 2. buğday parseli 0 (SB) döneminde $NDVI_{gs}$ ve $NDVI_{sat}$ yarı-variogramları üstel olarak modellenirken LAI ve SLR küresel olarak modellenmiştir. 1. bönemde $NDVI_{gs}$, LAI ve SLR yarı-variogramları küresel model ile tanımlanırken $NDVI_{sat}$ üstel olarak modellenmiştir. 3. dönemde ise tüm indisler ve SLR yarı-variogramları küresel olarak tanımlanmıştır. 3. buğday parselinde 0 (SB) döneminde $NDVI_{gs}$, $NDVI_{sat}$ ve SLR küresel modellenirken LAI yarı-variogramı doğrusal olarak tanımlanmıştır. 2. dönemde $NDVI_{gs}$ ve $NDVI_{sat}$ küresel, LAI üstel modellenirken SLR külçe etkisi göstermiştir. Son olarak 3. dönemde ise $NDVI_{gs}$ ve LAI yarı-variogramları küresel, $NDVI_{sat}$ doğrusal ve SLR Gaussian model ile tanımlanmıştır.

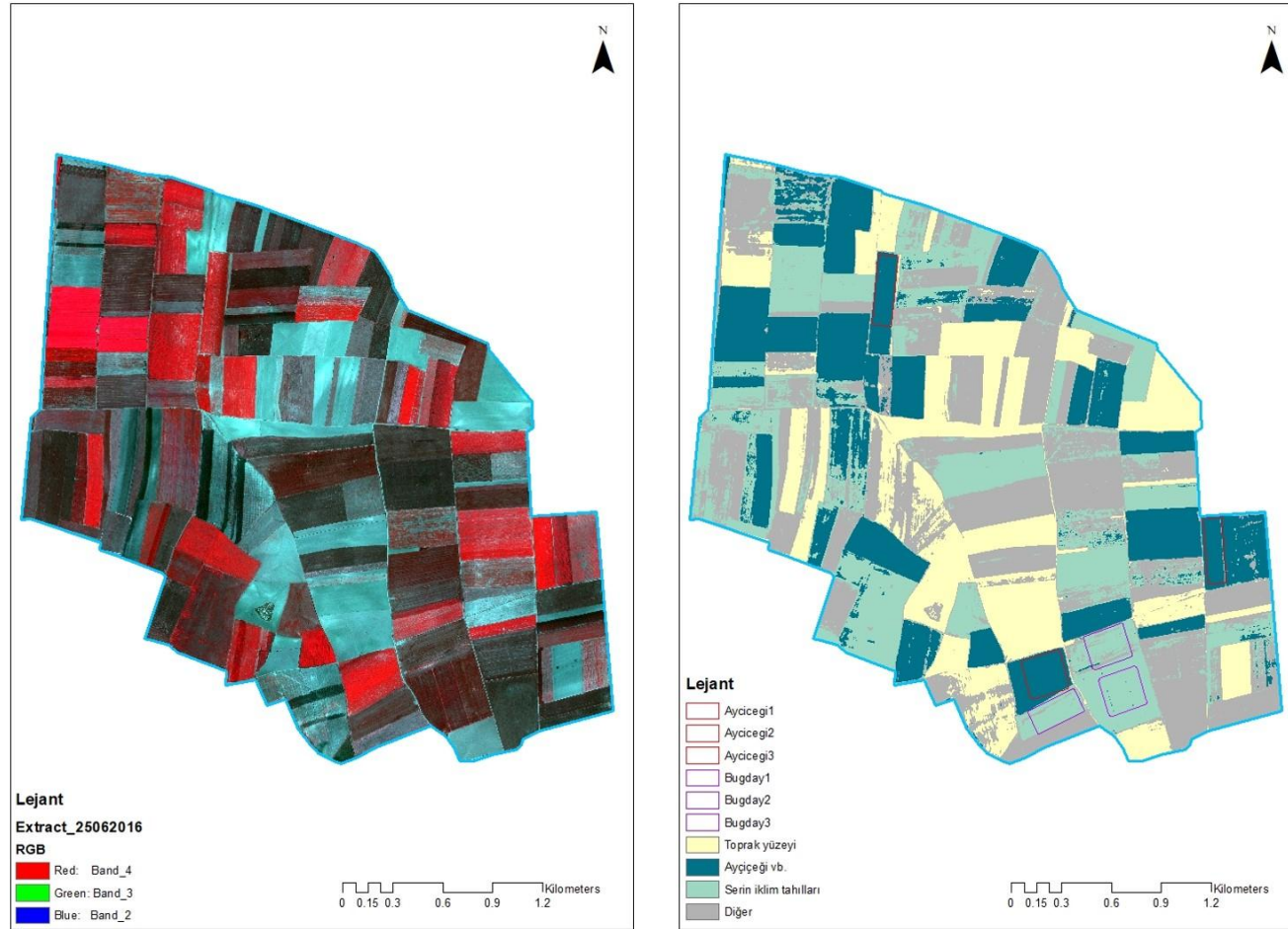
Bu aşamanın önemi, zaman alıcı, yorucu ve pahalı olan arazi çalışmalarının daha çok küçük alanlarda yapılması ve küçük alanlardan elde edilen verilerin tüm bu zahmetleri en aza indirebilmek adına üst-ölçeklendirme yöntemlerinin ekstrapolasyonla geniş alanlarla yayılabildiğinde ön plana çıkmaktadır (TRuSTEE, 2018). Özellikle indirgenmiş modellerde bağımlı değişken olan $NDVI_{sat}$ göz önünde bulundurulduğunda, $NDVI$ 'ın doğrusal olarak ışıma ve yansımaya bağlı olmadığını ve bu yüzden, eğer bitki örtüsü konumsal olarak heterojen bir yapıya sahipse ve küçük bir alanda vejetasyon ölçümü yapılıyorsa yüksek çözünürlüğe sahip olmayan uydu görüntülerinin üst-ölçeklendirme için uygun olmadığını da unutmamak gerekir (Aman vd., 1992). Bununla birlikte yalnızca konumsal çözünürlüğü (Gupta vd., 2002; Zhao vd., 2013; Wang vd., 2018) değil aynı zamanda zamansal çözünürlüğün (dönemsel veri) de önemli olduğu farklı çalışmalarla da ortaya çıkarılmıştır (Diodato vd., 2017). Bu çalışma ile, parsel düzeyinde elde edilen SLR denklemi ile farklı görüntü hücresi büyüklüklerinde ve farklı iki bitki türü için geniş alanlarda nasıl değişim gösterdiği incelenmiş ve bitki örtüsü ve ürün yönetimi için alana ve bitkiye özgü bilgi vermiştir.



Şekil 4.32 Nisan 2016 PHR-1B multispektral görüntü (sol) ve en büyük olabilirlik sınıflandırması (maximum likelihood classification) tabakaları (sağ)



Şekil 4.33 Nisan 2016 NDVI (6m × 6m) (sol) ve Buğday SLR (Toprak Kaybı Oranı) tabakası (sağ)



Şekil 4.34 Haziran 2016 PHR-1A multispektral görüntü (sol) ve en büyük olabilirlik sınıflandırması (maximum likelihood classification) tabakaları (sağ)



Şekil 4.35 Haziran 2016 NDVI tabakaları (sol: 6m × 6m, orta: 31m × 31m ve sağ: 51m × 51 m)



Şekil 4.36 Haziran 2016 Ayçiçeği bitkisi SLR tabakaları (sol: 6m × 6m, orta: 23m × 23m ve sağ: 31m × 31m)



Şekil 4.37 Haziran 2016 Buğday bitkisi SLR tabakaları (sol: 6m × 6m, orta: 20m × 20m ve sağ: 51m × 51m)



Şekil 4.38 Ağustos 2016 PHR-1B multispektral görüntü (sol) ve en büyük olabilirlik sınıflandırması (maximum likelihood classification) tabakaları (sağ)



Şekil 4.39 Ağustos 2016 NDVI (6m × 6m) (sol) ve Ayçiçeği SLR (6m × 6m) (Toprak Kaybı Oranı) tabakası (sağ)

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Sakarya Nehri'nin kolu olan Porsuk Çayı'nın alt kısmında kalan Alpu Ovası'na dahil tarım alanlarından seçilen parsellerde gerçekleştirilen bu çalışmada, RUSLE-C alt-faktörleri ile farklı bitki indisleri arasındaki ilişkileri araştırmak, bu ilişkiler yardımıyla daha pratik bir şekilde C-faktörünü hesaplamak ve geniş alanlara yayabilmek için eşitlikler geliştirme amaçlanmıştır. Bunun için, bitki seçiminde hem sulu hem de kuru tarım faaliyetlerini en iyi şekilde örneklemesi bakımından ve ülkemizde İç Anadolu koşullarında en çok tarımı yapılan yağlık ayçiçeği (sulu) ve buğday (kuru) bitkileri tercih edilmiştir. Fizyolojik olarak da birbirinden farklı gelişme gösteren bu iki farklı bitki türünün (planofil ve erektofil) farklı rotasyon sistemlerine dahil olmaları ile birlikte bitki indislerinin gelişim dönemleri boyunca nasıl cevaplar verdiği ve bitki örtüsü ve ürün yönetiminin üzerindeki etkinliği incelenmiştir.

Tez çalışmasının yürütüldüğü her parselde, RUSLE modeline ait *Ürün Yönetimi Faktörü (C)*'nin hesaplanmasında kullanılan tüm alt-faktörler (PLU – SC – CC – SM – SR), toprak yönetimi uygulamalarının toprak koruma planlarına olan göreceli etkinliğini belirlemek için parsel düzeyinde dönemsel olarak ölçülmüştür. Tüm dönem ve parselleri kapsayacak şekilde yaklaşık olarak 2700 örnek ve ölçüm yapılmıştır. Sistematiik ve rastgele örneklemeler öncesinde parsellerin karakteristik özelliklerini bilmek adına organik madde, tekstür, özgül ağırlık, hacim ağırlığı ve pH analizleri yapılmıştır. Alt-faktörlerin ve bitki indislerinin ilişkili olup olmadığının değerlendirildiği hem korelasyon analizlerinde hem de bu ilişkilerin modellenmesinde doğrusal ilişkiler incelenmiştir. Çünkü en temel ilişki modeli doğrusal olup elde edilen denklemlerin daha geniş alanları temsil etmesi için kullanılmaktadır. Daha sonra parseller ve dönemler arası farklılığın olup olmadığını göstermek amacıyla normal dağılım göstermeyen verilerde Kruskal Wallis H-testi yapılmış ve parsel ve dönem faktörleri önemli bulunmuştur ($p < 0,050$). Parsel faktörünün önemli olarak elde edilmesi RUSLE modelindeki alt-faktör değerleri için göz ardı edilebilir boyutta olduğundan verisetinde tüm parsellere yer verilmiş ve her bir alt faktör bitki indisleri ile adimsal regresyon yöntemi kullanılarak tahmin edilmiştir. *Faktöriyel ANOVA* sonucunda elde edilen önemli parametreler ile dönemsel indirgenmiş denklem modelleri kurulmuştur.

Ayçiçeği bitkisinin FP – 1P – 2P – 3P dönemlerinin tamamı değerlendirilirken buğday bitkisi için dönemler arası farklılıklar göz ardı edilerek toplam üç dönem için değerlendirilmiştir (FP/0P – 1P/2P – 3P).

Bu çalışma kapsamında ayçiçeği ve buğday yetiştiriciliğindeki temel farklar:

- Bitki gelişim süreleri ve evreleri,
- Bitki fizyolojileri,
- Bitki fizyolojilerine bağlı olarak kanopi kapalılığı ve yüzey kapalılığı,
- Bitki fizyolojisine bağlı olarak bitkilerin güneş ışığını yansıtma/absorbe etme oranı yani bitki indisleri ile olan interaksiyonları,
- Bulundukları rotasyon sistemleri,
- Yarı-kurak bir ekosistem içerisindeki su ihtiyaçları,
- Toprak işleme teknikleri ve buna bağlı olarak toprakta bırakılan anız miktarı,
- Toprak işleme ve sulamaya bağlı oluşan pürüzlülük ve
- Hasat sonrası yüzey kapalılığı ve artık miktarlarıdır.

Bu farklar doğrultusunda elde edilen bulgulara göre, ayçiçeği bitkisinde bitki indislerinin reaksiyonlarını gözlemlemek buğday bitkisine göre daha pratik olmuştur. Gelişme süresinin de kısa olması ve fizyolojik olarak dönemler içindeki değişimi bitki indisleri ile rahatlıkla takip edilebilir olması alt-faktörler ve indisler arasındaki ilişkilerin yüksek seviyede olmasını sağlamıştır. Ancak arazi çalışmaları özellikle %75 kapalılık sonrası buğday parsellerinin arazi çalışmaları kadar kolay olmamakla birlikte zaman alıcı ve yorucudur.

Diğer yandan ayçiçeği parselleri içerisinde sıra üstü ve sıra arası boşlukların hem bitki yapısına hem de toprak işleme faaliyetlerine bağlı olarak buğday bitkisinden farklılaşmakta ve parseller içerisindeki bu boşluklarla daha heterojen bir yapı oluşturmaktadır. Bu da yalnızca bitkinin değil aynı zamanda toprağın göstermiş olduğu yansımanın da göz önünde bulundurulması gerektiği sonucunu çıkarmaktadır. Bu duruma ek olarak, ayçiçeği parsellerinde yabancı ot gelişimi buğday bitkisi ile kıyaslanamayacak düzeyde fazla olduğu gözlemlenmiştir. Hemen ekim sonrası dönemde yabancı otlar gözlemlenmese bile ilerleyen dönemlerde sulamanın da etkisi ile

artması beklenen bir durumdur. Yabancı ot kontrolünün cevap verdiği parsellerde bu etki görülmemekle birlikte yalnızca ayçiçeği ve toprak yansıması değerlendirilebilir. Ayçiçeğinin, planofil yapılı olmasından ötürü buğdayın aksine daha orantılı bir gelişme gösterdiği görülmektedir.

