

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**YARI-KURAK BÖLGELERDE RÜZGÂR EROZYONU TEHLİKESİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ: BÖLGESEL ÖLÇEKTE MODEL GEÇERLİLİK
ÇALIŞMALARI**

Feras YOUSSEF

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

**ANKARA
2013**

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Doktora Tezi

YARI-KURAK BÖLGELERDE RÜZGÂR EROZYONU TEHLİKESİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ: BÖLGESEL ÖLÇEKTE MODEL GEÇERLİLİK ÇALIŞMALARI

Feras YOUSSEF

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Toprak Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Günay ERPUL

Kurak ve yarı-kurak bölgeleri tehdit eden rüzgâr erozyonu, kritik bir çevresel sorundur. Genel olarak rüzgâr erozyonu, çölleşme, yoksulluk ve diğer çevresel felaketleri beraberinde getirmektedir. Rüzgâr erozyonu olayında bitki örtüsü, toprak yüzeyini aşındırıcı rüzgârlardan korumak için çok önemli bir etmendir . Bu tezin amacı bitki örtüsü değişiminin rüzgâr erozyonu üzerine nasıl bir etki yaptığını incelemek ve bu konu ile ilgili var olan bilgileri geliştirmektir. Bunu sağlamak amacıyla , rüzgâr erozyonu ölçümünde bir taşınabilir parsel ölçüm tekniği bölgesel ölçekler için geliştirilmiştir. Ayrıca, her bir arazi biriminde ve farklı arazi birimleri arasısınırılarda bulunan bitki örtüsü desenlerinin, rüzgâr erozyonu üzerindeki etkisi rüzgâr tüneli deneyleri yapılarak incelenmiştir. Çalışmanın modelleme kısmında Yenilenmiş Rüzgâr Erozyonu Denklemi (YRED) araştırma yapılacak alanlara göre uyarlandıktan sonra, Suriye-Khanasser vadisi farklı arazi kullanım alanlarından elde edilen veriler ile kalibre edilmiştir. Bunun yanı sıra, bir tahmin modeli olarak Bölgesel Ölçekli Rüzgâr Erozyonu Denklemi (BÖ-RED) de geliştirilmiştir. Yapılan araştırmanın en önemli sonuçları: (1) Kalibre edilmiş ve ayarlanmış YRED modeli, farklı bitki örtüsüne sahip araziler için toprak kütle taşınması tahmininde başarı ile uygulanabilmektedir. (2) Taşınabilir parsel yönteminin bölgesel ölçekte rüzgâr erozyonunu ölçmek için umut verici bir yöntem olduğu görülmüştür. (3) Bitki örtüsü deseni ve arazi birimleri arasındaki sınırların rüzgâr ile toprak kütle taşınmasında bir hayli etkili olduğu belirlenmiştir . (4) Bu çalışmada geliştirilen BÖ-RED, kütle taşınma ve birikme miktarlarını ve sonuç olarak toprak kaybını konumsal olarak tahmin edebilmektedir ve bu sayede de rüzgâr erozyonu araştırmalarında son derece yardımcı bir model olarak kullanılabilme potansiyeli bulunmaktadır

Mart 2013, 130 sayfa

Anahtar Kelimeler: Rüzgâr erozyonu, bölgesel ölçekte modelleme, toprak kaybı, rüzgâr tüneli, bitki örtüsü

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

ASSESSMENT THE RISK OF WIND EROSION IN SEMI-ARID REGIONS: DEVELOPING A REGIONAL-SCALE WIND EROSION MODEL

Feras YOUSSEF

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

Supervisor: Prof. Dr. Günay ERPUL

Wind erosion is a critical environmental problem that threatens mainly the arid and semi-arid regions. Usually this problem is associated with desertification, poverty and other environmental and socioeconomic problems. As vegetation is one of the vital factors for the protection of the soil surface against erosive winds, this thesis aims to improve the knowledge on the effects of vegetation cover and land use on regional scale wind erosion by improving of measurement equipment and methods and by the help of wind erosion models. Thus, a new method of portable plot for measuring the wind erosion at the regional scale was developed. Furthermore, the effects of vegetation pattern and the transitions on wind-blown sediment transport were investigated by the downscaling of regional scale conditions in wind-tunnel experiments. In the modeling part of this thesis, the field scale wind erosion model of RWEQ (Revised Wind Erosion Equation) was adjusted, calibrated and validated against ground data collected from different land uses in the Khanasser valley region, Syria. Moreover, a new process-based regional scale model of RS-WEQ (Regional Scale Wind Erosion Equation) was developed. The results of this thesis showed that (1) the adjusted, calibrated and validated RWEQ model is applicable for different land uses in semi-arid regions. (2) the portable plot strategy is a promising method for observing the wind erosion at the regional scale. (3) the vegetation pattern and the border between different land uses have significant effect on the quantity and intensity of wind-blown sediment transport. (4) the developed RS-WEQ regional scale model predicts mass flux, soil loss and deposition for all land covers in a region, including the spatial pattern of these variables within arable fields and thus this model is applicable to assess the wind erosion problem in the vulnerable regions.

March 2013, 130 pages

Key Words: Wind erosion, regional scale modelling, soil loss, wind tunnel, vegetation cover

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım süresince desteğini esirgemeyen, yönlendiren, araştırmalarımın bütün aşamalarında bilgi, öneri ve yardımlarını eksik etmeyerek akademik ortamda olduğu kadar beşeri ilişkilerde de engin fikirleriyle yetişmeme ve gelişmeme katkıda bulunan danışman hocam sayın Prof. Dr. Günay ERPUL'a (Ankara Üniversitesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı); yine çalışmalarım süresince desteklerini ve ilgilerini esirgemeyen değerli tez izleme komitesi üyeleri hocalarım Doç. Dr. İlhami BAYRAMİN'e (Ankara Üniversitesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı), Doç. Dr. Mustafa BAŞARAN'a (Erciyes Üniversitesi, Toprak Anabilim Dalı), Doç. Dr. Hasan Sabri ÖZTÜRK'e (Ankara Üniversitesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı), Yard. Doç. Dr. Ali Uğur ÖZCAN'a (Çankırı Çankırı Karatekin Üniversitesi, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı) çok teşekkür ederim. Ayrıca her zaman bana destek veren ve bu çalışmada önemli bir rol oynayan Hollanda'daki hocalarım Dr. Saskia VISSER'e (Soilphysics and land use group , Alterra , Wageningen) ve Dr. Derek KARSSENBERG'e (Utrecht University, Department of Physical Geography); Ankara'da çalışmalarım esnasında yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşlarım Dr. Selen DEVİREN SAYGIN'a (Ankara Üniversitesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı) a, Suriye'de bulunduğum süre içinde her türlü desteğini aldığım Dr. Adriana Bruggeman'a (Energy, Environment and Water Research Center, CREF, The Cyprus Institute), Belçika'da bulunduğum süre içerisinde her şekilde destek olan Prof. Dr. Donald GABRIELS'e (Gent University, Department of Soil Management, UNESCO Chair on Eremology) ve Prof. Dr. Wim CORNELIS'e (Gent University, Department of Soil Management, UNESCO Chair on Eremology); sonsuz teşekkürlerimi borç bilirim. Ayrıca Ankara'da bulunduğum sürece desteklerini esirgemeyen yakın arkadaşlarım Mehmet AŞKER'e (Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye) ve Şemsettin IŞIK'a sonsuz teşekkür ederim

Feras YOUSSEF
Ankara, Şubat 2013

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	.ii
TEŞEKKÜRiii
KISALTMALARvi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİx
1. GİRİŞ1
2. KAYNAK ÖZETLERİ3
2.1 Rüzgâr Erozyonu Problemi.....	.3
2.2 Rüzgar Erozyonu ve Bitki Örtüsü4
2.3 Rüzgâr Erozyonu Modellemesi.....	.7
2.4 Rüzgâr Erozyonu Modelleri Alansal Genelleme Yöntemleri.....	11
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	14
3.1 Çalışma Alanları	14
3.1.1 Karapınar Konya, Türkiye	14
3.1.2 Khanasser vadisi, Halep, Suriye	17
3.2 Toplam sediment taşınma miktarlarının hesaplanması.....	20
3.3 YRED Modeli	21
3.3.1 İklim etkeni (W_F).....	23
3.3.2 Toprak denklemleri	25
3.3.3 Kalıntı ve bitki örtüsü denklemleri	25
3.3.4 Toprak işleme ve pürüzlülük denklemleri.....	26
3.3.5 Rüzgâr perdesi denklemleri	27
3.4 YRED Modelinin Kalibrasyonu	28
3.4.1 İstatistiksel analizleri	29
3.5 Rüzgâr Tüneli Çalışmaları	29
3.5.1 Rüzgâr tünelinin tanımlaması.....	29
3.5.2 Bitki örtüsünün temsili	31
3.5.3 Bitki örtüsünün varlığıyla meydana getirilen hava burgacı (türbülans) ve tanecik sıçraması için sıçramanın temel parametreler.....	34
3.6 Bölgesel Ölçekli Modelleme	37
3.6.1 Bölgesel ölçekli modelleme için YRED modelinin geliştirilmesi aşamaları	37
3.6.2 Hazırlanmış modeli çalıştırma senaryoları.....	39
3.6.3 Model sonuçlarını değerlendirme kriterleri	41

4 BULGULAR VE TARTIŞMA	45
4.1 Sediment Kütle Akışının Değerlendirilmesi	45
4.1.1 Karapınar	45
4.1.1 Khanasser Vadisi	47
4.2 Kalibrasyon Sonuçları	49
4.2.1 Kalibrasyon parametreleri	49
4.2.2 Ölçülen ve tahmin edilen sediment akışları arasındaki ilişkiler	50
4.3 Rüzgâr Tüneli sonuçları	52
4.3.1 Rüzgâr tüneli simülasyonlarının değerlendirilmesi	52
4.3.2 Test edilen alanlar için ortalama sediment yüksekliği	54
4.3.3 Boylamsal kesit boyunca (0,6 m) aralıklı kum yükseklikleri	57
4.3.4 Test edilen alanlardaki erozyon ve birikme	58
4.3.5 Büyük ölçekli değerlendirmeler	60
4.3.6 Küçük ölçekli değerlendirmeler	63
4.3.7 Erozyon veya birikimle ilişkili alanların büyüklükleri	64
4.4 Bölgesel-Ölçekte Rüzgâr Erozyonu Modeli	65
4.4.1 YRED ve BÖ-RED modellerinin karşılaştırılması	65
4.4.2 Aşınmaya bağlı sediment kütle akışı	66
4.4.3 Erozyon ve birikim oluşumu	73
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	79
KAYNAKLAR	84
EKLER	97
EK 1 Karapınar Latife Cingözü çalışma parseli ve etrafındaki arazi kullanım görüntüsü	99
EK 2 Karapınar Örnek tepe çalışma parseli ve etrafındaki arazi kullanım görüntüsü	100
EK 3 Khanasser Vadisi, Serdah C parseli ve etrafındaki arazi kullanım görüntüsü	101
EK 4 Khanasser Vadisi, Umm Mial çalışma parseli ve etrafındaki arazi kullanım görüntüsü	102
EK 5 Khanasser Vadisi, Adami (Kumlu alanı) çalışma parseli ve etrafındaki arazi kullanım görüntüsü	103
EK 6 Khanasser Vadisi, Mugherat (Atriplex olamayan alanı) çalışma parseli ve etrafındaki arazi kullanım görüntüsü	104
EK 7 Khanasser Vadisi, Mugherat (Atriplex alanı) çalışma parseli ve etrafındaki arazi kullanım görüntüsü	105
EK 8 Khanasser Vadisi, Serdah A çalışma parseli ve etrafındaki arazi kullanım görüntüsü	106
EK 9 Toplam sediment taşınımı (Q) hesaplanmasında kullanılan regresyon modelin uyumu	107
EK 10 Kalibre edilmiş YRED modelinin formatı	115

EK 11 Khanasser, Adami (kumlu alanı) parseli için kalibre edilmiş YRED modelinin tahmin ettiği toprak kütle taşınım konumsal dağılımı.....	121
EK 12 Khanasser, Mug Atri parseli için kalibre edilmiş YRED modelinin tahmin ettiği toprak kütle taşınması konumsal dağılımı.....	122
EK 13 Khanasser, Mugherat (Atriplex olamayan) parseli için kalibre edilmiş YRED modelinin tahmin ettiği toprak kütle taşınması konumsal dağılımı	123
EK 14 Khanasser, Serdah C parseli için kalibre edilmiş YRED modelinin tahmin ettiği toprak kütle taşınması konumsal dağılımı.....	124
EK 15 Khanasser, Serdah A parseli için kalibre edilmiş YRED modelinin tahmin ettiği toprak kütle taşınması konumsal dağılımı.....	125
EK 16 Her bir bitki deseni için tünel içinde belirli yüksekliklerde ölçülen sediment miktarlarının konumsal dağılımları (deney 1).....	126
EK 17 Her bir bitki deseni için tünel içinde belirli yüksekliklerde ölçülen sediment miktarlarının konumsal dağılımları (deney 2).....	127
EK 18 Her bir bitki deseni için tünel içinde belirli yüksekliklerde ölçülen sediment miktarlarının konumsal dağılımları(deney 3).....	128
ÖZGEÇMİŞ.....	129

KISALTMALAR DİZİNİ

YRED	Yenilenmiş Rüzgâr Erozyonu Denklemi
WEQ	Rüzgâr Erozyonu Denklemi
RETS	Rüzgâr Erozyonu Tahmin Sistemi
TEAMA	Texas Tech Wind Erosion Analysis Model (Texas Tech Rüzgâr Erozyonu Analiz Modeli)
WEELS	Wind Erosion on European Light Soils (Avrupa Hafif-Bünyeli Topraklar için Rüzgâr Erozyon Modeli)
UA	Uzaktan Algılama
MSE	Ortalama Kare Hatası (Mean Squared Error)
WF	İklim Etkeni (Weather Factor)
MWAC	Modifiye Wilson ve Cooke Tutucusu
UEM	Uluslararası Eremoloji Merkezi
BÖ-RED	Bölgesel-Ölçekte Rüzgâr Erozyonu Denklemi Modeli
Dur	Rüzgâr olayının süresi (Duration)
WS	Rüzgâr hızı (Wind Speed)
WD	Rüzgâr yönü (Wind Direction)
NAR	Net Özümseme Oranı (Net Assimilation Rate)
RGR	Nespi Buyutme Hızı (Relative Growth Rate)
ABD	Amerika Birleşik Devletleri

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Rüzgâr erozyonu ile toprak tanelerinin hareketleri.....	4
Şekil 2.1 Rüzgâr erozyonu modelini yüksek çözünürlükten düşük çözünürlüğe getirmek için olasılıksal (stokastik) alansal genelleme yöntemi (Karssenber, 2006'dan uyarlanmıştır)	12
Şekil 2.2 Alansal genelleme yöntemleri için karar verme şeması (Bierkens vd. 2000).....	13
Şekil 3.1 Konya, Karapınar arazi örtüsü sınıflandırmaları	15
Şekil 3.2 Suriye'de Khanasser vadisi arazi kullanımı (ICARDA 2005).....	17
Şekil 3.3 Çalışma alanında MAWC tutucularının dağılımı	18
Şekil 3.4 Karapınar'da rüzgâr erozyonu araştırması için kurulan meteoroloji istasyonu.....	19
Şekil 3.5 Khanasser Vadisi'de sediment kütle akış ölçüm aletleri: (A) MWAC tutucusu ve (B) kullanılan saltifon	19
Şekil 3.6 Toplam sediment taşınması (Q) hesaplarında kullanılan regresyon modeli	21
Şekil 3.7 YRED modelinde toplam sediment kütle akışının hesaplanmasında kullanılan parametreler.....	22
Şekil 3.8 Rüzgâr tüneline denemelerin kurulumu (Gent Üniversitesi, Belçika).....	30
Şekil 3.9 Atriplex çalılarının temsili, a: arazideki görünümü, b: simüle edilen çalılarının görünümü, c: tüneldeki model çalılarının görünümü.....	32
Şekil 3.10 Rüzgâr tüneline denenen bitkisel örtü desenleri	33
Şekil 4.1 Karapınar'daki Latif Cingözü ölçüm (tarım alanı) alanındaki. a. 6 Mart, b. 7 Mart ve c. 8 Mart 2009 tarihlerinde rüzgâr erozyonu olayı için ölçüm grafiğindeki (Kg/m) taşınan sediment dağılımı.....	46
Şekil 4.2 Ayarlanmış YRED modelinin 5 farklı rüzgar olayı için tahmin ettiği konumsal kütle taşınması dağılımı ($kg.m^{-1}$).....	49
Şekil 4.3 Her ölçüm yeri için ve her tutucu için, ölçülen ve modelin tahmin ettiği kütle akışı değerleri arasındaki ilişkiler	50
Şekil 4.4 Her ölçüm yeri için, 16 sediment tutucunun tuttuğu kütle akışı değerlerinin ortalaması ve RWEQ modeli tarafından tahmin edilen kütle akışı ilişkileri	51
Şekil 4.5 Her bir bitki deseni için tünel içinde belirli yüksekliklerde ölçülen sediment miktarlarının konumsal dağılımları	53
Şekil 4.6 Çalışma alanı boyunca her bitki deseni için ikinci ve üçüncü denemelerin ortalama kum yükseklikleri	55
Şekil 4.7 Tablanın ortası boyunca kum yükseklikleri kesiti	57
Şekil 4.8 Tabla boyunca belirlenen erozyon, denge durumu veya birikim hücrelerinin yüzdesi (1 piksel 4 cm x 1 cm).....	59

Şekil 4.9 Çıplak ve bitkisel örtünün (vejetasyon) olduğu alanlardaki taşınma ve depolanma şeması	62
Şekil 4.10 I) YRED modelinde komşu arazi etkileri göz önüne alındığındaki sediment kütle akışı tahminleri, Çıplak (B), Çalı alanı (A) ve Buğday (W). II): BÖ-RED modelinde komşu arazi etkileri göz önüne alındığındaki sediment kütle akışı tahminleri, Çıplak (B), Çalı alanı (A) ve Buğday (W).....	66
Şekil 4.11 $12,5 \text{ m s}^{-1}$ 15 m s^{-1} hızlarındaki rüzgâr koşullarında sediment kütle akışı ve aşınma tipleri. a. Arazi uzunluğu 50 m, b. arazi uzunluğu 150 m, c. arazi uzunluğu 450 m, b, a W çıplak, buğday ve çalı alanı arazilerini ifade etmektedir	68
Şekil 4.12 50 ve 150 m uzunluğundaki WB, BWA ve WBA arazi senaryoları için ortalama sediment kütle akışları (aşınma). a. rüzgâr hızı 10 m s^{-1} , b. rüzgâr hızı $12,5 \text{ m s}^{-1}$ ve c. rüzgâr hızı 15 m s^{-1}	70
Şekil 4.13 Tüm arazi senaryoları ve rüzgâr hızları için yüksek, orta ve düşük aşınma tiplerine düşen arazi yüzdeleri.....	72
Şekil 4.14 50m, 150 m ve 450 m uzunluğundaki BW, BWA ve WBA arazi senaryoları için bölgedeki ortalama toprak kaybı ve birikme değerleri. (a, b ve c panellerinde rüzgâr hızı $12,5 \text{ m s}^{-1}$, d,e, f panellerinde rüzgâr hızı 15 m s^{-1})	74
Şekil 4.15 Arazi uzunluğunun 50m, 150m ve 450m, rüzgâr hızının $12,5 \text{ m s}^{-1}$ (A, B, C), ve 15 m s^{-1} (D, E ve F) olduğu WBA senaryosundaki toprak kaybı ve (birikimi Pozitif değerler birikimi, negatif değerler ise erozyonu göstermektedir)	75
Şekil 4.16 50m, 150 m ve 450m uzunluğundaki tüm arazi senaryoları ve rüzgâr hızları için her erozyon ve birikme oluşum tiplerine düşen arazi yüzdeleri. Şekildeki kırmızı renk erozyonu, mavi renk ise birikimi göstermektedir	78

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1 Dünyada su ve rüzgâr erozyonu dağılımı (Middleton and Thomas 1997)	1
Çizelge 3.1 Karapınar vejetasyon birlikleri, ayırt edici türleri ve yetiştiği toprak özellikleri (Bağcı vd, 1997)	16
Çizelge 3.2 Rüzgâr tüneli deneylerinde kullanılan kum taneciklerinin büyüklük dağılımı (hacimsel %) hacmi	30
Çizelge 3.3 Araştırmada simüle edilen fiziksel rüzgar erozyonu parametreleri	36
Çizelge 3.4 Güncel olarak hesaplanmış YRED modelinin parametreleri	39
Çizelge 3.5 YRED modelinde çıplak arazi, buğday arazisi ve çalılık araziler için kullanılan etmenlerin değerleri	40
Çizelge 3.6 Simüle edilen arazi kullanımını için Q_{max} ve S değerleri	40
Çizelge 3.7 Birikme kütle akışı dolayısıyla oluşan bitki örtüsü hasarı tipleri. Baker (2007) sonrası yapılan çalışma	42
Çizelge 4.1 Sediment tutucularda yakalanan sedimentlerin miktarı	45
Çizelge 4.2 Her rüzgâr olayında yakalanan sedimentlerin miktarı	47
Çizelge 4.3 Kalibre edilmiş YRED modelinin her ölçüm yeri için tahmin ettiği sediment kütlesi	48
Çizelge 4.4 YRED modelinin 6 parametresi için kalibrasyon sonuçları	49
Çizelge 4.5 Her deneme (r_1 , r_2 ve r_3) ve her bitki deseni için ortalama kum yüksekliği ve standart sapmaları (σ)	52
Çizelge 4.6 Kum yükseklikleri ile erozyon ve birikimin sınıflandırılması	59

1. GİRİŞ

Doğal kaynakların varlığı ile bu değerlerin korunarak kullanımı, toplumların gelişmesi ve kalkınmasının sağlanmasında büyük önem taşımaktadır. Özellikle, “Küresel Isınma” ve beraberinde gelen “İklim Değişikliği” ile giderek kalıcı hale gelen kuraklık sorunu, çölleşme ve rüzgâr erozyonu gibi çevresel felaketleri de beraberinde getirmektedir. Bu süreçler, hali hazırda oldukça kısıtlı olan temiz su kaynaklarının azalması, kirlenmesi, toprak varlığının bozulması, sulak alan, orman ve meraların yok olması veya niteliklerini kaybetmesine yol açmaktadır. Doğal kaynak planlarının yapılmasında ve uygulanmasında mevcut olan bu tehlike ve durumların ortaya konulmaması şüphesiz yapılacak olan çalışmaların başarısını önemli düzeyde azaltmaktadır.

Çizelge 1.1 Dünyada su ve rüzgâr erozyonu dağılımı (Middleton and Thomas 1997)

Kıta	Su erozyonu (milyon ha)			Rüzgâr erozyonu (milyon ha)		
	Kurak yarı-nemli	Yarı kurak	Kurak	Kurak yarı-nemli	Yarı kurak	Kurak
Afrika	25,1	59,2	34,8	1,6	30,7	127,5
Asya	54,9	69,9	32,7	15,1	52,1	85,9
Avustralya	4,1	26,3	39,3	0	6,4	9,5
Avrupa	34,7	12,8	0,6	17,4	17,3	4,0
Güney Amerika	10,7	24,4	3,3	6,8	27,3	3,7
Kuzey Amerika	11,5	20,6	2,5	5,9	16,4	4,6
Toplam	141,0	213,2	113,2	46,8	150,2	235,2
Genel Toplam	467,4			432,2		

Kuraklıkla birlikte gelişen çölleşme olgusu, iklimsel veya insan aktiviteleri sonucunda meydana gelen kurak, yarı kurak ve yarı nemli bölgelerdeki arazi bozulmaları olarak tanımlanmaktadır. Sıklıkla otlatma, ormansızlaştırma, geleneksel tarım, yanlış sulama sistemleri gibi insan aktiviteleri bu problemlere sebep olurken olağan dışı iklim olayları da süreci hızlandırmaktadır. Yine bu alanlarda, toprağın koruyucu örtüsünün ortamdan uzaklaşması, özellikle dünya genelinde oldukça önemli bir arazi bozulması sebebi olarak değerlendirilen rüzgâr erozyonunu teşvik etmektedir. Bu durumda yapılacak rüzgâr

erozyonu tehlike değerlendirme çalışmalarının daha geniş ölçeklerde gerçekleştirilme zorunluluğunu da beraberinde getirmektedir. Fakat gerek Dünya genelinde gerekse Akdeniz Bölgeleri'nde gerçekleştirilen çalışmaların çoğu parsel veya tarla ölçeğinde yapılmış olup, bölgesel ölçekli çalışmalar oldukça yetersiz düzeyde bulunmaktadır. Bu sebeple, özellikle kurak ve yarı-kurak bölgelerde rüzgâr erozyonunun toprak ve su kaynakları üzerine etkilerinin bölgesel ölçekte değerlendirilmesi, kalkınma bölgelerinde gerekli koruma önlemlerinin alınarak, sürekliliğinin sağlanması yönünden önemli olmaktadır.

Bu tez ile amaçlanan, rüzgâr erozyonunun uzun yıllardır problem teşkil ettiği Akdeniz'deki kurak ve yarı-kurak bölgelerde, bitki örtüsünün erozyon üzerindeki rolü ve etkisini değerlendirmektir. Bu amaca ulaşmak için aşağıda belirtilen işlemler tez kapsamında gerçekleştirilmiştir:

- I. Farklı arazi kullanım (vegetasyon kapalılığına sahip) alanlarda deneme parselleri oluşturularak taşınan sediment miktarları değerlendirilmiş, ölçüm koşullarındaki toprak ve iklimsel parametreler belirlenmiş ve tehlike değerlendirmesinde kullanılan tahmin modeli için (YRED) model ayarlanması ve geçerlilik çalışmaları gerçekleştirilmiştir.
- II. Farklı bitki örtüsünün ve örtülerinin, rüzgâr tüneli denemeleri sayesinde bölgesel ölçekte rüzgâr la taşınan sediment toprak akışı değişimi üzerindeki etkisine ilişkin daha fazla bilgi sağlanmıştır.
- III. Rüzgâr erozyonu sürüklenme ve sıçrama hareketlerini değerlendirebilen ve aynı zamanda araziler arası bitki örtüsü değişikliğini hesaba katabilen yeni bir bölgesel ölçekli model B-RED geliştirilmiştir (Bölgesel lekli Rüzgâr Erozyonu Sürüklenme ve Sıçrama Alt-Süreçleri ile Toprak Kayıpları Tahmin Modeli). Bu model şu soruları cevaplayabilmek için kullanılmıştır: (1) arazinin bitki rtsnce zenginliği, bitki örtüsünün dağılımı ve arazi uzunluğunun sediment kütle akışı, toprak kaybı ve birikimindeki etkileri nelerdir? (2) rüzgâr erozyonunu bölgesel ölçekte azaltma çalışmaları çerçevesinde, en uygun arazi yönetimi ve arazi uzunluğu ne olmalıdır?

2. KAYNAK ÖZETLERİ

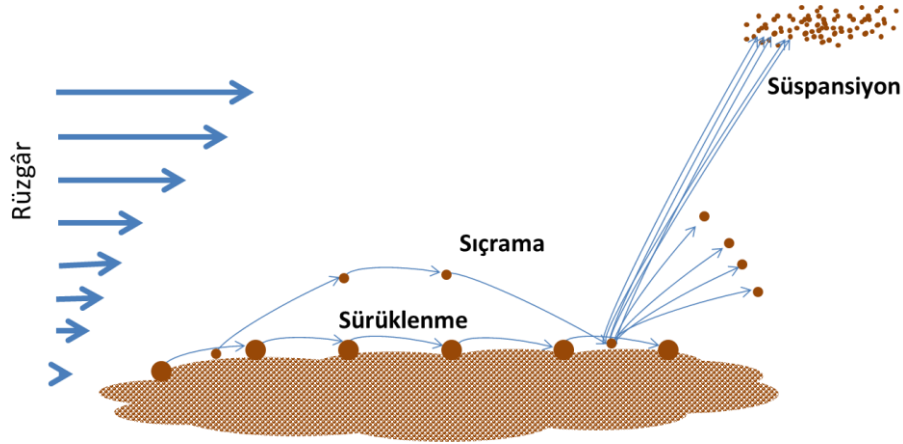
2.1 Rüzgâr Erozyonu Problemi

Rüzgâr erozyonu özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde ciddi bir sorun teşkil etmektedir (Morgan 2005, Sivakumar vd. 2005, Stroosnijder 2005, Shao 2008), ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri bulunmaktadır (Thomas ve Turkelboom, 2008). Rüzgâr erozyonu sonucu oluşan aşınma (parçalanma), taşınma ve birikme olayları tarımsal üretime ve doğal bitki örtüsüne zarar vermektedir (Woodruff, 1956). Üstelik rüzgâr erozyonu sıçrama ve taşınma alt süreçleri nedeniyle kaybedilen besin maddeleri toprağın verimini önemli ölçülerde düşürmektedir (McTainsh ve Pitblado, 1987; Visser ve Sterk, 2007; Visser vd. 2005c). Toprak agregatlarının parçalanması ve taşınması, özellikle birikme sahalarında, üst toprak yüzeyinin alan-dışı rüzgâr erozyonu sedimentleri ile kaplanmasına (Csavina vd. 2010; Cuadros vd. 2010; Li vd. 2009; Qi vd. 2011; Wilson vd. 2011) ve buna ilave olarak, ulaşım yollarının da kapanmasına neden olabilmektedir (Xue vd. 2008). Toz fırtınaları rüzgâr erozyonunun neden olduğu büyük çaplı problemlerden en belirgin olanıdır (Leslie ve Speer, 2006) ve 1930 yıllarında Amerika'da görülen ve 400,000 km²'den fazla alanı etkileyen "Dust Bowl" toz fırtınası gibi büyük çaplı felaketlere yol açabilmektedir (Cook vd. 2008). "Dust Bowl" felaketini inceleyen araştırmacıların raporunda, bu yıkıcı olayın ana nedenlerinin aşırı kuraklık ve büyük alanlardaki bilinçsiz tarımsal uygulamalar olduğu belirtilmiştir (Baveye vd. 2011, Romm 2011).

Kurak ve yarı-kurak bölgelerde rüzgâr erozyonu ciddi bir çevresel problem olmasına rağmen, mevcut arazi kullanım türlerinin oluşturduğu bu koşullara özel ve ekosistem bütünlüğü içerisinde, rüzgâr erozyonu etkilerinin bölgesel ölçekte tahmin edilebileceği geçerli bir modele halen ihtiyaç duyulmaktadır. Rüzgâr erozyonu süreçlerinin karışıklığı, büyük ölçeklerdeki rüzgâr erozyonu tahminini zorlaştırdığı için, küçük ölçekte işlevselliği olan tahmin eşitlikleri üzerinde çok sayıda modelleme çalışması bulunmaktadır (Al awadhi vd. 2009). Ancak, bu modellerin verdiği sonuçlar kullanıldığı ölçek ile sınırlı kalmaktadır. Özellikle yarı kurak bir iklim kuşağında, yüzey örtüsü; rüzgârın toprak agregatlarını parçalayıcı ve toprak taneciklerini taşıyıcı etkilerini

azaltmakta en önemli parametrelerden bir tanesidir. Öyle ki, bir süreklilik ve desen içerisinde değişen yüzey örtüsünün, rüzgâr erozyonu üzerindeki etkisini konumsal olarak tahmin edebilen bir model, arazi yöneticileri için faydalı bir araç olacaktır. Bu açıdan, bir ekosistem içerisindeki bitkisel örtü değişim dinamiklerinin belirlenmesi, doğrudan çalışma ölçeğine bağlı olarak değişecektir. Genel olarak arazi bozulması ve hususi olarak da rüzgâr erozyonunun arazi bozulması üzerine etkilerini çalışmak için, dört farklı alansal büyüklük öne çıkmaktadır. Bunlar, nokta ($1-10 \text{ m}^2$), arazi ($10-10^4 \text{ m}^2$), köy (10^4-10^8 m^2) ve bölge ($>10 \text{ km}^2$) ölçekleridir (Stroosnijder 2005).

Rüzgâr erozyonu sırasında toprak taneleri, boyutlarına göre farklı biçimlerde hareket ederler. Genel olarak $2-63 \text{ }\mu\text{m}$ olan taneler süspansiyon (uçma) ile hareket ederken, $50-500 \mu\text{m}$ çapındakiler saltasyon (sıçrama) ile hareket etmektedir. $500 \mu\text{m}$ 'den $1-2 \text{ mm}$ ($1000-2000 \mu\text{m}$) ye kadar çapa sahip olan taneler ise yüzey sürüklenmesi ile taşınırlar (Shao, 2001) (Şekil 1.1).