Erektofil bitki olan buğday ise kardeşlenme sonrasında çok büyük bir oranda kapallılık sağlamakta ve bu durum olgunlaşmaya kadar devam etmektedir. Gelişim süresince, alt-faktörler buğday için iki farklı değişim trendi göstermişler ve kendi aralarında ilişkili iki farklı grup oluşturmuşlardır. Parseller arası rotasyon farklılıkları göz ardı edildiğinde, genel olarak PLU-SM-NDVI arası ve SC-CC-SR-LAI arası ilişkilerin kendi içinde gruplaştığı ve bu gruplar içerisindeki korelasyonun yüksek olduğu gözlemlenmektedir. İlk grup önce 1' e sonrasında 0' a yaklaşma eğilimi gösterirken ikinci grup 0' a ya da 1' e yaklaşma eğilimi gösterip sabit kalmaktadır.

Bu doğrultuda, bitki indisleri açısından değerlendirildiğinde buğday bitkisi, ayçiçeği bitkisinden farklı olarak gelişme dönemi sonunda girdiği olgunlaşma dönemi ile oldukça farklıdır. Ayçiçeğinde olgunlaşmaya bağlı sararma buğday bitkisinden az; su kaybına bağlı biyokütledeki azalma ve fiziksel olarak küçülme buğday bitkisinden fazladır. Buğdayda LAI değerlerindeki azalma son dönemde olgunlaşma ve kurumadan kaynaklı biyokütlenin azalmasıyla kendini göstermiştir ancak bitki fizyolojisinden (erektofil) ötürü ayçiçeği kadar olmamıştır. Dolayısıyla kapallılık hala çok yüksek seviyededir. Fakat klorofil kaybından ötürü renk sarıya dönmüştür ve NDVI değerlerindeki düşüş oldukça kayda değer olmuştur. Bu da NDVI-LAI arası ilişkilere doğrudan yansımaktadır. Bitki indislerinin buğday bitkisi için kendi aralarındaki korelasyonuna bakıldığında $NDVI_{gs}$ ile $NDVI_{sat}$ arasında çok yüksek ilişki düzeyi elde edilirken, su kaybı, topraküstü bitki aksamının olgunlaşmaya bağlı küçülmesi ve klorofil içeriğinin azalmasına bağlı olan sararmadan ötürü NDVI-LAI arasındaki ilişkilerin orta ve yüksek düzeyli olduğu görülmektedir. Her iki bitkide de $NDVI_{gs}$ ve $NDVI_{sat}$ arası ilişkilerin yüksek olması aslında uydu görüntülerinin de yersel olarak doğrulandığının bir göstergesidir.

Elde edilen sonuçlara göre, ayçiçeği ekili alanlarda indisler aracılığı ile elde edilen indirgenmiş modellerle, RUSLE modeli ile hesaplanan alt-faktörlerden PLU, SC, CC, SM ve SR için elde edilen model belirleme katsayıları sırasıyla 0,9470, 0,9983, 0,2296, 0,6570 ve 7960; buğday ekili alanlar için ise 0,9624, 0,9643, 0,6012, 0,6979 ve 0,8986'dır. Ayçiçeği ekili alanlar için PLU, SM ve SR alt-faktörlerinin tahmin edilmesinde bitki indislerinin yalnızca ana etkilileri indirgenmiş modellere dahil olurken SC ve CC alt-faktörlerinde ana etki ve interaksiyonlardan oluşan modeller kurulmuştur. Buğday ekili alanlarda ise, PLU ve SR alt-faktörlerinin tahmin edilmesinde bitki indislerinin birbirleriyle olan interaksiyonları modellere dahil olmazken SC, CC ve SM alt-faktörleri için elde edilen modellerde interaksiyonlar bulunmaktadır. Her iki bitki türü için parseller ortalaması ile hesaplanan Toprak Kaybı Oranı (SLR) değerleri yalnızca NDVI_{sat} ile tahmin edilebilmiştir Ayçiçeği modeli için $R^2 = 0,8495$ (RMSE = 0,098); Buğday modeli $R^2 = 0,9313$ (RMSE = 0,006) olarak elde edilmiştir. Değişim aralıklarının belirlenmesinde en küçük hata değerleri ve en yüksek belirleme katsayıları istoropik modelde elde edilmiştir. Böylelikle, dönemsel olarak SLR'nin tek indisle hesaplanabilmesini ve yüksek doğrulukla daha geniş alanlara yılımını kolaylaştırmıştır.

İndirgenmiş modellerle tahmin edilen SLR, üst-ölçeklendirme uygulamalarında yüksek çözünürlüklü uydu görüntüsünün kullanılması ve parsel ölçeğinde elde edilen sonuçların daha büyük alanlara yayılması aşamasında benzer bitki örtüleri için yakın sonuçlar vermiştir. Özellikle tarım alanlarındaki ekili ürünlerin, toprak işleme faaliyetlerinin, toprak ve iklim özelliklerinin de dahil olduğu etkinliklerinin belirlenmesinde kullanılan C-faktörünün hesaplanmasında, zaman ve iş yükü bakımından zahmetli olan ölçüm yöntemlerinin daha da pratikleştirilmesi bakımından bu tür yöntemlerin araştırmacılar tarafından başarılı bir şekilde kullanılacağı düşünülmektedir.

Doğrudan parsel düzeyinde ölçülen ve hesaplanan RUSLE-C alt-faktörleri ile hem yersel hem de uydu görüntülerinden elde edilen bitki indisleri arasındaki ilişkilerle bundan sonraki aşamalarda yalnızca bu çalışmada incelenen ayçiçeği ve buğday bitkisi için değil, farklı fizyolojik özelliklere sahip bitki türleri için de araştırılması, RUSLE gibi matematiksel modellerin daha pratik bir şekilde kullanımının yaygınlaşmasına ve

tarımsal alanlarda daha pratik bir şekilde arazi kullanım türleri hakkında daha fazla bilgi sahibi olunmasına olanak sağlayacaktır. Özellikle gelecekteki potansiyel araştırmalar için örnekleme yöntemlerinin belirlenmesinde de bu çalışmada kullanılan sistem, daha iyi planlamaların yapılması için iyi bir örneği temsil etmektedir.

Diğer yandan, bu çalışma ile alt-faktörlere ait eşitliklerde kullanılan parametreler göz önünde bulundurulduğunda aslında, toprak ve su koruma açısından, sürdürülebilir arazi yönetimi, sürdürülebilir toprak yönetimi konularında gelecekte ne yapılması gerektiğini planlayabilmek adına bize üzerinde çalıştığımız alanların doğrudan kimlik bilgisini vermektedir ve görülmektedir ki ciddi bir şekilde topraklarımız -her ne kadar SLR ya da parsellerin ortalama C-faktör değerleri oldukça yüksek/etkin olsalar da- aslında aşırı toprak işlemeye maruz kalmakta ve toprakların üzerinde bitki örtüsü olduğu sürece ve nem içeriği korunduğu sürece bu değerleri bu kadar yüksek elde etmekte olduğumuz görülmekte; aksi takdirde alt-faktör değerleri etkinliklerini gösterememektedirler. Hasat sonrası yeni ürünün tohum ekiminden çimlenmesine kadar geçen süre ya da bitkinin gelişip yüzey örtücü olarak etkin olduğu zamana kadar toprakların tehlikeye açık olduğundan özellikle kurak, yarı-kurak ekosistemde olan bölgemiz ve ülkemiz açısından farklı rotasyon seçeneklerin değerlendirilmesi dikkate alınabilir. Bitki artık ve kök miktarlarının çok az olması, mekanizasyon işlemlerinin fazla olması, yüzeyde anız bırakmaktan kaçınma ve ürün rotasyonlarının iklim değişikliği, toprak sağlığı ve sürdürülebilirlik konularının dışında yalnızca daha çok üretmeye yönelik olması geleceğimiz açısından sürdürülebilir değildir. Bu yüzden, sürdürülebilir toprak yönetimi için toprak ve su koruma konusunda hem çiftçilere hem de üreticilere yönelik saha eğitimlerinin yaygınlaşması, araştırma sonuçlarının yayımlanması ve paylaşılması ve ıslah edilen tarla bitkilerinde olduğu gibi demonstrasyonların yaygınlaşması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Accupar Operator's manual, 2015. Decagon Devices Inc. (PAR/LAI Ceptometer Model LP-80) Version July 13, 2015.
- Aguirrezábal L.A.N., G.A. Orioli, L. Hernández, V.R. Pereyra, and J.P. Miravé. 1996. *Girasol: Aspectos fisiológicos que determinan el rendimiento*. Editorial Unidad Integrada Balcarce, Balcarce, Argentina.
- Alberio, C., Izquierdo, N.G., Aguirrezábal Aguirrezábal, L.A.N. Bitkisel Üretim Çitçi Rehberi, 2015. Sunflower Crop Physiology and Agronomy, Editor(s): Enrique Martiñez-Force, Nurhan Turgut Dunford, Joaquín J. Salas, Sunflower, AOCS Press, Pages 53-91, ISBN 9781893997943, <https://doi.org/10.1016/B978-1-893997-94-3.50009-X>.
- Alekseychik, P. K., Korrensalo, A. , Mammarella, I., Vesala, T. and Tuittila, E. S. 2017. "Relationship between aerodynamic roughness length and bulk sedge leaf area index in a mixed-species boreal mire complex," *Geophys. Res. Lett.* 44 (11), 5836–5843 (2017).
- Allmaras, R.R., R.E. Burwell, W.E. Larson, et al. 1966. Total porosity and random roughness of the interrow zones influenced by tillage. U.S. Dep. Agric., Conserv. Res. Rep. 7.
- Almagro, A., Thomas, T.C. Colman, C.B., Pereira, R.B., Junior, J.M., Rodrigues, D.B.B., Oliveira, P.T.S. 2019. Improving cover and management factor (C-factor) estimation using remote sensing approaches for tropical regions, *International Soil and Water Conservation Research*, Volume 7, Issue 4, 2019 Pages 325-334, ISSN 2095-6339, <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2019.08.005>.
- Aman, A., Randriamanantena, H. P., Podaire, A., & FROUTIN, R. 1992. Upscale integration of normalized difference vegetation index: The problem of spatial heterogeneity. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 30, 326–338.
- Anonim, 1954. U.S. Salinity Laboratory Staff..Diagnosis and Improvement of Saline and Alkaline Soils. USDA, No.60. (erişim tarihi: 05-01-2021)
- Anonim, 2003.: <http://rst.gsfc.nasa.gov/Front/tofc.html> (erişim tarihi: 24-06-2020)

- Anonim, 2015. https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/editorodosya/Eskisehir_icdr2015.pdf (erişim tarihi: 17-05-2020)
- Anonim, 2016. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarım İl Müdürlüğü 2016 Faaliyet Raporu.
https://eskisehir.tarimormman.gov.tr/Belgeler/2016_Faaliyet_Raporu/2016%20Y%C4%B1%C4%B1%20Faaliyet%20Raporu.pdf (Erişim tarihi: 11/03/2020)
- Anonim, 2016. Web sitesi. http://www.eskisehir.bel.tr/dosyalar/imar_plan_ilani/214-5-2016-10-27-9d9aab2d.pdf (Erişim tarihi: 11/03/2020).
- Anonim, 2016. Web sitesi.
http://www.tarimkutuphanesi.com/bugday_tarimi_01737.html (Erişim tarihi: 18-08-2020)
- Anonim, 2017. Web sitesi. <https://www.agric.wa.gov.au/soil-nutrients/critical-tissue-nitrogen-concentrations-diagnosis-nitrogen-deficiency-wheat> (Erişim tarihi: 21-05-2020)
- Anonim, 2017. Web sitesi. <https://www.environmentalbiophysics.org/correct-ndvi-sensor-limitations/> (Erişim tarihi:15/06/2020).
- Anonim, 2019. Web sitesi.
http://www.tarimkutuphanesi.com/bugday_yetistiricZhenfiligi_00033.html (erişim tarihi: 05-01-2021)
- Anonim, 2020. Web sitesi. <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/LAI/LAI2.php> (erişim tarihi: 17-08-2020)
- Anonim, 2020. Web sitesi.
<https://arastirma.tarimormman.gov.tr/ttae/Sayfalar/Detay.aspx?SayfaId=54> (erişim tarihi: 06-07-2020)
- Anonim, 2020. Web sitesi.
https://daac.ornl.gov/FIFE/Datasets/Vegetation/Leaf_Angle_Data.html (erişim tarihi: 20/06/2020)
- Armstrong, C.L., and J.K. Mitchell. 1987. Transformation of rainfall by plant canopy. Trans. ASAE 30:688-696.
- Armstrong, C.L., and J.K. Mitchell. 1988. Plant canopy characteristics and processes which affect transformation of rainfall properties. Trans. ASAE 31:1400-1409.

- Austin, M.E. 1981. Land resource regions and major land resource areas of the United States. U.S. Dep. Agric., Agric. Handbook No. 296.
- Baret F., Guyot, G. and Major, D., 1989. TSAVI: a vegetation index which minimizes soil brightness effects on LAI and APAR estimation. 12th Can. Symp. R.S. and IGARSS'89. Vancouver, Canada, July 10-14, pp. 1355-1358.
- Bargiel, D., Hermann, S., Jadczyzyn, J., 2013. Using high resolution radar images to determine vegetation cover for soil erosion assessment. *Journal of Environmental Management* 124 (2013) 82-90.
- Bazzoffi, P. 2007. *Erosione del Suolo e Sviluppo Rurale: Fondamenti e manualistica per la valutazione agro ambientale Edagricole*, Bologna (2007)
- Belgiu, M., and Csillik, O. 2018. Sentinel-2 cropland mapping using pixel-based and object-based time-weighted dynamic time warping analysis, *Remote Sensing of Environment*, Volume 204, 2018, Pages 509-523, ISSN 0034-4257, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.10.005>.
- Bierkens, M.P., Finke, P., Willigen, D.P. 2000. Upscaling and downscaling methods for environmental research, . Kluwer, Dordrecht.
- Biesemans, J., Van Meirvenne, M., Gabriels, D., 2000. Extending the RUSLE with the Monte Carlo error propagation technique to predict long-term average off-site sediment accumulation. *J. Soil Water Conserv.* 55, 35–42.
- Bitkisel Üretim Çiftçi Rehberi, 2012. Şeker Fabrikası A.Ş. Kültür yayınları. ISBN no: 978-605-86881-0-0.
- Blake, G.R. ve Hartge, K.H. 1986. Bulk Density and Particle Density. In: *Methods of Soil Analysis, Part I, Physical and Mineralogical Methods*. Pp: 363-381. ASA and SSSA Agronomy Monograph No: 9 (2nd ed), Madison.
- Bouyoucos, G.H. 1951. A Recalibration of the Hydrometer for Making Mechanical Analysis of Soils. *Agronomy Journal*, 43, 434-438. <http://dx.doi.org/10.2134/agronj1951.00021962004300090005x>
- Bowers, S.A., and R.J. Hanks. 1965. Reflection of radiant energy from soils. *Soil Sci.* 100:130-138.
- Box, J.E., Jr. 1981. The effects of surface slaty fragments on soil erosion by water. *Soil Sci. SOC. Am. J.* 45: 11 1-1 16.

- Brevik EC, Cerdà A, Mataix-Solera J, Pereg L, Quinton JN, Six J, Van Oost K. 2015. The interdisciplinary nature of SOIL. *SOIL* 1: 117–129. DOI: 10.5194/soil-1-117-2015.
- Buermann, W., 2002: The impact and response of vegetation to climate at interannual timescales. Ph.D. thesis, Boston University, 140 pp.
- Campbell, G.S., 1986. Extinction coefficients for radiation in plant canopies calculated using an ellipsoidal inclination angle distribution. *Agric. For. Meteorol.*, 36: 317-21.
- Castro C, Farias JRB. 2005. Ecofisiologia do girassol. In: Leite RMVBC, Brighenti AM, Castro C, eds. *Girassol no Brasil*. Londrina: Embrapa Soja, pp. 163–218
- Chapman, S.C., Hamer, G.L. and Meinke, H., 1993. A sunflower simulation model. Model development. *Agron. J.* 85: 725-735.
- Chen, H.Y.H., 1997. Interspecific responses of planted seedlings to light availability in interior British Columbia: survival, growth, allometric patterns, and specific leaf area. *Canadian Journal of Forest Research* 27: 1383-1393.
- Zhao, Y., Chen, S., Shen, S., 2013. Assimilating remote sensing information with crop model using Ensemble Kalman Filter for improving LAI monitoring and yield estimation. *Ecol. Modell.* 270, 30–42.
- Choudhury, B. J. and Monteith, J.L., 1988. A four-layer model for the heat balance of homogeneous land surfaces. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 114: 373-398.
- Claessens, L., Van Breugel, P., Notenbaert, A., Herrero, M., Van De Steeg, J. 2008. Mapping Potential soil Erosion in East Africa using the USLE and Secondary Data. *Sediment Dynamics in Changing Environments* (Proceedings of a symposium held in Christchurch, New Zealand, December 2008). IAHS Publ. 325, 2008.
- Clark, I. 1979. *Practical Geostatistics*, Applied Science Publishers Ltd. London, 129pp.
- Clevers, J.G.P.W., 1989. The application of a weighted infrared-red vegetation index for estimating leaf area index by correcting for soil moisture. *Remote Sensing Environ.* 29, 25–37.
- Cogo, N.D., W.C. Moldenhauer, and G.R. Foster. 1984. Soil loss reduction from conservation tillage practices. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48:368-373.

- Colman, C. B. 2018. Impacts of climate and land use changes on soil erosion in the Upper Paraguay Basin. Federal University of Mato Grosso do Sul.
- Cry, L., Bonn, F., Pesant, A. 1995. Vegetation indices derived from remote sensing for an estimation of soil protection against water erosion *Ecological Modelling* 79 (1995) 277-285.
- D’Odorico, P., Bhattachan, A., Davis, K.F., Ravi, S. & Runyan, C.W. 2013. Global desertification: drivers and feedbacks. *Advances in Water Resources*, 51: 326-344.
- Daugherty, C. S. T., Bauer, M. E., Crecelius, D. W., and Hixson, M. M. (1980) Effects of Management Practices on Reflectance of Spring Wheat Canopies. *Agron. J.* 72:1055-1060.
- Davies, W. J.; Bacon, M. A.; Thompson, D. S.; Sobeih, W.; González Rodríguez, L. Regulation of Leaf and Fruit Growth in Plants Growing in Drying Soil: Exploitation of the Plants’ Chemical Signalling System and Hydraulic Architecture to Increase the Efficiency of
- De Asis, A.M., Omasa, K., 2007. Estimation of vegetation parameter for modeling soil erosion using linear Spectral Mixture Analysis of Landsat ETM data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 62 (4), 309–324.
- De Jong, S.M., 1994. Derivation of vegetative variables from a Landsat TM image for modelling soil erosion. *Earth Surface Processes and Landforms* 19, 165–178.
- De la Casa and G. Ovando, 2013."Estimation of Wheat Area in Córdoba, Argentina, with Multitemporal NDVI Data of SPOT-Vegetation," *International Journal of Geosciences*, Vol. 4 No. 10, 2013, pp. 1355-1364. doi: 10.4236/ijg.2013.410132.
- Demir, İ., Çene, E., Karaboğa, H. A., Şener, E., Bozkır, Ö., Akoğul, S. Ve Özkan, B. 2017. R ile uygulamalı istatistik. Demir, İ. (ed.) 301-302, İstanbul.
- Di, L., D. C. Rundquist, and L. Han 1994., Modelling relationships between NDVI and precipitation during vegetative growth cycles, *Int. J. Remote Sens.*, 15, 2121 – 2136.
- Dickey, E.C., C.R. Fenster, J.M. Laflen, and R.H. Mickelson. 1983. Effects of tillage on soil erosion in a wheat-fallow rotation. *Trans. ASAE* 262314- 820.
- Diggle P, Riberio P j. 2007. *Model-Based Geostatistics*, First edit. 228

- Diodato N, Bellocchi G, Fiorillo F, Ventafridda G. 2017. Case study for investigating groundwater and the future of mountain spring discharges in Southern Italy. *J Mt Sci* 14:1791–1800. <https://doi.org/10.1007/s11629-017-4445-5>
- Dissmeyer, G.E., and G.R. Foster. 1981. Estimating the cover-management factor (C) in the universal soil loss equation for forest conditions. *J. Soil Water Conserv.* 36:235-240.
- Dunkerley, D. 2004. Flow Threads in Surface Run-Off: Implications for the Assessment of Flow Properties and Friction Coefficients in Soil Erosion and Hydraulics Investigations. *Earth Surf. Process. Landforms* 29, 1011–1026 (2004). DOI: 10.1002/esp.1086.
- Duran, C. 2007. Plant Cover Analysis Using Remote Sensing Methods. *Doğu Akdeniz Ormancılık Araştırma Müdürlüğü Doğa Dergisi (Journal of DOA) Sayı: 13, sayfa: 45-67.*
- Durigon VL, Carvalho DF, Antunes MAH, Oliveira PTS, Fernandes MM. 2014. NDVI time series for monitoring RUSLE cover management factor in a tropical watershed. *Int J Remote Sens* 35(2):441–453
- El-Shikha, D. M., Barnes, E. M., Clarke, T. R., Hunsaker, D. J., Haberland, J. A., Pinter P. J., Waller, Jr., P. M., Thompson, T. L. 2008. Remote Sensing of Cotton Nitrogen Status Using the Canopy Chlorophyll Context Index (CCCI). *Transactions of the ASABE*. 51(1): 73-82. (doi: 10.13031/2013.24228)
- Erdogan, E.H., Erpul, G. ve Bayramin, İ. 2007. Use of USLE/GIS Methodology for Predicting Soil Loss in a Semiarid Agricultural Watershed. *Environ Monit Assess* 131, 153–161 (2007). <https://doi.org/10.1007/s10661-006-9464-6>
- Erpul G., Şahin S., Akgöz R., İnce K., Güden A., Çetin E., 2016. Türkiye Yağışlarının Özellikleri ve Yenilenmiş Evrensel Toprak Kayıpları Eşitliği (RUSLE) R-Faktörü. *Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü Yayınları*. s:10-22, Ankara.
- Erpul, G., 2008, Su Erozyonu Tahmin Modelleri Dersi Notları (SETM) (Yüksek Lisans), Basılmamış, Ankara
- ESRI, 2018 ArcGIS 10.8 for Desktop. Environmental Systems Research Institute Inc, California.

- FAO 2017. Voluntary Guidelines for Sustainable Soil Management Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, Italy.
- FAO and ITPS, 2015. Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Main Report. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, Italy. ISBN 978-92-5-109004-6.
- Fieuzal, R. and Baup, F. 2016. Monitoring Sunflower by Using Synchronous Optical and Radar Satellite Data: From Temporal Signatures to Crop Parameters Estimation. Accepted for publication by the International Journal of Remote Sensing.
- Finney, H.J. 1984. The effect of crop covers on rainfall characteristics and splash detachment. *J. Agric. Eng. Res.* 29:337-343.
- Foley, J. A., Ramankutty, N., Brauman, K. A., Cassidy, E. S., Gerber, J. S., Johnston, M. & O'Connell, C. 2011. Solutions for a cultivated planet. *Nature*, 478(7369): 337–342..
- Foody G.M. 2002. Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sens. Environ.*, 80: 185–201.
- Foster, G.R., 1982. Modeling the erosion process, ch. 8. In: Haan, C.T., Johnson, H.D., Brakensiek, D.L., (Eds.), *Hydrologic Modeling of Small Watersheds*. ASAE Monogr. No. 5, Am. SOC. Agric. Eng., St. Joseph, Michigan.
- Gabriels, D., Ghekiere, G., Schiettecatte, W., Rottiers, I., 2003. Assessment of USLE cover-management C-factors for 40 crop rotation systems on arable farms in the Kemmelbeek watershed, Belgium. *Soil & Tillage Research* 74 (2003) 47–53.
- Galvao, L.S., Formaggio, A.R., Tisot, D.A. 2005. Discrimination of sugarcane varieties in Southeastern Brazil with EO-1 Hyperion data, *Remote Sensing of Environment*, Volume 94, Issue 4, 2005, Pages 523-534, ISSN 0034-4257, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.11.012>.
- Gao, B. 1996, NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space, *Remote Sens. Environ.*, 58, 257– 266.
- Gao, S.; Niu, Z.; Huang, N.; Hou, X. 2013. Estimating the Leaf Area Index, height and biomass of maize using HJ-1 and RADARSAT-2. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 2013, 24, 1-8, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2013.02.002>

- Ghosh, P., Mandal, D., Bhattacharya, A., Nanda, M. K., & Bera, S. 2018. Assessing crop monitoring potential of Sentinel-2 in a spatio-temporal scale. *ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 425, 227–231.
- Gitelson, A. A. 2004. Wide Dynamic Range Vegetation Index for remote quantification of biophysical characteristics of vegetation, *J. Plant Physiol.*, 161, 165– 173.
- Good Practice Guidance, 2017. SDG Indicator 15.3.1. (Version 1.0).
- Goovaerts, P. 1998. Geostatistical tools for characterizing the spatial variability of microbiological and physico-chemical soil properties. *Biology and Fertility of Soils*, 27: 315-334.
- Goswami S, Gamon J, Vargas S, Tweedie C. 2015. Relationships of NDVI, Biomass, and Leaf Area Index (LAI) for six key plant species in Barrow, Alaska. *PeerJ PrePrints* 3:e913v1 <https://doi.org/10.7287/peerj.preprints.913v1>.
- Goudriaan, J., 1988. The bare bones of leaf angle distribution in radiation models for canopy photosynthesis and energy exchange. *Agricultural and Forest Meteorology*, 43:155 - 169.
- Greenland, D.J., Rimmer, D. and Payne, D., 1975. Determination of the structural stability class of English and Welsh soils, using a water coherence test. *J. Soil Sci.*, 26: 294-305
- Gregory, J.M. 1982. Soil cover prediction with various amounts and types of crop residue. *Trans. ASAE* 25:1333-1337.
- Gupta, R.K., Prasad, T.S., Vijayan, D. 2002. Estimation of roughness length and sensible heat flux from WiFS and NOAA AVHRR data, *Advances in Space Research*, Volume 29, Issue 1, 2002, Pages 33-38, ISSN 0273-1177, [https://doi.org/10.1016/S0273-1177\(01\)00624-X](https://doi.org/10.1016/S0273-1177(01)00624-X).
- Hagen, L.J. 1988. Nw wind erosion model developments in the USDA. In *Proceedings 1988 Wind Erosion Conference*, pp.104-116. Lubbock, Texas. April 11-13. Texas Tech. Univ., Lubbock, TX.
- Haregeweyn, N., Poesen, J., Govers, G., Verstraeten, G., de Vente, J., Nyssen, J., Deckers, S., Moeyersons, J., 2013. Evaluation and adaptation of a spatially-distributed erosion and sediment yield model in Northern Ethiopia. *Land Degrad. Dev.* 24, 188–204.

- Hasager, C. B. and Jensen, N. O.: 1999, 'Surface-Flux Aggregation in Heterogeneous Terrain', *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.* 125, 2075-2102.
- Hassan, M.A., Yang, M., Rasheed, A., Yang, G., Reynolds, M., Xia, X., Xiao, Y., He, Z. 2019. A rapid monitoring of NDVI across the wheat growth cycle for grain yield prediction using a multi-spectral UAV platform, *Plant Science*, Volume 282, 2019, Pages 95-103, ISSN 0168-9452, <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2018.10.022>.
- Hatfield J. L. and Prueger, J. H. 2010. "Value of using different vegetative indices to quantify agricultural crop characteristics at different growth stages under varying management practices," *Remote Sens.*, vol. 2, no. 2, pp. 562–578, 2010.
- Haynes, J.L. 1940. Ground rainfall under vegetative canopy of crops. *J. Am. SOC. Agron.* 32:176-184.
- Hegazy, A., Amry, M., 1998. Leaf temperature of desert sand dune plants: perspectives on the adaptability of leaf morphology. *Afr. J. Ecol.* 36, 34–43.
- Hikosaka, K., Hirose, T., 1997. Leaf angle as a strategy for light competition: optimal and evolutionarily stable light-extinction coefficient within a leaf canopy. *Ecoscience* 4, 501–507.
- Huete, A.R., 1988. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sens. Environ.*, 25: 295-309.
- Hunt, E.R., and Rock, B.N., 1989. Detection of changes in leaf water content using Near- and Middle-Infrared reflectances, *Remote Sensing of Environment*, Volume 30, Issue 1, 1989, Pages 43-54, ISSN 0034-4257, [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(89\)90046-1](https://doi.org/10.1016/0034-4257(89)90046-1).
- Hutchison, B., Matt, D., McMillen, R., Gross, L., Norman, S.T.J., 1986. The architecture of a deciduous forest canopy in eastern Tennessee, USA. *J. Ecol.* 74, 635–646.
- IBM Corp. Released 2019. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 26.0. Armonk, NY: IBM Corp.
- IPCC. 2014b. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. UK, Cambridge, Cambridge University Press & USA, New York. 1132 pp.