Şekil 1.1 Tanecik hareketlerine göre rüzgâr erozyonu alt-süreçleri

2.2 Rüzgâr Erozyonu ve Bitki Örtüsü

Bitki örtüsünün rüzgâr hızını ve toprak aşınabilirliğini azalttığı ve de aşınmış materyalin tutulmasını arttırdığından dolayı, rüzgârın neden olduğu toprak kaybını azaltma kapasitesine sahip olduğu bir dizi araştırma ile gösterilmiştir (Van De Ven vd. 1989, Sterk vd. 1998, Udo ve Takewaka, 2007, Abdourhamane Toure vd. 2011; Leenders vd. 2011; Munson vd. 2011). Kumul hareketliliği ile ilgili araştırmalarda

ise, kum hareketlerinin azalmasıyla bitki örtüsünün tutma kapasitesinin artması arasında bir ilişki olduğu ortaya konmuştur (Hesse vd. 2004, Chang vd. 2011; Drenova, 2011, Floyd ve Gill, 2011). Lancaster ve Baas (1998) bitki örtüsünün, hem aerodinamik pürüzlülük süresini hem de başlangıçtaki rüzgâr akış hızını arttırdığını belirtmişlerdir.

Leenders vd. (2007), Afrika'da Sahra çölünün kuzeyindeki yarı kurak bölgedeki tarım alanlarında, dağınık çalı ve ağaçların rüzgâr erozyonu üzerindeki etkisini inceledikleri çalışmalarında, çalıların toplam toprak kütle akışını, toprak taneciklerini tutarak azalttığını ve ağaçların da rüzgâr hızını, dolayısıyla rüzgârın aşındırıcı gücünü, azalttığını göstermişlerdir. Bu nedenle tarımsal arazilerde toprak yüzeyinin en yüksek düzeyde korunması için, çalılar ve ağaç kombinasyonları önerilmektedir. Daha önceki çalışmalar rüzgâr erozyonunda artışa neden olabilecek türbülans artışını önlemek için, aynı zamanda bitkisel örtü kaplama yüzdesine de dikkat edilmesi gerektiğini göstermiştir (Sterk vd. 1998).

Bitki örtüsünün rüzgârla taşınan sedimentlerin sürüklenmesini azaltmadaki etkililiğine ilişkin bilgiler, bozulmuş arazilerin yeniden ağaçlandırma ile doğaya yeniden kazandırılması çalışmalarının tasarlanmasında çok önemli olmaktadır (King vd. 2005, Burri vd. 2011). Ancak, bitki örtüsünün rüzgârla taşınan sedimentlerin sürüklenmesi üzerindeki etkisine yönelik sadece saha koşullarında gerçekleştirilen araştırmalar yeterli değildir, çünkü saha koşullarında bitki örtüsünün etkisi kolaylıkla ayrıştırılamamaktadır; bitki örtüsü, diğer arazi öğeleri ile yüksek düzeyde karşılıklı etkileşim içerisinde bulunabilmektedir.

Bu tür koşullarda, toprak özellikleri; ölçüm süresince bitki örtüsündeki değişiklikler, topoğrafya ve toprak yüzeyi koşulları gibi diğer faktörlerden etkilenmektedir (Lopez vd. 1998). Bu nedenle, kontrol altına alınmış koşullardaki rüzgâr tüneli çalışmaları, bitki örtüsü ile sediment sürüklenmesi arasındaki ilişkilerin belirlenmesinde yararlı bir aşama olmaktadır (Gabriels vd. 1997; Cornelis ve Gabriels, 2004). Tarım alanlarındaki rüzgâr erozyonu problemi, yani herhangi bir araziye giren ve de araziden çıkan toprak tanecikleri miktarı, arazi kullanımı ve yönetimi ile yakından ilgilidir (Fryrear vd. 1998,

Hupy 2004, Leenders, 2006, Youssef vd. 2012b). Örneğin, bir bölgede toprak tipi veya bünyesi sınıflarının konumsal olarak değişiklik göstermesi, bölgesel ölçekte rüzgâr erozyonunun modellenebilmesi için toprak tipi ile rüzgâr erozyonu arasındaki ilişkilerin de ayrıntılı bir şekilde hesaba katılması gerekliliğini ortaya koyacaktır.

Şimdiye değin bitki örtüsü ile rüzgâr erozyonu arasındaki ilişkilerin daha iyi anlaşılabilmesine yönelik pek çok rüzgâr tüneli deneyi gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerde gerçek dünyadaki bitki örtüsünü simule etmek için ölü bitki örtüsü (Molina-Aiz vd. 2006), yaşayan bitki örtüsü (Burri vd. 2011) veya yapay bitki örtüsü parçaları (Cornelis ve Gabriels, 2005; Udo vd. 2008; Wuyts vd. 2008) başarıyla kullanılmıştır. Bu çalışmalarda, bitki örtüsünün rüzgârla taşınan toplam sediment sürüklenmesini azalttığı ve bitki örtüsünün sediment taşınması üzerindeki etkisinin bitki örtüsü kapalılığı ve gözenekliliğinden etkilendiği sonucuna varılmıştır. Rüzgâr tüneli deneyleri sonucunda, Udo ve Takewaka (2007), bitki örtüsü kalınlığına ek olarak bitki örtüsünün yüksekliği ve esnekliğinin de rüzgârla toprak sürüklenmesinin azaltılmasında önemli olduğunu belirtmişlerdir. Burri vd. (2011), rüzgâr tüneline gerçekleştirdikleri çalışmalarında, bitki örtüsündeki artma ile birlikte toprak akışında üssel bir azalma; buna karşılık düşük bitki örtüsünde (yaklaşık %3) ise toprak akışında bir artmanın olduğunu bildirmişlerdir.

Li vd. (2008), bir rüzgâr tüneline “Nabkha” kumullarında yetişen ılgın (*Tamarix spp*) çalılarının benzerini yapmışlar ve temsili bitki örtüsü çevresindeki kum sürüklenmesini gözlemlemişlerdir. Bitki örtüsünün toprak yüzeyinde hava akımlarını azalttığı, rüzgâr profilini rüzgâr yönünde yukarıya veya aşağıya doğru değiştirdiğini ve böylece kum sürüklenmesini azalttığı sonucuna varmışlardır. Bu çalışmalar konuya ilişkin önemli bilgilerin elde edilmesini sağlamasına karşın, bununla birlikte ölçeğe ilişkin bazı sınırlamaların olduğunu da ortaya koymuştur.

Bitki örtüsü ve toprak sürüklenmesine ilişkin olarak bugüne kadar

gerçekleştirilen rüzgâr tüneli deneylerinin çoğu, arazi koşullarının ya parsel ya da nokta ölçeğinde simüle edilmesi üzerinde odaklanmıştır (Musick vd. 1996, Udo ve Takewaka 2007, Li vd. 2008).

Bu sonuçlar, belli bölgelerdeki bitki örtüsünün rüzgâr erozyonu toprak sürüklenmesi alt-süreci üzerindeki etkisinin anlaşılmasında oldukça önemli olduğu gibi, bir rüzgâr erozyonu esnasında bitkisel bir örtü etrafındaki tanecik sürüklenmesinin azaltılmasında rol oynayan fiziksel mekanizmaların ortaya konulmasına da yardımcı olmuştur. Ancak, bitki örtüsünün rüzgâr erozyonu üzerindeki etkilerini bölgesel ölçekte anlamak için, bu çalışmaların sonuçları yeterli değildir. Başka bir deyişle, rüzgâr erozyonuna duyarlı geniş düz bölgelerde alansal veya konumsal süreklilik düşünüldüğünde, bir arazi ünitesindeki toprak yönetimi etkinlikleri, komşu ünitelerindeki rüzgâr erozyonu süreçlerini de büyük ölçüde etkileyebilmektedir (Hupy 2004, Leenders 2006).

Buna ilave olarak, tek bir arazi parçasında meydana gelen erozyon, rüzgâr yönünde yer alan diğer arazileri de etkileme potansiyeline sahiptir. Todd vd. (2004), Fryrear vd. (1998) ile Youssef vd. (2012), rüzgâr erozyonu ile maksimum sediment sürüklenmesi sürecini çıplak toprak yüzeylerinde incelemişlerdir. Bu koşullarda aşınma olmayan bir sınırdan rüzgâr yönünde toprak akışında giderek bir artış olduğunu bildirmişlerdir. Bu nedenle, bitki örtüsünün bölgesel ölçekli etkilerini anlamak için, sadece sürekli bir arazi parçası boyunca oluşan fiziksel rüzgâr erozyonu süreçlerini değil, aynı zamanda farklı arazi kullanma türleri arasındaki geçişlerde meydana gelen süreçleri de temsil edebilen veriler oluşturmak gerçekten çok önemlidir.

2.3 Rüzgâr Erozyonu Modellemesi

1920 ve 1930 yıllarında Amerika'da toprak koruma amaçlı programlar ve çalışmalar başlatılmıştır. O zamandan günümüze kadar dünyanın çeşitli yerlerinde toprak erozyonu ve toprak korunması hakkında sayısız araştırma yapılmıştır (Morgan 2005). Bu çalışmaların bir kısmında toprak erozyonunun daha iyi anlaşılması için çeşitli yardımcı modellerden yararlanılmıştır

(Campbell ve Palmer 2010).

Rüzgâr erozyonu sonucu toprak kayıplarının doğrudan ölçümler ile değerlendirilmesi, gerek iş gücü gereksinimi gerekse maliyet açısından oldukça zordur. Bu sebeple, toprak kayıplarının bazı modeller ile tahmin edilmesi kaçınılmaz olmaktadır. İlgili kaynakçada tanımlanan pek çok model bulunmaktadır ve bu modeller toprak kayıplarını tahmin etmek için bazı parametreleri kullanmaktadır. Bu parametreler doğrudan veya dolaylı olarak toprak kaybı ve toprakların rüzgâr erozyonuna karşı gösterdiği duyarlılık üzerine etki eden iklim, toprak, topografya ve bitkisel örtü özelliklerinden oluşmaktadır.

Woodruff ve Siddoway (1965) ilk arazi ölçekli “Rüzgâr Erozyonu Denklemi” (RED) (WEQ: Wind Erosion Equation)’ni yayınlamışlardır. RED modeli tekrar gözden geçirilmiş ve “Yenilenmiş Rüzgâr Erozyonu Denklemi” (YRED) (RWEQ: Revised Wind Erosion Equation) olarak 1998 yılında sunulmuştur. YRED, arazi ölçeğinde toprak yüzeyinden 2 m yüksekliğe kadar belirli aralıklarla rüzgâr erozyonu ile toprak kayıplarının tahminini yapmaktadır. YRED halen ABD’deki arazilerde rüzgâr erozyonu ile kaybolan yıllık toprak kaybının değerlendirilmesi için kullanılmaktadır.

1984’te diğer bir Rüzgâr Erozyonu Eşitliği olan TEAMA (Texas Tech Wind Erosion Analysis Model) (Texas Tech Rüzgâr Erozyonu Analiz Modeli) geliştirilmiştir. Bu modelde, rüzgâr erozyonu süreçleri simülasyonları (benzetimleri) yapılarak, farklı toprak işleme şekilleri ve arazi kullanım türleri için toprak taşınması ve sediment birikme kombinasyonları elde edilmektedir (Gregory vd. 2004). 1997 yılında Avrupa’daki arazilerde uzun vadeli rüzgâr erozyonu toprak kayıplarının dağılımını tahmin etmek amacıyla, hafif bünyeli Avrupa Toprakları için Rüzgâr Erozyonu (WEELS) (Wind Erosion on European Light Soils) modeli tasarlanmıştır (Bohner vd. 2003).

ABD Tarım Bakanlığı – Tarımsal Araştırma Servisi (USDA – ARS: United States Department of Agriculture – Agricultural Research Service) tarafından

fiziksel tabanlı “Rüzgâr Erozyonu Tahmin Sistemi” (RETS) (WEPS: Wind Erosion Prediction System) 1995 yılında geliştirilmiştir (Anonymous 1999). RETS , iklim parametrelerinin ve ilgili arazinin toprak, topografya ve bitki örtüsü koşullarının günlük olarak benzetimi ile olay temelinde toprak kayıplarını parsel ölçeğinde tahmin eden bir modeldir. Sadece herhangi bir arazideki rüzgâr erozyonu süreçlerini betimlemekle kalmaz, ayrıca rüzgâr erozyonuna karşı toprak duyarlılığının değişimsüreçlerinin de benzetimini yapar (Anonymous 1999). RETS modeli ABD’nde tarım alanları için geniş ölçüde test edilmiştir (Hagen, 2001, 2004). Bu testlerin sonuçları, RETS modelinin kabul edilebilir öngörüler verdiğini göstermiştir. Visser vd. (2005a), RETS modelini geniş alanlarda da uygulanabilmesi üzerine çalışmalar yapmıştır. Belirli ölçülerde geliştirilen modelde, RETS ’in bütün alt modellerinin formülleri dinamik model dili olan PCRaster’a çevrilmiştir (Karssenber, 2002) ve Sahel’de arazi ölçeğinde rüzgâr erozyonu tahmininde başarı ile kullanılmıştır (Visser vd. 2005a).

Nokta ölçeğinde (Hoogmoed vd. 2000), arazi ölçeğinde (Mazzucato ve Niemeijer, 2000) ve son zamanlarda köy ölçeğinde (Niemeijer ve Mazzucato, 2002; Tenge vd. 2005; Okoba ve Sterk, 2006) arazi bozulması ve rüzgâr erozyonu çalışmaları yapılmış olmasına karşın, bölgesel ölçekte arazi bozulması ve özel olarak da rüzgâr erozyonu çalışmalarının sayısı oldukça sınırlıdır (Visser ve Palma 2004).

Bu modeller parametre olarak iklim, toprak, tanecik büyüklüğü ve bitkisel arazi örtüsü faktörlerini kullanarak herhangi bir simülasyon arazisindeki sediment kütle akışı ve toprak kaybını hesaplamaktadırlar. YRED gibi arazi ölçekli modellerde simülasyon arazisi aşınmaya uğramayan belirli sınırlara sahiptir (Fryrear vd. 1998). Bu modeller sediment kütle akışı ve toprak kaybı tahmini sırasında, söz konusu arazinin aşınmaya uğramayan sınırları dolayısıyla, çevre arazilerden tecrit edilmiş veya soyutlanmış olduğunu varsaymakta ve söz konusu simülasyon arazisine rüzgârla taşınarak gelen ve araziye erozyonla terk eden toprak taneciklerinin miktarını göz ardı etmektedir.

Fakat rüzgâr erozyonu olayı esnasında bir araziden taşınan veya kaybolan toprak miktarı, çevredeki komşu arazilerinin kullanma türlerine bağlı olarak büyük ölçüde değişmektedir (yukarıda bahsedildiği gibi). Bu nedenle, bahsi geçen arazinin varolan kesintisiz süreçten soyutlanmış olduğunu varsaymak arazi ölçekli modellerin bölgesel ölçekli kullanımını geçersiz kılmaktadır. Ayrıca, rüzgâr erozyonu bir alt-süreci olarak toprak tanecikleri birikmesinin bitki örtüsüne ve toprak özelliklerine zararları çok iyi bilinmesine rağmen (Zou vd. 2007), çoğu rüzgâr erozyon modeli (YRED dâhil) birikme sürecini yok saymakta ve rüzgâr erozyonunun sadece aşındırmaya (parçalanmaya) ve toprak kaybına (taşınmaya) sebep olma gibi özelliklerini değerlendirmektedir.

Uzaktan algılama (UA) teknolojisinin son yıllarda geliştirilmesiyle birlikte büyük çaplı rüzgâr erozyon tahminleri de daha sağlıklı yapılabilir hale gelmiştir (Lu ve Shao 2001, Yan vd. 2005, Pacheco vd. 2010). Bu tahmin girişimleri genel olarak modelleme araçlarını ve uydulardan sağlanan toz bulutları gözlemlerini bütünleştirmektedir (Washington vd. 2003). Bu tahminler bölgesel ve kıtasal alanlarda rüzgâr erozyonlarının etkilerinin değerlendirmesini ortaya koysa da, belirli oranlarda belirsizlik içermektedir (Shao ve Leslie 1997, Shao 2008).

Bu durum kullanılan yaklaşımların sürüklenme ve sıçrama hareketleri sonucu oluşan taşınma süreçlerinin sayısal veriye dökülmesine izin vermeyip, sadece modeli doğrulamak amacıyla taşınma ile toprak kaybı sürecini bir bütün olarak değerlendirmesinden kaynaklanmaktadır. Ancak rüzgâr erozyonu sürüklenme ve sıçrama hareketlerinin, toprak kayıplarına katkısı en fazla olan alt-süreçler olduğu bilinmektedir ve aşındırma yoluyla bitkisel örtüye zarar veren ana etkenlerdir (Sterk 1997, Visser ve Sterk 2007). Bu nedenle, güncel olarak kullanılan yaklaşımların, rüzgârın sürüklenme ve sıçrama hareketlerini ve toprağın aşınma derecelerini de -toprakların rüzgâr erozyonuna duyarlılığını da- değerlendirebilen bölgesel çaplı modellerle genişletilmesi gerekmektedir (Baker vd. 2009).

Sonuç olarak, rüzgâr erozyonu ciddi çevresel bir problem olmasına rağmen, ne

yazık ki rüzgârın sürüklenme ve sıçrama hareketlerinin neden olduğu toprak taşınmasının asıl taşınma aracı olarak değerlendirildiği bölgesel çaplı bir model bulunmamaktadır. Hatta rüzgâr erozyonu olayının bir arazi üzerindeki sürekliliği, komşu araziler arasındaki etkileşimlerin çok yüksek olmasına neden olduğu ve böylece süreci karmaşıktırdığı için, büyük çaplı ve bölgesel ölçektirüzgâr erozyonu tahminini zorlaştırmaktadır (Zobeck vd. 2000). Bir alandaki bitki örtüsü çeşitliliği ve dağılım desenleri, rüzgâr erozyonu ile toprak yüzeyi arasındaki karşılıklı etkileşimlerde ki bitki örtüsü toprak yüzeyini rüzgâra erozyonuna karşı korumaktadır, en önemli etkenlerden biri olması dolayısıyla, sürüklenme ve sıçrama hareketleri ile arazideki bitkisel örtü değişimlerini hesaba katacak bölgesel ölçekli bir modele gereksinim vardır.

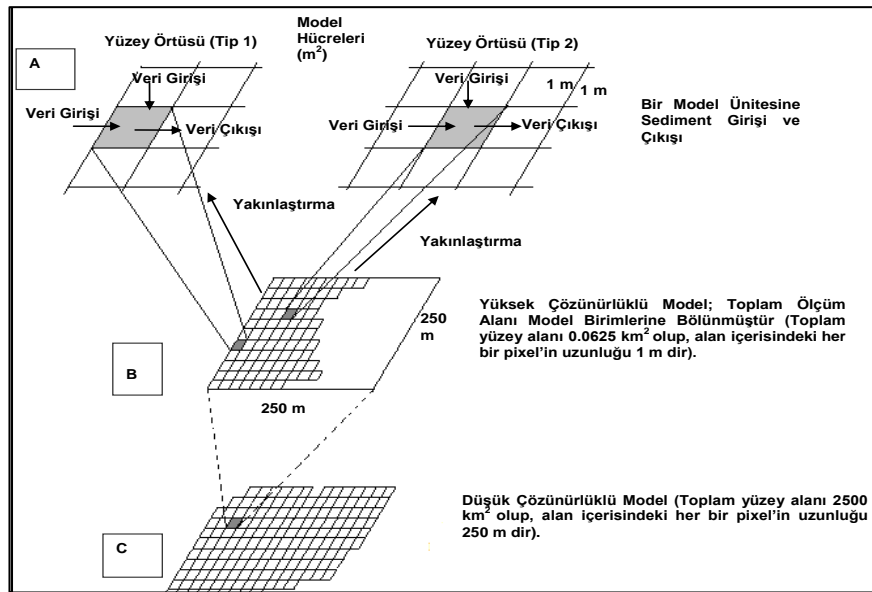
2.4 Rüzgâr Erozyonu Modelleri Alansal Genelleme Yöntemleri

Büyük havza ölçeklerinde zaman ve mekân açısından yüksek çeşitlilik görülmektedir (Bloschl 1995). Özellikle kurak ve yarı-kurak bölgelerde kırsal kalkınma programları için arazi kullanım politikalarının oluşturulabilmesi açısından, bölgesel ölçekli rüzgâr erozyonu tehlikesi ve rüzgâr erozyonu kaynaklı arazi bozulmaları hakkında bilgiler gereklidir. Kullanılacak ölçekler (bölge, parsel, nokta) bakımından, ölçülebilir parametreler, veriler ve gereksinilen tahminler arasında büyük farklılıklar bulunabilmektedir (Bloschl 1999).

Rüzgâr erozyonu araştırmalarında göz önünde bulundurulacak süreçler ve fiziksel ölçüm parametreleri büyük ölçek ile küçük ölçek arasında tamamıyla birbirinden farklılık göstermektedir. Bu nedenle, parsel ölçeğinde çalışan bir modeli, gerekli model modifikasyonlarını yapmaksızın, bölgesel ölçekte uygulamak doğru olmayacaktır (Seyfried ve Wilcox 1995). Ölçek değiştirmedeki problemler veya zorluklar işte bu tür farklılıklardan ortaya çıkmaktadır (Bierkens vd. 2000).

Farklı ölçeklerde modellenmiş ve hesaplanmış parametreler birbirine benzer ise, herhangi bir değişiklik yapılmadan ölçekleri küçültülebilir; yani alansal

genelleştirmede kullanılabilir (Bierkens vd. 2000). Fakat benzer olmayan yeni parametreler, genelleştirmede bazı sorunlara neden olmaktadır. Bu yüzden, alansal genelleştirme yöntemlerinde, parsel veya arazi ölçeğinde kullanılan bazı bağımsız değişkenler bir araya getirilerek bileşke parametre olarak temsil edilmektedir veya ihmal edilebilmektedir (Leys vd. 2001). Örnek olarak, bağımsız bitkiler ve ağaçlar toprak yüzeyini koruma ve rüzgâr hız profiline olan etkileriyle arazi ölçeğinde önemli parametreler iken, bölgesel ölçekteki önemli parametreler, tüm vejetasyon deseni ve ortalama rüzgâr hızı olabilmektedir. Modellemede doğrudan nokta ölçeğinden bölgesel ölçğe geçiş yapmak pek mümkün değildir. Bunun sebebi, fiziksel tabanlı modellerin genellikle çok sayıda veri girdisi gerektirmesidir ki bunlar da bölgesel ölçek için gerekli çözünürlükte değildir (Visser ve Palma 2004). Şekil 2,1'de, yüksek çözünürlüklü bir rüzgâr erozyonu modelinin, düşük çözünürlüklü bölgesel ölçekli model haline getirilmesi için örnek bir araştırma yaklaşımı gösterilmektedir (Karssenber 2006).

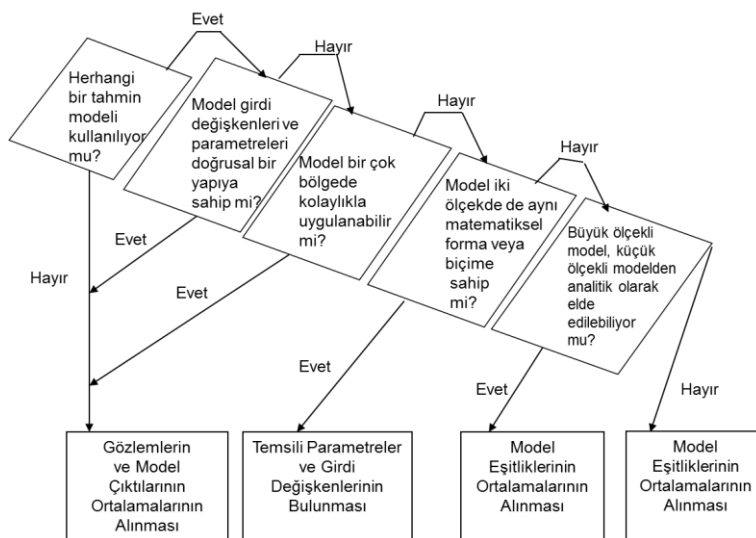


Şekil 2.1 Rüzgâr erozyonu modelini yüksek çözünürlükten düşük çözünürlüğe getirmek için olasılıksal (stokastik) alansal genelleme yöntemi (Karssenber, 2006'dan uyarlanmıştır).

Şekil 2,1'de verilen A ve B aşamaları, 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 sediment kütle akışının giriş ve çıkışları (toprak kayıpları veya taşınması) gösterilmiştir. Aşama C yüksek çözünürlüklü model parametrelerinin düşük çözünürlüklü modele aktarılmasını ifade etmektedir. Bu aşamada, yüksek çözünürlüklü aşamada dağıtılmış olarak detaylandırılan konumsal veya alansal rüzgâr erozyonu süreçleri, 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 rüzgâr erozyonu modeli, süreçler ve etkilerinin istatistiksel olarak bir-araya getirilmesi ile ortalama tahminlerin yapılabildiği toplu parametrelili bir modele çevrilmektedir (stokastik veya olasılıksal modelleme) (Karssenberg 2006; Bierkens vd. 2000).

Bölge ölçeğinde rüzgâr erozyonu tahmini için parsel bazında ölçülen parametrelerin veya rüzgâr erozyonu tahmini için kullanılan değişkenlerin daraltılması veya sayılarının azaltılması gerektiği için, alansal genelleme yöntemleri için önerilen yaklaşımlar Şekil 2,2’de verilmiştir. Bierkens vd. (2000), model girdi değişkenleri veya parametreleri ile sediment taşınma oranları arasında doğrusal ilişkileri araştırmışlardır.



Şekil 2.2 Alansal genelleme yöntemleri için karar verme şeması (Bierkens vd. 2000)

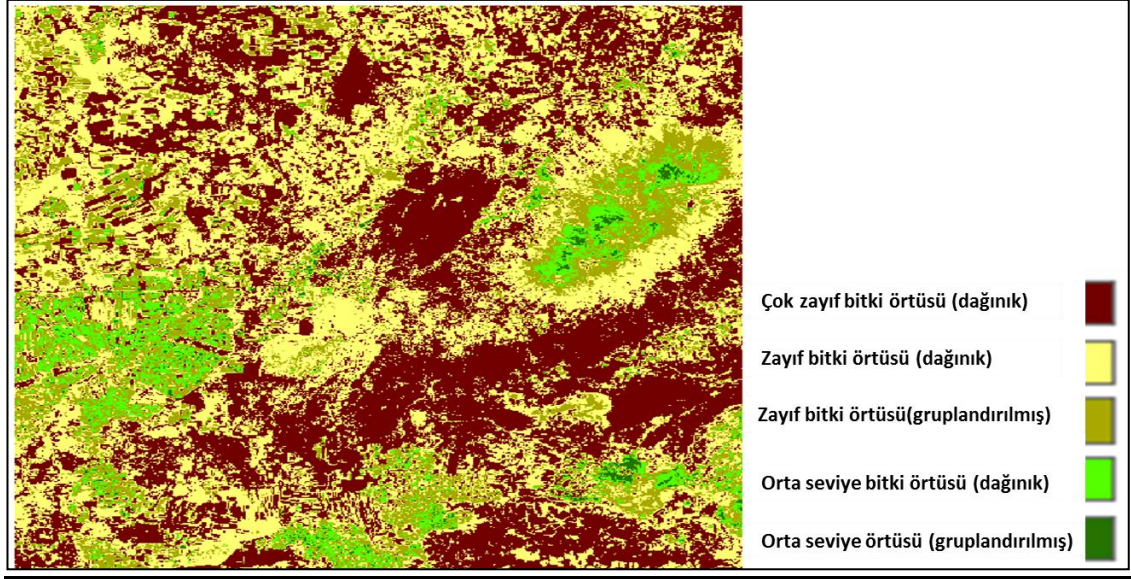
3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Çalışma Alanları

3.1.1 Karapınar Konya, Türkiye

Çalışma alanı Konya ili, Karapınar ilçe (37°42'53''K, 33°33'03''D) sınırları içerisinde yer almakta olup, bölgedeki ortalama yıllık toplam yağış miktarı 275 mm'dir. Hâkim rüzgâr yönü güney-güneybatıdır ve maksimum rüzgâr hızı ilkbahar ve sonbahar aylarında 25 m/s hıza kadar ulaşabilmektedir. Bölgede yıllık ortalama sıcaklık 11 °C derecedir ve bağıl nem yaz aylarında %40, kışın ise %80 dolayındadır. Alan içerisinde eğim genel itibariyle düz ve düze yakındır (Şekil 3,1).

Toprak kayıplarını önlemek amacıyla bölgede 1962 yılından beri muhafaza çalışmaları yapılmaktadır. Bu kapsamda bölge hayvan otlatmaya karşı koruma altına alınmış ve sahaya girişler kontrol altına alınmıştır. Oldukça yüksek olan rüzgâr hızını kesmek amacıyla sınırlara kamıştan perdeler tanzim edilmiş ve perde aralarında kuraklığa dayanıklı bitki türlerinden çavdar ve otlak ayrığı yetiştirilmiştir. Sonrasında alan içerisinde ağaçlandırma çalışmaları başlatılmış ve bölgeye uygun olarak iğde, akasya, diş budak, karaağaç ve akça ağaç türleri ile proje sahası ağaçlandırılmıştır. Bölge içerisindeki yaklaşık 10100 ha'lık bu ıslah çalışması on yıl kadar devam ettirildikten sonra, 1973 yılında Konya Toprak Su Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'ne devredilmiştir.



Şekil 3.1 Konya, Karapınar arazi örtüsü sınıflandırmaları

Karapınar Bölgesi bitki coğrafyası bakımından İran-Turan floristik bölgesinde ve Davis'in kareleme sistemine göre C4 karesine girmektedir. Bölgede Bağcı vd. (1994) tarafından yapılan çalışmaya göre toplanan takson sayısı 227'dir. Bu taksonların 42 familya ve 177 cinse sahip olup 184'ü *Dicotyledones* ve 41'i *Monocotyledones*'dir. Alanda yayılış gösteren bitkilerin hayat formları dağılımına bakıldığında, toplam türlerin %40,53'ü hemikriptofitler, %37'si terofitler ve %13,22'sini kamefitler oluşturmaktadır. Yine Bağcı vd (1997), tarafından yapılan çalışmada araştırma alanında yedi adet bitki birliklerine rastlanmıştır (Çizelge 3.1).