- Isaacs, E.H. ve Srivastava, M.R., 1989, An introduction to applied geostatistics, Oxford University press, 561 p.
- Jane, L., Medhurst, L., Chris, L., 2001. Crown structure and leaf area index development in thinned and unthinned *Eucalyptus nitens* plantations. *Tree Physiol.* 21, 989–999.
- Jenkinson, D. S. 1977. The soil biomass. *N.Z. Soil News* 25, 213–218.
- Ji, L., and Peters, A. J., 2004. A spatial regression procedure for evaluating the relationship between AVHRR- NDVI and climate in the northern Great Plains. *International Journal of Remote Sensing*, 25, 297-311.
- Ji, L., and Peters, A. J., 2005. Lag and Seasonality Considerations in Evaluating AVHRR NDVI Response to Precipitation. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Number 9 / September 2005, pp. 1053-1061(9). <https://doi.org/10.14358/PERS.71.9.1053>.
- Jones, C.L., P. R. Weckler, N.O. Maness, R. Jayasekara, M.L. Stone and D. Chrz. 2007. Remote sensing to estimate chlorophyll concentration in spinach using multi-spectral plant reflectance. *Transactions of ASAE* 50(6): 2267-2273.
- Joshi S., Choukimath A., Isenegger D., Panozzo J., Spangenberg G., Kant S. 2019. Improved Wheat Growth and Yield by Delayed Leaf Senescence Using Developmentally Regulated Expression of a Cytokinin Biosynthesis Gene *Frontiers in Plant Science* Vol:10,p:1285. DOI=10.3389/fpls.2019.01285. ISSN=1664-462X.
- Journel, A.G., 1986. Constrained interpolation and qualitative information. *Mathematical Geology* 18, 269–286.
- Journel, A.G.; Huijbregts, C.J. 1991. *Mining geostatistics*. London: Academic Press, 1991. 600p.
- Junges, A., Ducati, J., Lampugnani, C.S. and Almança, M.A. 2018. “Detection of Grapevine Leaf Stripe Disease Symptoms by Hyperspectral Sensor”, *Phytopathol. Mediterr.*, vol. 57, no. 3, pp. 399-406, Dec. 2018.
- Karaburun, A. 2010. Estimation of C factor for soil erosion modeling using NDVI in Buyukcekmece watershed. *Ozean Journal of Applied Sciences* 3(1), 2010 ISSN 1943-2429.

- Karssenberg, D.J. 2006. Upscaling of saturated conductivity for Hortonian runoff modelling. *Advances in Water Resources*, volume 29, pp. 735 – 759.
<https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2005.06.012>
- Kinnell, P. Comment on “A new splash and sheet erosion equation for rangelands”. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2010, 74, 340–341
- Klima, K. Wisniowska-Klean, B. 2006. Anti-Erosion effectiveness of selected crops and the relation to leaf area index (LAI). *PLANT SOIL ENVIRON.*, 52, (1): 35–40.
- Knipling, E. B. 1970. Physical and physiological bases for the reflectance of visible and near infrared radiation from vegetation. *Remote Sens. Environ.* 1:55-159.
- Konuk, A. 2011. *Coğrafi bilgi sistemleri için temel istatistik*. T.C. Anadolu Üniversitesi Yayınları no: 2326. ISBN 978-975-06-1000-4.
- La, H.P., Eo, Y.D., Kim, J.H., Kim, C., Pyeon, M.W., Song, H.S. 2013. Analysis of Correlation between Canopy Cover and Vegetation Indices *International Journal of Digital Content Technology and its Applications (JDCTA)* Volume 7, Number 11, July 2013 doi : 10.4156/jdcta.vol7.issue11.2.
- Ladd J. N., van Geste1 M., Jocteur Monrozier L. and Amato M. 1996. Distribution of organic ¹⁴C and ¹⁵N in particle-size fractions of soils incubated with I⁴C, ¹⁵N-labelled glucose/NH, and legume and wheat straw residues. *Soil Biology & Biochemistry* 28, 893-905.
- Laflen, J.M. 1983. Tillage and residue effect on erosion from cropland. In D.A. DeCoursey, ed., *Natural Resources Modeling Symposium*, pp. 438-441. U.S. Dep. Agric., Agric. Res. Serv., Pingree Park, Colorado.
- Laflen, J.M., and T.S. Colvin. 1981. Effect of crop residues on soil loss from continuous row cropping. *Trans. ASAE* 24:605-609.
- Laflen, J.M., G.R. Foster, and C.A. Onstad. 1985. Simulation of individual- storm soil loss for modeling the impact of soil erosion on crop productivity. In S.A. El-Swaify, W.C. Moldenhauer, and A. Lo, eds., *Soil Erosion and Conservation*, pp. 285-295. *Soil Conserv. SOC. Am.*, Ankeny, Iowa.
- Laflen, J.M., W.C. Moldenhauer, and T.S. Colvin. 1980. Conservation tillage and soil erosion on continuously row-cropped land. In *Crop Production With*

- Conservation in the SO'S, pp. 121-133. Am. SOC. Agric. Eng., St. Joseph, Michigan.
- Lan, Y., Zhang, H., Lacey, R., Hoffman, W.C., Wu, W. 2009. "Development of an Integrated Sensor and Instrumentation System for Measuring Crop Conditions". *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*. Manuscript IT 08 1115. Vol. XI. April.
- Larson, W.E. 1962. Tillage requirements for corn. *J. Soil Water Cons.*, 17(1) : 3-7.
- Liang, S. 2004. *Quantitative Remote Sensing of Land Sur-faces*. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Linden, D.R. 1982. Predicting tillage effect on evaporation from soil. In: Unger, P.W., and D.M. Van Doren (eds.), *Predicting tillage effect on soil physical properties and process*. ASA Spec. Publ. 44. Am. SOC. Agron. Madison, WI. pp. 117-132.
- Liu, L.; Zhang, R.; Zuo, Z. 2016. The Relationship between Soil Moisture and LAI in Different Types of Soil in Central Eastern China. *J. Hydrometeorol.* 2016, 17, 2733–2742
- Loch, R.J. 2000. Effects of vegetation cover on runoff and erosion under simulated rain and overland flow on a rehabilitated site on the Meandu Mine, Tarong, Queensland. *Aust. J. Soil Res.* 38:299–312. doi:10.1071/SR99030
- Lunetta, R.S., Knight, J.F., Ediriwickrema, J., Lyon, J.G., Worthy, L.D. 2006. Land-cover change detection using multi-temporal MODIS NDVI data, *Remote Sensing of Environment*, Volume 105, Issue 2, 2006, Pages 142-154, ISSN 0034-4257, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.06.018>.
- Maktav, D., Sunar, F., 1991. *Uzaktan Algılama - Kantitatif Yaklaşım - (Remote Sensing - A Quantitative Approach; Swain / Davis)*, Çeviri Kitap, Hürriyet Ofset.
- Matheron, G., 1970, *Random Structures and Mathematical Geology*, *Revue De L Institut International De Statistique-Review of The International Statistical Institute* 38, (1).
- Menenti, M.; Ritchie, J.; Humes, K.; Parry, R.; Pachepsky, Y.; Gimenez, D.; Leguizamón, S. 1996. Estimation of aerodynamic roughness at various spatial scales. In *Scaling up in Hydrology Using Remote Sensing*; John Wiley and Sons: Chichester, UK, 1996; Volume 272.

- Menenti, M.; Ritchie, J.C. 1994. Estimation of effective aerodynamic roughness of Walnut Gulch watershed with laser altimeter measurements. *Water Resour. Res.* 1994, 30, 1329–1337.
- Menenti, M., and Ritchie, J. C. 1994, Estimation of effective aerodynamic roughness of Walnut Gulch watershed with laser altimeter measurements, *Water Resour. Res.* 30:1329- 1337.
- Merckx R., Den Hartog A. and Van Veen J. A. 1985. Turnover of root-derived material and related microbial biomass formation in soils of different texture. *Soil Biology & Biochemistry* 17, 565-569.
- Meyer, L.D., C.B. Johnson, and G.R. Foster. 1972. Stone and woodchip mulches for erosion control on construction sites. *J. Soil Water Conserv.* 27~264-269.
- Minitab 17 Statistical Software 2010. [Computer software]. State College, PA: Minitab, Inc. (www.minitab.com)
- Momm, H.G.; ElKadiri, R.; Porter, W. Crop-Type Classification for Long-Term Modeling: An Integrated Remote Sensing and Machine Learning Approach. *Remote Sens.* 2020, 12, 449. <https://doi.org/10.3390/rs12030449>
- Monsi, M., Saeki, T., 1953. Über den Lichtfaktor in den Pflanzengesellschaften und seine Bedeutung für die Stoffproduktion. *Jpn. J. Bot.*, 14: 22-52.
- Mooney, H.A., Ehleringer, J., Bjorkman, O., 1977. The energy balance of leaves of the evergreen desert shrub *atriplex hymenelytra* *Oecologia* 29, 301–310.
- Mutchler, C.K., C.E. Murphree, and K.C. McGregor. 1982. Subfactor method for computing C-factors for continuous cotton. *Trans. ASAE* 25:327- 332.
- Myneni, R., Hoffman, Y., Knyazikhin, 2002. Global products of vegetation leaf area and fraction absorbed PAR from one year of MODIS data. *Remote Sens. Environ.* 76, 139–155.
- Nielsen D.C., Lyon D.J., Hergert G.W., Higgins R.K. and Holman J.D., 2015. Cover crop biomass production and water use in the Central Great Plains. *Agron. J.* 107: 2047– 2058. doi:<https://doi.org/10.2134/agronj15.0186>
- Nielsen, D., Miceli-Garcia, J.J., & Lyon, D. 2012. Canopy Cover and Leaf Area Index Relationships for Wheat, Triticale, and Corn. *Agronomy Journal*, 104, 1569-1573.

- Norman, J.M. and Jarvis., P.G. 1974. Photosynthesis in Sitka Spruce (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.) III. Measurements of canopy structure and interception of radiation. *J. Appl. Ecol.*, 12:839-878.
- Nyakatawa, E.Z., Reddy, K.C., Lemunyon, J.L. 2001. Predicting soil erosion in conservation tillage cotton production systems using the revised universal soil loss equation (RUSLE) *Soil Tillage Res.*, 57 (4) (2001), pp. 213-224
- Oğuz, İ. Cebel, H., Özden, Ş., Ayday, E., Demiryürek, E. 2006. Türkiye Üiversal Denklem Toprak Kaybı Eşitliği Rehberi. Tarım ve köy İşleri Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar Genel Müdürlüğü Yayın No: TAGEM – BB – TOPRAKSU 2006/01 Enstitü Yayın No : 225 Teknik Yayın No: 41
- Onstad, C.A., M.C. Wolfe, C.L. Larson, and D.C. Slack. 1984. Tilled soil subsidence during repeated wetting. *Trans. ASAE* 27:733-736.
- Özhan, S., Balcı, A.N., Özyuvacı, N., Hızal, A., Gökbülak, F., Serengil, Y. 2005. Cover and management factors for the Universal Soil-Loss Equation for forest ecosystems in the Marmara region, Turkey. *Forest Ecology and Management* 214 (2005) 118–123.
- Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, K., Alewell, C., Lugato, E., and Montana-rella, L. 2015. “Estimating the Soil Erosion Cover-Management Factor at the European Scale” *Land Use Policy* Vol.48, 38-50
- Pansak, W., Hilger, T. H., Dercon, G., Kongkaew, T. & Cadisch, G. 2008. Changes in the relationship between soil erosion and N loss pathways after establishing soil conservation systems in uplands of Northeast Thailand. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 128(3): 167-176.
- Pearson, C. J. 1984. Introduction. Pp. 1-9. In C. J. Pearson (ed.). *Control of crop productivity*. Academic Press, New York.
- Pereyra-Irujo, G. A., Velázquez, L., Lechner, L., Aguirrezábal, L. A. N., 2008. Genetic variability for leaf growth rate and duration under water deficit in sunflower: analysis of responses at cell, organ, and plant level, *Journal of Experimental Botany*, Volume 59, Issue 8, May 2008, Pages 2221–2232, <https://doi.org/10.1093/jxb/ern087>

- Pinter, P.J., Effect of dew on canopy reflectance and temperature, *Remote Sensing of Environment*, Volume 19, Issue 2, 1986, Pages 187-205, ISSN 0034-4257, [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(86\)90071-4](https://doi.org/10.1016/0034-4257(86)90071-4).
- Pordel, F., Ebrahimi, A. and Azizi, Z. 2018. Canopy cover or remotely sensed vegetation index, explanatory variables of above-ground biomass in an arid rangeland, *Iran. J. Arid Land* 10, 767–780 (2018). <https://doi.org/10.1007/s40333-018-0017-y>.
- Quinn, M.W., and J.M. Laflen. 1983. Characteristics of raindrop throughfall under corn canopy. *Trans. ASAE* 26:1445-1450.
- Ravi, S., Breshears, D.D., Huxman, T.E. & D'Odorico, P. 2010. Land degradation in drylands: Interactions among hydrologic–aeolian erosion and vegetation dynamics. *Geomorphology*, 116: 236–245
- Renard, K.G., Foster, G.A., Weesies, D.A., McCool, D.K., Yoder, D.C., 1997. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE). *Agriculture Handbook No. 703*. USDA, Washington, DC.
- Renard, K.G., Foster, G.R., Laflen, J.M., McCool, D.K. 1994. The revised universal soil loss equation. In: Lal R. (Ed.), *Soil erosion: research methods, soil and water conservation society*, Chapter 5. Ankeny, IA and St.Lucie Press, Delray Beach, Florida, 1994, pp 105–124.
- Richards, L.A. 1954. *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkaline Soils*. U.S. Dept. Agr. Handbook, 60, 109. Riverside.
- Richardson, A.J. and Wiegand, C.L., 1977. Distinguishing vegetation from background information. *Photogramm. Eng. Remote Sensing*, 43: 1541-1552.
- Risse, L. M., M. A. Nearing, A. D. Nicks, and J. M. Laflen. 1993. Error assessment in the Universal Soil Loss Equation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57:825-833.
- Robertson, G.P. 2008. *GS+ : Geostatistics for the Environmental Sciences*. Gamma Design Software, Plainwell, Michigan USA.
- Rouse, J.W. Jr., Haas, R.H., Schell, J.A., Deering, D.W., 1973. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: *Proceedings of the Earth Research Technical Satellite-1 Symposium*. Goddard Space Flight Center, Washington, DC, pp. 309±317.

- Royo, C. and Villegas, D. 2011. Field Measurements of Canopy Spectra for Biomass Assessment of Small-Grain Cereals. DOI: 10.5772/17745.
- Saleh, A. 1993. Soil roughness measurement: Chain method. Soil and Water Conservation Society. 48(6):527-529
- San-Oh, y., Kondo, M., Ookawa, T., Hirasawa, T. 2013. Ecophysiological Analysis on Effect of Planting Pattern on Biomass Production and Grain Yield in Rice, Japan Agricultural Research Quarterly: JARQ, 2008, Volume 42, Issue 2, Pages 79-89, Released March 26, 2013, Online ISSN 2185-8896, Print ISSN 0021-3551, <https://doi.org/10.6090/jarq.42.79>
- Schaudt, K.J., Dickinson, R.E. 2000. An approach to deriving roughness length and zero-plane displacement height from satellite data, prototyped with BOREAS data, Agricultural and Forest Meteorology, Volume 104, Issue 2, 2000, Pages 143-155, ISSN 0168-1923, [https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(00\)00153-2](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(00)00153-2).
- Shaw, R. H., and A. R. Pereira 1982, Aerodynamic roughness of a plant canopy: a numerical experiment, Agric. Meteorol., 26, 1–65.
- Simanton, J.R., E. Rawitz, and E.D. Shirley. 1984. The effects of rock fragments on erosion of semiarid rangeland soils, ch. 7. In Erosion and Productivity of Soils Containing Rock Fragments, pp. 65-72. SSSA Spec. Publ. 13, Soil Sci. SOC. Am., Madison, Wisconsin.
- Singer, M.J., Y. Matsuda, and J. Blackard. 1981. Effect of mulch rate on soil loss by raindrop splash. Soil Sci. Soc. Am. J. 45:107–110
doi:10.2136/sssaj1981.03615995004500010023x
- Sole-Benet, A., Calvo, A., Cerda, A., L'azaro, R., Pini, R., Barbero, J. 1997. Influences of micro-relief patterns and plant cover on runoff related ' processes in badlands from Tabernas (SE Spain). Catena 31: 23–28.
- Song C, Woodcock CE, Seto KC et al 2001. Classification and change detection using Landsat TM data: when and how to correct atmo-spheric effects? Remote Sens Environ 75:230–244.
- Streck, E. V., & Cogo, N. P.. 2003. Reconsolidation of the soil surface after tillage discontinuity, with and without cultivation, related to erosion and its prediction with RUSLE. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 27(1), 141-151. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000100015>.

- Süzer, S. 2006. Ayçiçeği Yetiştiriciliği. T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı. TAGEM – TTAE.
- Şengüler, İ. 2013. Geology and stratigraphy of the Eskişehir-Alpu coal basin. MTA (Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni), National Research Economy Bulletin, 16, 89-93 (in Turkish).
- Şengüler, İ., İzladı, E. 2013. Eskişehir Grabeninin Neojen Stratigrafisi ve Sismik Yansıma Etüdü ile Kömür Çökelim Alanının Araştırılması. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Dergisi, Ankara 146, 105-116.
- Tanyas, H., Kolat, C., & Lutfi Suzen, M. 2015. A new approach to estimate cover management factor of RUSLE and validation of RUSLE model in the watershed of Kartalkaya Dam. *Journal of hydrology*, 528, 584-598. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.06.048>.
- Tercan A.E., Saraç, C., 1998, Maden Yataklarının Değerlendirilmesinde Jeostatistiksel yöntemler, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, No 48, Ankara, 137s.
- Thanisawanyangkura, S., Sinoquet, H., Rivet, P., Cretenet, M., Jallas, E., 1997. Leaf orientation and sunlit leaf area distribution in cotton. *Agric. Forest Meteorol.* 86, 1–15.
- Thom, A.S., 1971. Momentum absorption by vegetation. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 97,
- Toprak, S., Cicioğlu Sütçü, E. ve Şengüler, İ., 2015. A fault controlled, newly discovered Eskişehir Alpu coal basin in Turkey, its petrographical properties and depositional environment. *International Journal of Coal Geology*, 138, 127-144.
- Towers, P., Strever, A., and Poblete-Echeverría, C. 2019. Comparison of Vegetation Indices for Leaf Area Index Estimation in Vertical Shoot Positioned Vine Canopies with and without Grenbiule Hail-Protection Netting. *Remote Sensing*, 11, 1073. <https://doi.org/10.3390/rs11091073>.
- Trangmar, B.B., Yost, R.S., Uehara, G. 1985. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Adv. Agric.*, 38: 45-94.
- Trapani N, Hall AJ. 1996. Effects of level of insertion and nitrogen supply on the expansion of leaves of field grown sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Plant and Soil* 184: 331–340.

- TRuSTEE, 2018. Training on Remote Sensing for Ecosystem modelling. Review of upscaling techniques to produce maps of PTs, EBVs and EFPs from remote sensing data. Ref. Ares(2019)5249106 - 14/08/2019. (Contributors: Mirco Migliavacca, Egor Prikaziuk, Daniel Pabon, David Martini, Vicente Burchard)
- Tucker, C.J. 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation, *Remote Sens. Environ.* 8. 127–150.
- Tunca, E , Köksal, E , Çetin, S , Ekiz, N , Çoban, U , Balde, H. 2018. Ayçiçeği Spektral Özelliklerinin Yetiştirme Dönemi Boyunca Değişiminin Değerlendirilmesi. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 1. Uluslararası Tarımsal Yapılar ve Sulama Kongresi Özel Sayısı, 102-108. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/sduzfd/issue/40528/451935>.
- Turner D.P., Cohen W.B., Kennedy R.E., Fassnacht K.S., Briggs J.M. 1999.: Relationships between leaf area index, fapar, and net primary production of terrestrial ecosystems. *Remote Sens. Environ.*, 70: 52–68.
- Tüzüner, A. 1990. Toprak ve Su Analiz Laboratuvarları El Kitabı. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü.
- Unger, P.W. and Vigil, M.F. 1998. Cover crop effects on soil water relationships *J. Soil Water Conserv.*, 53 (3) (1998), pp. 200-207
- Vaesen, K. Gilliams, S., Nackaerts, K., Coppin, P. 2001. Ground-measured spectral signatures as indicators of ground cover and leaf area index: the case of paddy rice. *Field Crops Research* 69 (2001) 13±25.
- Van Der Kniff, J. M., Jones, R.J.A., Montanarella, L., 2000. Soil risk Assessment in Italy. European Commission, European Soil Bureau. 2000.
- Van Liew, M.W., and K.E. Saxton. 1983. Slope steepness and incorporated residue effects on rill erosion. *Trans. ASAE* 26: 173 8- 1743.
- Verhulst, N., Govaerts, B. 2011. The normalized difference vegetation index (NDVI) GreenSeeker™ handheld sensor: Toward the integrated evaluation of crop management. Part A: Concepts and case studies. Mexico, D.F.; CIMMYT.
- Verstraeten, G., Van Oost, K., Van Rompaey, A., Poesen, J., Govers, G. 2002. Evaluating an integrated approach to catchment management to reduce soil loss and sediment pollution through modelling *Soil Use Manage.*, 18 (4) (2002), pp. 386-394.

- Viña, A., Gitelson, A.A., Nguy-Robertson, A.L., Peng, Y. 2011. Comparison of different vegetation indices for the remote assessment of green leaf area index of crops. *Remote Sensing of Environment* Volume 115, Issue 12, 15 December 2011, Pages 3468–3478.
- Vrieling, A., de Jong, S.M., Sterk, G., Rodrigues, S.C., 2008. Timing of erosion and satellite data: a multi-resolution approach to soil erosion risk mapping. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 10 (3), 267–281.
- Wall, G.J., Coote, D.R., Pringle, E.A., Shelton, I.J. (Eds.), 2002. *Research Branch Agriculture and Agri-Food*, Ottawa, Canada, p. 117, Contribution No. AAFC/AAC2244E.
- Wang G, Gertner G, Singh V, Shinkareva S, Parysow P, Anderson A.B. 2002. Spatial and temporal prediction and uncertainty of soil loss using the revised universal soil loss equation: a case study of the rainfall–runoff erosivity R factor. *Ecol Modell* 153:143–155.
- Wang, W.M., Li, Z.L., Su, H.B. 2007. Comparison of leaf angle distribution functions: effects on extinction coefficient and fraction of sunlit foliage. *Agric For Meteorol* 143:106–122.
- Wang, C., Qi, J., Moran, S., Marsett, R., 2003. Soil moisture estimation in a semiarid rangeland using ERS-2 and TM imagery. *Remote Sensing of Environment* 90: 178-189.
- Wang, X.P., Zhang, F., Kung, H.T., Johnson, V.C. 2018. New methods for improving the remote sensing estimation of soil organic matter content (SOMC) in the Ebinur Lake Wetland National Nature Reserve (ELWNNR) in northwest China *Remote Sens. Environ.*, 218 (2018), pp. 104-118.
- Warrick, A.W., D.E. Myers, and D.R. Nielsen. 1986. *Geostatistical Methods Applied To Soil Science*. In: *Methods of Soil Analysis, Part I, Physical And Mineralogical Methods*. 2th ed. Agronomy Monograph, No: 9, pp: 53-82.
- Webster, R, Oliver, M.A. 2007. *Geostatistics for Environmental Scientists*, second ed. 330.
- Weltz, M.A., Renard, K.G. and Simanton, J.R. 1987. Revised universal ,soil loss equation for western rangelands, pp. 104-111. In *US/Mexico Symposium on*

- Strategies for Classification and Management of Native Vegetation for Food Production in Arid Zones. U.S. Forest Serv. Gen. Tech. Rep. RM-150.
- Wiegand, C. L., H. VV. Gausman, and W. A. Allen, 1972, "Physiological factors and optical parameters as bases of vegetation discrimination and stress analysis," Proc., Seminar on Operational Remote Sensing, Amer. Soc. Photogrammetry, Falls Church, Virginia. 341 pp.
- Wirth, R., Weber, B., Ryel, R., 2001. Spatial and temporal variability of canopy structure in a tropical moist forest. *Acta Oecol.* 22, 235–244.
- Wischmeier, W.H., 1976. Use and misuse of the universal soil loss equation. *J. Soil Water Conserv.* 31:5-9, USA
- Wischmeier, W. H. 1972. Upland erosion analysis. In H. W. Shen (ed.) *Environmental impact on rivers*. Water Resources Publications. Chapter 15. Fort Rollins, Colo.
- Wischmeier, W.H. 1975. Estimating the soil loss equations cover and management factor for undisturbed lands. In *Present and Prospective Technology for Predicting Sediment Yields and Sources*, pp. 118-125. US. Dep. Agric., Agric. Res. Serv., ARS-S-40.
- Wischmeier, W.H. and Smith D.D. 1972. Guide for Selection of Practices for Soil and Water Conservation. Agriculture handbook no.282. USDA-ARS in cooperation with the Purdue Agricultural Experiment Station.
- Wischmeier, W.H., Smith, D.D., 1978. Predicting rainfall erosion losses—a guide for conservation planning. USDA, Agricultural Handbook. U.S. Government Printing Office, Washington, DC., pp. 537.
- Wischmeier, W.H. and Smith D.D. 1961. A universal equation for predicting rainfall-erosion losses-An aid to conservation farming in humid regions. ARS Special Report 22–66. Agricultural Research Service, U. S. Dept. of Agric, Washington DC (1961), p. 11
- Yadvinder-Singh, Bijoy-Singh, Timsina, J., 2005. Crop residue management for nutrient cycling and improved soil productivity in rice-based cropping systems in the tropics. *Adv. Agron.* 85, 270–407.
- Yavuz, F. 2005. Türkiye’de Tarım. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı.

- Yetemen, O., Saco, P. M., and Istanbuluoglu, E. 2019. Ecohydrology controls the geomorphic response to climate change. *Geophysical Research Letters*, 46, 8852–8861. <https://doi.org/10.1029/2019GL083874>
- Yu, L., Yao, K., Liu, H., Pu, S., and Jiang, Q. 2017. NDVI variation at different elevation and its relationship with climatic factors, *Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration*, 2, 296–300, 2017.
- Yu, Z.H., Li, Y.S., Wang, G.H., Liu, J.J., Liu, J.D., Liu, X.B., Herbert, S.J., Jin, J. 2016. Effectiveness of elevated CO₂ mediating bacterial communities in the soybean rhizosphere depends on genotypes *Agric. Ecosyst. Environ.*, 231 (2016), pp. 229–232.
- Zadoks, J.C., Chang, T.T., Konzak, C.F. "A Decimal Code for the Growth Stages of Cereals", *Weed Research* 1974 14:415–421.
- Zhao, X.; Xiao, Z.; Kang, Q.; Li, Q.; Fang, L. 2010. Overview of the Fourier Transform Hyperspectral Imager (HSI) boarded on HJ-1A satellite. 2010 IEEE International Geosci. Remote Sens. Symp. 2010, 4272–4274
- Zhao, Y., Chen, S., Shen, S., 2013. Assimilating remote sensing information with crop model using Ensemble Kalman Filter for improving LAI monitoring and yield estimation. *Ecol. Modell.* 270, 30–42.
- Zheng B., Campbell J.B., de Beurs K.M. 2012. Remote sensing of crop residue cover using multi-temporal Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment* 117(0):177–183.
- Zheng, H., et al., 2008. Impacts of reforestation approaches on runoff control in the hilly red soil region of Southern China. *Journal of Hydrology* 356 (1–2), 174–184.
- Zhongming, W., Lees, B.G., Feng, J., Wanning, L., Haijing, S. 2010. Stratified vegetation cover index: A new way to assess vegetation impact on soil erosion. *Catena* 83 (2010) 87–93.
- Zhou, P., Lukkanen, O., Tokola, T., Nieminen, J. 2008. Effect of Vegetation cover on soil erosion in a mountainous watershed. *Catena* 75 (2008) 319–325.