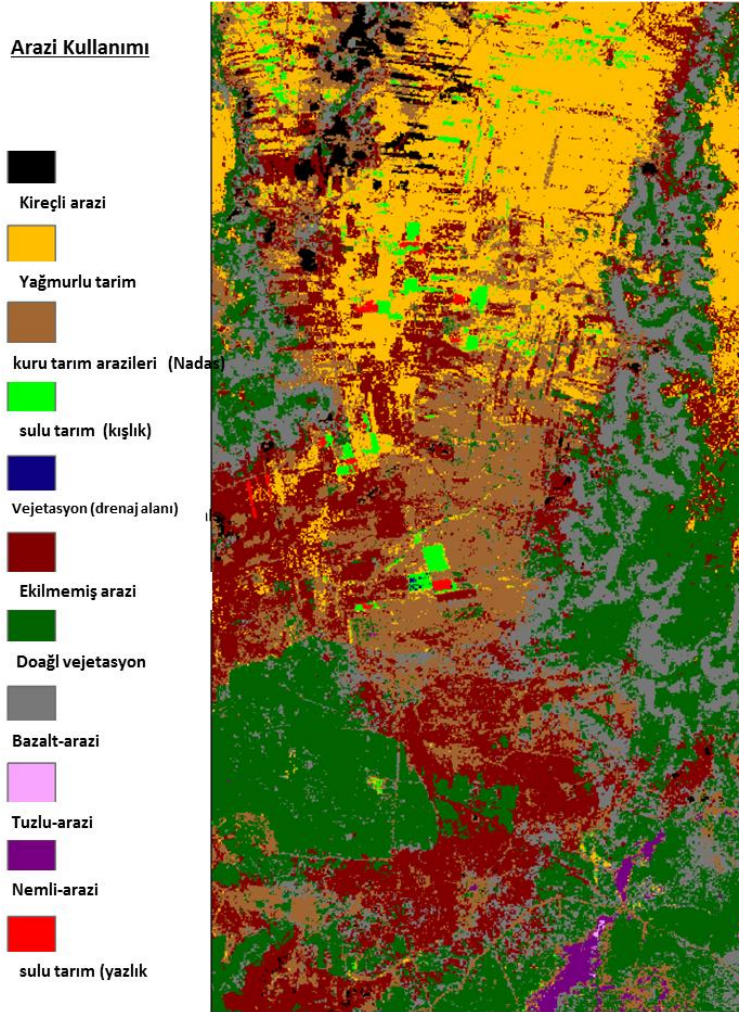
Çizelge 3.1 Karapınar vejetasyon birlikleri, ayırt edici türleri ve yetiştiği toprak özellikleri (Bağcı vd. 1997)

Bitki Birliği	Ayırt edici türler	Toprak özellikleri
<i>Salsola ruthenicae</i> - <i>Alhageietum</i> <i>pseudoalhagi</i>	<i>Alhagi</i> <i>pseudoalhagi</i> <i>Salsola ruthenica</i> <i>Camelina rumelica</i>	Kumlu tınlı tekstür, ortalama 8,7 pH, orta derece alkali, yüksek kireçli, organik madde düşük, tuzsuz
<i>Astragaletum lycio</i> - <i>Astragaletum</i> <i>microcephali</i>	<i>Astragalus</i> <i>microcephalus</i> <i>Astragalus lydius</i> <i>Astragalus lycius</i>	Üst kumlu tekstür alt katman kumlu tınlı tekstür, ortalama 8,7 pH, orta derece alkali, yüksek kireçli, organik madde düşük, tuzsuz
<i>Petrosimonietum</i> <i>nigdeensio</i> - <i>Artemisietum</i> <i>santonici</i>	<i>Petrosimonia</i> <i>nigdeensio</i> <i>Artemisia santonici</i>	Üst killi tın alt katman killi tekstür, ortalama 7,8-8,0 pH, hafif alkali, organik madde orta seviye, yüksek kireçli
<i>Heliotropio dolosi</i> - <i>Peganetum harmalae</i>	<i>Heliotropium</i> <i>dolosi</i> - <i>Peganum harmalae</i> <i>Cousinia</i> <i>birandiana</i>	Kumlu tın tekstür, ortalama 8,0 pH hafif alkali, orta dereceda organik madde, tuzsuz, yüksek kireçli
<i>Petrosionietum</i> <i>nigdeensio</i> - <i>Petrosionietum</i> <i>brachiatae</i>	<i>Petrosionia</i> <i>nigdeensio</i> <i>Petrosionia</i> <i>brachiatae</i> <i>Limonium mayeri</i>	Killi tın tekstür, ortalama 7,6 pH, orta ve az miktarda organik madde, yüksek kireç, tuzlu
<i>Alopecuro</i> <i>arundinacae</i> - <i>Phragmitetum</i> <i>australis</i>	<i>Phragmites</i> <i>australis</i> <i>Alopecurus</i> <i>arundinaceus</i>	Killi tınlı tekstür, ortalama 8,3 pH, orta derece alkali, yüksek oranda organik, yüksek kireç, tuzsuz
<i>Marrubio parviflori</i> - <i>Salvietum cryptanthae</i>	<i>Salvia crypantha</i> <i>Marrubium</i> <i>parviflorum</i>	Kumlu tınlı tekstür, ortalama 8,6 pH, alkali, çok yüksek kireç, organik madde düşük, tuzsuz

Ayrıca, saha içerisinde kurulan fidanlıklardan temin edilen fidanlar ile ciddi ağaçlandırma çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Ağaç çeşidi olarak yöreye has kuraklığa dayanıklı Karaçam (*Pinus nigra*), İğde (*Eleagnus* sp.L), Akasya (*Robinia pseudeaccacia*), Dişbudak (*Fraxinus* sp.L), Karaağaç (*Ulmus* sp.L) ve Akçağaç (*Acer* sp.L) türleri seçilmiştir.

3.1.2 Khanasser Vadisi, Halep, Suriye

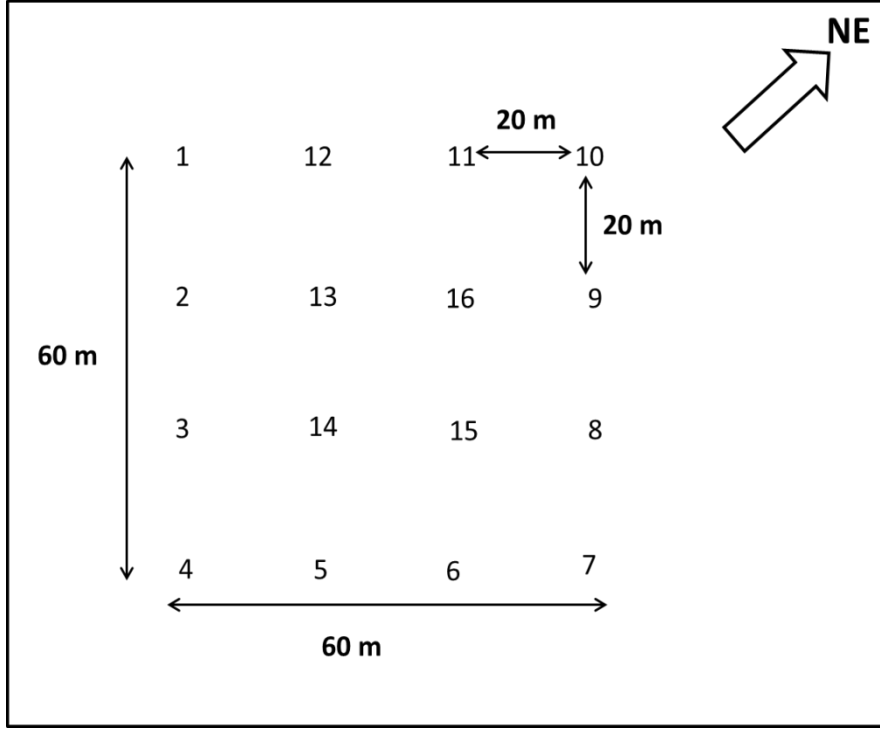
Halep kentinin 70 km kuzeydoğusunda yer almaktadır. Yıllık yağış miktarı 200-250 mm'dir. Arazi kullanımı, tarım (buğday ve arpa) alanları, mera alanları ve bozkır olarak değişmektedir. Arazi kullanımına göre bölge 4 sınıfa ayrılmıştır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Suriye'de Khanasser vadisi arazi kullanımı (Anonymous 2005)

Her sınıf için bir deneme alanı seçilmiştir. Seçilen her bir deneme alanında en az 2-3 rüzgâr olayı kayıt edilmiştir. Rüzgârla taşınan sediment hareketlerinin gözden geçirilmesi için 2-3 rüzgâr olayı yeterli sayı olarak varsayılmıştır. Sediment hareketini ölçümlemek için her bir yere, 16 adet Modifiye Wilson ve Cooke (MWAC) sediment tutucuları Şekil 3.3'de gösterildiği gibi yerleştirilmiştir. Rüzgâr hızı, yönü, toprak nemi

ve sıcaklık verileri toplanmıştır. Toprak yüzeyinde sıçramaların başladığı ve bittiği anları belirlemek için Saltiphone cihazı (Spaan ve van den Abeele, 1991) kullanılmıştır.

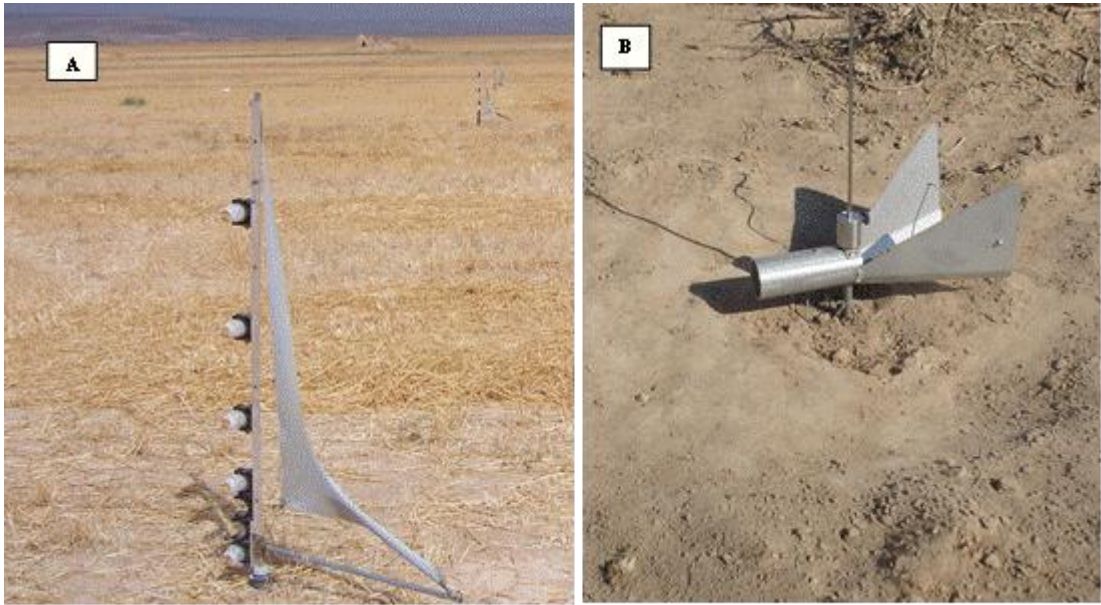


Şekil 3.3 Deneme alanlarında MAWC tutucularının dağılımı

Değerlendirilen meteorolojik ölçümler; rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, sıcaklık, hava nemi ve fırtına süresidir. Şekil 3.4 ve 3.5’de araştırmada kullanılan ölçüm aletleri (alet ve ekipmanlar) yer almaktadır.



Şekil 3.4 Karapınar’da rüzgâr erozyonu araştırması için kurulan meteoroloji istasyonu



Şekil 3.5 Khanasser Vadisi’de sediment kütle akışı ölçüm aletleri: (A) MWAC tutucusu ve (B) saltifon

3.2 Toplam sediment taşınma miktarının hesaplanması

Her rüzgâr olayından sonra MWAC tutucuları ile yakalanan sediment miktarları, rüzgâr süresi, tuzakların giriş ağız çapı, tutucu verimliliği ve dikey sediment taşınması ($g/m^2/s$) (z) yüksekliğine göre hesaplanmıştır. Hesaplama Sterk ve Raats (1996) modeli uygulanmıştır (Eşitlik 3.1).

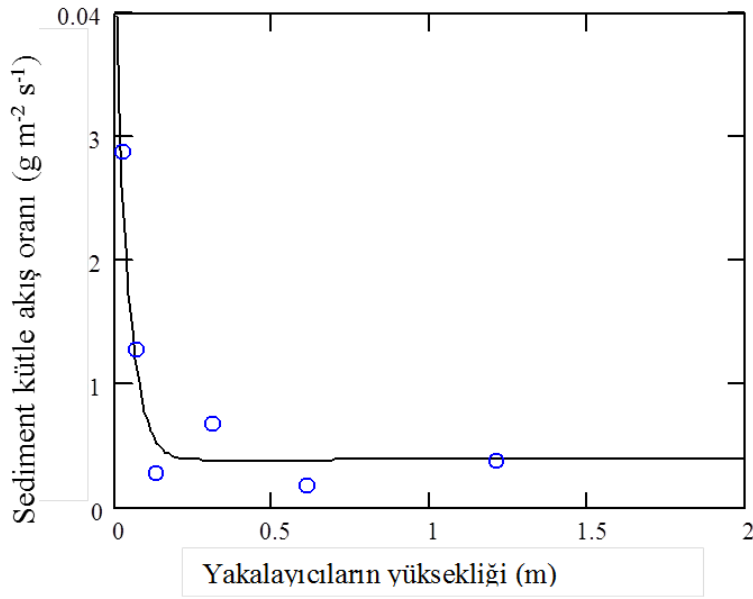
$$q(z) = a \left(\frac{z}{\alpha} + 1 \right)^{-b} + c \exp\left(-\frac{z}{\beta}\right) \quad (3.1)$$

Burada, $q(z)$: (z) yüksekliğindeki sediment taşınma miktarı ($g/m^2/s$), a , b , c ve β regresyon katsayılarıdır.

Şekil 3.6'de yüksekliğe göre ölçülen ve Sterk ve Raats (1996) modeli ile hesaplanan sediment profili gösterilmiştir. Toplam sediment taşınmasını elde etmek için en alt tutucu seviyesinden (2 cm) en üst tutucu seviyesine (40 cm) kadar MathCAD programı kullanılarak entegrasyon uygulanmıştır (Eşitlik 3.2).

$$Q = \int_0^1 q(z) dz \quad (3.2)$$

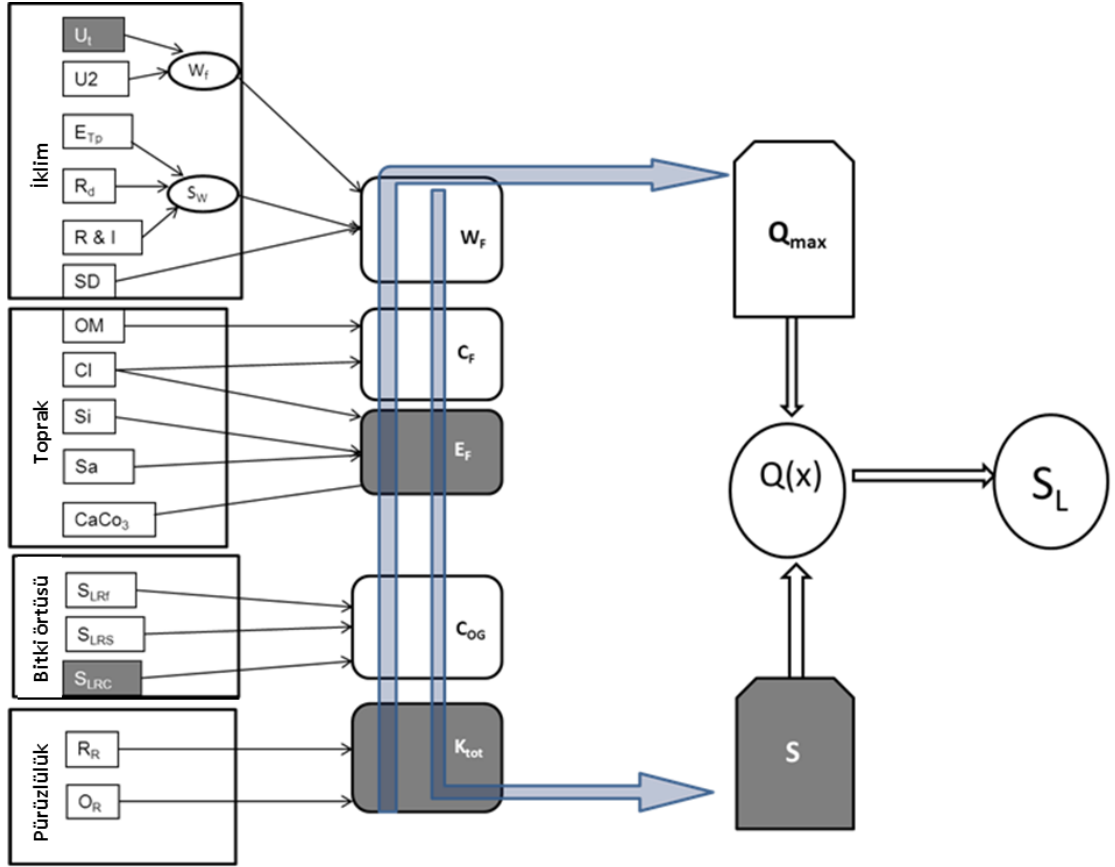
Burada, Q : bir direk için toplam sediment taşınması miktarını ifade etmektedir.



Şekil 3.6 Toplam sediment taşınması (Q) hesaplarında kullanılan regresyon modeli

3.3 YRED Modeli

RED modeli tekrar gözden geçirilmiş ve “Yenilenmiş Rüzgâr Erozyonu Denklemi” (YRED) olarak 1998 yılında sunulmuştur. YRED, arazi ölçeğinde toprak yüzeyinden 2 m yüksekliğe kadar belirli aralıklarla rüzgâr erozyonu toprak kayıplarının tahminini yapmaktadır. YRED halen ABD’deki arazilerde rüzgâr erozyonu ile kaybolan yıllık toprak kaybının değerlendirilmesi için kullanılmaktadır. YRED veri tabanları iklim, toprak, bitki örtüsü ve toprak pürüzlülüğüdür.



Şekil 3.7 YRED modelinde toplam sediment kütle akışının hesaplanmasında kullanılan parametreler

Burada, S_L ; toprak kayıp miktarı; $Q(x)$; sediment kütle akışı, U_t ; eşik hızı, U_2 ; rüzgâr hızı, W_f ; rüzgâr faktörü, E_{Tp} ; nispi buharlaşma potansiyeli, R_d ; yağış sayısı/sulama günleri, $R\&I$; yağış ve sulama, SD ; kar kalınlığı, S_W ; toprak nemi, W_f ; hava faktörü, OM ; organik madde, Si ; silt; Cl ; kil, Sa ; kum, $CaCO_3$; kalsiyum karbonat, S_{CF} ; toprak kabuk faktörü, E_F ; duyarlılık faktörü, SLR_f ; bitki örtüsü, SLR_s ; bitki atıkları, SLR_c ; yeşil örtü, C_{OG} ; bitki örtüsü faktörü, RR ; rastgele pürüzlülük, OR ; rüzgâr yönüne doğru pürüzlülük ve K_{tot} ; toprak pürüzlülük faktörü.

Q_{max} , maksimum taşınma kapasitesi ($kg\ m^{-1}$), S ise kritik arazi uzunluğudur (m). Hesaplanmalarında sırası ile eşitlik 3.3 ve 3.4 kullanılmaktadır.

$$Q(x) = Q_{max} \left(1 - e^{-\frac{x}{S}} \right)^2 \quad (3.3)$$

$$S_{loss}(x) = \frac{2 \cdot x}{S^2} Q_{max} e^{-\frac{x}{S}} \quad (3.4)$$

Burada, S (m) maksimum taşınma kapasitesinin % 63'üne ulaşıldığı kritik arazi uzunluğu olarak tanımlanmıştır.

YRED modelinde bu parametreler 3.5 ve 3.6 numaralı eşitliklere göre hesaplanmaktadır.

$$Q_{\max} = 109.8 (W_F \cdot E_F \cdot S_{CF} \cdot K_{\text{tot}} \cdot C_{OG}) \quad (3.5)$$

$$S = \mu_{sa} (W_F \cdot E_F \cdot S_{CF} \cdot K_{\text{tot}} \cdot C_{OG})^{\mu_{sb}} \quad (3.6)$$

Burada, μ_{sa} ve μ_{sb} : kalibrasyon parametreleri, W_F : iklim etmeni (faktörü), E_F : doyarlılık (rüzgâr ile aşınılabirlik) etmeni, S_{CF} : toprak kabuk etmeni, C_{OG} : bitki örtüsü etmeni ve K_{tot} : toprak pürüzlülük etmenidir.

3.3.1 İklim etkeni (W_F)

İklim etkeninin hesaplanmasında eşitlik (3.7) kullanılmıştır.

$$W_F = W_f \frac{\rho}{g} (S_w) S_D \quad (3.7)$$

Burada, W_f : rüzgâr faktörü ($m \cdot s^{-1}$)³, S_w : toprak nemi ve (S_D): kar tabakası, ρ : hava yoğunluğu ($kg \cdot m^{-3}$), g ise yer çekimi ($m \cdot s^{-2}$)dir.

Rüzgâr faktörü (W_f , ($m \cdot s^{-1}$)³)'nün hesaplanmasında eşitlik (3.8) kullanılmaktadır.

$$W_f = \frac{W}{500} \cdot N_d \quad (3.8)$$

Burada, W : rüzgâr değeri ($m \cdot sec^{-1}$)³, N_d ise fırtına süresi boyunca rüzgâr hızı gözlenme sayısındır.

Rüzgâr aşındırma gücü ise rüzgâr değeri ile açıklanabilmektedir (Fryrear vd. 1998). Rüzgâr değerleri hesaplamalarında fırtına süresi boyunca ölçülen rüzgâr hızı ve rüzgâr eşik hızları kullanılmaktadır (Eşitlik (3.9)).

$$W = \sum_{i=1}^N U_i(U_i - U_t)^2 \quad (3.9)$$

Burada, W : rüzgâr değeri (m/s)³, U_i : her 5 dakikalık rüzgâr hızı (m/s), U_t : eşik hızı (m s⁻¹) ve N ise fırtına süresi boyunca rüzgâr hızı gözlenme sayısıdır.

Toprak nemi (S_w) hesaplanmasında eşitlik (3.10) kullanılmıştır.

$$S_w = \frac{ET_p - (R + I) \cdot \frac{R_d}{N_d}}{ET_p} \quad (3.10)$$

Burada, ET_p : potansiyel nispi (evapotranspirasyon) (mm), R_d : yağış ya da sulama günlerinin sayısı ($R + I$) ve N_d ise fırtına süresi boyunca rüzgâr hızı gözlenme sayısıdır. (15 gün)'dür.

ET_p 'nin hesaplanmasında eşitlik (3.11) kullanılmıştır (Samani ve Pessarakli 1986).

$$ET_p = 0,0162 \cdot \left(\frac{S_R}{58,5} \right) \cdot (D_T + 17,8) \quad (3.11)$$

Burada, S_R : toplam radyasyon (cal/cm^2), D_T : ise sıcaklık ortalaması (derece)'dir.

3.3.2 Toprak denklemleri

- a) Toprak aşınım faktörü (E_F): Bu faktör, toprak yapısındaki, organik madde ve kalsiyum karbonat ($CaCO_3$) oranına bağlıdır ve E_F 'nin hesaplanmasında eşitlik (3.12) kullanılmıştır.

$$E_F = \frac{\mu E_F + 0,31S_A + 0,17S_i + 0,33 \frac{S_A}{C_L} - 2,59O_M - 0,95CaCo_3}{100} \quad (3.12)$$

Burada: μE_F : kalibrasyon parametresi, S_A : kum oranı (%), S_i silt oranı (%), C_L kil oranı (%), O_M : organik madde oranı (%) ve $CaCO_3$: kalsiyum karbonat (%).

- b) Toprak kabuk faktörü (S_{CF}): Bu faktör, toprak yapısına ve organik maddeye bağlıdır ve (SCF) hesaplanmasında eşitlik (3.13) kullanılmaktadır.

$$S_{CF} = \frac{1}{1 + 0,0066(C_L)^2 + 0,021(O_M)^2} \quad (3.13)$$

3.3.3 Kalıntı ve bitki örtüsü denklemleri

- a) Yatay kalıntılar (S_{LRf}): Toprak yüzeyindeki yatay kalıntı oranıdır (%) ve Esitlik. (3.14) ile hesaplanmaktadır.

$$S_{LRf} = e^{-0,0438(S_C)} \quad (3.14)$$

Burada, S_C : Toprak yüzeyindeki kalıntıların kaplama oranı (%)

- b) Dik duran kalıntılar (S_{LRs}): Bu parametre hasattan sonra kalan kalinti alanına bağlıdır ve hesaplanmasında eşitlik (3.15) kullanılmaktadır.

$$S_{LRS} = e^{-\mu_{Slrc}(S_A^{0,6413})} \quad (3.15)$$

Burada, S_{LRS} : toprak kaybı oranı, μ_{Slrc} : kalibrasyon parametresi ve S_A : kalinti alanı

c) Ürün kalıntıları (S_{LRC}): bu parametre ekilen ürüne bağlıdır hesaplanmasında eşitlik (3.16) kullanılır.

$$S_{LRC} = e^{-5,614(c_c^{0,7366})} \quad (3.16)$$

Burada: c_c : Toprak yüzeyindeki bitki örtüsünün kaplama oranıdır (%).

3.3.4 Toprak işleme ve pürüzlülük denklemleri

a) Toprak pürüzlülüğü: Bu çalışmada toprak pürüzlülüğü ölçmek için zincir yöntemi (Saleh 1993) ve YRED modelinde toprak pürüzlülüğü hesaplamak için eşitlik (3.17) kullanılmıştır.

$$K_{tot} = e^{(1,86 \cdot K_{rmod} - 2,41 \cdot K_{rmod}^{0,934} - \mu_{Ktot} \cdot C_{rr})} \quad (3.17)$$

Burada, μ_{Ktot} : kalibrasyon parametresi, K_{rmod} : rüzgâr yönünü ve rüzgâr açısı düzeltmek için kullanılmıştır ve hesaplanmasında eşitlik (3.18) uygulanmıştır.

$$K_{rmod} = R_c \cdot K_r \quad (3.18)$$

Burada, R_c : Rotasyonel katsayısıdır ve hesaplanmasında eşitlik (3.19) kullanılmıştır:

$$R_c = 1 - 0,00032 \cdot A - 0,000349 \cdot A^2 + 0,00000258 \cdot A^3 \quad (3.19)$$

Burada A = rüzgâr açısı [dik ise (0) ve paralel ise (90) derece].

Rastgele pürüzlülük indeksini (RR), zincir-rastgele pürüzlülük katsayısına dönüştürmek için eşitlik (3.20) kullanılmıştır.

$$C_{rr} = 17,46 \cdot R_R^{0,738} \quad (3.20)$$

Burada: R_R : Rastgele pürüzlülük indeksi

Toprak sırt faktörü olan K_r 'nin hesaplanmasında eşitlik (3.21) kullanılmıştır.

$$K_r = 4 \cdot \frac{(R_H)^2}{R_S} \quad (3.21)$$

Burada, R_H : sırt yüksekliği (cm) ve R_S : sırtların aralığıdır (cm).

3.3.5 Rüzgâr perdesi denklemleri

Rüzgâr perdesinin etkileri rüzgâr hızı, perde yoğunluğu ve perdeden olan yatay mesafeye bağlıdır ve bu etkinin hesaplanmasında eşitlik (3.22) kullanılmıştır.

$$P_{UV} = 100 \cdot e^{-(O_D)^{0,423} (D_D)^{-1,098}} \quad (3.22)$$

Burada, P_{UV} : rüzgâr hızı, O_D : görsel yoğunluk (28 -100 arası değişir) ve D_D : (rüzgâr yönünden) perdeden ölçüm noktasına kadar olan mesafedir (m).

3.4 YRED Modelinin Kalibrasyonu

Model kalibrasyonu sırasında sadece Suriye, Khanasser vadisinden alınan veriler kullanılmıştır. Çünkü Karapınar bölgesinden alınan veriler kalibrasyon yapmak için oldukça azdır ve arazi kullanımını yeterince yansıtmamaktadır. Bu durum, 2009 yılının Karapınar için çok yağışlı bir yıl olması ve rüzgâr erozyonu başlaması için gereken şartların oluşmamasından kaynaklanmıştır. Bu şekilde model, Khanasser vadisindeki tüm rüzgâr olayları esnasında farklı arazi kullanım türlerinden alınan veriler ile kalibre edilmiştir. Geniş arazi kullanım türleri, toprak tipi ve hava koşulları altında uygulanabilir parametreler sağlamak amacıyla kalibrasyon olayında -etki tekniği kuvveti (brute force) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde her bir model parametresine belirli bir değişim aralığında (en alt düzeyden en yüksek düzeye) değerler verilip model çalıştırılmıştır. En uygun parametreleri seçebilmek için ölçülen ve tahmin edilen sediment taşınma miktarları kullanılmıştır. Kriter olarak ortalama standart hata (MSE) değeri kullanılarak model 15×10^3 kez işletilmiştir. Sonuçta en düşük MSE'yi veren parametre değerleri en uygun parametreler olarak kabul edilmiştir. Matematiksel olarak toplam (MSE_{tot}) hesaplanmasında Eşitlik (3.23 ve 3.24) kullanılmıştır.

$$MSE_v = \sum_{v=1}^{v=16} \frac{(Q_{ölçü,v} - Q_{tahm,v})^2}{16} \quad (3.23)$$

Burada, $Q_{ölçü,v}$: Arazide her tutucuda ölçülen toplam sediment kütle akışı (16 tutucu), $Q_{tahm,v}$: YRED modeli kullanılarak her tutucu için tahmin edilen toplam (16 tutucu) sediment kütle akışıdır.

$$MSE_{tot} = \sum_{v=1}^{v=j} 1 \dots j(MSE_v) \quad (3.24)$$

Burada, MSE_v : her bir ölçüm sahası için (MSE) değeri, $v = 1,2,\dots,j$, ve j : bütün arazi kullanım türleri için olay sayısıdır.

3.4.1 İstatistiksel analizleri

Model testi için *d Test* kullanılmıştır (Willmott, 1981). Aynı test Sharratt (2007) tarafından WEPS modelinin test edilmesi için de kullanılmıştır. *d Test*'i eşitlik 3.25 ile hesaplanmıştır.

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{v=1}^{v=n} (Q_{pv} - Q_{ov})^2}{\sum_{v=1}^{v=n} (|Q_{pv} - Q_{oM}| + |Q_{ov} - Q_{oM}|)} \right] \quad (3.25)$$

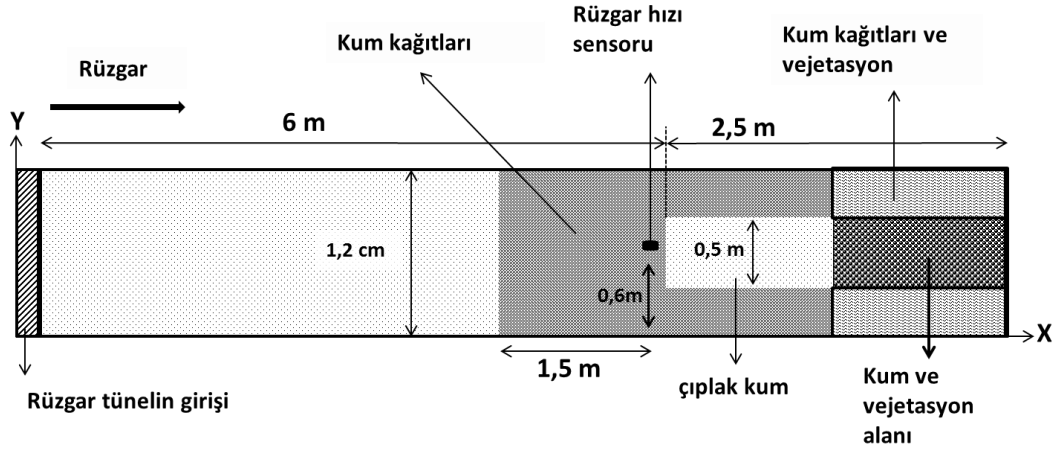
Burada, Q_{pv} : her bir (v) sahası için tahmin edilen sediment kütle akışı değerleri, Q_{ov} : her bir (v) sahasında ölçülen değerler, n : bütün arazi kullanım türleri için olay sayısı, Q_{oM} : ölçülen değerlerin ortalamasıdır. d , değerleri 0 ile 1 arasında değişmektedir ($0 \leq d \leq 1$).

3.5 Rüzgâr Tüneli Çalışmaları

3.5.1 Rüzgâr tüneli tanımlama

Bu çalışma Uluslararası Eremoloji Merkezi'nin (UEM) (Ghent Üniversitesi Belçika) rüzgâr tünelinde gerçekleştirilmiştir. Rüzgâr tünelinin boyutları 12 m uzunluğunda (çalışmada 8,5 metrelik kısmı kullanılmıştır), 1,2 m genişliğindedir, çatısı ayarlanabilir olup 3,2 m'ye kadar çıkabilmektedir (Gabriels vd. 1997; Cornelis ve Gabriels 2004). Tahta kuleler, pürüzlülük küpleri ve zımpara kâğıdı gibi yüzey pürüzlülük elementleri, rüzgâr tüneli test bölgesinde (yaklaşık olarak girişten 6 m uzaklıkta) rüzgâr yönünde yukarı sınırdan 0,6 m rüzgâr hız profili (logaritmik hız katmanı) oluşturmak için kullanılmıştır (Cornelis ve Gabriels 2004). Rüzgâr hızı, girişten 5,85 m uzaklıkta ($X=5,85$ m) ve test bölgesi duvarından 0,6 m içeride ($Y=0,6$ m) ve farklı yüksekliklere yerleştirilmiş ($Z = \{0,02, 0,13, 0,27, 0,38, 1,10\}$ m) kanatlı (pervaneli) anemometreler (rüzgâr hız ölçerleri) ile ölçülmüştür (Şekil 3.8.).