EKLER

EK 1 Ayçiçeği Ekili Alanlar İçin Tanımlayıcı İstatistik

EK 2 Buğday Ekili Alanlar İçin Tanımlayıcı İstatistik

**EK 3 Ayçiçeği Ekili Alanlarda RUSLE-C Alt-Faktörleri ve Bitki İndisleri için
Post-Hoc Analizi (Parsel)**

**EK 4 Ayçiçeği Ekili Alanlarda RUSLE-C Alt-Faktörleri ve Bitki İndisleri için
Post-Hoc Analizi (Dönem)**

**EK 5 Buğday Ekili Alanlarda RUSLE-C Alt-Faktörleri ve Bitki İndisleri İçin
Post-Hoc Analizi (Parsel)**

**EK 6 Buğday Ekili Alanlarda RUSLE-C Alt-Faktörleri ve Bitki İndisleri için
Post-Hoc Analizi (Dönem)**

EK 1 Ayçiçeği Ekili Alanlar İçin Tanımlayıcı İstatistik

1. Ayçiçeği parseli

F. Dönemi	PLU	SC	CC	SM	SR	NDVI _{gs}	LAI	NDVI _{sat}
N	137	137	137	137	137	137	137	137
Ortalama	,950	,709	1,000	,592	,905	,078	,078	,125
Medyan	,951	,709	1,000	,563	,907	,080	,060	,125
St. Sapma	,006	,001	,000	,146	,020	,011	,088	,004
Varyans	,000	,000	,000	,021	,000	,000	,008	,000
Çarpıklık	-2,719	,439	-	,299	-,514	,142	2,039	,728
Basıklık	11,018	,290	-	-,148	,387	-,165	5,630	,436
Aralık	,043	,005	,000	,739	,115	,060	,510	,021
En küçük	,918	,707	1,000	,231	,839	,050	,000	,116
En büyük	,961	,712	1,000	,970	,954	,110	,510	,137
1. dönem	PLU	SC	CC	SM	SR	NDVI _{gs}	LAI	NDVI _{sat}
N	129	129	129	129	129	129	129	129
Ortalama	,924	,828	,703	,372	,990	,703	1,062	,657
Medyan	,924	,828	,703	,371	1,000	,720	1,030	,675
St. Sapma	,001	,001	,000	,069	,020	,089	,494	,061
Varyans	,000	,000	,000	,005	,000	,008	,244	,004
Çarpıklık	-3,754	2,620	,626	-,377	-4,483	-1,163	,101	-,693
Basıklık	19,178	12,984	8,253	2,907	27,611	1,258	-,465	-,455
Aralık	,008	,006	,002	,492	,165	,450	2,179	,245
En küçük	,918	,827	,702	,098	,835	,380	,047	,488
En büyük	,926	,833	,704	,590	1,000	,830	2,226	,733
2. dönem	PLU	SC	CC	SM	SR	NDVI _{gs}	LAI	NDVI _{sat}
N	29	29	29	29	29	29	29	29
Ortalama	,912	,916	,400	,108	,999	,734	1,850	,762
Medyan	,913	,916	,391	,104	1,000	,750	2,008	,781
St. Sapma	,008	,000	,144	,032	,002	,058	,691	,101
Varyans	,000	,000	,021	,001	,000	,003	,478	,010
Çarpıklık	-3,538	,079	-,186	,135	-1,804	-1,539	-,320	-,798
Basıklık	13,659	-1,100	-,220	,610	1,903	1,918	-,789	-,117
Aralık	,038	,001	,576	,143	,007	,230	2,504	,365
En küçük	,878	,916	,089	,047	,993	,580	,591	,534
En büyük	,916	,916	,665	,190	1,000	,810	3,094	,899
3. dönem	PLU	SC	CC	SM	SR	NDVI _{gs}	LAI	NDVI _{sat}
N	20	20	20	20	20	20	20	20
Ortalama	,903	,932	,519	,006	,995	,245	,678	,236
Medyan	,904	,932	,425	,006	,998	,210	,684	,232
St. Sapma	,005	,000	,117	,002	,006	,076	,356	,026
Varyans	,000	,000	,014	,000	,000	,006	,127	,001
Çarpıklık	-1,578	,157	,569	-,724	-1,131	1,113	,413	,208
Basıklık	2,015	-1,247	-1,521	4,227	,051	,388	-,191	-,895
Aralık	,016	,000	,293	,008	,017	,260	1,334	,087
En küçük	,891	,932	,419	,002	,983	,160	,082	,190
En büyük	,907	,933	,712	,010	1,000	,420	1,415	,277

2. Ayçiçeği parseli

F. Dönemi	PLU	SC	CC	SM	SR	NDVI _{gs}	LAI	NDVI _{sat}
N	134	134	134	134	134	134	134	134
Ortalama	,949	,711	1,000	,435	,853	,083	,078	,127
Medyan	,950	,711	1,000	,399	,859	,080	,060	,128
St. Sapma	,004	,001	,000	,128	,023	,012	,077	,004
Varyans	,000	,000	,000	,016	,001	,000	,006	,000
Çarpıklık	-3,257	,705	-	1,808	-,809	,305	1,690	-,398
Basıklık	14,649	,478	-	4,315	,742	,292	3,452	,086
Aralık	,032	,005	,000	,699	,125	,060	,400	,019
En küçük	,925	,709	1,000	,255	,774	,060	,010	,117
En büyük	,957	,714	1,000	,954	,899	,120	,410	,135
1. dönem	PLU	SC	CC	SM	SR	NDVI _{gs}	LAI	NDVI _{sat}
N	136	136	136	136	136	136	136	136
Ortalama	,922	,839	,519	,187	1,000	,766	1,612	,687
Medyan	,923	,839	,519	,169	1,000	,780	1,585	,718
St. Sapma	,003	,000	,001	,075	,002	,050	,473	,084
Varyans	,000	,000	,000	,006	,000	,003	,224	,007
Çarpıklık	-3,809	,440	,481	1,628	-,7048	-3,031	,217	-,2272
Basıklık	17,138	,258	12,198	5,002	50,564	16,488	,271	4,876
Aralık	,022	,002	,010	,518	,017	,410	2,748	,420
En küçük	,902	,837	,513	,012	,983	,420	,091	,343
En büyük	,924	,840	,524	,529	1,000	,830	2,839	,762
2. dönem	PLU	SC	CC	SM	SR	NDVI _{gs}	LAI	NDVI _{sat}
N	20	20	20	20	20	20	20	20
Ortalama	,909	,916	,587	,122	,997	,539	1,148	,785
Medyan	,911	,916	,618	,119	,998	,590	1,185	,803
St. Sapma	,007	,000	,200	,026	,002	,186	,520	,063
Varyans	,000	,000	,040	,001	,000	,035	,271	,004
Çarpıklık	-1,565	,438	-,712	,738	-,811	-,687	-,266	-,2254
Basıklık	2,500	-,307	-,156	,872	-,395	-,713	,075	6,381
Aralık	,026	,000	,680	,105	,007	,560	2,140	,274
En küçük	,889	,916	,177	,085	,993	,200	,029	,572
En büyük	,915	,916	,857	,190	1,000	,760	2,169	,846
3. dönem	PLU	SC	CC	SM	SR	NDVI _{gs}	LAI	NDVI _{sat}
N	20	20	20	20	20	20	20	20
Ortalama	,901	,932	,611	,007	1,000	,214	,489	,384
Medyan	,902	,932	,709	,007	1,000	,210	,451	,371
St. Sapma	,003	,000	,180	,002	,000	,065	,327	,077
Varyans	,000	,000	,032	,000	,000	,004	,107	,006
Çarpıklık	-1,262	,438	-2,055	,186	-	,848	,399	,761
Basıklık	1,663	-,307	3,444	,671	-	1,628	-,535	,019
Aralık	,014	,000	,578	,006	,000	,290	1,194	,273
En küçük	,892	,932	,138	,004	1,000	,100	,002	,285
En büyük	,906	,933	,716	,010	1,000	,390	1,196	,558

3. Ayçiçeği parseli

F. Dönemi	PLU	SC	CC	SM	SR	NDVI _{gs}	LAI	NDVI _{sat}
N	134	134	134	134	134	134	134	134
Ortalama	,951	,709	1,000	,459	,904	,084	,118	,154
Medyan	,951	,709	1,000	,451	,905	,080	,075	,152
St. Sapma	,003	,001	,000	,091	,017	,012	,118	,009
Varyans	,000	,000	,000	,008	,000	,000	,014	,000
Çarpıklık	-,560	,798	-	,258	-,723	,270	1,122	,707
Basıklık	5,037	1,090	-	,084	,861	-,187	,428	2,993
Aralık	,027	,005	,000	,514	,101	,050	,480	,066
En küçük	,936	,707	1,000	,202	,848	,060	,010	,128
En büyük	,963	,712	1,000	,715	,949	,110	,490	,194
1. dönem	PLU	SC	CC	SM	SR	NDVI_{gs}	LAI	NDVI_{sat}
N	134	134	134	134	134	134	134	134
Ortalama	,924	,841	,515	,201	,953	,759	1,031	,605
Medyan	,924	,841	,515	,181	,956	,760	1,002	,606
St. Sapma	,001	,000	,002	,088	,017	,029	,449	,034
Varyans	,000	,000	,000	,008	,000	,001	,201	,001
Çarpıklık	-2,238	,294	-3,036	1,180	-,395	-,979	,638	-,150
Basıklık	5,808	,070	39,842	1,908	-,037	2,988	,432	-,238
Aralık	,004	,003	,022	,483	,093	,210	2,315	,164
En küçük	,920	,839	,501	,017	,907	,620	,005	,507
En büyük	,924	,842	,524	,500	1,000	,830	2,321	,671
2. dönem	PLU	SC	CC	SM	SR	NDVI_{gs}	LAI	NDVI_{sat}
N	20	20	20	20	20	20	20	20
Ortalama	,913	,916	,436	,137	,999	,726	1,189	,843
Medyan	,915	,916	,446	,130	1,000	,740	1,037	,855
St. Sapma	,002	,000	,239	,031	,002	,069	,636	,069
Varyans	,000	,000	,057	,001	,000	,005	,405	,005
Çarpıklık	-1,271	,802	,260	-,055	-2,718	-1,390	,090	-2,099
Basıklık	,216	,466	-1,427	-1,342	6,266	1,849	-1,560	6,138
Aralık	,007	,001	,727	,108	,007	,250	1,920	,301
En küçük	,908	,916	,129	,082	,993	,560	,176	,611
En büyük	,915	,916	,856	,190	1,000	,810	2,096	,912
3. dönem	PLU	SC	CC	SM	SR	NDVI_{gs}	LAI	NDVI_{sat}
N	20	20	20	20	20	20	20	20
Ortalama	,896	,932	,541	,008	,999	,186	,600	,298
Medyan	,896	,932	,543	,008	1,000	,190	,541	,301
St. Sapma	,002	,000	,127	,001	,004	,057	,249	,031
Varyans	,000	,000	,016	,000	,000	,003	,062	,001
Çarpıklık	-1,054	2,282	,068	,262	-4,472	,522	,321	-1,050
Basıklık	1,652	6,531	-1,495	-1,214	20,000	,091	-,470	,895
Aralık	,007	,001	,387	,004	,017	,220	,920	,120
En küçük	,891	,932	,325	,006	,983	,100	,206	,225
En büyük	,899	,933	,712	,010	1,000	,320	1,125	,345

EK 2 Buğday ekili alanlar için tanımlayıcı istatistik

1. Buğday parseli

3. dönem	PLU	SC	CC	SM	SR	NDVI _{gs}	LAI	NDVI _{sat}
N	136	136	136	136	136	136	136	136
Ortalama	,898	,376	,233	,005	,814	,624	1,855	,849
Medyan	,899	,376	,233	,005	,814	,626	1,782	,851
St. Sapma	,001	,001	,037	,002	,020	,028	,576	,028
Varyans	,000	,000	,001	,000	,000	,001	,331	,001
Çarpıklık	-1,741	,255	2,168	,540	-,295	-1,043	,418	-,496
Basıklık	3,050	-,599	28,531	-,394	-,560	4,199	-,195	,176
Aralık	,005	,005	,442	,008	,087	,213	2,952	,141
En küçük	,893	,374	,065	,002	,765	,477	,436	,768
En büyük	,899	,379	,507	,010	,852	,690	3,388	,909
F dönemi	PLU	SC	CC	SM	SR	NDVI _{gs}	LAI	NDVI _{sat}
N	138	138	138	138	138	138	138	138
Ortalama	,880	,158	1,000	,189	,628	,091	,028	,347
Medyan	,881	,158	1,000	,197	,631	,090	,019	,343
St. Sapma	,003	,001	,000	,046	,035	,009	,027	,024
Varyans	,000	,000	,000	,002	,001	,000	,001	,001
Çarpıklık	-3,283	,603	-	-,843	-,609	,044	1,505	,643
Basıklık	12,905	,601	-	1,989	,604	1,009	1,576	,628
Aralık	,017	,008	,000	,301	,184	,050	,114	,128
En küçük	,865	,156	1,000	,049	,506	,070	,000	,298
En büyük	,882	,164	1,000	,350	,690	,120	,114	,426
1. dönem	PLU	SC	CC	SM	SR	NDVI _{gs}	LAI	NDVI _{sat}
N	137	137	137	137	137	137	137	137
Ortalama	,902	,700	,254	,692	1,000	,680	1,130	,620
Medyan	,902	,700	,254	,688	1,000	,710	1,088	,610
St. Sapma	,001	,001	,000	,099	,000	,117	,644	,090
Varyans	,000	,000	,000	,010	,000	,014	,414	,008
Çarpıklık	-3,733	,430	3,220	,256	-	-1,186	,513	,112
Basıklık	17,800	,732	21,501	,099	-	1,244	-,166	-,198
Aralık	,008	,008	,003	,503	,000	,560	3,086	,469
En küçük	,895	,697	,253	,467	1,000	,290	,005	,347
En büyük	,903	,705	,256	,970	1,000	,850	3,091	,815
3. dönem	PLU	SC	CC	SM	SR	NDVI _{gs}	LAI	NDVI _{sat}
N	135	135	135	135	135	135	135	135
Ortalama	,879	,913	,128	,154	1,000	,115	1,168	,408
Medyan	,880	,913	,128	,152	1,000	,110	1,167	,414
St. Sapma	,005	,001	,001	,040	,000	,021	,464	,037
Varyans	,000	,000	,000	,002	,000	,000	,215	,001
Çarpıklık	-5,320	1,018	,229	2,124	-	,552	,031	-,743
Basıklık	35,283	1,216	11,278	9,775	-	-,049	-,451	,513
Aralık	,039	,005	,005	,324	,000	,110	2,314	,176
En küçük	,843	,912	,125	,033	1,000	,070	,137	,296
En büyük	,882	,916	,130	,357	1,000	,180	2,452	,471