Rüzgâr erozyonu denemelerinde kullanılan sedimentler, 2,5 m uzunluğunda 0,5 m genişliğinde ve 0,01 m derinliğinde olan bir tabla içerisinde hazırlanmıştır. Çıplak kum tablasının etrafında kum yüzeylerine benzer tanecik pürüzlülüğünü yaratabilmek için, zımpara kağıdı (kum kağıtları) tabakaları tablanın ön kısmında 1,5 m'yi ve tablanın sol ve sağını da kaplayacak şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 3.8.).



Şekil 3.8 Rüzgâr tüneline denemelerin kurulması (Gent Üniversitesi, Belçika)

Kum, rüzgâr erozyonuna en duyarlı tanecikleri içerdiği için (Chandler vd. 2005) bu deneylerde kullanılması uygun görülmüştür. Sahil kumu Ter Heijde sahilinden (Den Haag, Hollanda) toplanmış, iki hafta boyunca kurutulmuş ve sonuçta 1mm elek ile deniz kabuklarını temizlenmesi için elenmiştir. Çizelge 3.2’de verilen tane büyüklük analizleri, kullanılan kum hacminin %95’inin 100-500 μm aralığı içinde olduğunu göstermektedir. Bu da test sedimentlerinin, rüzgâr erozyonuna karşı oldukça dirençsiz tanecik sınıfında yer aldığı belirtmektedir (Chandler vd. 2005).

Çizelge 3.2 Rüzgâr tüneline deneylerinde kullanılan kum taneciklerinin büyüklük dağılımı (hacimsel %)

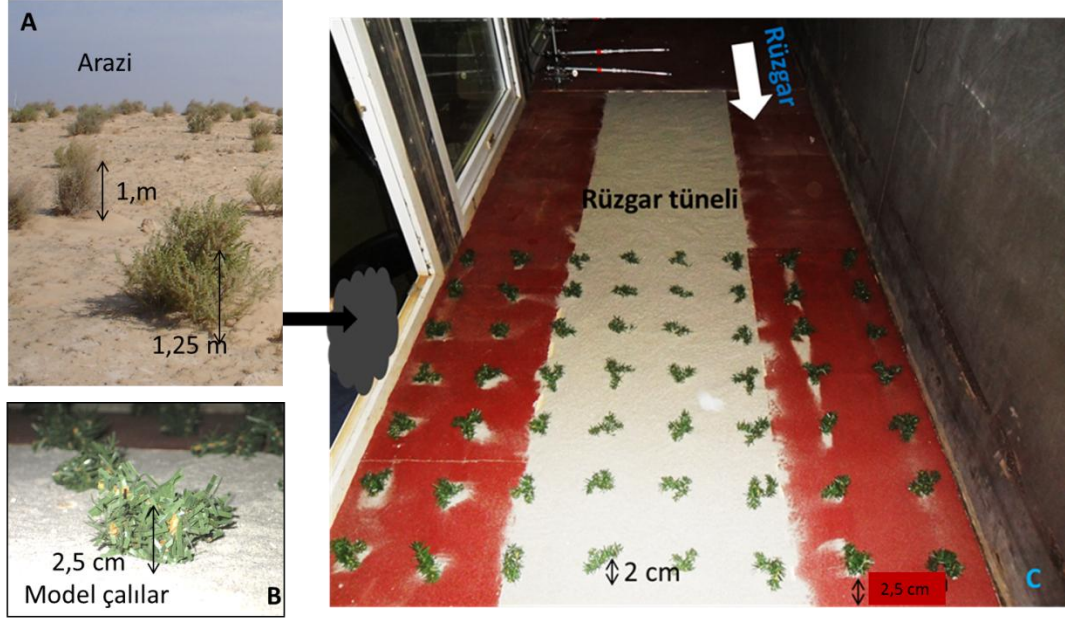
çapı (μm)	<50	50-100	100-300	300-500	500-1000
yüzde (%)	0,08	1,28	20,54	75,33	3,17

Her bir deneme, test bölgesinin girişinden 6 m uzaklıkta, 1,10 m yükseklikte ve rüzgâr hızı 11 m s^{-1} olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Bu durumda Cornelis ve Gabriels

(2004) yöntemi izlenilmiş ve $0,256 \text{ m s}^{-1}$ rüzgâr sürüklenme hızı (rüzgâr kesme hızı) koşullarında çalışılmıştır.

3.5.2 Bitki örtüsünün temsili

Kurak ve yarı kurak bölgelerde, *Atriplex halimus* (deniz semizotu) bozulmuş toprağın yeniden bitkilendirilmesinde sıklıkla kullanılmaktadır (Hassine ve Lutts 2010), çünkü su gereksinimi oldukça düşüktür (yıllık $\leq 100-200 \text{ mm}$) (Martínez-Fernández ve Walker 2011). *Atriplex halimus*, rüzgâr erozyonu sonucu oluşan tanecik sıçramasının fiziksel zararlarına karşı koyabildiği gibi, aynı zamanda ağır hayvan otlatılmasından da çok fazla zarar görmeden varlığını idame ettirebilmektedir (Ruiz-Mirazo ve Robles 2011). Bu nedenlerden dolayı, bitki morfolojisi açısından *A. halimus* çalılarını benzeyen yapay bitkiler, ölçek olarak küçültme oranı 1:50 uygulanarak rüzgâr tüneline temsil edilmiştir. Bu ölçeğin kullanılma nedeni, *Atriplex halimus*' un yüksekliğinin ve rüzgâr tüneli boyutlarının gerçek sahada gözlemlenen çalılar arasındaki mesafelerin yeniden oluşturulmasına tam olarak imkân vermesidir. Modellenen çalılar 2 ila 2,5 cm yüksekliğinde olup, sahada 1 ve 1,25 m yüksekliğindeki *Atriplex halimus* çalılarını tasvir etmişlerdir (Şekil. 3.9 A). Çalı modeli, demir çubuklara bağlanmış polietilen bantlardan oluşmuştur (Şekil. 3.9 B, C). Her bir çalı modeli, alt kısımlarından birbirine bağlanmış birkaç çubuğu içerir ve topluca tahta bir levhaya tutturulmuşlardır. Çalılar daha sonra bükülmüştür ve böylece gerçek *Atriplex halimus*' un şeklini almaları sağlanmıştır. Rüzgâr tünelineki test sahasında bitki örtüsü ile kaplanmış yüzey alanıtüm denemelerboyunca %10-11 arasında tutulmuştur.

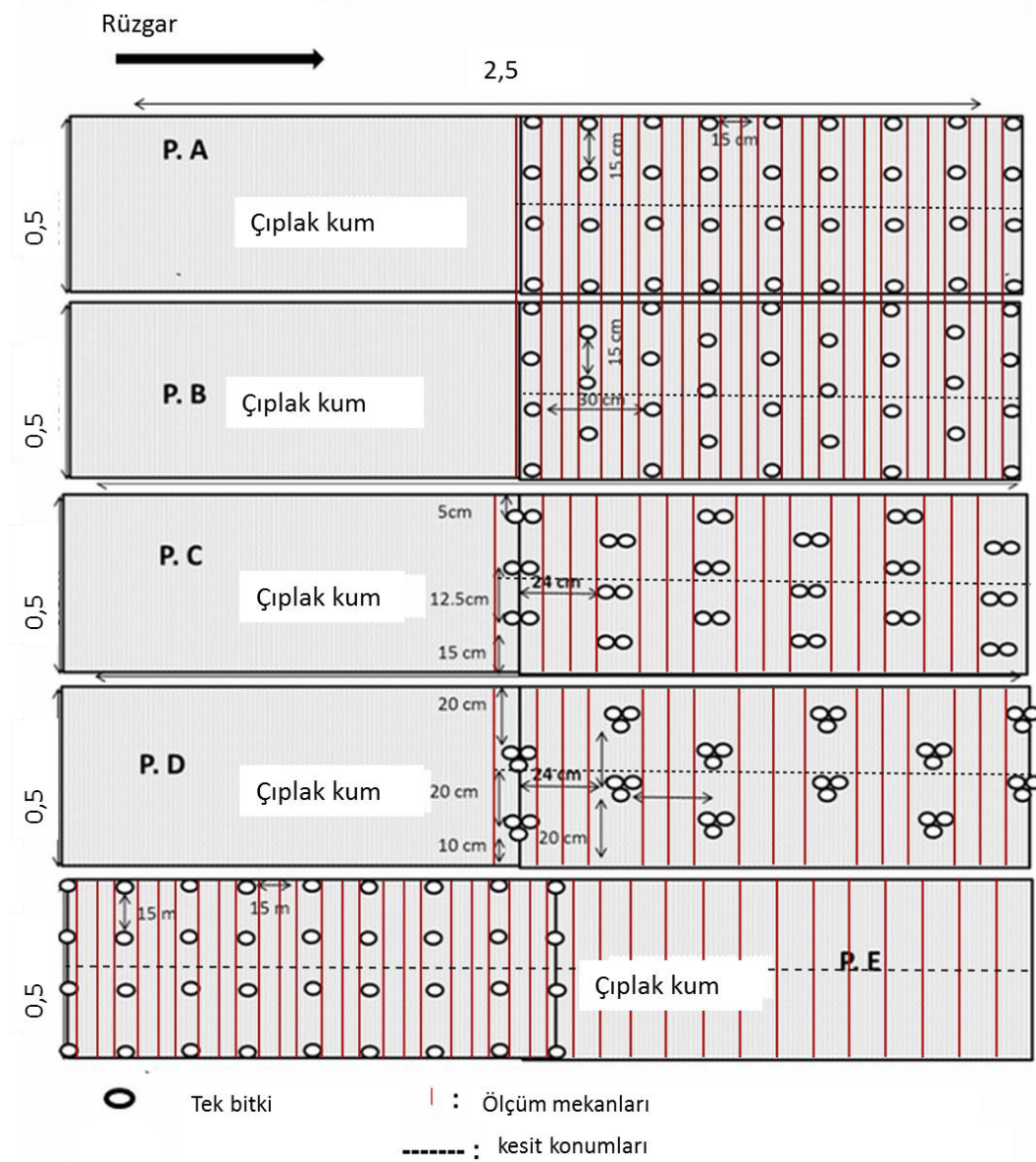


Şekil 3.9 *Atriplex* çalılarının temsili, a: arazideki görünümü, b: simüle edilen çalılarının görünümü, c: tüneldeki model çalılarının görünümü

Rüzgâr erozyonu tanecik sürüklenmesi iki senaryo ile gözlenmiştir (Şekil 3.10). Birinci senaryoda, çıplak topraktan bitki örtüsü bulunan toprağa doğru sediment hareketleri dört bitki örtüsü deseni için canlandırılmıştır. İkinci senaryoda, bitki örtüsüne sahip olan topraktan çıplak toprağa doğru sediment hareketleri bir bitki örtüsü deseni için canlandırılmış olup, kullanılan desenler aşağıda ayrıntılı bir biçimde tanımlanmış ve Şekil 3.10'da gösterilmiştir

- 1) Desen P.A: 36 adet çalı bireysel olarak modellenmiş ve düzgün bir ızgara üzerine yerleştirilmiştir.
- 2) Desen P.B: 32 adet çalı, bireysel olarak modellenmiş, çalılar ikinci, dördüncü, altıncı ve sekizinci sıraları dengeleyecek şekilde dizilerek Y yönünde yerleştirilmiştir.
- 3) Desen P.C: 18 adet çalı öbeği (her bir öbekte iki adet çalı modellenmiştir) rüzgâr yönüne dik şekilde her bir sırada üç öbek olacak şekilde tablaya dağıtılmıştır.
- 4) Desen P.D: 12 adet çalı öbeği (her bir öbekte üç adet çalı modellenmiştir) rüzgâr yönüne dik şekilde her bir sırada iki öbek olacak şekilde tablaya dağıtılmıştır.
- 5) Desen P.E: sediment taşınmasının bitki örtüsü olan topraktan, çıplak toprağa hareketi bireysel çalılarının kare-köşeleri (grid) yerleşim şekli kullanılarak test edilmiştir.

Çalı sayısındaki azalma, tek bir çalının genişliğinin artırılması ile telafi edilmiştir; böylece simüle edilen bitki örtülerinin kapladığı yüzey alanı (%10-11) tüm desenler için aynı tutulmuştur (Şekil 3.10). Her bir desen için üç tekerrür gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.10 Rüzgâr tüneline denenen bitkisel örtü desenleri

Ortalama 11 m s^{-1} serbest (referans) akış rüzgâr hızı (veya $0,26 \text{ m s}^{-1}$ kesme hızı) tüm rüzgâr tüneline denemelerinde kullanılmıştır. Bu rüzgâr hızı kum hareketini sağlamıştır ve rüzgâr tüneline modellenmiş bitki örtüsünün şeklini etkilememiştir. Yani, denemeler esnasında kurulan bitki örtüsü desenlerinin bozulmasına neden olmamıştır. Denemelerin öncesinde tabla yüzeyi, 0,01 m yüksekliğinde homojen kum yüksekliği

elde edebilmek için, yumuşak bir fırça kullanılarak düzeltilmiştir. Her bir test 200-230 saniye sürmüştür. Bu zaman zarfında tablanın çıplak kısmındaki (rüzgâr yönünde test bölgesinin yukarıya doğru olan kısmında) kumların tamamı P.A, P.B, P.C ve P.D desenlerinde aşındırılıp taşınmıştır. Bu koşul sadece P.D deseninin 3. tekerrüründe oluşmamıştır.

Deney tablası boyunca kum yüksekliğini ölçmek için 0,5x0,25 m boyutlarında ve 0,3 mm kalınlığında grafik kâğıdı (milimetrik kâğıt) için kullanılmıştır. Daha önceden ıslatılmış kum yüzeyine grafik kâğıdı, rüzgâr yönüne dik olarak dikkatli bir şekilde yerleştirilmiştir. Yüzey topografyası kâğıt üzerine ayrıntılı bir şekilde çizilmiştir. Her bir denemeden önce kumun ıslatılması grafik kâğıdı yerleştirilirken yüzeyin çökmesini veya bozulmasını önlemiştir. Kum yüksekliği grafik kâğıt üzerine işlendikten sonra, denemeleri takiben taşınma ve birikme süreçleri ile değişen kum yükseklikleri 1 cm aralıklarda kâğıttan doğrudan okunmuştur. Denemler sonrasında tablada 51 noktada kum yüksekliği kayıt edilmiştir . Şekil 3.10'da kum yüksekliklerinin bitki örtüsü elemanlarının pozisyonuna göre ölçümü gösterilmiştir . Bu ölçüm şeması, P.A. ve P.B desenlerinin her bir denemesi için 1275 ölçüm , P.C. ve P.D için 816 ve P.E'nin tüm denemeleri için 1887 ölçüm alınmasını sağlamıştır .

Noktasal veriler konumsal istatistik (jeostatistik) yöntemleri kullanılarak ölçüm yüzeyleri elde edilmiştir. Elde edilen verilere en uygun jeostatistiksel modelin küresel variogram modeli olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, tabla boyunca kum yüksekliklerinin konumsal değişimlerini gösteren haritalar, normal (ordinary) kriging yöntemi ile oluşturulmuştur (Chappell ve Warren, 2003).

3.5.3 Bitki örtüsünün varlığıyla meydana getirilen hava burgacı (türbülans) ve tanecik sıçraması için sıçramanın temel parametreler

Rüzgârla sediment taşınma süreçlerinin herhangi bir rüzgâr tüneline simüle edilmesi oldukça karmaşıktır, çünkü taneciklerin ilk sıçrama hareketini etkileyen parametrelerin ya doğru bir şekilde temsil edilmesi ya da küçük ölçeklerde elde edilmesi gerekmektedir (White, 1996). Çizelge 3.3'de bu çalışmayı etkileyen temel parametrelere ilişkin bir özet yer almaktadır. Bunlar aşağıda ayrıntılı olarak açıklanmıştır .

1) **Rüzgâr hız profili ve aerodinamik kriterler:** Gabriels vd. (1997), ICE'nin rüzgâr hız profili kalınlığının, pürüzlülük elementleri olarak tahta kuleler ve küpler kullanılarak ayarlanabileceğini göstermişlerdir. Bu araştırmadaki rüzgâr hız profili 0,7 m olmuştur, bu da White (1996)'ın açıkladığı rüzgâr hız profili ile örtüşmektedir. Hava akımları için diğer tüm aerodinamik kriterler ICE rüzgâr tüneline doğru olarak yeniden oluşturulmuştur (Gabriels vd., 1997; Dierickx vd., 2001).

2) **Rüzgâr bariyerinin yüksekliği, H:** Bu parametrenin ölçeği 1:50 oranında küçültülmüştür. Daha önce de belirtildiği gibi, bu ölçeğin seçilme nedeni, *A. halimus*'ın boyu ile sahadaki rüzgâr koşulları arasındaki ilişkilerin rüzgâr tüneline en iyi şekilde temsil etmesidir. Diğer bir deyişle, araştırma tüneline 0,7 m'lik rüzgâr hız profili koşulları altında 1:50 oranında küçültülen çalılar kullanılması, sahadaki gerçek konumsal ilişkileri, yani çalılar arasındaki boşlukların oluşturduğu bitki desenlerinin başarılı bir şekilde yeniden elde edilmesine yol açmıştır. Oluşturulan çalılar maksimum yüksekliği 2,5 cm olmuştur.

3) **Pürüzlülük uzunluğu, Z_0 :** Rüzgâr tüneli zeminine, test kum yüzeylerine benzer pürüzlülük şartlarını yaratabilmek için, zımpara kâğıdı tabakaları hem rüzgâr yönünde yukarıya doğru kısımlara hem de sediment tablasının iki kenarı boyunca yerleştirilmiştir.

4) **Tanecik çapı, D_p :** White (1996)'a göre, yüksekliği 1m olan bir rüzgâra bariyeri inşa ederken, sediment hareketlerinin oluşturulmasında engel çevresindeki tanecik çapının yaklaşık 10 μm olması gerekmektedir. Bu durum, ICE rüzgâr tüneli koşullarında bu parametrenin doğru bir şekilde canlandırılmasının mümkün olmadığını göstermiştir, çünkü küçük toprak taneciklerini birleştiren bağlayıcı güçler nedeniyle 10 μm çapındaki tanecikler ilk (eşik) sıçrama hareketine geçemeyeceklerdir (White 1996). Bu nedenle, denemelerde sıçrama sürecinin gerçekleşebilmesi için D_p parametresi gerçek boyutlarında kullanılmıştır.

5) **Simüle-edilen rüzgâr hızının referans yüksekliği, h:** Bu araştırmada rüzgâr hız profiline 0,7 metre olması sağlanmıştır ve rüzgâr hızları 0,02, 0,13, 0,27 ve 0,38 metre yüksekliklerde ölçülmüştür. Bu nedenle, rüzgâr hızları tüneline logaritmik hız katmanı

içerisinde ölçülmüştür (White 1996). Buna ek olarak, 1,10 m yüksekliğinde serbest rüzgâr hızı, var olan hız profili üzerindeki referans hız değerlerini belirlemek amacıyla ölçülmüştür (Gabriels vd. 1997).

6) **Rüzgâr bariyerinin yüksekliğinin logaritmik hız profiline oranı (H/Bo):** White (1996)'a göre gerçek saha koşulları için oran (H/Bo) 0,2'den daha azsa (araştırma sahalarında $H/Bo < 0,2$ 'dir), rüzgâr tüneli için oranın da 0,2'den küçük olması gerekmektedir. Rüzgâr tüneli simülasyonlarında ise H/Bo oranının maksimum değeri 0,35 olarak bulunmuştur. Genel anlamda bu simülasyonlar, White (1996) tarafından önerilen ölçek küçültme gerekliliklerine uygun olsa da, **H/Bo** oranı açısından elde edilen değerler ve önerilen değerler arasında farklılıklar oluşmuştur.

7) **Zaman ölçeği Z:** White (1996), rüzgâr tüneli deneylerindeki zaman etkisinin gerçek saha koşulları altındakilere oranla çok daha kısa olduğunu ve deneyler için gerekli sürenin uygulanan rüzgâr hızıyla orantılı olduğunu belirtmiştir. Simülasyonlarda, 11 m s^{-1} hızındaki rüzgâr için uygulanan süre 200-230 saniye arasında değişmiştir. Bu süreç tünel zeminine serilen sediment kaynağının büyük çoğunluğunu rüzgâr ile taşımak için yeterli olmuştur.

Çizelge 3.3 Araştırmada simüle edilen fiziksel rüzgâr erozyonu parametreleri

Parametre (s)	Simüle-edilen parametrelerinin önemi ve ölçeklendirme ilkeleri
Aerodinamik kriterler ve rüzgâr hızı profili (B_o)	Ortalama hız ve türbülans yoğunluğu ve enerjisi, pürüzlülük, Reynolds Sayısı (Rer), Jense uzunluk-ölçek kriteri (Jensen 1958) ve (H/Bo) oranı (White 1996) üzerine etkilidir.
Rüzgâr bariyerinin yüksekliği (H)	H, sınır tabakasının yüksekliği altında olmalıdır (White 1996)
Pürüzlülük yüksekliği Z_0	Arazi koşulları olduğu gibi simüle edilmelidir (White 1996).
Tanecik çapı (D_p)	Yerçekimi, sürüklenme süreci ve Saffman ve Mangnus gücü (Zou vd. 2007) üzerine etkilidir.
Referans yüksekliği (h)	Rüzgâr hızının ölçüldüğü yüksekliktir ve rüzgâr tüneli logaritmik hız profili içinde olmalıdır.
H/ B_o oranı	Aeolian araştırmalarında, (H/ B_o) oranı $0,2 \square$ den daha küçük olmalıdır (White 1996).
Zaman ölçeği (T)	Genellikle simüle edilen olayların süreleri, arazi koşulları altındaki sürelerden daha kısa olmalıdır.

3.6 Bölgesel Ölçekli Modelleme

3.6.1 Bölgesel ölçekli modelleme için YRED geliştirme aşamaları

YRED modeli, toprak sediment kütle akışını ve toprak kaybını, arazinin rüzgâra karşı olan alt sınırında aşınma olmadığını varsayarak simüle eder. Bu durumda araziye taşınan veya sınırdan içeriye giren sediment miktarı sıfır olarak kabul edilmiştir. Bölgesel çapta modellemelerde, sınırlar arası sediment kütle akışlarının büyük ve geniş arazi parçaları için değerlendirilme gerekliliği vardır. Bu akışı temsil etmek için, rüzgâr yönündeki bir kesit üzerinde n sayıdaki arazi için sediment kütle akışını simüle eden tek boyutlu bir model geliştirilmiştir.

Sediment kütle akışı her arazi için i ($i = 1, 2, \dots, n$) ile gösterilmiş ve rüzgâr yönündeki arazi uzunluğu da l_i (m) ile belirtilmiştir. Modelde i değeri rüzgâr yönüne doğru artmaktadır ve her arazi için bütün hesaplamalar $i = 1$ ile başlayarak yapılmaktadır. Buradaki amaç sediment kütle akışını ($Q_i(x_i)$, $kg\ m^{-1}\ s^{-1}$), toprak kaybı oranı ($SL_i(x_i)$, $t\ ha^{-1}\ yıl^{-1}$) ve birikme oranı ($D_i(x_i)$, $t\ ha^{-1}\ yıl^{-1}$), arazinin rüzgâra karşı olan alt sınırından (x_i , m) başlayarak her i arazisi için hesaplamaktır. Kaibre edimiş YRED modelinden yararlanarak her arazi için maksimum taşınma kapasitesi ($Q_{max,i}$) tanımlanmıştır. Rüzgâra yönünden kumşu arazide sediment kütle akışı $Q_{i-1}(l_{i-1})$, $Q_{max,i}$ değerinden fazla olduğu zaman, i arazisinde rüzgâr yönünde kütle akışı artmakta ve o bölgede erozyon görülmektedir; tersi durumda ise birikme gözlemlenmektedir.

Erozyon durumunda sediment kütle akışı denkleminin, YRED tarafından kullanılan eşitlik (3.26) ile aynı biçimde olduğu düşünülmüştür. Fakat arazinin rüzgâra karşı olan alt sınırından gelen sediment kütle akışı düşünülerek model mesafe değişkeni (z_i , m) tanımlanmıştır. Birikme durumunda ise aynı denklemin kullanılması gerektiği düşünülmüş fakat birikme denklemi erozyon denkleminde kullanılan kritik arazi uzunluğuyla aynı işlevi gören bir kritik arazi uzunluğu U_i eklenmiştir. i arazisindeki Erozyon veya birikme hesaplayan denklem eşitlik 3.28'de verilmiştir.

$$Q_i x_i = \begin{cases} Q_{max,i} \left(1 - e^{-\frac{x_i - z_i}{S_i}} \right)^2, & Q_{i-1} l_{i-1} < Q_{max,i} \\ Q_{i-1} l_{i-1} - Q_{max,i} e^{-\frac{x_i}{U_i}} + Q_{max,i}, & Q_{i-1} l_{i-1} \geq Q_{max,i} \end{cases} \quad (3.26)$$

S_i (m), i arazisinin kritik arazi uzunluğunu göstermektedir.

Ek olarak, $Q_{i-1}(l_{i-1}) < Q_{max,i}$ koşulunu sağlayan z_i değeri hesaplanmıştır. Bu durumda verilen $Q_i(0)$ değerinin, $Q_{i-1}(l_{i-1})$ 'e eşit olduğu varsayılmıştır.

Eşitlik 3.26'de kullanılan z_i değişkeni aşağıdaki matematiksel bağıntı kullanılarak çözülmüştür (Eşitlik (3.27)).

$$z_i = - \frac{Q_{i-1} l_{i-1}}{Q_{max,i}} - S_i^2 \ln \left(1 - \frac{Q_{i-1} l_{i-1}}{Q_{max,i}} \right) \quad (3.27)$$

Birikme, Skidmore (1986)' un çalışmalarına göre hesaplanmıştır ve bir arazideki bitki örtüsünün rüzgâr hızını, bitki örtüsü yüksekliğinin 15-20 katı uzunluğundaki bir alanda veya mesafede etkileyebileceği düşünülmüştür. Kuru arazilerde doğal bitki örtüsünün ortalama yüksekliğinin 0,90-1,00 m arası olduğu düşünülerek, modelde birikmelerin hesaplaması için kullanılan kritik arazi uzunluğu U_i 15 metre olarak alınmıştır. Eşitlik (3.28) modifiye edilerek birikme oranı hesaplaması için gerekli formüller elde edilmiştir.

$$D_i x_i = \begin{cases} -\frac{2z_i}{S_i^2} - \frac{2}{S_i^2} x_i - Q_{max,i} e^{-\frac{x_i - z_i}{S_i}}, & Q_{i-1} l_{i-1} < Q_{max,i} \\ -\frac{2}{U_i^2} x_i - Q_{i-1} l_{i-1} - Q_{max,i} x_i e^{-\frac{x_i}{U_i}}, & Q_{i-1} l_{i-1} \geq Q_{max,i} \end{cases} \quad (3.28)$$

YRED'e benzer şekilde BÖ-RED modeli de simülasyon yapılan arazisindeki sediment kütle akışı ve toprak kaybını, her bağımsız arazi parçası için, arazi kullanım türü (bitki örtüsü yoğunluğu ve bitki örtüsü yüksekliği), toprak özellikleri (toprak yapısı ve nemi),

yüzey koşulları durumu (genel olarak yüzeyin toprak pürüzlülük) ve iklim değişkenlerine (rüzgâr, hava yoğunluğu ve güneş radyasyon) bağlı olarak hesaplamaktadır. Güncel modelde, arazideki iklim parametrelerindeki değişiklikler modellenmemiştir. Fakat bu modelde bir arazinin komşu arazilere etkisi, arazide oluşan ve araziden ayrılan sediment miktarı hesaba katılarak değerlendirilmiştir. Çalışmanın üst ölçeklendirme kısmında BÖ-RED modeli rüzgâr erozyonu alt süreçleri için 6 saat boyunca işletilmiştir, çünkü önceki YRED modeli kalibrasyon çalışmaları bu zaman dilimi içinde gerçekleştirilmiştir (Youssef vd. 2012a). Ayrıca bu modelde önceden kalibre edilmiş YRED parametre değerleri kullanılmıştır.

3.6.2 Hazırlanmış modeli çalıştırma senaryoları

BÖ-RED modelini çalıştırabilmek için arazinin aşınabilirliği ve iklim koşullarına ait değişkenler gerekmektedir (3.5 ve 3.6 numaralı eşitlikler). Bu parametreler kurak ve yarı kurak arazilerde arazi kullanımı senaryoları için üretilmiştir. Bu çalışmada BÖ-RED modeli çıplak arazide, buğday ekili arazide ve çalı ile kaplı arazilerde denenmiştir. Youssef vd. (2012a) tarafından önerilen β_1 , β_2 ve β_3 parametreleri bu araştırmada YRED modeli için tekrar elde edilmiştir (Çizelge 3.4).

Çizelge 3.4 Güncel olarak hesaplanmış YRED modeli parametreleri

Parametreler	Orijinal değerler	Kalibrasyon sonucu elde edilen değerler
β_1	109	109
β_2	150,71	300
β_2	0,3711	0,03

Diğer bir deyişle, bu parametreler BÖ-RED modeli için de kullanılmıştır. Q_{max} ve S parametreleri 3.5 ve 3.6 numaralı eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır. Her parametrenin değerini saptamak için Youssef vd. 2012a tarafından raporlanmış arazi verileri kullanılmıştır (Çizelge 3.5).

Çizelge 3.5 YRED modelinde çıplak arazi, buğday arazisi ve çalılık araziler için kullanılan etmenlerin değerleri

Arazi kullanımı	E_F^*	S_{CF}	K_{tot}	C_{OG}
Çıplak (B)	0,208	0,908	0,95	0,96
Buğday(W)	0,208	0,908	0,85	0,85
Çalı alanı (A)	0,208	0,908	0,90	0,65

* E_F ; aşınılabilirlik (rüzgâr ile) etmeni, S_{CF} ; toprak kabuk etmeni, C_{OG} bitki örtüsü etmeni ve K_{tot} toprak pürüzlülük etmenidir.

İklim etmeni (W_F) değerleri üç farklı rüzgâr hızı temel alınarak belirlenmiştir ve bu rüzgâr hızlarının sediment kütle taşınmasına neden olabilen hızları simüle ettiği düşünülmüştür. İklim faktörü 10, 12,5 ve 15 m rüzgâr hızları kullanılarak elde edilmiştir. Her arazi kullanımı için W_F , S_{CF} , C_{OG} , K_{tot} etmenlerin değerleri kullanılarak Q_{max} ve S değerleri hesaplanmıştır (Youssef vd. 2012a). Çizelge 3.6'da araştırmada simüle edilen her bir arazi kullanım türü için hesaplanan Q_{max} ve S değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 3.6 Simüle edilen arazi kullanım türlerinin Q_{max} ve S değerleri

Arazi kullanımı	$W_{F1}=7,35$		$W_{F2}=20,68$		$W_{F3}=44,13$	
	O_{max} (Kg m ⁻¹)	S (m)	O_{max} (Kg m ⁻¹)	S (m)	O_{max} (m)	S (m)
Çıplak (B)	138,10	137,39	388,41	94,05	828,61	71,00
Buğday (W)	109,41	150,50	307,70	102,54	656,43	77,41
Çalı alanı (A)	88,58	162,77	249,14	110,89	531,51	83,71

Oluşturulan senaryolar 50, 150 ve 450 metrelik uzunluğa sahip araziler için tanımlanmıştır. Bu mesafeler genel olarak tarımsal amaçlı kullanılan arazilerin uzunluklarını temsil ettikleri için seçilmişlerdir. Özellikle YRED modelinin kalibre edilip doğrulandığı Khanasser vadisi ve Suriye'deki tarım arazileri bu özelliklere

uymaktadır. Arazi dizileri için hazırlanmış üç farklı senaryo (Çizelge 3.6) her bir arazi uzunluğu ve rüzgâr hızı için ayrı ayrı denenmiş ve bütün kombinasyonlar için model uygulanmıştır.

3.6.3 Model sonuçlarını değerlendirmek için kriterler

Sediment Kütle Akışı

BÖ-RED sonuçları, bitki örtüsüne zarar veren sediment kütle akışı ve toprak verimini etkileyen toprak kaybı kriterleri göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir. Baker (2007) ve Baker vd. (2009) tarafından yapılan çalışmalarda sediment kütle akışı yoğunluğunun bitki gelişimine olan etkisi iki parametre kullanılarak incelenmiştir: Net asimilasyon oranı ($NAR, g m^{-2} Tu^{-1}$) ve göreceli büyüme hızı ($RGR, g m^{-2} Tu^{-1}$), buradaki Tu sıcaklık parametresidir ($^{\circ}C$) ve eşitlik (3.29) ile hesaplanmıştır.

$$Tu = (T_{\max} + T_{\min}) / 2 - T_b \quad (3.29)$$

T_{\max} ($^{\circ}C$) ve T_{\min} ($^{\circ}C$) değerleri sırasıyla günlük maksimum ve minimum hava sıcaklıklarıdır. T_b ($^{\circ}C$) değeri ise Baker vd. (2009) tarafından $15,5^{\circ}C$ olarak belirlenen bazal sıcaklıktır.