2. Buğday parseli

4. dönem	PLU	SC	CC	SM	SR	NDVI _{gs}	LAI	NDVI _{sat}
N	124	124	124	124	124	124	124	124
Ortalama	,898	,131	1,000	,003	,806	,195	,186	,370
Medyan	,899	,131	1,000	,003	,806	,191	,105	,364
St. Sapma	,001	,001	,000	,002	,015	,020	,196	,032
Varyans	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,038	,001
Çarpıklık	-2,310	,452	-	1,307	-,475	1,375	1,424	,483
Basıklık	5,219	-,016	-	1,937	,008	2,665	1,718	-,172
Aralık	,007	,003	,000	,008	,073	,111	,915	,154
En küçük	,892	,130	1,000	,000	,765	,163	,001	,304
En büyük	,899	,133	1,000	,009	,837	,274	,916	,458
0. dönem	PLU	SC	CC	SM	SR	NDVI _{gs}	LAI	NDVI _{sat}
N	134	134	134	134	134	134	134	134
Ortalama	,958	,577	1,000	,093	,837	,079	,020	,193
Medyan	,957	,577	1,000	,090	,843	,080	,015	,192
St. Sapma	,005	,001	,000	,023	,021	,009	,017	,008
Varyans	,000	,000	,000	,001	,000	,000	,000	,000
Çarpıklık	,572	,626	-	1,930	-,797	,151	1,177	-3,035
Basıklık	,972	-,067	-	9,645	,451	,079	,887	22,975
Aralık	,030	,005	,000	,202	,108	,040	,080	,073
En küçük	,942	,575	1,000	,015	,765	,060	,001	,134
En büyük	,972	,580	1,000	,217	,873	,100	,081	,207
1. dönem	PLU	SC	CC	SM	SR	NDVI _{gs}	LAI	NDVI _{sat}
N	134	134	134	134	134	134	134	134
Ortalama	,897	,832	,259	,354	1,000	,664	1,310	,550
Medyan	,899	,832	,259	,350	1,000	,720	1,225	,554
St. Sapma	,005	,002	,002	,074	,000	,156	,691	,073
Varyans	,000	,000	,000	,006	,000	,024	,478	,005
Çarpıklık	-1,442	1,432	,666	,691	-	-1,577	,514	-,466
Basıklık	1,444	3,954	2,075	4,474	-	2,508	,005	1,159
Aralık	,024	,011	,011	,548	,000	,720	3,044	,418
En küçük	,879	,829	,255	,118	1,000	,120	,042	,334
En büyük	,902	,840	,266	,666	1,000	,840	3,086	,752
3. dönem	PLU	SC	CC	SM	SR	NDVI _{gs}	LAI	NDVI _{sat}
N	132	132	132	132	132	132	132	132
Ortalama	,877	,833	,172	,169	1,000	,107	,842	,300
Medyan	,878	,832	,172	,163	1,000	,110	,809	,300
St. Sapma	,004	,002	,001	,047	,000	,016	,385	,025
Varyans	,000	,000	,000	,002	,000	,000	,148	,001
Çarpıklık	-1,484	,645	-,113	1,404	-	,116	,242	,262
Basıklık	2,957	,104	10,136	5,034	-	,131	-,253	-,378
Aralık	,021	,011	,005	,347	,000	,090	1,819	,126
En küçük	,861	,828	,170	,049	1,000	,070	,017	,248
En büyük	,882	,839	,174	,397	1,000	,160	1,836	,374

3. Buğday parseli

4. dönem	PLU	SC	CC	SM	SR	NDVI _{gs}	LAI	NDVI _{sat}
N	145	145	145	145	145	145	145	145
Ortalama	,897	,111	1,000	,003	,824	,227	,222	,367
Medyan	,898	,111	1,000	,003	,828	,226	,131	,370
St. Sapma	,004	,001	,000	,001	,019	,023	,221	,033
Varyans	,000	,000	,000	,000	,000	,001	,049	,001
Çarpıklık	-3,571	,361	-	2,799	-,454	,423	,972	-,206
Basıklık	13,854	-,342	-	13,759	-,046	-,176	-,028	,217
Aralık	,020	,005	,000	,007	,090	,116	,899	,180
En küçük	,879	,109	1,000	,001	,769	,188	,001	,272
En büyük	,899	,114	1,000	,008	,859	,304	,900	,452
0. dönem	PLU	SC	CC	SM	SR	NDVI _{gs}	LAI	NDVI _{sat}
N	143	143	143	143	143	143	143	143
Ortalama	,960	,577	1,000	,138	,835	,083	,049	,190
Medyan	,958	,577	1,000	,139	,838	,080	,035	,190
St. Sapma	,006	,001	,000	,028	,022	,008	,045	,004
Varyans	,000	,000	,000	,001	,000	,000	,002	,000
Çarpıklık	1,533	,378	-	-,292	-,408	-,194	1,372	,276
Basıklık	3,781	-,250	-	3,767	-,244	-,093	1,702	,088
Aralık	,037	,006	,000	,207	,114	,040	,220	,024
En küçük	,951	,575	1,000	,029	,765	,060	,000	,180
En büyük	,988	,581	1,000	,236	,880	,100	,220	,204
2. dönem	PLU	SC	CC	SM	SR	NDVI _{gs}	LAI	NDVI _{sat}
N	142	142	142	142	142	142	142	142
Ortalama	,899	,832	,118	,344	1,000	,622	1,933	,685
Medyan	,899	,832	,118	,352	1,000	,610	1,957	,684
St. Sapma	,003	,002	,002	,064	,000	,070	,654	,074
Varyans	,000	,000	,000	,004	,000	,005	,428	,006
Çarpıklık	-1,104	,788	-,774	-,095	-	,023	,080	-,206
Basıklık	,828	,920	4,296	1,439	-	-,170	-,374	,238
Aralık	,012	,012	,014	,408	,000	,320	3,436	,380
En küçük	,890	,828	,110	,166	1,000	,450	,346	,477
En büyük	,902	,840	,124	,574	1,000	,770	3,782	,857
3. dönem	PLU	SC	CC	SM	SR	NDVI _{gs}	LAI	NDVI _{sat}
N	136	136	136	136	136	136	136	136
Ortalama	,878	,837	,119	,131	1,000	,129	1,454	,282
Medyan	,880	,836	,119	,125	1,000	,130	1,458	,280
St. Sapma	,003	,001	,001	,032	,000	,013	,358	,030
Varyans	,000	,000	,000	,001	,000	,000	,128	,001
Çarpıklık	-1,786	,580	1,720	2,536	-	-,108	,049	1,076
Basıklık	2,867	-,231	17,805	9,706	-	-,009	-,581	4,251
Aralık	,015	,005	,006	,250	,000	,060	1,588	,209
En küçük	,866	,835	,117	,055	1,000	,100	,622	,228
En büyük	,882	,839	,123	,304	1,000	,160	2,210	,437

EK 3 Ayçiçeği ekili alanlarda RUSLE-C alt-faktörleri ve bitki indisleri için Post-Hoc analizi (Parsel)

Ayçiçeği çoklu kıyaslama tablosu - parsel

Çoklu kıyaslama							
Tamhane							
Bağımlı Değ,	(I) Parsel	(J) Parsel	Ort, fark (I-J)	St, Hata	Önem	95% Güven aralığı	
						Alt sınır	Üst sınır
PLU	1	2	,001	,001	,862	-,002	,004
		3	,000	,001	,992	-,004	,003
	2	1	-,001	,001	,862	-,004	,002
		3	-,001	,001	,726	-,005	,002
	3	1	,000	,001	,992	-,003	,004
SC		2	,001	,001	,726	-,002	,005
	1	2	-,003	,006	,926	-,018	,012
		3	-,003	,006	,944	-,018	,012
	2	1	,003	,006	,926	-,012	,018
		3	,000	,006	1,000	-,015	,015
CC	3	1	,003	,006	,944	-,012	,018
		2	,000	,006	1,000	-,015	,015
	1	2	,055*	,018	,007	,012	,099
		3	,070*	,019	,001	,025	,115
	2	1	-,055*	,018	,007	-,099	-,012
SM		3	,015	,020	,848	-,033	,062
	3	1	-,070*	,019	,001	-,115	-,025
		2	-,015	,020	,848	-,062	,033
	1	2	,142*	,016	,000	,105	,179
		3	,124*	,015	,000	,087	,161
SR	2	1	-,142*	,016	,000	-,179	-,105
		3	-,018	,014	,476	-,051	,015
	3	1	-,124*	,015	,000	-,161	-,087
		2	,018	,014	,476	-,015	,051
	1	2	,018*	,005	,001	,006	,030
NDVI _{gs}		3	,017*	,003	,000	,009	,025
	2	1	-,018*	,005	,001	-,030	-,006
		3	-,001	,005	,991	-,013	,010
	3	1	-,017*	,003	,000	-,025	-,009
		2	,001	,005	,991	-,010	,013
LAI	1	2	-,016	,026	,903	-,078	,046
		3	-,021	,026	,802	-,083	,041
	2	1	,016	,026	,903	-,046	,078
		3	-,005	,027	,996	-,069	,059
	3	1	,021	,026	,802	-,041	,083
NDVI _{sat}		2	,005	,027	,996	-,059	,069
	1	2	-,165*	,061	,020	-,310	-,019
		3	,066	,051	,487	-,057	,189
	2	1	,165*	,061	,020	,019	,310
		3	,231*	,056	,000	,096	,365
NDVI _{sat}	3	1	-,066	,051	,487	-,189	,057
		2	-,231*	,056	,000	-,365	-,096
	1	2	-,023	,022	,663	-,077	,031
		3	,004	,021	,995	-,045	,054
	2	1	,023	,022	,663	-,031	,077
NDVI _{sat}		3	,028	,021	,481	-,023	,078
	3	1	-,004	,021	,995	-,054	,045
		2	-,028	,021	,481	-,078	,023
*Ortalama fark 0,05 düzeyinde önemlidir,							

Ayçiçeği gruplararası ve gruplar içi kıyaslama tablosu - parsel

ANOVA-parcel		Kareler top,	df	Ort, Kare	F	Önem
PLU	Gruplararası	,000	2	,000	,476	,621
	Gruplar içi	,267	930	,000		
	Toplam	,267	932			
SC	Gruplararası	,002	2	,001	,186	,830
	Gruplar içi	5,763	930	,006		
	Toplam	5,765	932			
CC	Gruplararası	,851	2	,426	7,698	,000
	Gruplar içi	51,412	930	,055		
	Toplam	52,263	932			
SM	Gruplararası	3,725	2	1,863	53,144	,000
	Gruplar içi	32,595	930	,035		
	Toplam	36,321	932			
SR	Gruplararası	,064	2	,032	10,559	,000
	Gruplar içi	2,806	930	,003		
	Toplam	2,870	932			
NDVI _{gs}	Gruplararası	,075	2	,038	,354	,702
	Gruplar içi	98,613	930	,106		
	Toplam	98,688	932			
LAI	Gruplararası	8,732	2	4,366	8,870	,000
	Gruplar içi	457,798	930	,492		
	Toplam	466,530	932			
NDVI _{sat}	Gruplararası	,135	2	,068	,938	,392
	Gruplar içi	67,105	930	,072		
	Toplam	67,240	932			

EK 4 Ayçiçeği ekili alanlarda RUSLE-C alt-faktörleri ve bitki indisleri için Post-Hoc analizi (Dönem)

Ayçiçeği çoklu kıyaslama tablosu - dönem

Multiple Comparisons							
Tamhane							
Bağımlı Değ,	(I) Dönem	(J) Dönem	Ort, fark (I-J)	St, Hata	Önem	95% Güven aralığı	
						Alt sınır	Üst sınır
PLU	1	2	,027*	,000	,000	,026	,027
		3	,039*	,001	,000	,037	,041
		4	,050*	,001	,000	,048	,052
	2	1	-,027*	,000	,000	-,027	-,026
		3	,012*	,001	,000	,010	,014
		4	,023*	,001	,000	,022	,025
	3	1	-,039*	,001	,000	-,041	-,037
		2	-,012*	,001	,000	-,014	-,010
		4	,011*	,001	,000	,009	,014
	4	1	-,050*	,001	,000	-,052	-,048
SC		2	-,023*	,001	,000	-,025	-,022
		3	-,011*	,001	,000	-,014	-,009
	1	2	-,126*	,000	,000	-,127	-,125
		3	-,206*	,000	,000	-,207	-,206
		4	-,222*	,000	,000	-,223	-,222
	2	1	,126*	,000	,000	,125	,127
		3	-,080*	,000	,000	-,081	-,079
		4	-,096*	,000	,000	-,097	-,095
	3	1	,206*	,000	,000	,206	,207
		2	,080*	,000	,000	,079	,081
CC		4	-,016*	,000	,000	-,016	-,016
	4	1	,222*	,000	,000	,222	,223
		2	,096*	,000	,000	,095	,097
		3	,016*	,000	,000	,016	,016
	1	2	,423*	,004	,000	,411	,435
		3	,535*	,025	,000	,469	,602
		4	,443*	,019	,000	,391	,495
	2	1	-,423*	,004	,000	-,435	-,411
		3	,113*	,025	,000	,045	,180
		4	,020	,019	,888	-,033	,073
SM	3	1	-,535*	,025	,000	-,602	-,469
		2	-,113*	,025	,000	-,180	-,045
		4	-,092*	,031	,021	-,176	-,009
	4	1	-,443*	,019	,000	-,495	-,391
		2	-,020	,019	,888	-,073	,033
		3	,092*	,031	,021	,009	,176
	1	2	,245*	,009	,000	,221	,269
		3	,376*	,008	,000	,355	,397
		4	,489*	,007	,000	,471	,508
	2	1	-,245*	,009	,000	-,269	-,221
		3	,131*	,007	,000	,113	,149
		4	,244*	,006	,000	,229	,259
	3	1	-,376*	,008	,000	-,397	-,355
		2	-,131*	,007	,000	-,149	-,113
		4	,113*	,004	,000	,103	,124
	4	1	-,489*	,007	,000	-,508	-,471
		2	-,244*	,006	,000	-,259	-,229
		3	-,113*	,004	,000	-,124	-,103