Çalışmalarda NAR ve RGR değerlerinin, sediment kütle akışındaki artışla birlikte doğrusal olarak azaldıklarını göstermektedir. Bu çalışmalar temel alınarak sediment kütle akışı ile ilişkili olarak bitki örtüsünün gördüğü zararlar üç farklı aşınma tipine göre belirlenmiştir. Bunlar: *düşük*, aşınmaya maruz kalmayan grupla karşılaştırıldığında, bitki yapraklarında küçülmeler ortaya çıkmaktadır; *orta*, aşınmaya maruz kalmayan grupla karşılaştırıldığında, bitkiler daha kısa ve çalimsı bir şekil almaktadır; ve *yüksek*, sediment kütle akışı bitkinin tüm yapraklarını yok edip gövdenin çıplak kalmasına neden olmaktadır (Baker vd. 2009). Çizelge 3.7, üç bitki örtüsü zararlanma tipini ve ilgili sediment kütle akışı seviyelerini göstermektedir. Baker (2007) ve Baker vd.

(2009), tarafından yapılan deneylerde akış uygulaması 10 dakikayla 40 dakika arası tutulmuştur. Deneyler çıplak kumun üzerinde sabit bir akımın uygulandığı bir rüzgâr tüneline gerçekleştirilmiştir. Daha önce de belirtildiği gibi bu çalışmada BÖ-RED modeli 6 saatlik bir rüzgâr akışı sırasında çalıştırılmıştır. Rüzgâr tüneline 10 ile 40 dakika arası uygulanan rüzgârın neden olduğu hasarın gerçek arazi şartlarında (modelimizce temsil edilen) ölçülen 6 saatlik rüzgâr akışı ile oluşan hasarla eş olduğu varsayılmıştır. Şüphesiz bu kesin olmayan bir varsayımdır fakat seçilmiş herhangi bir arazide toprak sediment kütle akışının neden olduğu hasara dair daha iyi bir veri bulunmamaktadır. Belirtilmiş tipler bitki örtüsünün aldığı hasarla ilgili BÖ-RED sonuçlarını değerlendirmek için kullanılmıştır.

Çizelge 3.7 Sediment kütle akışı dolayısıyla oluşan bitki örtüsü zararlanma tipleri (Baker (2007) sonrası yapılan çalışma)

Sediment kütle akışı değişim aralığı (kg m ⁻¹ s ⁻¹)	<i>NAR</i> (g m ⁻² Tu ⁻¹)	<i>RGR</i> (g m ⁻² Tu ⁻¹)	Sediment kütle akış seviyesi
0-0,015	0,760-0,772	6,75-6,86	<i>düşük</i>
0,015-0,03	0,772-0,785	6,86-6,98	<i>orta</i>
0,03-0,045	0,785-0,797	6,98-7,10	<i>yüksek</i>

* *Tu*: sıcaklık parametresi (°C)

Toprak kaybı

Rüzgâr erozyonu sonucu oluşan toprak kayıpları ile ilgili değerlerin değişim aralığı oldukça geniştir. Klik vd. (2004), Avusturya'daki toprak kayıplarının 0,0-5,4 t ha⁻¹ yıl⁻¹ arasında olduğunu göstermişlerdir. Cornelis vd. (2010) ise, Belçika'da Flaman bölgesindeki yıllık toprak kaybının 0-40,9 t ha⁻¹ yıl⁻¹ arasında olduğunu ve ortalama toprak kaybının da 0,9 t ha⁻¹ yıl⁻¹ olduğunu belirtmişlerdir. Bilbro ve Fryrear (1985), Amerika'daki 6 farklı bitki türü için rüzgâr erozyonu kaynaklı toprak kaybını araştırmış ve toprak kaybının "kefir" bitkisi için 12 t ha⁻¹ yıl⁻¹ ve pamuk içinse 83 t ha⁻¹ yıl⁻¹ olduğunu tespit etmişlerdir. Gupta ve Rama (1996), Hindistan'daki kurak bölgelerde rüzgâr erozyonu kaynaklı toprak kaybını araştırmışlar ve güçlü rüzgâr alan bölgelerde

toprak kaybının $5.400 \text{ t ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1}$ ve fazlası olduğunu saptamışlardır. Bu araştırmanın odaklandığı alanlar, nüfusun az olduğu kurak ve yarı kurak, gübrelemeyle elde edilen besin değerlerinin düşük olduğu ve dar gelirli çiftçilerin yaşadığı bölgelerdir. Bu varsayımlardan yola çıkarak bu tür bölgelerde toprak kaybının toprak verimine etkisinin kritik olduğu ve toprak kaybının tolere edilmesinin zor olduğu söylenebilir. Toprak kaybı değerleri düşük, orta ve yüksek olarak üç farklı değer aralığında belirlenmiştir: Düşük, toprak kaybı $0 - 5 \text{ t ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$, orta, $5 - 50 \text{ t ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1}$ ve yüksek $< 50 \text{ t ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1}$ değerleri kapsamaktadır. Bundan önceki rüzgâr erozyonu modellerinde ve ilgili çalışmalarda sediment birikmesi yeterince incelenmediği için, birikmenin sayısal veriye dönüştürülmüş hali ve önem derecesi hakkında yeterince detay bulunmamaktadır. Bu nedenle bu çalışmada toprak birikmesi ve kaybının karşılaştırılabilir mutlak değerlere sahip olduğu varsayılmıştır ve birikme şu şekilde sınıflandırılmıştır: Düşük $0-5$, orta $5-50$ ve yüksek $> 50 \text{ t ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$.

Khanasser vadisinde yapılan meteoroloji çalışmalarında yıllık olarak 10 m s^{-1} ve üstü hızlarda esen rüzgârların esme süreleri $12-15$ saat, $12,5 \text{ m s}^{-1}$ ve üstü hızlarda esen rüzgârların esme süreleri ise 10 saat, 15 m s^{-1} ve üstü hızlarda esen rüzgârların esme süreleri ise 2 saatten az olarak tespit edilmiştir (Youssef vd.2012a). Bu nedenle yıllık rüzgâr erozyonunu simüle edebilmek için, BÖ-RED modeli her senaryo için 6 saat boyunca çalıştırılmıştır. Yıllık olarak görülen rüzgâr hareketlerinin BÖ-RED modelinin sonuçlarına uyarlanmasıyla birimlerin $\text{kg m}^{-2} \text{ yıl}^{-1}$ 'den $\text{kg m}^{-2} \text{ 6}^{-1}$ saate çevrilmesi gerektiği düşünülmüştür. Toprak birikimi ($\text{t ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1}$) ile ilgili daha önce modelleme çalışmaları bulunmadığından birikim kriterleri toprak kaybı göz önünde bulundurularak geliştirilmiştir. Kriterler oluşturulurken yapılan hesaplalarda bölgedeki ilk 450 metre'lik arazi parçası değerlendirmeye katılmamıştır. Sediment kütle akışı, toprak birikmesi ve toprak kaybı bahsi geçen kesit üzerindeki her 1 metrelik parça için hesaplanmıştır. Bölgenin ortalama toprak kaybı (3.30) numaralı eşitliğe göre hesaplanmıştır.

$$E_{\text{loss}} = \frac{TE}{N_{\text{tot}}} \quad (3.30)$$

E_{loss} , $t \text{ ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1}$ biriminde ortalama toprak kaybını ifade etmektedir.

TE ($t \text{ ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1}$) ise kesit üzerindeki tüm parçalarda görülen toprak veya sediment birikmesinin (3.28) numaralı eşitlik) N_{tot} ise kesit üzerindeki parçaların sayısıdır.

Bölgedeki ortalama toprak birikmesi ve ortalama toprak kaybının eşit olduğu göz önünde bulundurulmalıdır.

Ölçüm mesafesi üzerinde, her erozyon sınıfı (düşük, orta ve yüksek) ile ilişkilendirilmiş parçaların yüzdeleri (3.31) numaralı eşitlik ile hesaplanmıştır.

$$P_d = 100 \frac{N_d}{N_{tot}} \quad (3.31)$$

Burada, P_d : d sınıfı erozyonla ilişkilendirilmiş parçaların yüzdesini, N_d ise d sınıfı erozyondan daha düşük seviyeye ilişkilendirilmiş parçaların yüzdesini göstermektedir.

Aynı işlemler bahsi geçen kesit üstündeki birikimiyle alakalı parçaların yüzdeleri hesaplamak için de izlenmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Sediment Kütle Akışının Değerlendirilmesi

Karapınar ve Khansser vadisinde sediment kütle akışı ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, Karapınar, Khansser vadisine kıyasla daha duyarlı bir bölgedir.

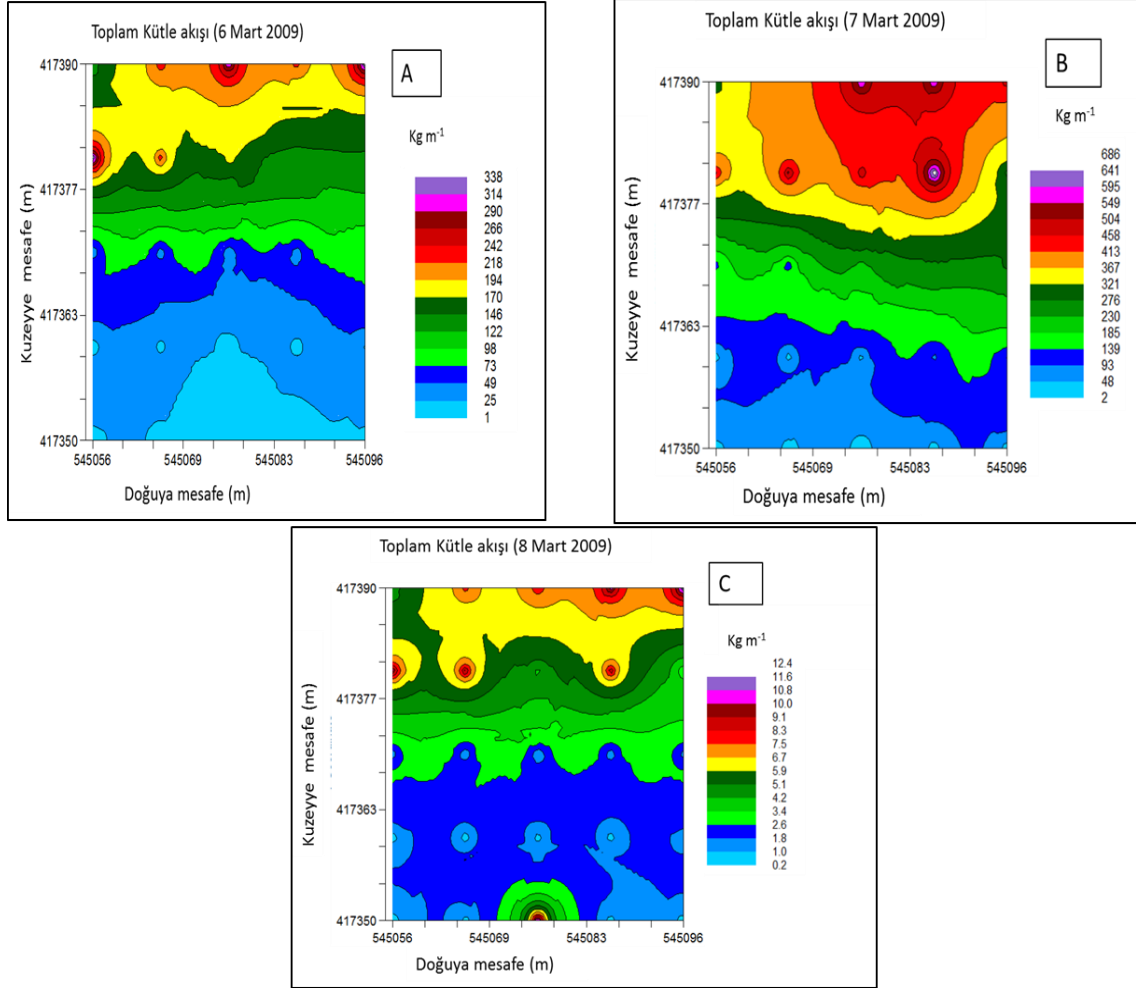
4.1.1 Karapınar

Karapınar çalışmasında 5 adet rüzgâr olayı saptanmıştır. İlk iki fırtına toprak yüzeyini aşındırmıştır. Bu yüzden, sonraki fırtınalarda aşınan materyallerin miktarı düşük olmuştur. Bu durum 8, 13 ve 19 Mart tarihlerinde toplanan materyalin niçin nispeten düşük olduğunu açıklar. Taşınan materyalin miktarını çizelge 4.1’de göstermektedir.

Çizelge 4.1 Sediment tutucularda yakalanan sedimentlerin miktarı

Yakalayıcı No	Coordinate		Yakalanan sedimentlerin miktarı (Kg/m)				
	X	Y	06-Mar	07-Mar	08-Mar	13-Mar	19-Mar
1	545096	417390	362.19	488.82	12.42	27.73	65.66
2	545086	417390	232.91	614.39	10.88	20.20	69.72
3	545076	417390	335.16	621.19	8.53	24.59	76.70
4	545066	417390	243.05	408.44	8.18	16.20	50.06
5	545056	417390	122.79	290.79	4.30	12.30	32.89
6	545056	417380	372.08	484.76	10.57	32.24	85.06
7	545056	417370	15.78	109.44	1.00	2.78	9.11
8	545056	417360	2.65	11.43	0.24	0.51	3.71
9	545056	417350	1.32	2.13	0.16	0.38	1.38
10	545066	417350	2.05	4.06	0.37	0.66	4.86
11	545076	417350	2.30	5.07	12.42	27.73	65.66
12	545086	417350	2.71	6.19	0.33	0.28	6.19
13	545096	417350	2.05	6.88	0.37	0.40	7.21
14	545096	417360	20.29	81.36	0.94	2.95	5.70
15	545096	417370	82.31	282.99	1.17	3.99	8.59
16	545096	417380	144.59	249.12	2.40	7.43	11.53
17	545086	417380	143.58	739.04	9.53	30.56	65.42
18	545076	417380	184.12	500.43	3.83	15.37	48.60
19	545066	417380	243.75	541.38	10.00	39.84	115.86
20	545066	417370	23.47	93.60	0.59	3.46	8.89
21	545066	417360	10.17	8.58	0.14	0.93	5.63
22	545076	417360	4.98	21.34	0.32	1.95	6.56
23	545086	417360	7.72	68.17	0.29	0.91	4.68
24	545086	417370	22.21	264.12	0.90	3.42	6.44
25	545076	417370	16.47	207.68	0.43	2.44	5.14

Ölçüm bölgesindeki enterpolasyon (ara değerlendirme) için Çevre Bilimi GS+ GeoStatistics yazılımı kullanılmıştır. Şekil 4.1 ölçüm bölgesindeki 6, 7 ve 8 Mart 2009 tarihlerinde rüzgâr olayları için sediment taşınması mekânsal dağılımını göstermektedir.



Şekil 4.1 Karapınar'daki Latif Cingözü ölçüm (tarım alanı) alanındaki a: 6 Mart, b. 7 Mart ve c. 8 Mart 2009 tarihlerinde rüzgâr erozyonu olayı için ölçüm grafiğindeki (Kg/m) taşınan sediment dağılımı

Sonuçlar, bölgenin rüzgâr erozyonuna duyarlı olduğunu göstermektedir. Şartların rüzgâr erozyonu için elverişli olduğu noktalardaki aşınmış sediment miktarının kritik olduğu kolayca fark edilebilir. Yukarıdaki şekillerde de görüldüğü üzere, sediment taşınması çoğunlukla arazilerin kuzey tarafında gerçekleşmiştir. Bunun sebebi, aşınmış sedimentin sadece ölçüm sahalarından gelmesi ve aşındırıcı rüzgârın güneyden ve güneybatıdan gelmesidir. Bu durum, bitki örtüsünün rüzgâr erozyonu sürecindeki

önemli rolünü anlamlı bir biçimde ortaya çıkarmıştır. Sonuçlar, Karapınar bölgesinin önemli bir bölümünü kaplayan kumlu topraklar gibi yüksek derecede aşınabilir ve korunmasız topraklarda doğru arazi kullanımı politikasının önemini açıkça ortaya koymaktadır.

4.1.2 Khanasser Vadisi

Khanasser vadisinde farklı arazi kullanımı temsil etmek amacıyla, altı deneme alanı seçilmiştir. Her deneme alanında yakalanan sediment miktarı ve iklim verileri çizelge 4.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2 Her rüzgâr olayında yakalanan sedimentlerin miktarı

Yer adı	Tarih	<i>Dur</i> (hh: min)	<i>WS</i> (ms^{-1})	<i>Rüzgâr</i> <i>fakörü</i> (m/s^3)	<i>WD</i> (derece)	\bar{Q} (kgm^{-1})	\bar{Q}' ($g,cm^{-1}.day^{-1}$)
Serdah A	9-30 Tem	7:48	8,8	789,0	WSW	1,1	0,5
	30Tem-6 Aug	9:25	6,9	8,7	WSW	0,7	1,0
	6-13 Aug	1:37	7,0	3,9	WSW	1,2	1,7
Serdah C	16-28 Tem	2:36	6,9	177,5	WSW	1,9	1,6
	28 Tem - 4 Aug	2:00	7,9	132,6	WSW	1,0	1,4
	4- 11 Aug	1:34	7,0	53,0	WNW	0,7	1,1
	11-18 Aug	0:21	6,9	30,7	WSW	1,0	1,5
MugheratA	13-20 Aug	1:58	5,6	17,0	SSW	0,5	0,7
	20-27 Aug	3:50	5,8	25,4	SSW	8,6	12,3
	27Aug-3 Eyl	11:50	6,2	102,8	SSW	10,5	15,1
Mugherat NA*	3-10 Eyl	13:45	6,6	126,4	SSW	3,5	5,0
	10-18 Eyl	2:20	5,4	13,9	NNE	3,6	5,1
	18-25 Eyl	2:30	5,6	9,1	ESE	2,3	3,3
Um Mial	16-28 Tem	18:10	4,9	83,1	WSW	4,8	4,0
	28-4 Aug	1:43	4,6	65,7	WSW	1,6	2,3
	4-11 Aug	2:06	7,0	31,5	WSW	0,6	0,8
	11-19 Aug	0:58	7,0	23,7	WSW	1,1	1,6
Adami	9-16 Eyl	17:0	6,9	42,3	ESE	3,5	5,0
Gazelle	16-23 Eyl	8:50	6,2	26,6	ESE	3,6	5,1
	23-30 Eyl	21:03	5,3	6,2	SSW	0,7	1,0

Burada, Dur: Rüzgâr olayın süresi, WS: rüzgâr hızı, WD: rüzgâr yönü, Q: sediment sediment kütle akışını işaret etmektedir.

Bütün rüzgâr olaylarından alınan verilere karşı YRED modeline yoğun kalibrasyon işlemleri uygulanmıştır. Kalibrasyonun amacı ölçülen ve tahmin edilen veriler arasındaki farkları en aza indirmektir. Kalibrasyon çalışması sonrasında modelin orijinal formatında yer alan 6 adet parametrede düzenleme yapılmıştır. Çizelge 4.3'te modelin tahmin ettiği sediment kütle akışı gösterilmektedir.

Çizelge 4.3 Kalibre edilmiş YRED modelinin her ölçüm yeri için tahmin ettiği sediment miktarı

Yer Adı	Tarih	Rüzgâr fakörü (m/s) ³	Q(x) ortalama (kgm ⁻¹)		Q'(x) ortalama g.cm ⁻¹ ,day ⁻¹ ₺	
			Her olay	Ortalama	Her olay	Ortalama
Serdah A	9-30 Tem	789,0	1,7		0,8	
	30 Tem -6 Aug	8,7	0,0	0,6	0,0	0,3
	6-13 Aug	3,9	0,0		0,0	
Serdah C	16-28 Tem	177,5	0,8		0,7	
	28 Tem -4 Aug	132,6	0,7	2,0	1,0	2,8
	4- 11 Aug	53,0	3,8		5,4	
Mugherat A	11-18 Aug	30,7	2,8		4,0	
	13-20 Aug	17,0	2,1		3,0	
	20-27 Aug	25,4	2,8	5,2	4,0	7,4
Mugherat NA	27Aug-3 Eyl	102,8	10,7		15,3	
	3-10 Eyl	126,4	2,2		3,2	
	10-18 Eyl	13,9	0,2	0,9	0,3	1,2
Um Mial	18-25 Eyl	9,1	0,2		0,2	
	16-28 Tem	83,1	2,3		1,9	
	28-4 Aug	65,7	1,8	1,4	2,6	1,7
Adami Gazelle	4-11 Aug	31,5	0,8		1,4	
	11-19 Aug	23,7	0,7		1,0	
	9-16 Eyl	42,3	0,2		0,3	
	16-23 Eyl	26,6	3,7	1,6	5,3	2,2
	23-30 Eyl	6,2	0,7		1,1	

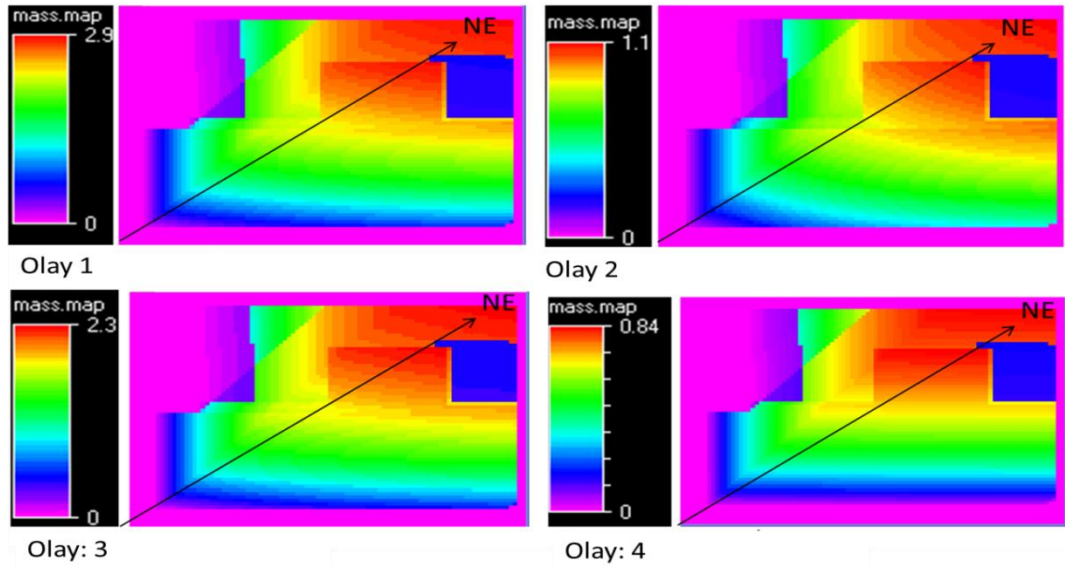
4.2 Kalibrasyon sonuçları

4.2.1 Kalibrasyon parametreleri

Model kalibrasyon sonuçları çizelge (4.4) de gösterilmiştir. Bu çizelgede hem orijinal değerler, hem de kalibrasyon olayında kullanılan değerler ve kalibrasyon sonuçları gösterilmektedir. Elde edilen parametreler YRED modeli ayarlamak için kullanılmıştır. Yeni model ile Khansser vadisinde, ölçüm alanlarında sediment kütle akış miktarları tahmin edilmiştir. Şekil 4.5’de modelin tahmin ettiği konumsal sediment kütle akış miktarı (kg.m^{-1}) Um Mial ölçüm yeri için örnek olarak verilmiştir.

Çizelge 4.4 YRED modelin 6 parametresi için kalibrasyon sonuçları

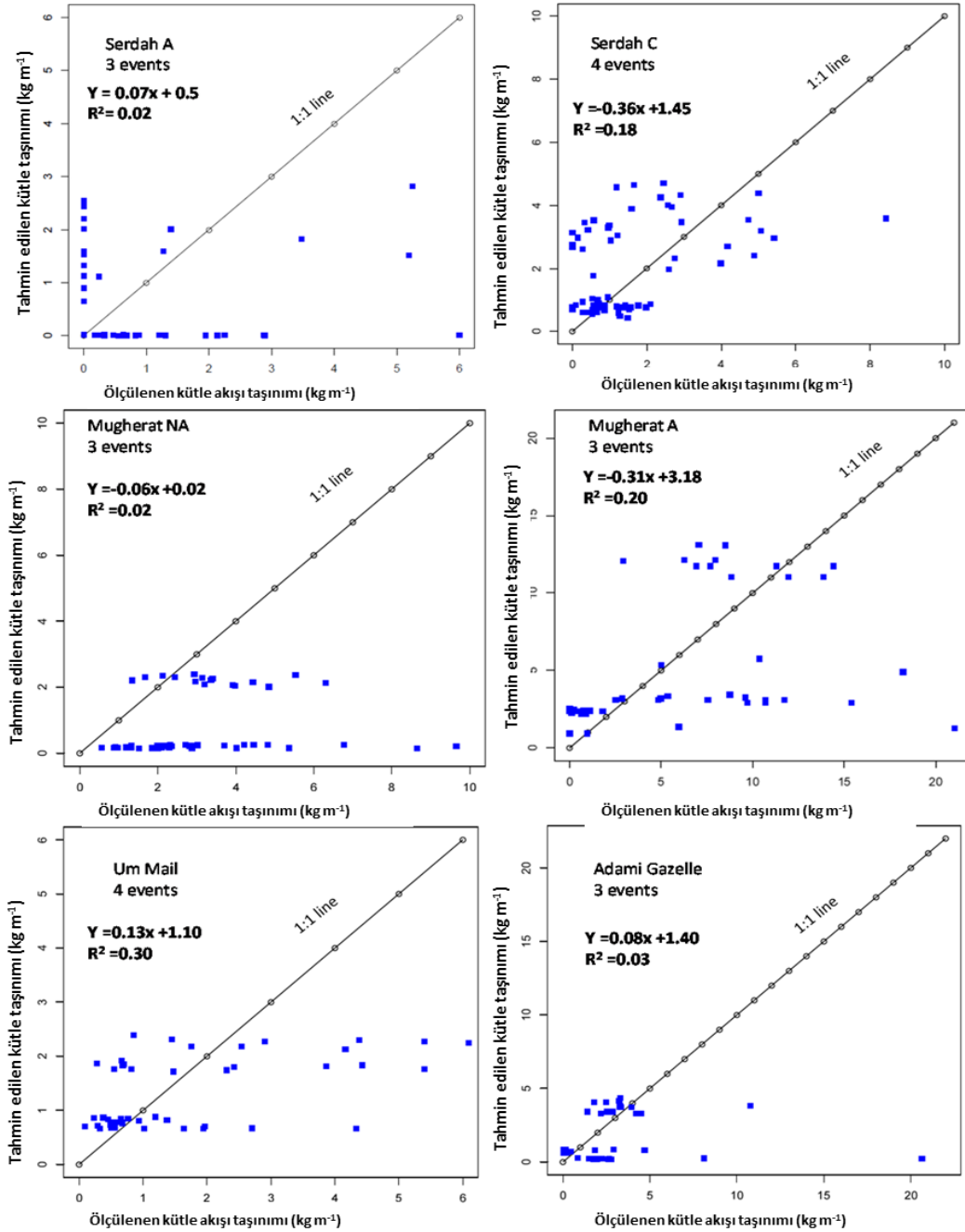
Parametre (-)	Asıl değerler (-)	sınır değerler (-)	Kalibrasyon sonucu (-)	MSE_{tot} (-)
μ_{Sa}	150,71	100 – 350	300	208,3
μ_{Sb}	0,3711	0,03 – 0,17	0,03	
μ_{Ut}	-	3 – 4,2	3	
μ_{EF}	29,09	4 -14	6	
μ_{SLRC}	5,614	1,2 – 2,7	1,7	
μ_{Ktot}	0,124	0,03 – 0,11	0,03	



Şekil 4.2 Ayarlanmış YRED modelinin 5 farklı rüzgâr olayı için tahmin ettiği konumsal kütle taşınması dağılımı (kg.m^{-1})

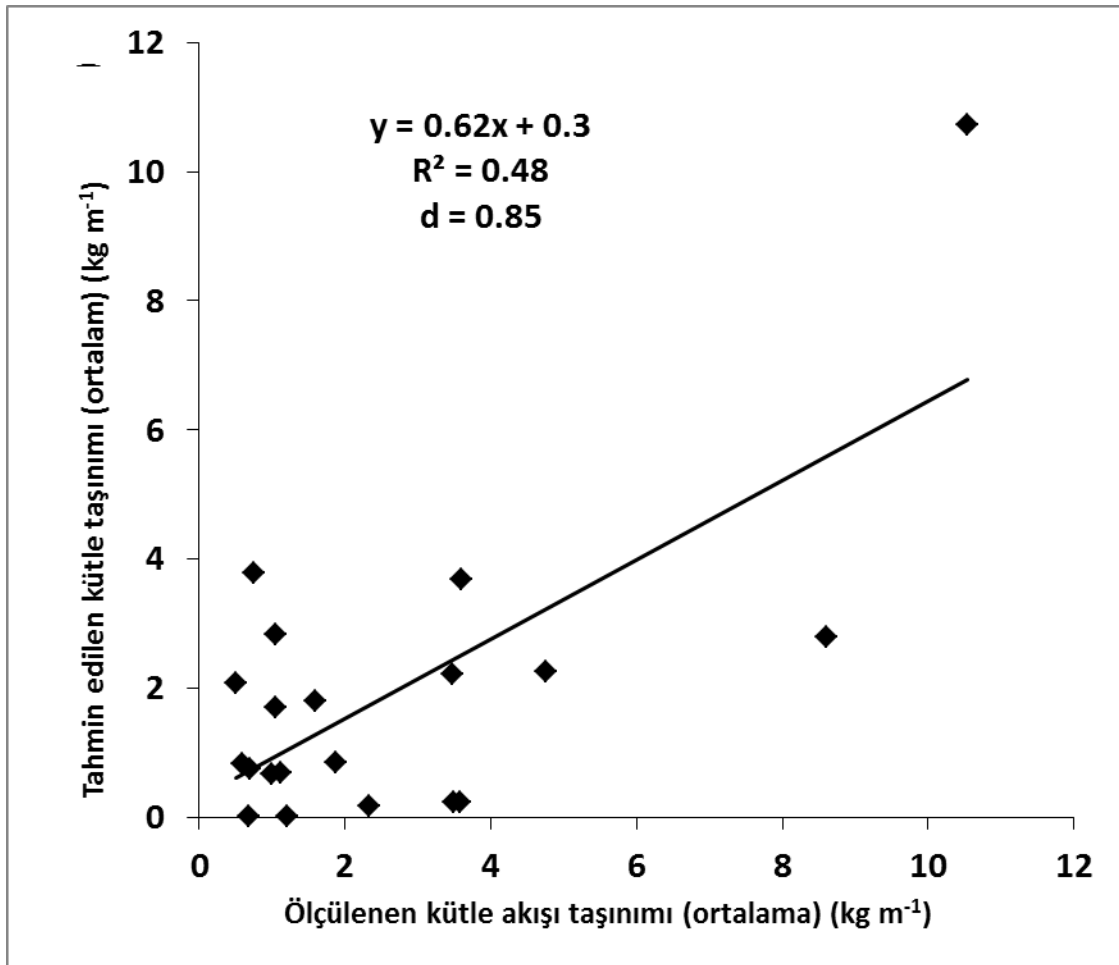
4.2.2 Ölçülen ve tahmin edilen sediment akışları arasındaki ilişkiler

Araziden ölçülen sediment akış modelinin tahmin ettiği sediment akış ilişkileri incelenmiştir. Şekil 4.3 ve Şekil 4.4 bu ilişkileri göstermektedir.



Şekil 4.3 Her ölçüm yeri için ve her tutucu için, ölçülen ve modelin tahmin ettiği sediment kütle akış değerleri arasındaki ilişkiler

Şekil 4.3’de her tutucu (yakalayıcı) için, arazilerde ölçülen ve tahmin edilen (kalibre edilmiş YRED modeli kullanılarak) sediment kütle akış miktarları arasındaki ilişki görülmektedir. Burada açıkça görüleceği üzere, Um mial, Mugherat A ve Serdah C diğer araziler ile karşılaştırıldığında korelasyon değerleri oldukça yüksektir. Ancak, Serdah A ve Mugherat NA için korelasyon oldukça zayıf olarak gözlenmiştir. Bu durum “dust devil” olayları ve denemeler esnasındaki düzensiz hayvan hareketleri ile açıklanabilmektedir. Çalışmanın amacı bölgesel olarak rüzgâr erozyonu değerlendirmesi ve modellenmesi olduğundan, bu tür ani olaylar YRED modelinde değerlendirilmemiştir. Şekil 4.4’de sediment ortalamaları üzerinden ölçülen ve tahmin edilen sediment kütle akışları arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Ölçülen ve tahmin edilen sediment kütle akışları arasındaki korelasyon değeri, modelin içinde süreç ve parametre sayıları göz önüne alındığında kabul edilebilir.



Şekil 4.4 Her ölçüm yeri için, 16 sediment tutucunun tuttuğu sediment akış değerlerinin ortalaması ve YRED modeli tarafından tahmin edilen sediment akış ilişkileri

4.3 Rüzgâr Tüneli Sonuçları

4.3.1 Rüzgâr tüneli simülasyonlarının değerlendirilmesi

P.A, P.B, P.C ve P.D desenlerindeki her bir desende tabla boyunca ölçülen kum yüksekliğinin konumsal dağılımı 2. ve 3. deneme için benzer bulunmuştur (Çizelge 4.4). Ayrık (divergent) standart sapmalara (σ) ve desenlerdeki değişikliklere bağlı olarak, birinci deneme hazırlık denemesi olarak ele alınabilir. 1. deneme ile 2. ve 3. deneme sonuçları arasındaki farklılık bitki örtüsü ögesinin bir kısım sedimenti tutmasıyla ve tutulum etkililiğindeki olası değişikliklerle açıklanabilir. 1. denemeden sonra, yumuşak bir fırça kullanarak çalıların etrafındaki kumlar temizlenmiş olsa da, küçük model çalılarının yaprakları arasındaki kum parçaları tamamen temizlenememiştir.

Çizelge 4.5 Her deneme (r1, r2 ve r3) ve her bitki deseni için ortalama kum yükseklikleri ve standart sapmaları (σ)

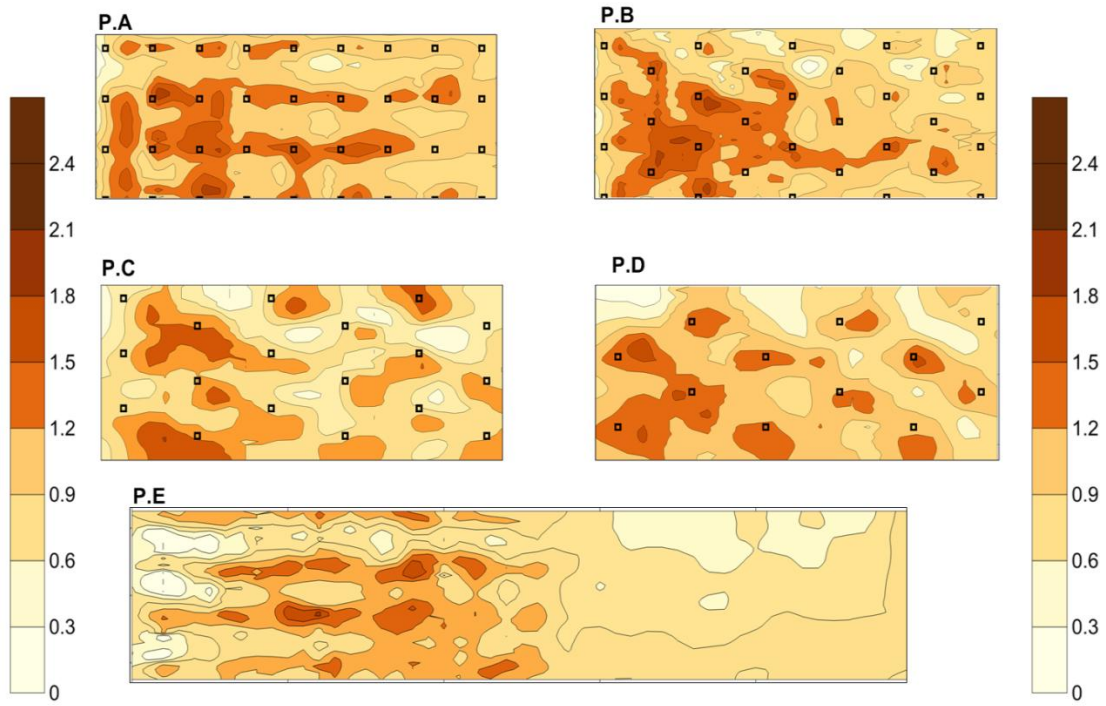
Desen	P,A			P,B			P,C			P,D		
	r1	r2	r3	r1	r2	r3	r1	r2	r3	r1	r2	r3
Yükseklik (cm)	1,25	1,36	1,37	1,01	1,35	1,31	0,95	0,78	0,78	0,97	1,08	0,85
σ	0,16	0,21	0,21	0,15	0,21	0,18	0,15	0,16	0,13	0,14	0,11	0,11
Ortalama	0,21			0,20			0,15			0,11		

*birinci deneme anık denemesi olarak kabul edildiğinden ortalamalar ikinci ve üçüncü deneyler için hesaplanmıştır

P.E deseninde gelen sediment, rüzgâr yönünde yukarı sınırdaki ortaya çıkmadığı için kum yüksekliğinin tabla boyunca konumsal dağılımı 1. ve 2. deneme için benzer bulunmuştur. 3. deneme hesaplamalara dâhil edilmemiştir, çünkü 1. ve 2. deneme sırasında sürüklenen kumlar 3. deneme öncesinde yerine konamamıştır. Bu durum model çalılarının yaprakları arasına kum ekleme gücünden kaynaklanmıştır, 3. deneme ile

hem 1. hem de 2. deneme arasında erozyon ve birikim açısından büyük farklılıklara neden olmuştur.

Şekil 4.6'de her bir deneme deseni için tünel içinde ölçülen kum yüksekliğinin konumsal dağılımları yer almaktadır. Kum yüksekliğinin konumsal dağılımı, 2. ve 3. denemelerde her bir çıplak kuma karşı bitki örtüsü senaryosu için ve 1. ve 2. denemelerde bitki örtüsüne karşı (rüzgâr yönünden) bitki örtüsü sonra bitki örtüsüz senaryo için ortalamaya yaklaşmıştır.



Şekil 4.5 Her bir bitki deseni için tünel içinde belirli yüksekliklerde ölçülen sediment miktarlarının konumsal dağılımları

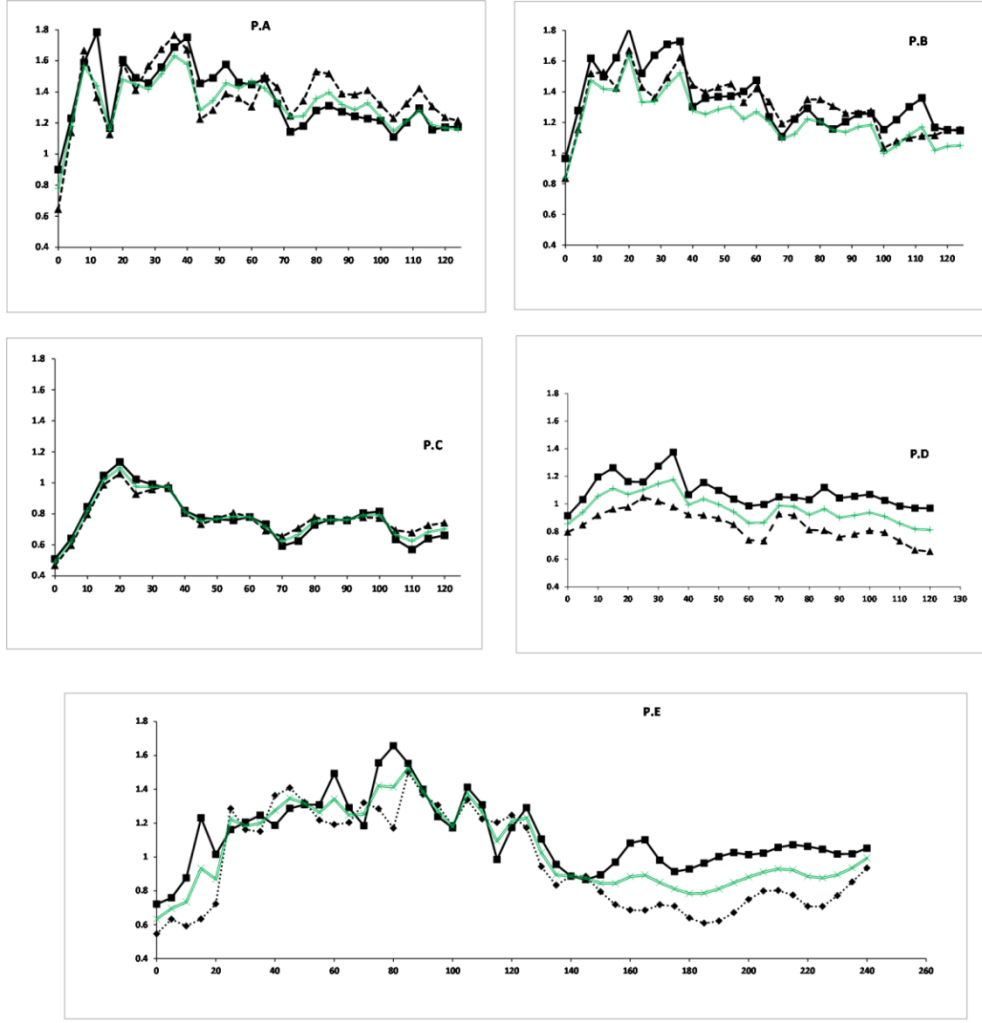
Tabla boyunca kum yüksekliği testten önce 1 cm olduğu için, 1 cm'nin üzerindeki değerler birikimi göstermekte ve 1 cm'nin altındaki değerler ise erozyonu göstermektedir. Tablanın ilk 125 cm'lik kısmı çıplak kuma karşı bitki örtüsü desenleri için analize dâhil edilmemiştir. Çünkü tablanın bu kısmı her bir denemeden sonra boş kalmıştır.

P.A deseninde, çalılar arkasında sediment birikimi gerçekleşmiştir. Birikim miktarı, bitki örtüsü olan ünitenin rüzgâr yönünün yukarı sınırından aşağı sınıra (ya da sınırlara) doğru azalma göstermiştir. Sıralar arasındaki alanda rüzgâra paralel yönde aşağı kısımlarda artan oranlarda erozyon meydana gelmiştir. P.B. deseninde, çalılar arkasında rüzgâr yönünde yukarıya doğru yüksek oranlarda sediment birikimleri gözlenmiştir. 5. çalı sırasından (rüzgâr yönüne dik) tablanın sonuna kadar birikimde azalma olmuş ve az miktarda da erozyon kaydedilmiştir.

P.C ve P.D desenlerinde erozyon hâkim olmuştur, ancak bitki örtüsü bulunan parçalar arkasında düşük düzeyde birikim de görülmüştür. P.E deseni, tablanın rüzgâr yönünde yukarıya doğru olan sınırında farklı erozyon özellikleri göstermiştir. 3. çalı sırasından sonra, tablanın bitki örtüsüyle kaplı kısmının sonuna kadar giderek artan sediment birikimi gözlenmiştir. Arazinin çıplak kısmında ve 5-10 cm uzaklığında bu, bitki örtüsü elemanlarının yüksekliğinden yaklaşık 2-5 kat daha fazla oranda yükseklik anlamına gelmektedir – erozyon başlamıştır. P.A ve P.B desenleri için ortalama (0,21 cm, 0,20 cm) P.C. ve P.D için hesaplanan σ 'den (0,15 cm, 0,11 cm) daha yüksektir. Bu nedenle, daha az sayıda bitki deseni elemanı içeren desenlerde (P.C ve P.D), daha fazla sayıda bitki örtüsü elemanı içerenlere (P.A ve P.B) oranla daha homojen yüzeyler görülmüştür.

4.3.2 Test edilen alanlar için ortalama sediment yüksekliği

Rüzgâr yönünde erozyon veya birikimin genel eğilimini değerlendirmek için, rüzgâr yönüne paralel kesitler hesaplanmıştır. Her 5 cm için tüm kum yüksekliklerinin ortalaması hesaplanmış ve yerleri belirlenmiştir (Şekil 4.6). İlk 125 cm'lik mesafe P.A, P.B, P.C ve P.D desenleri analize dâhil edilmemiştir, çünkü tablanın bu kısmı her bir denemede çoğunlukla boş kalmıştır.



Şekil 4.6 Çalışma alanı boyunca her bitki deseni için ikinci ve üçüncü denemelerin ortalama kum yükseklikleri

X eksen: vejetasyon sınırlarından rüzgâr yönünden yatay mesafe (cm), Y eksen: kum yüksekliği

Şekil 4.6'da P.A, P.B, P.C ve P.D desenlerinin her biri için 2. ve 3. denemelerin birbirine benzer sonuçlar meydana geldiği ve desenler arasında açık ve tutarlı farklılıklar olduğu görülmektedir. Küçük farklılıklar denemeler sırasında rüzgâr hızındaki değişimler ile açıklanabilmektedir.

P.A ve P.B desenlerinde, tablanın çıplak ve bitki örtülü kısımları arasındaki sınırdaki küçük bir şerit halinde erozyon olduğu gözlenmiştir. Rüzgârın kesme hızı çalılıkların varlığı nedeniyle azaldığında, toprak sürüklenmesi oranları da düşmüştür.

Net birikim, bitki örtüsü sınırından 2,5 ile 120 cm rüzgâr yönünde diğer yöne doğru meydana gelmiştir. Kum birikimi, sınırdan başlamak üzere, rüzgâr yönünden aşağıya doğru 20 cm ile en yüksek düzeyine ulaşmıştır. Bundan sonra, birikim giderek azalmış ve sınırdan 100 cm sonra bir dengeye ulaşma (ne erozyon ne de birikim olmuştur) eğilimi göstermiştir (Şekil 4.7) .

Bitki örtüsü bölgesi boyunca, P.A ve P.B desenlerine zıt olarak, P.C deseninde, rüzgâr yönünden aşağıya doğru devam eden net bir erozyon ortaya çıkmıştır. Daha seyrek dağılmış çalılar, sürtünme hızı üzerinde daha az etkili olmuştur. Bu da kesme hızının yüksek kalmasına ve doğal olarak daha yüksek oranda erozyonun oluşmasına neden olmuştur. Yüzey örtüsü yüzdesi P.A ve P.B desenlerindeki benzer olsa bile, P.C deseninde bitki örtüsü sınırında ilk 15 cm boyunca süregelen erozyon, bu desendeki bitki örtüsü elemanlarının erozyondan korunmak için yetersiz ve çok seyrek kaldığını göstermiştir.

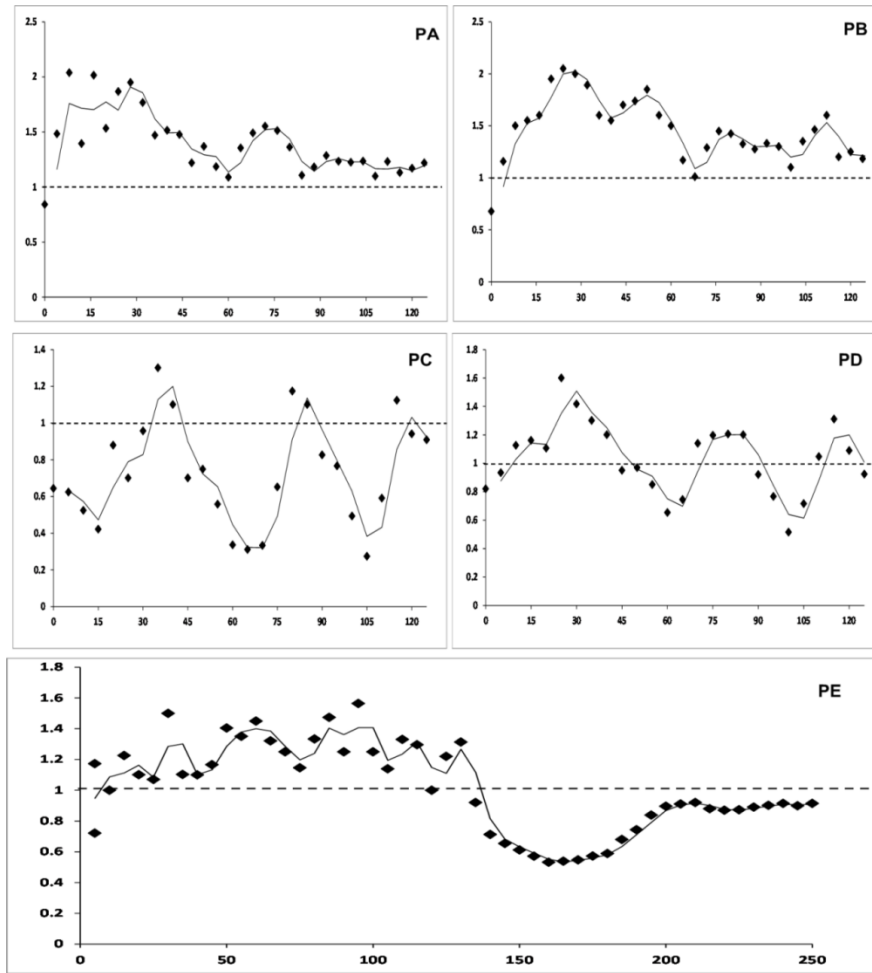
P.D deseninde 2. ve 3. denemedeki kum yükseklikleri ortalama 0,23 cm sapma (Çizelge 4.4) göstermiştir. Ancak iki denemede de hemen hemen aynı desen gözlenmiştir. Cüzi oranda gözlenen farklılığın nedeni, iki deneme arasında $10,5 \text{ m s}^{-1}$ üzerindeki rüzgâr hızları süresinin – 2. deneme için 216 sn ve 3. deneme için 306 sn – farklılaşmasıdır. Sürenin artmasıyla daha fazla sediment taşınmıştır. Ayrıca bu desenin her iki denemesinde, sınırdan sonraki ilk 10 cm’de, 2. denemede birikim ve 3. denemede erozyon oluştuktan sonra, halen erozyon olduğunu göstermiştir. Özellikle 2. denemede, bitki örtüsü sınırından rüzgâr yönünde aşağı ve tablanın sonuna doğru 50 cm. uzaklıkta, erozyon veya birikim olmamış ve denge durumu gözlenmiştir. 3. denemede ise, 30 cm’den 65 cm’ye kadar erozyonda bir artış olmuştur; sonrasında 65 cm ile 85 cm arasında erozyon azalmıştır ve 85. cm’den tablanın sonuna kadar erozyon yine yükselme eğilimi göstermiştir.

P.E. deseninin (bitki örtüsüne karşın çıplak toprak senaryosu) bitki örtüsü bulunan kısmında net bir kum birikimi olmuştur. Bu birikim, bitki örtüsü bulunan alanın sınırından sonra 10-20 cm arasında başlamıştır. Benzer bir bitki örtüsü deseni olan P.A’da gözleendiği gibi, çalılar rüzgâr kesme hızında (rüzgâr sürtünme hızında)

azalmaya neden olmuş ve böylece çıplak kum yüzeyine oranla daha düşük erozyon meydana gelmiştir.

4.3.3 Boylamsal kesit boyunca (0.6 m) aralıklı kum yükseklikleri

Tabla boyunca kum yükseklikleri dağılımına ilişkin daha fazla detay için 1 cm genişliğinde (Y yönünde), tablanın ortası boyunca kum yükseklikleri kesiti (Y = 0.6 m, rüzgâr tünelinin ortası) her bir desen için iki denemenin ortalaması kullanılarak hesaplanmıştır (Şekil 4.7).



Şekil 4.7 Tablanın ortası boyunca kum yükseklikleri kesiti

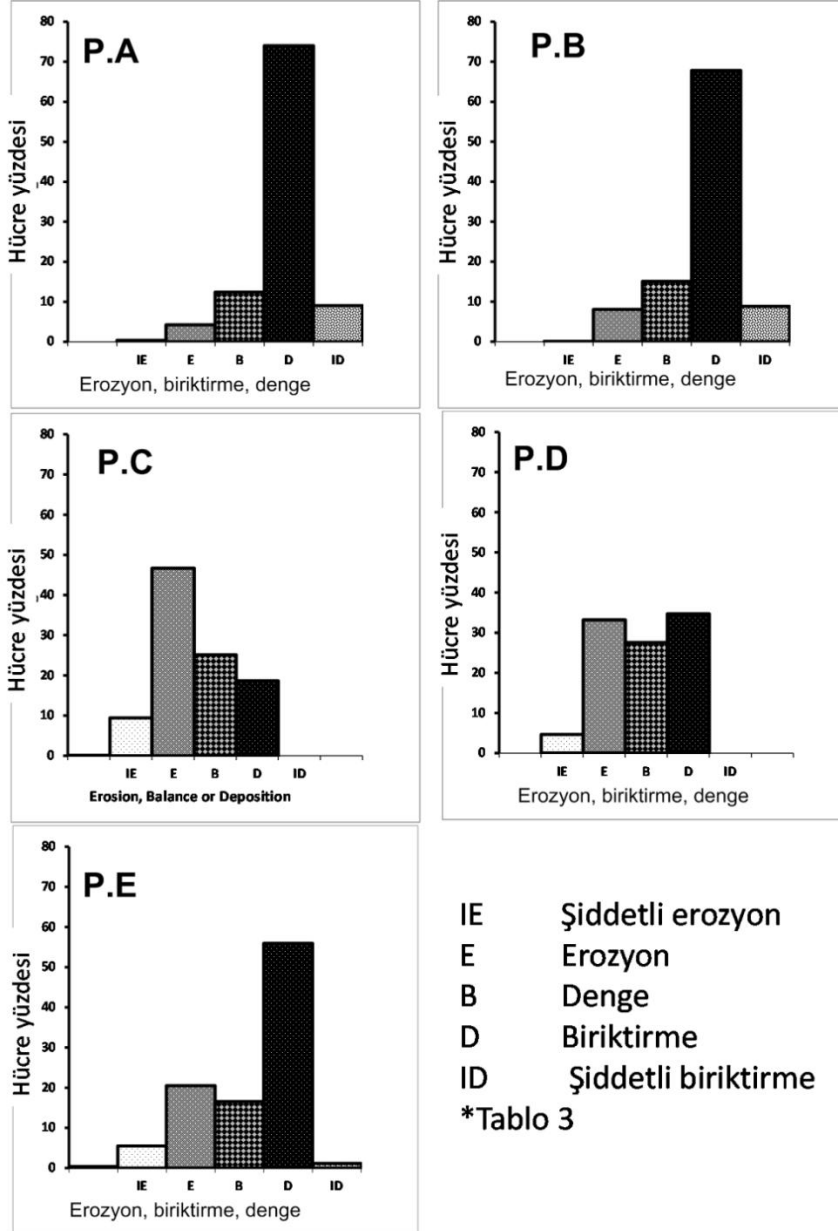
X eksen: vejetasyon sınırından rüzgâr yönünden yatay mesafe (cm), Y eksen: kum yüksekliği

P.A ve P.B desenlerinde, rüzgâr yönünde yukarıya doğru olan sınırında küçük bir şerit halinde net erozyon gözlemlendikten sonra, tablanın hemen hemen tamamında net bir

birikimin olduğu belirlenmiştir (şekil 4.7). P.C. deseninde, net birikimler 30 ila 45 cm ve 80 ila 90 cm uzaklıklarında k¼¼k alanlarda meydana gelmiştir. P.D deneme deseninde, ilk 45 cm' de birikim baskın olmuştur. Bundan sonra ise, net erozyon ile net birikim neredeyse birbirine eşit olarak saptanmıştır. P.E deseninde ilk 15 cm' deki net erozyonu, genellikle bitki ¼rt¼s¼ ile kaplı alandaki net birikim takip etmiştir ve net erozyon ise çıplak kum y¼zeylerinde baskın olmuştur.

4.3.4 Test edilen alanlardaki erozyon ve birikme

Toprak koruma projeleri çerçevesinde, uygun bitki ¼rt¼s¼ desenini seçebilmek için erozyon ve birikimin tam etkisinin bilinmesi ¼nemlidir. Belirli bir bitki ¼rt¼s¼ y¼zeyine veya dağılımına sahip arazilerde erozyon veya birikimin genel eğilimini belirlemenin yanı sıra, erozyon veya birikimin ilişkili uzaklıklarla beraber b¼lgedeki şiddetini bilmek de hayati ¼nem taşımaktadır. Kum s¼r¼klenmesinin etkilerini tespit edebilmek için, kum y¼kseklileri ile erozyon veya birikimin şiddeti arasındaki ilişki beş sınıf altında tanımlanmıştır (izelge 4.5). şekil 4.8'de ise her bir bitki ¼rt¼s¼ deseninde iki denemenin ortalamaları için bu sınıflandırmanın sonuçları g¼sterilmiřtir. Bu ilişkilerin ortaya konulmasında tablanın sadece bitki ¼rt¼s¼ bulunan kısmı analiz edilmiştir.



Şekil 4.8 Tabla boyunca belirlenen erozyon, denge durumu veya birikim hücrelerinin yüzdesi (1 piksel 4 cm x 1 cm)

Çizelge 4.6 Kum yükseklikleri ile erozyon ve birikimin sınıflandırılması

Kum yüksekliği	0.0-0.45 cm	0.45-0.90 cm	0.90-1.10 cm	1.10-1.80 cm	1.80 -2.50 cm
Açıklama	Şiddetli Erozyon	Erozyon	Denge Durumu	Birikim	Şiddetli Birikim
Sembol	IE	E	B	D	ID

P.A ve P.B desenlerinde hücrelerin büyük çoğunluğunun birikim ile ilişkili olduğu görülmesine karşın, erozyonun da küçük ölçeklerde meydana geldiği görülmektedir (Şekil 4.8). Bitkiler arası koridor etkisinin olası etkilerine rağmen, P.A ve P.B desenlerinde erozyonun sırasıyla hücrelerin sadece %4.5'inde ve %8'inde meydana geldiğine de dikkat edilmelidir. P.C deseninde erozyon oldukça yüksek bulunmuş ve hücrelerin %56.3'ünde görülmüştür. P.C deseninde meydana gelen erozyon ve birikim P.D deseni ile karşılaştırıldığında, P.D deseninde erozyonun daha düşük (%37.8) ve birikimin daha fazla (%37.4) olduğu görülecektir. P.E'nin bitki deseni P.A ile aynı olmasına karşın, P.E'deki erozyon ile ilişkili hücre yüzdesi (%26.4) P.A' dan (%4.5) çok daha yüksek bulunmuştur.

4.3.5 Büyük ölçekli değerlendirmeler

Rüzgâr erozyonunu anlamak için, rüzgârla taşınan toprak akışı üzerine farklı toprak üniteleri arasındaki sınırların etkileri bölgesel düzeyde çok önemlidir. Bu çalışmada bulunan değerler, baskın rüzgâr yönü boyunca, çıplak ve bitki örtüsü bulunan alanlarda, rüzgârla dağılan sediment kütle akışlarının sınır etkisine ilişkin önemli bir kavrama işaret etmektedir.

a) Çıplak ve bitki örtüsü bulunan toprak üniteleri arasında sediment kütle akışı

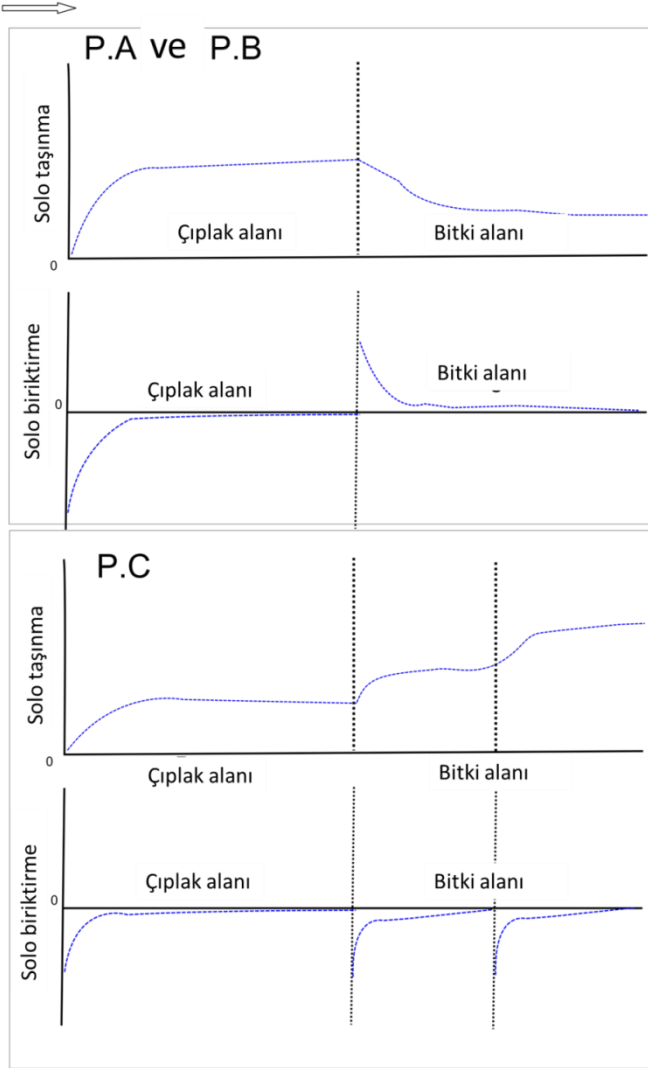
Fryrear vd. (1998)'ın teorilerine göre sedimentin, çıplak toprak ünitesinde hareket ettiğinde, alan uzunluğunun sınırlandırılmadığı koşullarda maksimum akışa belli bir uzaklıktan sonra ulaşması beklenmektedir. Bitki örtüsü bulunan bir sınırdan geçerken teori yeni bir akış süreci başlayana kadar birikimin meydana geldiğini belirtmektedir. Aslında bitki örtüsü, bitki örtüsü sınırından rüzgâr yönünde aşağıya doğru sediment konsantrasyonunun da bir düşüşe neden olmaktadır çünkü hareket eden sedimentin önemli bir kısmını hapsedir. P.A ve P.B desenleri ile P.D deseninin 2. denemesi bu teoriyle tutarlı sonuçlar göstermiştir. Sediment-yüklü hava akımı bitki örtüsünün sınırına ulaştıktan sonra birikim oluşur ve sonuçta denge sağlanır. P.A ve P.B desenleri için tam anlamıyla bir dengeye ulaşılmasa da eğilim birikimin düştüğünü açıkça göstermektedir. Bu sonuç, bitki örtüsünün rüzgâr hızını azaltma üzerindeki etkisi ile bitki örtüsünün tutma kapasitesinin rüzgâr yönünde yukarıya doğru sınırlarda yükseldiğini belirten

Chen vd. (1995), Gash (1986), Irvine vd. (1997) ile Wuyts vd. (2008) bulgularıyla da tutarlıdır.

P.C deseniyle ve P.D'nin 3. denemesinden elde edilen bulgular bu teoriyle tutarlı değildir. P.C deseninde, bitki örtüsü olan alandaki sediment kütle akışı çıplak alandakinden daha fazladır (Şekil 4.9). P.D deseni için 2. denemede desen ve % örtü, erozyonla birikim arasında bir dengeye ulaşmak için yeterli olmuştur, 3. denemede (daha yüksek rüzgâr hızı) daha fazla erozyon oluşmuştur.

Daha önce gerçekleştirilen pek çok araştırma, minimum düzeyde belirli bir rüzgâr hızıyla birleşen sınırlı yüzey örtüsünün (% 5-7,5) rüzgârla dağılan sediment kütle akışını artırabileceğini göstermiştir (Raupach, 1990; Raupach, 1992; Raupach vd. 1993; Michels vd. 1995; Sterk vd. 1998; Maurer vd. 2009). Bunun nedeni de sınırlı bitki örtüsünün neden olduğu türbülans artışıdır. Rüzgâr hızının sediment kütle akışının artışı üzerindeki etkisi P.D deseni için 2. ve 3. denemeler arasındaki farklılıkla gösterilmiştir. Ancak, bu çalışmalarda bitki örtüsünün ortamsal dağılımının etkisinden bahsedilmemiştir. Bitki örtüsü (%11) tüm desenler için aynı olsa da P.C deseni sediment kütle akışındaki artışı açıkça göstermiştir ve P.D deseni için 3. denemede daha yüksek rüzgâr hızı nedeniyle sediment kütle akışı artış göstermiştir. Bu sonuçlar, bitki örtüsü deseninin rüzgârla dağılan sediment kütle akışında artışa – büyük ihtimalle türbülanstaki artış nedeniyle – neden olabilecek diğer bir faktör olduğu sonucuna varmamızı sağlamıştır. Bu nedenle, özellikle yüksek rüzgâr hızına sahip bitki örtüsü olan bir bölgede, bitki örtüsündeki parçalıklı yapı rüzgâr erozyonunu ivmelendiriyor olabilir savını güçlendirmektedir (Sterk ve Spaan 1997).