Ayçiçeği çoklu kıyaslama tablosu dönem (devam)

SR	1	2	-,093*	,002	,000	-,098	-,088
		3	-,111*	,002	,000	-,115	-,107
		4	-,111*	,002	,000	-,115	-,106
	2	1	,093*	,002	,000	,088	,098
		3	-,018*	,001	,000	-,021	-,014
		4	-,017*	,001	,000	-,021	-,014
	3	1	,111*	,002	,000	,107	,115
		2	,018*	,001	,000	,014	,021
		4	,000	,001	,991	-,001	,002
	4	1	,111*	,002	,000	,106	,115
NDVI _{gs}		2	,017*	,001	,000	,014	,021
		3	,000	,001	,991	-,002	,001
	1	2	-,662*	,003	,000	-,671	-,653
		3	-,594*	,017	,000	-,640	-,548
		4	-,134*	,009	,000	-,158	-,109
	2	1	,662*	,003	,000	,653	,671
		3	,068*	,017	,001	,021	,115
		4	,528*	,010	,000	,502	,554
	3	1	,594*	,017	,000	,548	,640
		2	-,068*	,017	,001	-,115	-,021
LAI		4	,460*	,019	,000	,409	,512
	4	1	,134*	,009	,000	,109	,158
		2	-,528*	,010	,000	-,554	-,502
		3	-,460*	,019	,000	-,512	-,409
	1	2	-1,147*	,028	,000	-1,220	-1,075
		3	-1,363*	,085	,000	-1,594	-1,132
		4	-,497*	,041	,000	-,610	-,385
	2	1	1,147*	,028	,000	1,075	1,220
		3	-,216	,089	,103	-,457	,025
		4	,650*	,049	,000	,518	,782
NDVI _{sat}	3	1	1,363*	,085	,000	1,132	1,594
		2	,216	,089	,103	-,025	,457
		4	,866*	,095	,000	,612	1,120
	4	1	,497*	,041	,000	,385	,610
		2	-,650*	,049	,000	-,782	-,518
		3	-,866*	,095	,000	-1,120	-,612
	1	2	-,515*	,004	,000	-,524	-,505
		3	-,657*	,011	,000	-,686	-,628
		4	-,170*	,010	,000	-,198	-,143
	2	1	,515*	,004	,000	,505	,524
		3	-,142*	,011	,000	-,172	-,112
		4	,344*	,011	,000	,315	,373
	3	1	,657*	,011	,000	,628	,686
		2	,142*	,011	,000	,112	,172
		4	,486*	,015	,000	,447	,525
	4	1	,170*	,010	,000	,143	,198
		2	-,344*	,011	,000	-,373	-,315
		3	-,486*	,015	,000	-,525	-,447

*Ortalama fark 0,05 düzeyinde önemlidir,

Ayçiçeği gruplararası ve gruplar içi kıyaslama tablosu - dönem

ANOVA-dönem		Kareler top,	df	Ort, Kare	F	Önem
PLU	Gruplararası	,253	3	,084	5439,011	,000
	Gruplar içi	,014	929	,000		
	Toplam	,267	932			
SC	Gruplararası	5753	3	1918	143385,363	,000
	Gruplar içi	,012	929	,000		
	Toplam	5,765	932			
CC	Gruplararası	45113	3	15038	1,953,958	,000
	Gruplar içi	7,150	929	,008		
	Toplam	52,263	932			
SM	Gruplararası	22,991	3	7,664	534,138	,000
	Gruplar içi	13,329	929	,014		
	Toplam	36,321	932			
SR	Gruplararası	2206	3	,735	1,028,979	,000
	Gruplar içi	,664	929	,001		
	Toplam	2,870	932			
NDVI _{gs}	Gruplararası	95191	3	31730	8,429,294	,000
	Gruplar içi	3,497	929	,004		
	Toplam	98,688	932			
LAI	Gruplararası	305,696	3	101,899	588,581	,000
	Gruplar içi	160,834	929	,173		
	Toplam	466,530	932			
NDVI _{sat}	Gruplararası	64212	3	21404	6,565,245	,000
	Gruplar içi	3,029	929	,003		
	Toplam	67,240	932			

EK 5 Buğday ekili alanlarda RUSLE-C alt-faktörleri ve bitki indisleri için Post-Hoc analizi (Parsel)

Buğday çoklu kıyaslama tablosu - parsel

Çoklu kıyaslama							
Tamhane							
Bağımlı Değ.	(I) Parsel	(J) Parsel	Ort, fark (I-J)	St, Hata	Önem	95% Güven aralığı	
						Alt sınır	Üst sınır
PLU	1	2	-,024*	,002	,000	-,028	-,019
		3	-,026*	,002	,000	-,030	-,022
	2	1	,024*	,002	,000	,019	,028
		3	-,002	,002	,775	-,008	,004
	3	1	,026*	,002	,000	,022	,030
		2	,002	,002	,775	-,004	,008
SC	1	2	-,159*	,017	,000	-,199	-,119
		3	-,159*	,017	,000	-,199	-,119
	2	1	,159*	,017	,000	,119	,199
		3	,000	,008	1,000	-,020	,020
	3	1	,159*	,017	,000	,119	,199
		2	,000	,008	1,000	-,020	,020
CC	1	2	-,015	,027	,922	-,079	,049
		3	,045	,028	,292	-,022	,112
	2	1	,015	,027	,922	-,049	,079
		3	,060	,028	,089	-,006	,126
	3	1	-,045	,028	,292	-,112	,022
		2	-,060	,028	,089	-,126	,006
SM	1	2	,140*	,014	,000	,107	,174
		3	,141*	,014	,000	,108	,174
	2	1	-,140*	,014	,000	-,174	-,107
		3	,001	,008	1,000	-,019	,020
	3	1	-,141*	,014	,000	-,174	-,108
		2	-,001	,008	1,000	-,020	,019
SR	1	2	-,071*	,010	,000	-,094	-,048
		3	-,069*	,010	,000	-,092	-,046
	2	1	,071*	,010	,000	,048	,094
		3	,002	,005	,988	-,012	,015
	3	1	,069*	,010	,000	,046	,092
		2	-,002	,005	,988	-,015	,012
NDVI _{gs}	1	2	,012	,020	,906	-,036	,060
		3	,017	,018	,735	-,027	,061
	2	1	-,012	,020	,906	-,060	,036
		3	,005	,019	,991	-,040	,050
	3	1	-,017	,018	,735	-,061	,027
		2	-,005	,019	,991	-,050	,040
LAI	1	2	,048	,049	,697	-,070	,166
		3	-,365*	,056	,000	-,500	-,230
	2	1	-,048	,049	,697	-,166	,070
		3	-,413*	,057	,000	-,549	-,277
	3	1	,365*	,056	,000	,230	,500
		2	,413*	,057	,000	,277	,549
NDVI _{sat}	1	2	,110*	,010	,000	,086	,134
		3	,072*	,013	,000	,042	,102
	2	1	-,110*	,010	,000	-,134	-,086
		3	-,038*	,013	,014	-,070	-,006
	3	1	-,072*	,013	,000	-,102	-,042
		2	,038*	,013	,014	,006	,070
*Ortalama fark 0,05 düzeyinde önemlidir,							

Buğday gruplararası ve gruplar içi kıyaslama tablosu - parsel

ANOVA-parcel		Kareler top,	df	Ort, Kare	F	Önem
PLU	Gruplararası	,170	2	,085	100,711	,000
	Gruplar içi	1037	1227	,001		
	Toplam	1208	1229			
SC	Gruplararası	6921	2	3461	79,398	,000
	Gruplar içi	53,479	1227	,044		
	Toplam	60,400	1229			
CC	Gruplararası	,800	2	,400	2,591	,075
	Gruplar içi	189,493	1227	,154		
	Toplam	190,294	1229			
SM	Gruplararası	5,396	2	2,698	88,497	,000
	Gruplar içi	37,409	1227	,030		
	Toplam	42,806	1229			
SR	Gruplararası	1339	2	,669	45,817	,000
	Gruplar içi	17,929	1227	,015		
	Toplam	19,268	1229			
NDVI _{gs}	Gruplararası	,063	2	,031	,427	,653
	Gruplar içi	90,570	1227	,074		
	Toplam	90,633	1229			
LAI	Gruplararası	42,318	2	21,159	34,703	,000
	Gruplar içi	748,127	1227	,610		
	Toplam	790,445	1229			
NDVI _{sat}	Gruplararası	2545	2	1273	41810	,000
	Gruplar içi	37,347	1227	,030		
	Toplam	39,892	1229			

EK 6 Buğday ekili alanlarda RUSLE-C alt-faktörleri ve bitki indisleri için Post-Hoc analizi (Dönem)

Buğday çoklu kıyaslama tablosu – dönem

Multiple Comparisons							
Tamhane							
Bağımlı Değ,	(I) Parsel	(J) Parsel	Ort, fark (I-J)	St, Hata	Önem	95% Güven aralığı	
						Alt sınır	Üst sınır
PLU	2	3	,033*	,002	,000	,029	,038
		4	,054*	,002	,000	,050	,059
	3	2	-,033*	,002	,000	-,038	-,029
		4	,021*	,000	,000	,020	,022
	4	2	-,054*	,002	,000	-,059	-,050
SC		3	-,021*	,000	,000	-,022	-,020
	2	3	-,350*	,010	,000	-,375	-,326
		4	-,423*	,010	,000	-,447	-,399
	3	2	,350*	,010	,000	,326	,375
		4	-,073*	,004	,000	-,081	-,064
CC	4	2	,423*	,010	,000	,399	,447
		3	,073*	,004	,000	,064	,081
	2	3	,791*	,003	,000	,783	,799
		4	,860*	,001	,000	,858	,863
	3	2	-,791*	,003	,000	-,799	-,783
SM		4	,069*	,003	,000	,061	,078
	4	2	-,860*	,001	,000	-,863	-,858
		3	-,069*	,003	,000	-,078	-,061
	2	3	-,322*	,009	,000	-,344	-,300
		4	-,011*	,003	,003	-,019	-,003
SR	3	2	,322*	,009	,000	,300	,344
		4	,311*	,009	,000	,289	,333
	4	2	,011*	,003	,003	,003	,019
		3	-,311*	,009	,000	-,333	-,289
	2	3	-,233*	,005	,000	-,245	-,221
NDVI _{gs}		4	-,233*	,005	,000	-,245	-,221
	3	2	,233*	,005	,000	,221	,245
		4	,000	,000	,	,000	,000
	4	2	,233*	,005	,000	,221	,245
		3	,000	,000	,	,000	,000
LAI	2	3	-,570*	,006	,000	-,585	-,556
		4	-,033*	,001	,000	-,035	-,030
	3	2	,570*	,006	,000	,556	,585
		4	,538*	,006	,000	,523	,552
	4	2	,033*	,001	,000	,030	,035
NDVI _{sat}		3	-,538*	,006	,000	-,552	-,523
	2	3	-1,431*	,037	,000	-1,520	-1,343
		4	-1,125*	,024	,000	-1,182	-1,068
	3	2	1,431*	,037	,000	1,343	1,520
		4	,306*	,044	,000	,201	,411
NDVI _{sat}	4	2	1,125*	,024	,000	1,068	1,182
		3	-,306*	,044	,000	-,411	-,201
	2	3	-,377*	,006	,000	-,391	-,362
		4	-,087*	,005	,000	-,099	-,076
	3	2	,377*	,006	,000	,362	,391
NDVI _{sat}		4	,289*	,006	,000	,276	,303
	4	2	,087*	,005	,000	,076	,099
		3	-,289*	,006	,000	-,303	-,276

*Ortalama fark 0,05 düzeyinde önemlidir,

Buğday gruplararası ve gruplar içi kıyaslama tablosu – dönem

ANOVA-dönm		Kareler top,	df	Ort, Kare	F	Önem
PLU	Gruplararası	,617	2	,309	641,650	,000
	Gruplar içi	,590	1227	,000		
	Toplam	1,208	1229			
SC	Gruplararası	42,075	2	21,038	1408,648	,000
	Gruplar içi	18,325	1227	,015		
	Toplam	60,400	1229			
CC	Gruplararası	188,297	2	94,149	57868,744	,000
	Gruplar içi	1,996	1227	,002		
	Toplam	190,294	1229			
SM	Gruplararası	27,524	2	13,762	1105,017	,000
	Gruplar içi	15,281	1227	,012		
	Toplam	42,806	1229			
SR	Gruplararası	14,967	2	7,484	2135,061	,000
	Gruplar içi	4,301	1227	,004		
	Toplam	19,268	1229			
NDVI _{gs}	Gruplararası	84,405	2	42,203	8314,120	,000
	Gruplar içi	6,225	1227	,005		
	Toplam	90,633	1229			
LAI	Gruplararası	469,565	2	234,782	897,775	,000
	Gruplar içi	320,880	1227	,262		
	Toplam	790,445	1229			
NDVI _{sat}	Gruplararası	32,089	2	16,044	2522,629	,000
	Gruplar içi	7,804	1227	,006		
	Toplam	39,892	1229			