Rüzgar



Şekil 4.9 Çıplak ve bitkisel örtünün (vegetasyon) olduğu alanlardaki taşınma ve depolanma şeması

Daha önce gerçekleştirilen pek çok araştırma, minimum düzeyde belirli bir rüzgâr hızıyla birleşen sınırlı yüzey örtüsünün (% 5 - 7,5) rüzgârla dağılan sediment kütle akışını artırabileceğini göstermiştir (Raupach, 1990; Raupach, 1992; Raupach vd. 1993; Michels vd. 1995; Sterk vd. 1998; Maurer vd. 2009). Bunun nedeni de sınırlı bitki örtüsünün neden olduğu türbülans artışıdır. Rüzgâr hızının sediment kütle akışındaki artış üzerine olan etkisi P.D deseni için 2. ve 3. denemeler arasındaki farklılıkla belirgin bir biçimde görülmektedir. Ancak, bu çalışmalarda bitki örtüsünün ortamsal dağılımının etkisinden bahsedilmemiştir. Bitki örtüsü (%11) tüm desenler için aynı olsa da P.C ve P.D deseni için 3. denemede ölçülen sediment kütle akışlarında yüksek rüzgâr hızlarının

etkisi açıkça görülmektedir. Bu sonuçlar, bitki örtüsü deseninin rüzgârla sediment kütle akışında artışa – büyük ihtimalle türbülanstaki artış nedeniyle – neden olabilecek diğer bir faktör olduğu sonucuna varmamızı sağlamıştır. Bu nedenle, bitki örtüsü olan bir bölgede, bitki örtüsünün aralıklı parçaları özellikle yüksek rüzgâr hızı koşullarında rüzgâr erozyonunu şiddetlendirebileceği sonucuna ulaşmamızı sağlamıştır.

4.3.6 Küçük ölçekli değerlendirmeler

Bitki örtüsü desenin genel erozyon veya birikim üzerindeki etkilerinin bölgesel düzeyde incelenmesinin önemli olmasının yanı sıra küçük ölçeklerdeki etkisini incelemek de gerekmektedir. Bu çalışmada, bitki örtüsü desenlerinin hiçbirinin sediment kütle akışını tam olarak önleyebilecek biçimde toprak yüzeyini korumadığı belirlenmiştir. Özet olarak, bitki örtüsünün küçük ölçekli etkilerine ilişkin çalışma kapsamında elde edilen bulguları aşağıda belirtilmektedir.

a) ‘Sokak’ etkisi: Bu kavram, erozyon bölgelerinin oluşumunun sokaklara benzediği anlamına gelmekte olup, bitki örtüsü sıralarının rüzgâr yönüne paralel olduğu P.A deseninde oldukça belirgindir. Bowker vd. (2008), araştırmalarında kuzey Chihuahua çölünde kum fırtınalarında çalılar arasında rüzgâr yönünde aşağıya doğru benzer erozyon ‘sokakları’ bulmuşlardır. Bu etkinin, özellikle yeniden bitkilendirme projelerinin tasarımında göz önünde bulundurulması son derece önemlidir.

Eğer çalışmanın amacı taşınan sedimentin belli bir alana erişmesini önlemek ise, P.B deseni P.A deseninden daha etkin olduğu söylenebilir. Ancak, amaç tüm bölge boyunca sediment hareketlerini azaltmak ise P.A deseni kullanılmalıdır. Özetle, baskın rüzgâr yönü göz önünde bulundurulduğunda ağaç veya çalı sıraları, bitki örtüsü desenleri sokaklara benzer şekilde erozyon bölgelerinin oluşmasına neden olabilir. Bu durum, sedimentin bir kısmının korunan alana ulaşmasına ancak toplam sediment kütle akışının azalmasına neden olmaktadır.

b) Erozyon ve birikimin ortamsal sıralaması: Toplamda, P.C ve P.D desenleri temelde erozyonla ilişkili olsa da, şekil 4.6’da verilen kesitler erozyon ve birikimin – aynı anda

sadece birinin meydana gelmesi değil – ortamsal sıralamasının görülebileceğini ifade etmektedir. Birikim, Y yönünde rüzgâra dik olarak bitki örtüsü “elemanlarının” her iki yanında da kumun yeniden dağılımı ile ilişkilendirilebilir. Bu küçük ölçekli birikim net değildir ve bölgesel ölçekte olanları ele alırken görmezden gelinebilir. Ancak, koruma projesinin odağı mikro ölçekte rüzgâr destekli sediment kütle akışının etkisini içeriyorsa, bu erozyon ve birikim bölgeleri özel öneme sahip hale gelebilir.

c) Koruma bölgesi: Komşu toprak ünitesindeki küçük koruma bölgesi, yani rüzgâr kırılmalarının koruma etkisi, yapılan önceki araştırmalarda ağırlıklı olarak bitki örtüsü yüksekliğinin 10 ile 20 katı arasında olacak şekilde belirtilmektedir (Skidmore ve Hagen, 1977; Heisler ve Dewalle, 1988; Cornelis ve Gabriels, 2005). Bu çalışma kapsamında elde edilen bulgular da daha önce yapılan araştırmaları destekler niteliktedir. Örneğin, bitki örtüsü yüksekliğinin 2-2,5 cm olduğu P.E deseninde korunan bölgenin 20-25 cm olduğu açıkça görülmektedir (Şekil 4.6). Bu durum, birikim alanının P.E deseninde (çıplak alan içerisinde) bitki örtüsü bulunan alanın doğrudan arkasında görülmesini açıklamaktadır (Şekil 4.6).

4.3.7 Erozyon veya birikimle ilişkili alanların büyüklükleri

Yeniden bitkilendirme projesinin amacına bağlı olarak erozyon veya birikim alanlarının büyüklükleri göz önünde bulundurulmalıdır. Özellikle yerleşimleri korurken, sediment kütle akışının tam olarak dağılımı çok önemli olabilmektedir. Dört bitki örtüsü deseni senaryosunu test eden bu araştırmanın sonuçları, P.A, P.B ve P.E desenlerinin birikim, P.C’nin erozyon ve P.D’nin de temelde net bir denge ile nitelendirildiğini göstermektedir.

Her alandaki bitki örtüsü elemanlarının sayısı toplam etkide bir rol oynuyor gibi gözükmektedir. P.B desenine (32) oranla P.C desenindeki daha yüksek sayıda bitki örtüsü ‘elamanı’ (18), erozyon görülen hücre yüzdelinde bir düşüşe neden olmuştur. Örneğin, P.C’de % 56.3 iken P.B’de % 8.2’ dir. Bu sonuçlar, rüzgâr olaylarından sonra her bir bireysel bitki örtüsü elemanı arkasında birikim gözlendiğini belirten Leenders vd. (2007) ile Bowker vd. (2006, 2007) çalışmalarıyla da tutarlıdır.

Buradan hareketle, daha yüksek sayıda bitki örtüsü elemanının varlığının daha yüksek oranda birikime neden olduğu söylenebilir. Ancak, bitki örtüsü elemanlarının sayısındaki artma (P.E’de 12 iken P.C’de 18) erozyon görülen hücre yüzdelerinde artışa neden olabilmektedir. Örneğin, P.D’de %34.7 iken P.C’de %56.2’dir. Özet olarak, “sınırlı düzeyde erozyonla birlikte birikim’ desenleri (P.A ve P.B) ve “sınırlı düzeyde birikimle birlikte erozyon’ desenleri (P.C) önemli bir bulgudur ve bozulmuş toprakları yeniden bitkilendirmede hangi bitki örtüsü deseninin kullanılacağı belirlenirken dikkate alınmalıdır.

P.A deseninde görülen erozyona (%5 civarında) oranla P.E deseninde erozyon görülen hücre oranının yüksekliği (%26,4) sınır etkisinin önemli bir göstergesidir. P.E deseninde tablanın bitki örtüsü bulunan kısmı öncelikle rüzgâra maruz kalmış ve sediment kütle akışı gerçekleşmemiştir. P.A deseninde ise rüzgâr öncelikle çıplak alana doğru esmiş ve sonrasında bitki örtüsü bulunan alana ulaşmıştır. İki senaryo arasındaki sınır farklılıkları erozyon ve birikimle ilişkili alanların büyüklüklerinde önemli farklılıklara neden olmuştur.

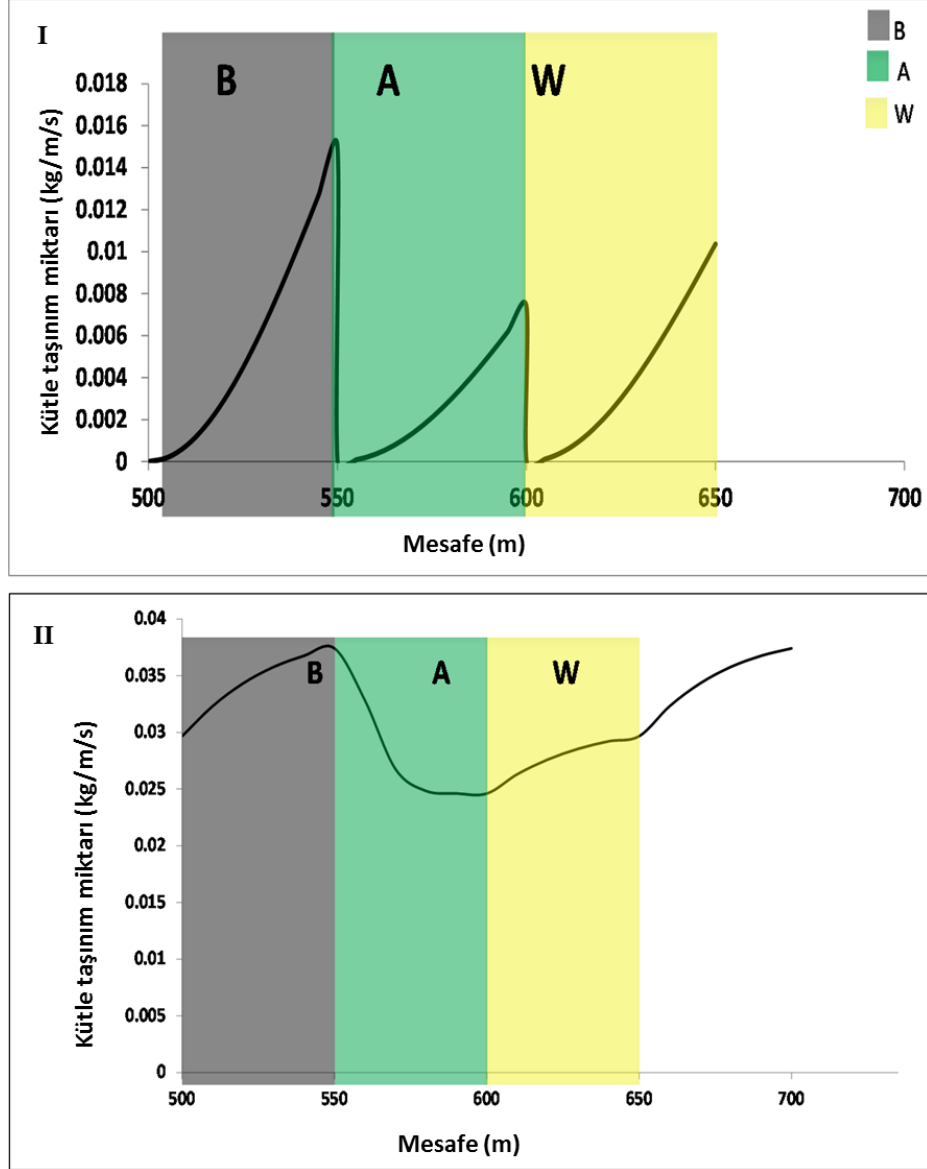
4.4 Bölgesel-Ölçekte Rüzgâr Erozyonu Denklem Modeli

4.4.1 YRED ve BÖ-RED modellerinin karşılaştırılması

Şekil 4.10 da YRED ve BÖ-RED modelleriyle hesaplanan sediment kütle akışlarını karşılaştırılmaktadır. YRED modeli, her bir arazi ünitesi için sediment kütle akışını, simülasyon arazisinin kenarında rüzgâra karşı yönde aşınmaz bir sınır bulunduğu kabulüne dayanarak tahmin etmektedir.

Buna karşılık, BÖ-RED modelinde sınırların etkileri de değerlendirilmekte ve sınır bölgelerinde sediment kütle akışı sıfırdan farklı bir değer ile ifade edilmektedir. Buna ilave olarak, BÖ-RED modeli erozyonu ve birikimi birlikte simüle edebilmektedir. Çıplak arazide, sediment kütle akışı rüzgâr yönünde artmakta ve erozyon gözlemlenmektedir. Çalı kaplı arazilerde ise sediment kütle akışı mesafeyle birlikte azalmaktadır. Bunun sebebi, bu arazinin Q_{max} değeri, gelen sediment kütle akışının kaynağı olan çıplak arazinin Q_{max} değerinden daha düşük olmasıdır. Sediment kütle

akışının mesafeyle birlikte azalıyor olması çalı kaplı arazide birikime neden olmaktadır. Buğday arazisinde ise bu akış artmaktadır, bunun nedeni de bu arazinin Q_{max} değerinin, gelen sediment kütle akışının kaynağı olan arazininkinden daha yüksek olmasıdır.



Şekil 4.10 I) YRED modelinde komşu arazi etkileri göz önüne alındığındaki sediment kütle akışı tahminleri, Çıplak (B), Çalı alanı (A) ve Buğday (W). II): BÖ-RED modelinde komşu arazi etkileri göz önüne alındığındaki sediment kütle akışı tahminleri, Çıplak (B), Çalı alanı (A) ve Buğday (W).

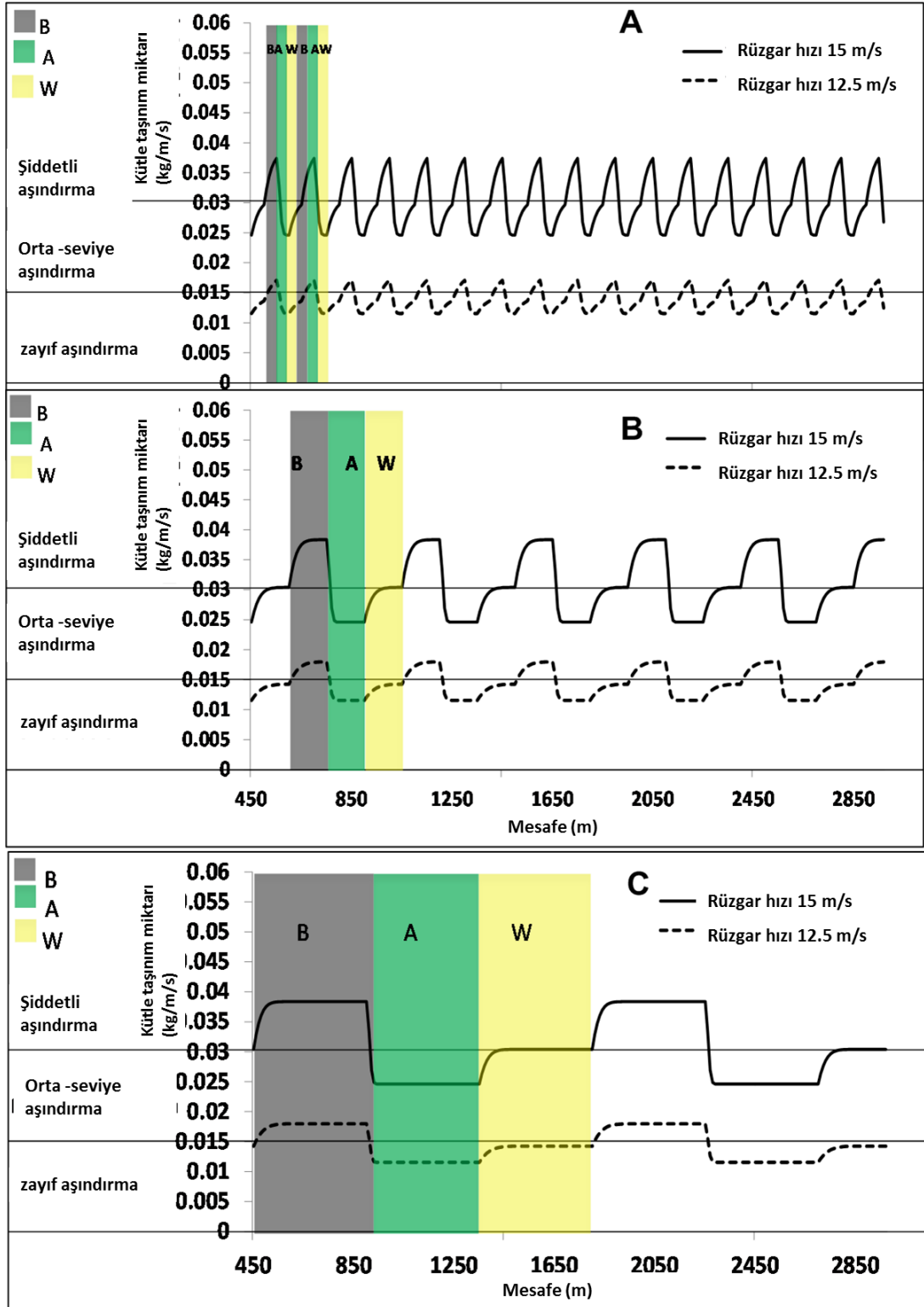
4.4.2 Aşınmaya bağlı sediment kütle akışı

Arazinin rüzgâra karşı olan kenarındaki tüm sınır koşullarından gelen sediment kütle akışları için, rüzgârla gelen sediment kütle akışı arazi sınırından birkaç yüz metre

içerisinde sabitlenerek tekrarlayan bir şekil almaktadır. Geniş bölgelerde arazi sınırındaki kenar etkenleri arazinin çok küçük bir kısmını etkileyerek bölgedeki toplam rüzgâr erozyonuna çok az bir katkı sağlamaktadır. Bu sebeple, gerçekleştirilen bu çalışma kapsamında, kenar etkenlerince etkilenen arazinin dışındaki sediment kütle akışlarına odaklanılmıştır.

Diğer senaryolarla sediment kütle akışını gösteren şekil 4.11'de BAW (çıplak arazi, buğday arazisi ve çalı arazisi) senaryosu için gösterildiği gibi, rüzgâr yönünde rüzgârla taşınan sediment kütle akışı oldukça değişkenlik göstermektedir. 150 ve 450 metre arası arazi uzunluklarında sediment kütle akışı tüm araziler için yaklaşık olarak maksimum taşıma kapasitesine ulaşmaktadır. 50 metre uzunluğundaki arazilerde arazi uzunluğu, sediment kütle akışının maksimum taşıma kapasitesine ulaşabilmesi için çok kısa kalmaktadır. Ancak, rüzgâr yönündeki sediment kütle akışlarındaki bu değişimler göz önünde bulundurulmalıdır.

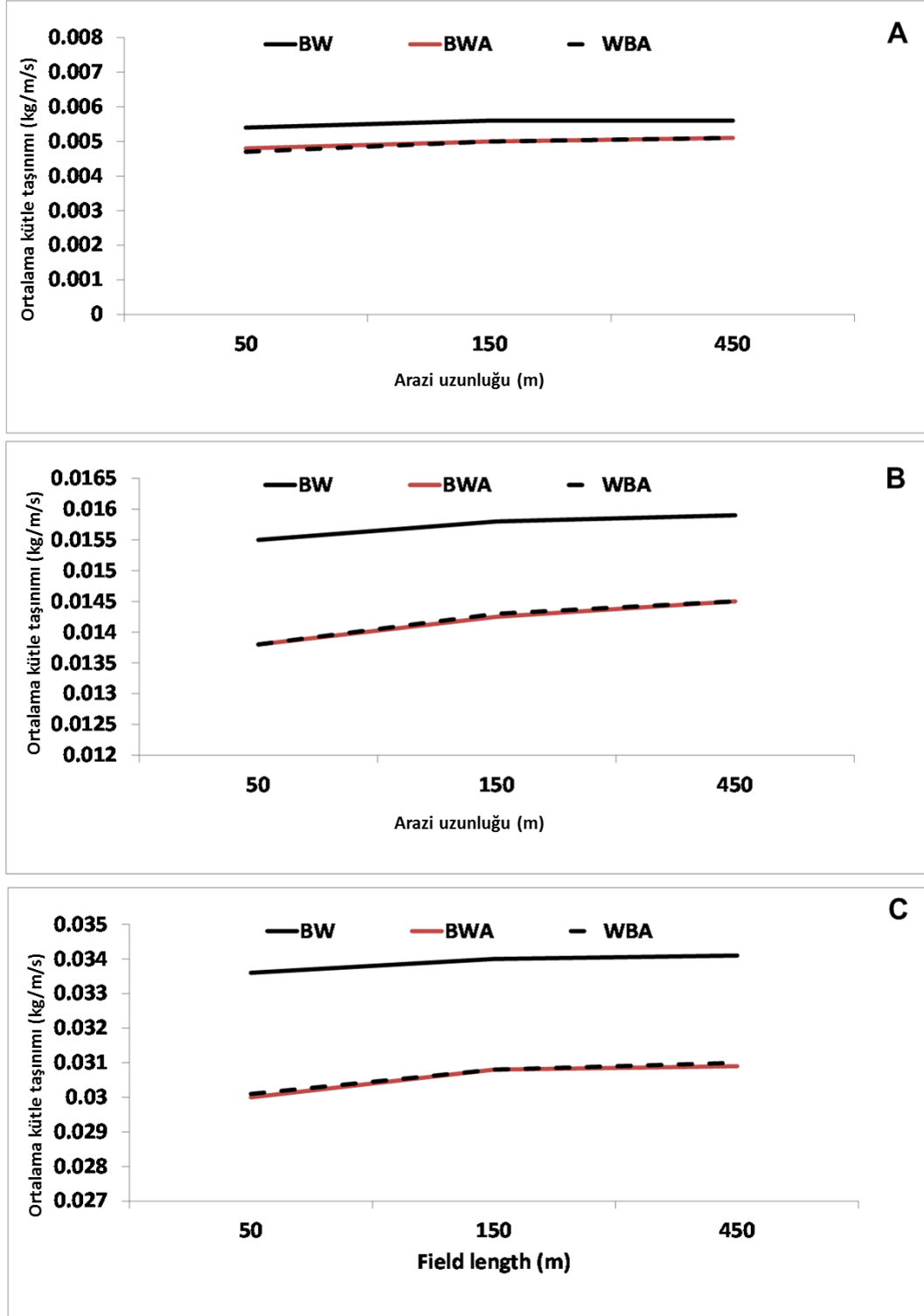
Tek bir rüzgâr hızında, sediment kütle akışında görülen konumsal değişimler iki farklı aşınma şekillerinin gözlemlenmesine neden olmaktadır. BAW senaryosundaki ve diğer birçok senaryodaki $12,5$ ve 15 m s^{-1} (Şekil 4.11) rüzgâr hızı değerleriyle oluşan durum bu şekilde açıklanabilmektedir. Aşınmadaki konumsal değişikliklere ek olarak, farklı rüzgâr olayları arasında da çeşitli aşınma şekilleri görülebilmektedir. Örneğin, $12,5 \text{ m s}^{-1}$ hızındaki rüzgârla oluşan sediment kütle akışı düşük ve orta tip aşınmalara neden olurken, 15 m s^{-1} hızındaki rüzgâr şekil 4.11'de de gösterildiği gibi orta ve yüksek şiddette aşınmaya neden olmuştur. Arazi uzunluğu da sediment kütle akışı üzerine etki etmekle birlikte aşınma tipleri üzerine etkisi bulunmamaktadır. Örneğin, 15 m s^{-1} rüzgâr hızında oluşan aşınma çeşitli uzunluklara sahip arazilerde orta veya yüksek olarak sınıflandırılmıştır.



Şekil 4.11 12.5 m^{s⁻¹} ve 15 m^{s⁻¹} hızlarındaki rüzgâr koşullarında sediment kütle akışı ve aşınma tipleri. a. Arazi uzunluğu 50 m, b. arazi uzunluğu 150 m, c. arazi uzunluğu 450 m, b, a W çıplak, buğday ve çalı alanı arazilerini ifade etmektedir

Bir bölgenin ortalama sediment kütle akışı o arazinin bitki örtüsü deseni ve arazi uzunluğuyla değişmektedir. Fakat bu parametrelerin ortalama sediment kütle akışına etkisi, o arazide rüzgâr hızındaki değişimlerin ortalama sediment kütle akışına etkisinden çok daha azdır. Şekil 4.12, sediment kütle akışındaki değişimlerin BWA ve WBA arazilerinde çok az farklılık gösterdiğini işaret etmektedir.

BW arazisinin ortalama değerleri, BWA ve WBA arazilerinin değerlerinden daha yüksek bulunmuştur. Bu durum, BWA ve WBA arazilerinin çalı alanı içermesiyle açıklanabilir. Çalı alanı içeren arazilerde maksimum sediment kütle akışı daha az olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca arazilerdeki bitki örtüsü sırasının bu akışa etkisinin ihmal edilebilecek düzeyde olduğu, BWA ve WBA arazilerinin ortalama sediment akışlarının neredeyse aynı olmasıyla gösterilmiştir. Arazi uzunluğu göreceli olarak çok az etkili olmasına rağmen, ortalama sediment kütle akışı arazi uzunluğuyla doğru orantılı olarak artmaktadır. Özellikle uzunluğu kısa olan arazilerde, sediment kütle akışının arazi uzunluğuna bağlı olarak artışı 50-150 metre uzunluğundaki arazilerde, 150-450 metre uzunluğundaki arazilere kıyasla 3-5 kat daha fazladır (Şekil 4.12).

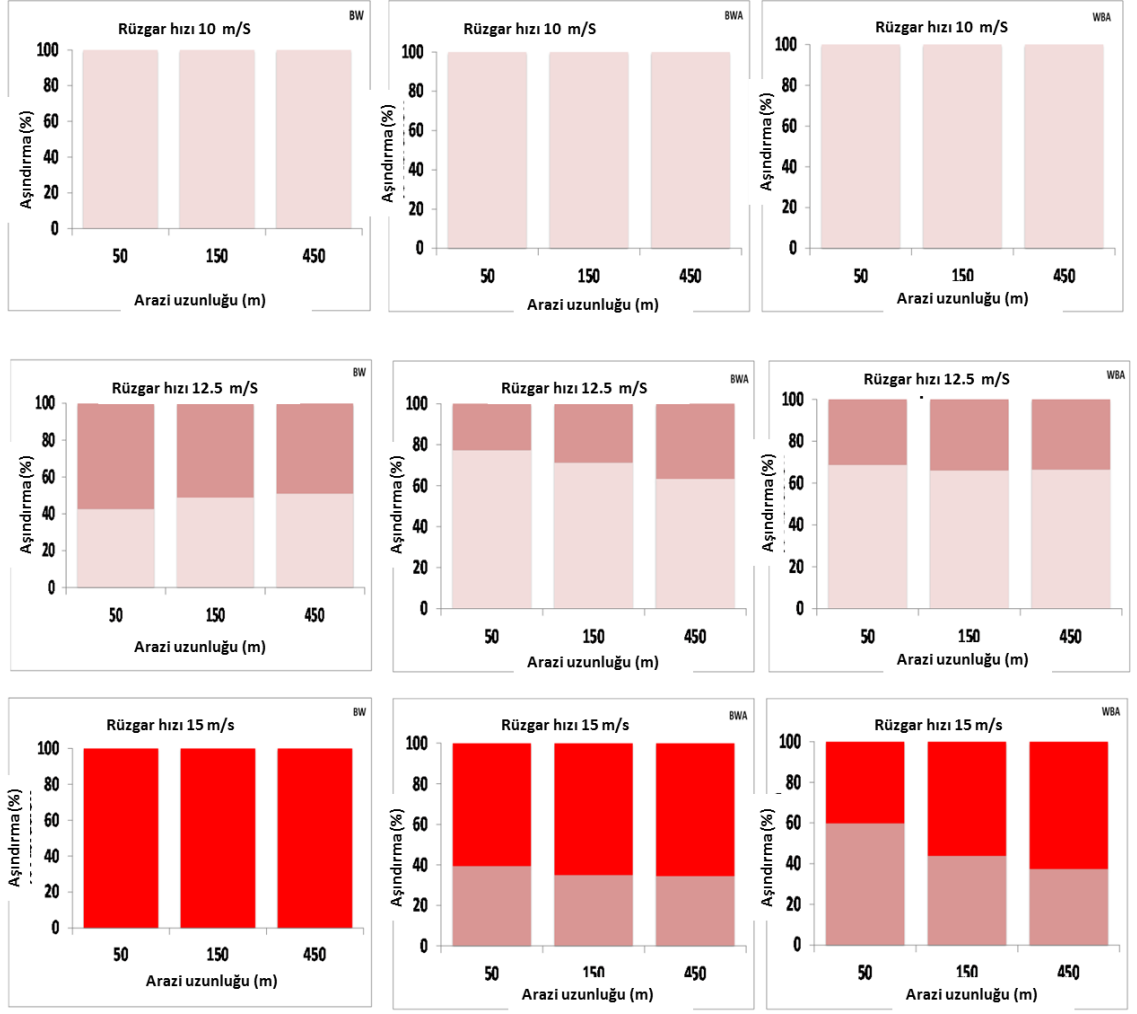


Şekil 4.12 50 ve 150 m uzunluğundaki WB, BWA ve WBA arazi senaryoları için ortalama sediment kütle akışları (aşınma). a. rüzgâr hızı 10 m s^{-1} , b. rüzgâr hızı $12,5 \text{ m s}^{-1}$ ve c. rüzgâr hızı 15 m s^{-1} .

Rüzgâr erozyonunun görüldüğü bölgelerde aşınmanın bitki örtüsüne zarar veren önemli bir etken olması dolayısıyla (Baker vd. 2009), rüzgârla taşınan toprak nedeniyle oluşan

aşınma ve arazinin kullanım şeklinin ne kadar büyük bir etken olduğuna dair detaylar bilinmelidir. Şekil 4.13, bölgenin düşük, orta ve yüksek aşınmaya maruz kalan bölgelerini göstermektedir. Arazi kullanım şekli, arazi uzunluğu ve rüzgâr hızının göreceli etkileri bölgedeki ortalama sediment kütle akışı için bulunan etkenlerle karşılaştırılabilir durumdadır.

BWA ve WBA arazi senaryolarındaki çalı alanı, BW senaryosuyla karşılaştırıldığında yüksek aşınma görülme oranını azaltmaktadır. Arazi uzunluğunun etkisi küçüktür. Çoğu durumda uzun arazilerde yüksek aşınma tipi (WBA senaryosu, 15 m s^{-1} rüzgâr hızı) daha çok görülmektedir. Bölgenin ortalama erozyonunun arazi uzunluğuyla arttığı bilindiği için bu beklenen bir durumdur. Fakat bazı durumlarda arazi uzunluğuyla bölgedeki ortalama sediment kütle akışı artmasına rağmen yüksek aşınma tipi oranı düşüş gösterebilir. BW arazi senaryosundaki $12,5 \text{ m s}^{-1}$ hızındaki rüzgârda durum bu şekilde açıklanabilir, çünkü sediment kütle akışı şiddetinde kaymalar gözlemlenmektedir. Aşınma şiddetini en çok etkileyen değişken rüzgâr hızıdır. 10 m s^{-1} olan rüzgâr hızının 15 m s^{-1} 'ye artması, her bir arazi uzunluğu ve kullanım deseni için, aşınma tipini düşükten ortaya veya orta seviyeden yükseğe çıkmasına neden olmaktadır.



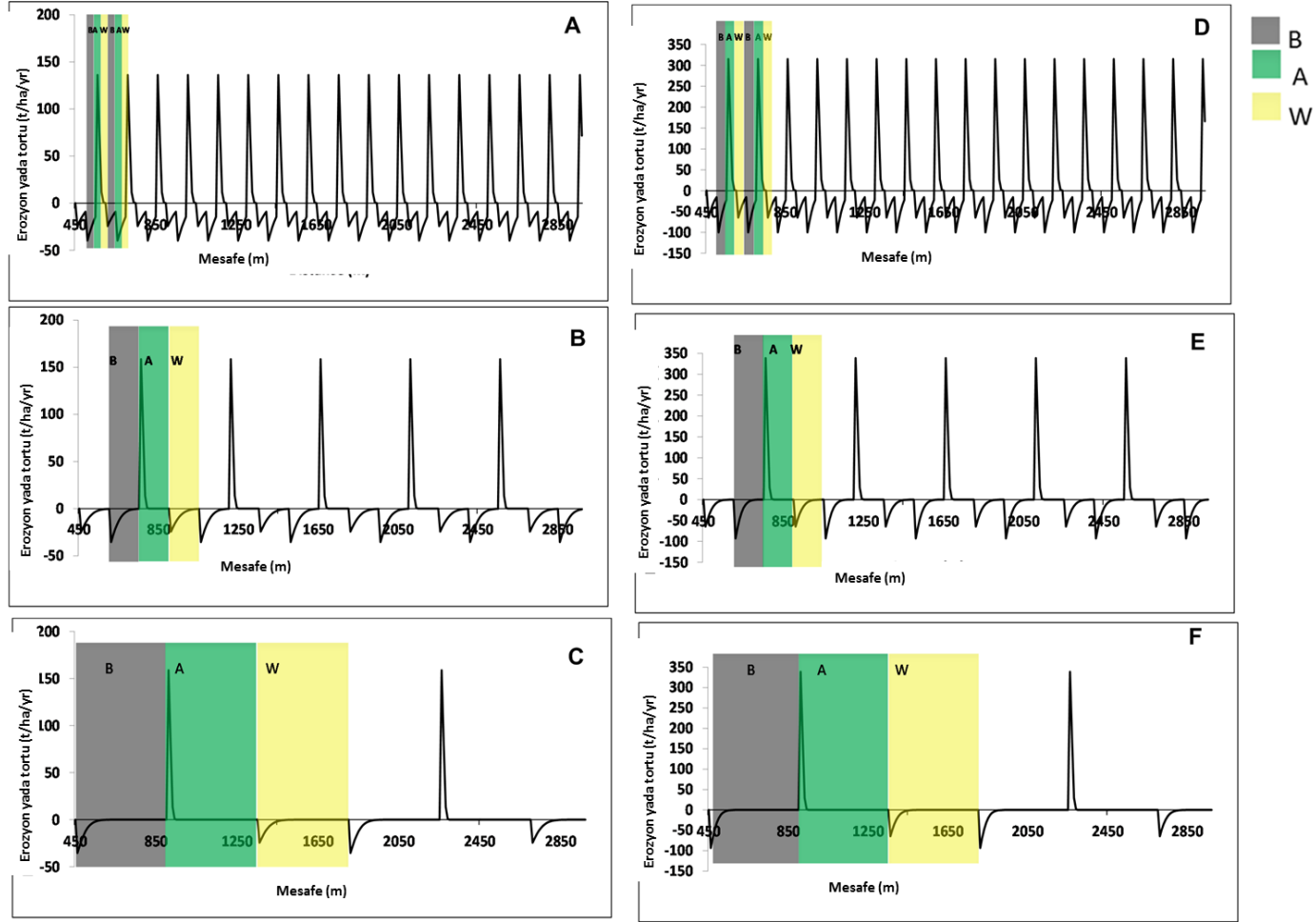
Şekil 4.13 Tüm arazi senaryoları ve rüzgâr hızları için yüksek, orta ve düşük aşınma tiplerine düşen arazi yüzdeleri

Yöntem kısmında belirtildiği üzere, düşük aşınma tipindeki rüzgâr akışı bitkilerde yaprak küçülmesine, orta derecede aşınma bitkilerin daha küçük yetişmesine ve verimin azalmasına, yüksek aşınma tipi ise bitki yapraklarının tamamen yok olmasına neden olmaktadır (Baker vd. 2009). Bu kriterler sonuçlarımıza uygulandığı takdirde, her arazi senaryosu için 10 m s^{-1} hızındaki rüzgâr yüzünden ortaya çıkan aşınma bitkilerin yapraklarının küçülmesine neden olmakla sınırlı kalmaktadır. Rüzgâr hızının $12,5 \text{ m s}^{-1}$ olduğu durumda ise her senaryoda bitkilere düşük ve orta seviyede zarar görmektedir. Rüzgâr hızının 15 m s^{-1} olduğu durumda ise BW arazi senaryosunda kritik hasar görülmekte ve biokütle oluşumu minimuma inmektedir. Aynı rüzgâr hızında BWA ve WBA arazi senaryolarında ise zarar orta ve yüksek seviyede olmakta, hasat veriminin oldukça düşük olması beklenmektedir.

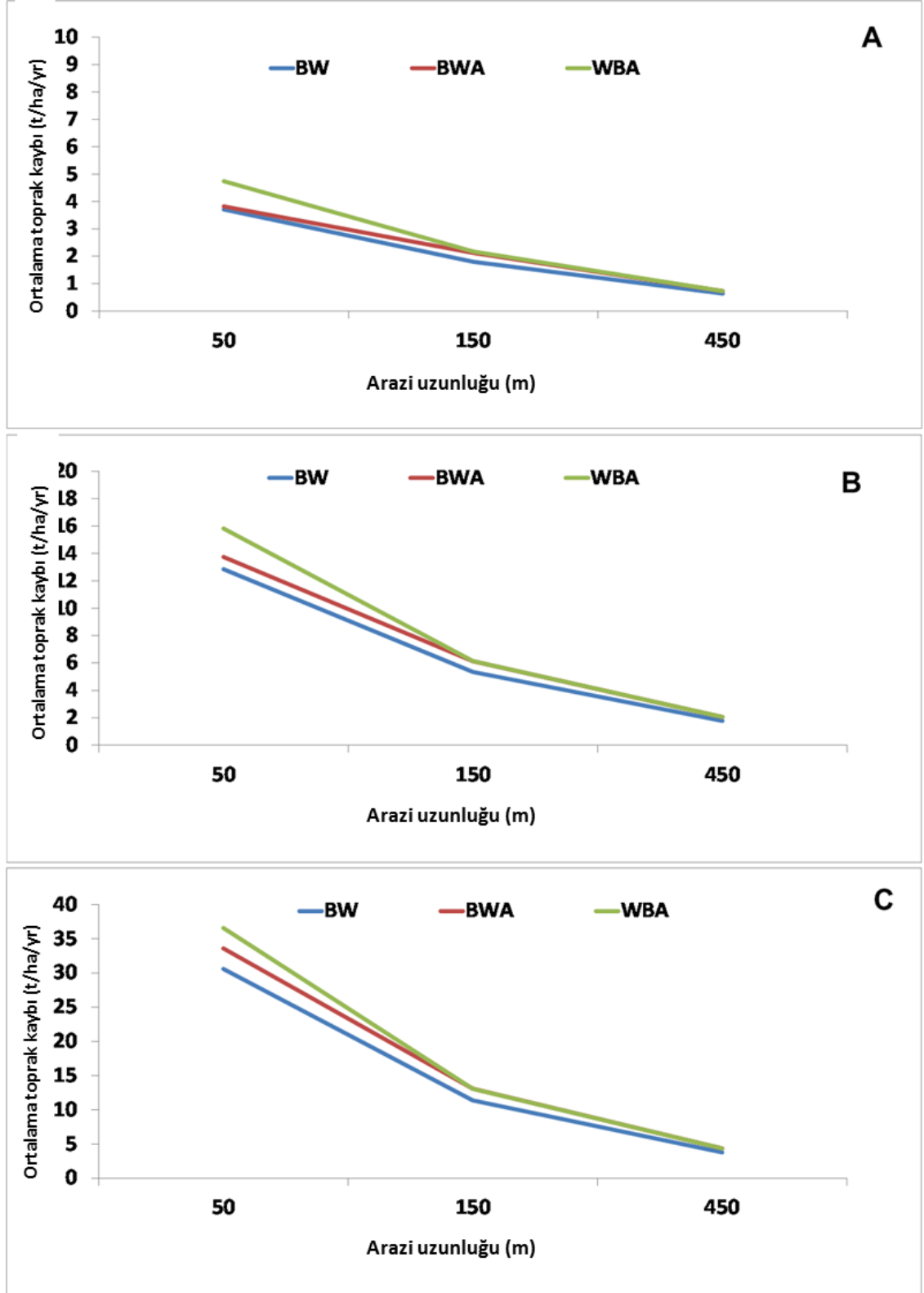
4.4.3 Erozyon ve birikim oluşumu

Ortalama toprak kaybı ve birikim kavramsal olarak birbirine eşit olsa da, şekil 4.14’de görüleceği üzere birikim erozyon oluşumundan daha hızlı gerçekleşmekte ve daha küçük bir bölgede görülmektedir. Rüzgâr hızı, birikim ve erozyon üzerine oldukça önemli düzeyde etki etmektedir. Örneğin, rüzgâr hızının $12,5 \text{ m s}^{-1}$ ’den 15 m s^{-1} ’ye artmasıyla birlikte birikim oluşumuyla erozyon değerleri iki katına çıkmaktadır (Şekil 4.14).

Erozyon ve birikim bölge sınırından sonra kısa bir mesafe içerisinde yüksek seviyeye ulaştığında arazi uzunluğunun seviye üzerine bir etkisi bulunmamaktadır. Fakat ortalama olarak erozyon ve birikim oluşumu arazi uzunluğunun artmasıyla azalmaktadır. Bunun nedeni, çoğu erozyon ve birikim oluşumunun arazinin rüzgâra karşı sınırında meydana gelmesi ve 150 metrelik bir arazide görülebileceği üzere, büyük arazilerde göreceli olarak daha büyük alanların erozyon ve birikime maruz kalıyor olmasıdır (Şekil 4.14).



Şekil 4.14 50 m, 150 m ve 450 m uzunluğundaki BW, BWA ve WBA arazi senaryoları için bölgedeki ortalama toprak kaybı ve birikme değerleri. (a, b ve c panellerinde rüzgâr hızı 12.5 m s^{-1} , d,e, f panellerinde rüzgâr hızı 15 m s^{-1}).



Şekil 4.15 Arazi uzunluğunun 50 m, 150 m ve 450 m, rüzgâr hızının $12,5 \text{ m s}^{-1}$ (A, B, C), ve 15 m s^{-1} (D, E ve F) olduğu WBA senaryosundaki toprak kaybı ve birikim (pozitif değerler birikimi, negatif değerler ise erozyonu göstermektedir).

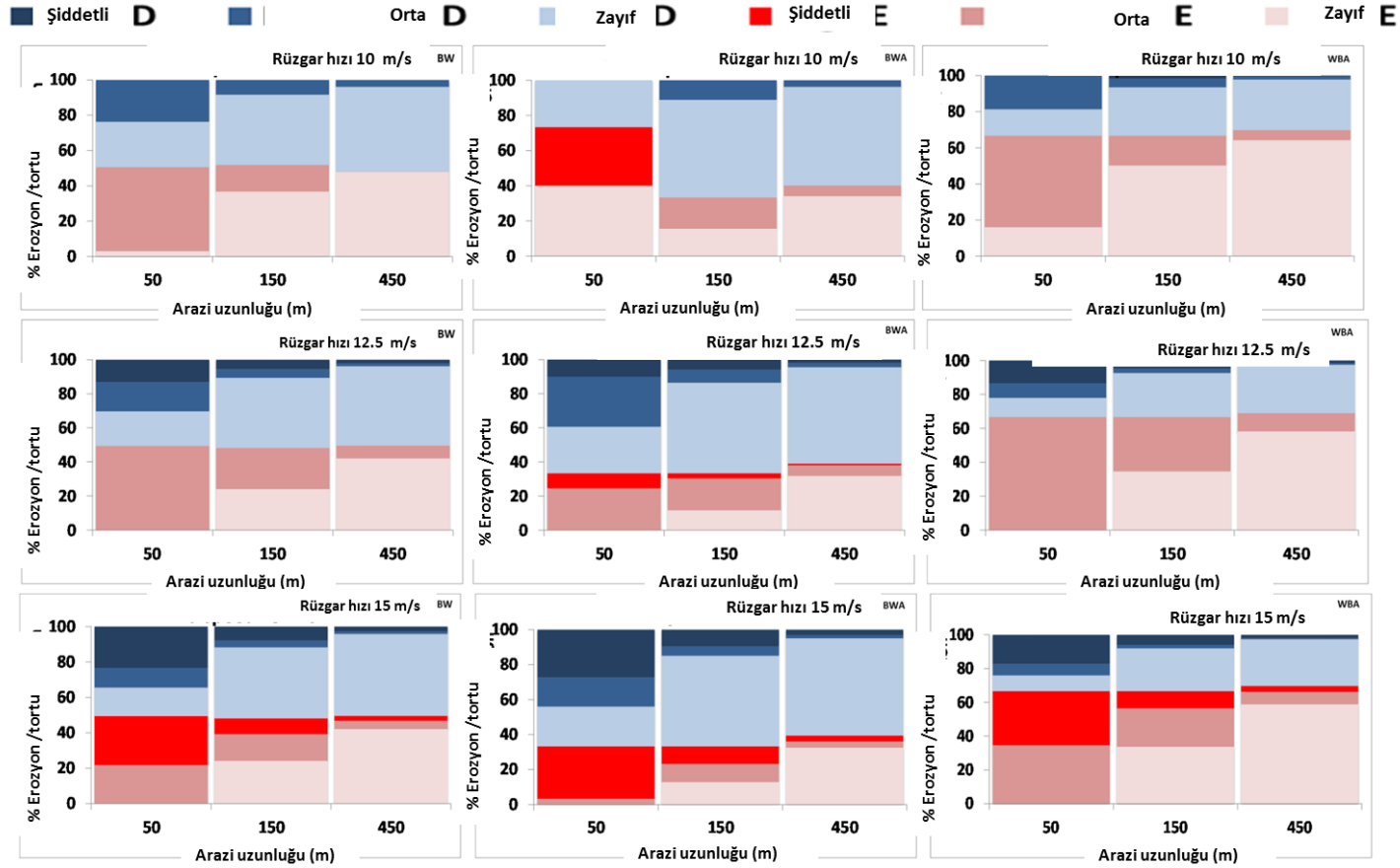
Arazi uzunluğu ve toprak kaybı (erozyon) arasındaki negatif ilişki Şekil 4.15'te verilen bölgesel ortalama erozyon değerleriyle açıkça gsterilmektedir. 50 metrelik arazi uzunluğunda gsterilen ortalama erozyon, 450 metrelik arazide gsterilenden 4-8 kat daha fazladır ve arazi uzunluğunun etkisi rüzgârın en hızlı olduğu durumlarda en yüksektir.

Aynı durum bölgedeki ortalama birikim oluşumu içinde geçerlidir ve bu değer bölgedeki ortalama erozyona eşittir. Ek olarak, Şekil 4.15'ta toprak kaybı ve birikim oluşumunun ortalama değerlerinin rüzgâr hızının yükselmesiyle arttığı gsterilmiştir ki bu durum rüzgârın daha hızlı esmesiyle aşındırma ve toprak sürüklenme kapasitesinin artmasından ileri gelmektedir. Arazi uzunluğu ve rüzgâr hızı etkenleriyle karşılaştırıldığında arazi kullanım desenin toprak kaybı ve birikim oluşumu üzerine etkisi daha az olmaktadır. BW arazi deseninde kaydedilen veriler çalı arazisi de dâhil olmak üzere diğer arazilerle karşılaştırıldığında kaydedilen ortalama bölgesel değerlerden daha düşüktür.

Bölgede birikim oluşumu ve aşınma açısından farklı sınıflandırmalara giren parçaların oranlarını Şekil 4.16'da gsterilmektedir. Burada görüleceği üzere, arazinin erozyona maruz kalan parçası %30 ile 70 arasında değişmektedir (Şekilde kırmızı ve tonlarıyla gsterilen bölgeler). Bu yüzdedeki değişimler genel olarak arazi kullanım alanlarıyla ilişkili olarak değişmekte ve BWA deseninde gsterilen %30'luk erozyona uğrama oranıyla da bu durum açıklanmaktadır. Her arazi kullanım deseni için, arazinin erozyona uğrayan yüzdesi arazi uzunluğu ve rüzgâr hızına rağmen göreceli olarak sabit kalmaktadır.

Yüksek oranlarda erozyon ve birikim oluşumu toprak verimi ve bitki gelişimi için önemli etkenler olduğundan, erozyonun Őiddet dağılımı da büyük önem taşımaktadır. Şekil 4.17'de gsterildiği gibi erozyonun Őiddeti rüzgâr hızının artmasıyla artmakta, arazi uzunluğunun artmasıyla azalmaktadır. Ayrıca arazinin kullanım motifinin etkileri, çalı alanında diğer arazi motifleriyle karşılaştırıldığında yüksek erozyon sınıfına giren BW motifine sahip arazilerin alçak kısımlarında görülebilir. Birikim oluşumuna ilişkin sonuçlar erozyon sonuçlarıyla karşılaştırılabilme eğilimi göstermektedir.

Özetle, ortalama erozyon genelde arazi uzunluğu ve rüzgâr hızının artmasıyla birlikte artış göstermekte, bu durum erozyon görülen bölgenin büyümesi olarak değil, erozyon şiddetinin artması olarak karşımıza çıkmaktadır. Şekil 4.17’de gösterildiği gibi arazi kullanım motifinin erozyonun farklı sınıflarda kategorize edilmesine neden olduğu söylenebilir, fakat bölgedeki ortalama erozyonun arazi kullanım motifinden etkilenmesi çok düşük bir ihtimaldir.



Şekil 4.16 50m, 150 m ve 450m uzunluğundaki tüm arazi senaryoları ve rüzgâr hızları için her erozyon ve birikme oluşum tiplerine düşen arazi yüzdeleri. Şekildeki kırmızı renk erozyonu, mavi renk ise birikimi göstermektedir

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Elde edilen sonuçlar, Khanasser vadisi ve Karapınar bölgesinin rüzgâr erozyonuna oldukça duyarlı bir yapıya sahip olduklarını işaret etmektedir. Şartların rüzgâr erozyonu için elverişli olduğu noktalarda aşınmış sediment miktarının kritik olduğu kolayca fark edilebilir. Yapılan modelleme çalışmaları neticesinde kurulan bazı ilişkilerdeki korelasyon katsayılarının oldukça düşük olduğu gözlenmiştir. Bu durum kontrol edilemeyen “dust devil” ve hayvancılık faaliyetlerinden ileri gelmektedir. Bu olayların sonucunda bazı tutucularda yüksek sediment kütle akışları gözlenmiştir. Ancak, model tahmininde, bu özel olaylar tahmin içinde yer almamaktadır. Sonuç olarak model değerlendirmeleri, ortalama değerler üzerinden yapıldığından ilişkiler daha yüksek başarı oranlarıyla ortaya konulabilmiştir.

Bitki örtüsü, toprak yüzeyini rüzgâr aşındırıcı etkisinden korumada temel faktördür. Bu çalışmada, bitki örtüsünün sediment kütle akışı üzerindeki etkisini incelemek için bir dizi rüzgâr tüneli deneyi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulguların ışığı altında, şu değerlendirmeler yapılabilmektedir. (1) bitki örtüsü deseni, bitki örtüsünün rüzgâr akışı türbülansı üzerindeki etkileri nedeniyle sediment kütle akışı üzerine önemli düzeyde etki etmektedir, (2) baskın rüzgâr yönüne paralel sıralardaki bitki örtüsü deseni bir bölgedeki toplam sediment kütle akışını azaltmaktadır, ancak dikkate alınan bölgelerde tam olarak korunma sağlanamamıştır, (3) rüzgâr erozyonuna karşı korunmasız olan bölgelerde, komşu toprak ünitesinin etkisi, rüzgâr hızı üzerindeki etki ile bir toprak ünitesinden komşu toprak ünitelerine sediment kütle akışının düzenlenmesini içermektedir. Özetle, gerçekleştirilen çalışma ile hem bitki örtüsü bulunan hem de çıplak toprak ünitelerinde ve bu üniteler arasındaki sınırlarda sediment kütle akışına yönelik kapsamlı bilgi elde edilebilmiştir. Ancak bu araştırmanın sonuçları canlandırılan bitki örtüsü, kullanılan sediment büyüklüğü ve uygulanan rüzgâr hızıyla sınırlıdır. Bu nedenle, bitki örtüsü ve desenlerinin sediment kütle akışı üzerindeki etkilerinin daha iyi anlaşılabilmesi için farklı rüzgâr hızları ve bitki örtüsü desenleri altında yeni simülasyonlar gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, rüzgârın sürüklenme ve sıçrama hareketlerini ana taşıma aracı kabul eden, erozyon ve birikim oluşumunu aşınabilir arazilerde gösterebilen ve komşu arazilerle incelenen arazinin

ilişkinini gösterebilen bölgesel ölçekli bir model (BÖ-RED) geliştirilmiştir. BÖ-RED modelini çalıştırabilmek için kurak bir bölgedeki arazilerin kullanma motiflerini temsil eden senaryolar kullanılmıştır. Diğer birçok modelden farklı olarak, bu model arazilerin sınırlarındaki sediment kütle akışlarını da hesaba katarak bir arazi dizisinde rüzgâr erozyonunu gösterebilmektedir.

Elde edilen gözlemlere göre BÖ-RED modeli, YRED modeline kıyasla sediment kütle akışı, erozyon ve motiflerini tamamen farklı olarak yansıtmaktadır. Yeni modelde görüldüğü üzere, bölgesel ölçekli olarak rüzgâr erozyonunu tahmin etmede, arazi sınırlarında görülen birikim akışının da mutlak surette değerlendirilmesi gerekmektedir. Ek olarak, bir arazideki sediment kütle akışının, toprak kaybının ve birikim oluşumunun arazi uzunluğu, bitki örtüsü dağılımı ve rüzgâr hızından etkilendiği geliştirilen model tarafından gösterilmiştir. Rüzgâr hızı ve arazi uzunluğundaki artış ortalama sediment kütle akışını ve buna bağlı aşınma riskini özellikle artırmaktadır. Ayrıca, arazi uzunluğundaki artış toprak kaybı ve birikim oluşumu değerlerinde azalmaya neden olmaktadır. Üstelik toprak kaybı değerlerinin büyük olabileceği arazilerde rüzgâr hızının 15 m s^{-1} olması durumunda, kısa arazi mesafelerinde uzun mesafelerle karşılaştırıldığında bu değerlerin daha büyük olabileceği belirtilmiştir.

Sonuçlar göstermiştir ki bu değer rüzgâr hızı ve arazi uzunluğuyla değişebilmektedir. Özellikle, rüzgâr hızındaki $2,5 \text{ m s}^{-1}$ artış (hızın $12,5$ iken 15 m s^{-1} olması), ortalama sediment kütle akışında yaklaşık % 210'luk bir artışa neden olmaktadır. Geçmişteki araştırmalar göstermiştir ki rüzgâr hızındaki artış, bitkilerin aşınmadan dolayı gördüğü zararı artırmaktadır (Armbrust ve Retta, 2000; Woodruff, 1956). BÖ-RED modeli ayrıca, arazi uzunluğunun artmasının bitkilerin aşınmadan dolayı gördüğü zararı artırdığını göstermiştir. Bu nedenle, uzun arazilerin verimlerinin kısa arazilere kıyasla düşük olduğu söylenebilir. Daha önce arazi uzunluğunun sediment kütle akışı ve aşınmaya etkisiyle ilgili yapılan çalışmalarda bulunan sonuçlar (Hagen 1977, Skidmore, 1986, Fryrear ve Saleh 1996, Skidmore ve Tibke 1988), bu çalışmada bulunan sonuçlarla karşılaştırılabilir niteliktedir. Bu çalışmalar rüzgâr perdesinin (çalı ve ağaç) kullanımıyla söz konusu arazi uzunluğunun kısaltılması üzerine gerçekleştirilmiştir ve bulgular sediment kütle akışı ve aşınmanın rüzgâr hızının

azalmasıyla birlikte düşüş gösterdiğini belirtmiştir. Nadasa bırakılmış veya ekim yapılmış arazilerin şeritler halinde kullanılarak uzunluklarının kısa tutulması, rüzgâr erozyonuna karşı hassas arazilerde sediment kütle akışı ve erozyonu düşürmede alternatif çözümlerdir (Chepil, 1957, Bravo ve Silenzi 2002).

Güncel araştırmalarca bulunan sonuçlara göre arazi uzunluğunun 50 metreden 150 metreye yükselmesi, arazinin bitki örtüsüne ve rüzgâr hızına bağlı olarak, bitki örtüsüne verilen hasarın yüksek şiddette görüldüğü kesitlerin % 100 – 140 oranında artışına neden olmaktadır. Gregory vd. (1990), araştırmalarında gösterilmiştir ki, örnek arazilerde uzunluğun 100 metreden 500 metreye çıkması sediment kütle akışının % 225 oranında artarak 100 kg m^{-1} iken 225 kg m^{-1} olmasına neden olmuştur. Bu iki çalışma, artan arazi mesafesinin sediment kütle akışındaki artışı göstermesi açısından karşılaştırılabilir sonuçlar içermektedir. Arazi uzunluğu ve rüzgâr hızı etkenlerine ek olarak, sediment kütle akışı ve aşınma hızını etkileyen faktörlerden birinin de arazi kullanım motifi olduğu bu çalışmada gösterilmiştir. Fakat bu etkenin önemi çok büyük değildir (Şekil 4.13). Bu nedenle, bu çalışmada geçmiş çalışmalarla örtüşen sonuçlar elde edilmesine ek olarak, arazi uzunluğunun ve komşu arazilerin söz konusu arazideki aşınmaya nasıl etki ettiği hakkında detaylı bilgiler elde edilmiştir.

Geliştirdiğimiz model rüzgâr yönündeki sediment kütle akışını (çoğunlukla sürüklenme ve sıçrama hareketlerinden dolayı) dikkate alırken rüzgâr yönüne dik olarak taşınan birikim miktarını (çoğunlukla uzaklaşmadan dolayı) göz ardı etmektedir. Model ayrıca birikimin sürüklenme hareketiyle taşınmasını da göz ardı etmektedir. Bu iki değişkenin göz ardı edilmesiyle bölgesel çaplı erozyon hesaba katılmamış olmaktadır, çünkü toprak taşınmasının %20 ile 35'i sürüklenme ve sıçrama hareketleri sonucu meydana gelmektedir (Sivakumar vd. 2005).

İlerideki çalışmalarda bu taşınma şekillerine daha çok değişken eklenmesi mümkündür. Ayrıca, geliştirilen modelde rüzgâr hızı bir kesit üzerinde sabit kabul edilmekte, arazi motifine bağlı bir değişkenlik göstereceği ihtimali hesaba katılmamaktadır. Ley vd. (2009), rüzgâr hızının arazi motifine uygun olarak hesaplandığı bir yöntem

geliştirmişlerdir. BÖ-RED modelinde, Youssef vd. (2012a) da gösterildiği üzere, eşik hızın arazinin bitki örtüsüyle kaplı alan yüzdesiyle alakalı bir eşitlik içinde yer aldığı kabul edilmiş, dolayısıyla rüzgâr hızındaki değişimin arazinin kullanım motifine bağlı olarak değişkenlik gösterdiği düşünülmüştür.

Sonuç olarak, BÖ-RED modeli YRED modelinde arazi çapında kalibre edilmiş ve doğrulanmış parametreleri bölgesel çapta kullanmış, bu durum da arazi çapında kullanılan parametrelerin bölgesel çapta kullanımının geçerliliğini tartışmaya açmıştır.

Gelecekte, geliştirilen yeni modelin bölgesel çapta kullanımı birkaç farklı yaklaşımda gerçekleşebilir. Örneğin bir yaklaşımda, kullanılacak arazinin kullanım motifinin bu çalışmada tanımlanmış desenlerle benzer olduğu bir durumda mümkün olabilir. Bu çalışmanın odak noktası arazi kullanım motifi ve erozyon arasındaki ilişkiyi irdelemek olduğundan dolayı, arazi uzunluğu gibi birçok parametre sabit tutulurken sadece üç farklı arazi tipi değerlendirilmiştir. Fakat BÖ-RED modelinde farklı arazi uzunlukları ve kullanım desenleri parametre olarak değerlendirilebilir durumdadır, böylece farklı arazi kullanım motiflerinin rüzgâr erozyonuyla ilişkisi sayısal veriye dökülebilir ve en ideal arazi kullanım şeklini belirlemek için farklı arazi kullanım senaryoları model içinde değerlendirilebilir.

Ek olarak, burada kullanılmış olan modelleme yaklaşımı bölgesel ve kıtasal alanlarda rüzgâr erozyonunun şiddetini haritalamak amacıyla kullanılabilir, fakat bu girişimde ek yöntemlere ihtiyaç duyulabilir. Modellemenin bilgisayar programında kontrol edilebilir tutulması amacıyla kıtasal haritalamalarda 10-100 km² arası bir çözünürlük kapasitesine ihtiyaç duyulabilir, bunun için bu çözünürlükte bir ölçek kullanmak gerekebilir.

Bu ölçekte model her ölçek için ayrı ayrı çalıştırılabilir ve her ölçek için ortalama toprak kaybını ve sediment kütle akışını hesaplayabilir, bunu yaparken tipik arazi kullanım motifi veya muhtemel arazi kullanım motifinin her ölçek için dağılımını göz önünde bulundurabilir. Bu yaklaşım, farklı rüzgâr yönlerinin belirlenmesi için yüksek çözünürlüklü alan kullanım deseni haritaları gerektirebilir, bu gereksinim günümüzde

uzaktan algılama teknolojisiyle elde edilmiş bilgilerle ve rüzgâr üzerine elde edilmiş veriler ile karşılanabilme potansiyeli bulunmaktadır.

Başka bir haritalama yaklaşımı, daha önce YRED modeliyle yapılmış olduğu gibi, BÖ-RED modelini tamamen iki boyutlu bir simülasyon modeli haline getirmektir (Fryrear vd. 1998). Bu değişim modelin denklemlerini değiştirmeden, modellenen alandaki bir kesitte sediment kütle akışını rüzgâr yönünde simüle ederek gerçekleştirilebilir. Model eşitliklerini doğru bir şekilde çözebilmek için $4 \times 4 \text{ m}^2$ veya daha az bir model çözünürlüğüne (ölçek) ihtiyaç duyulabilir, fakat bu ölçek bahsi geçen arazi sınırlarına kısıtlamalar getirebilir. Modelde kullanılan denklemlerin kolaylığından dolayı 200 km^2 ve daha büyük arazilerde model kullanımının rahatlıkla mümkün olacağı ve modelin herhangi bir bilgisayarda kolayca çalıştırılabileceği beklenmektedir.

KAYNAKLAR

- Abdourhamane, T.A., Rajot, J.L., Garba, Z., Marticorena, B., Petit, C. and Sebag, D., 2011. Impact of very low crop residues cover on wind erosion in the Sahel. *Catena*, Vol 85(3); pp 205-214.
- Anonymous 1999. Wind Erosion Simulation Models, Research Program of the United Stated Department of Agriculture, Agriculture Research Service in cooperation with Kansas State University <http://www.weru.ksu.edu/weps.html>.
- Anonymous. 2005. ICARDA Sustainable Agricultural Development for Marginal Dry Areas Khanasser Valley Integrated Research Site. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas: agriculture, research, training and publications (ICARDA, 2005).
- Armbrust, D.V. and Retta, A. 2000. Wind and Sandblast Damage to Growing Vegetation. *Annals of Arid Zone*, Vol 39(3); pp 273-284.
- BAĞCI, Y., Akay, A. and Dural, H. 1997. Konya Karapınar Bölgesinin Vejetasyonu İle Toprak Özellikleri Arasındaki İlişkiler. *S.Ü. Fen-Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi*, Sayı:14.
- Baker, J.T. 2007. Cotton seedling abrasion and recovery from wind blown sand. *Agronomy Journal*, Vol 99(2); pp 556-561.
- Baker, J.T., McMichael, B., Burke, J.J., Gitz, D.C., Lascano, R.J., and Ephrath, J.E. 2009. Sand abrasion injury and biomass partitioning in cotton seedlings. *Agron. J.*, Vol 101(6); pp1297-1303.
- Baveye, P.C., Rangel, D., Jacobson, A.R., Laba, M., Darnault, C., Otten, W., Radulovich, R. and Camargo, F.A.O., 2011. From dust bowl to dust bowl: Soils are still very much a frontier of science. *Soil Science Society of America Journal*, Vol 75(6); pp 2037-2048.
- Bierkens, M.F.P., Finke, P.A., and De Willigen, P. (eds). 2000. Upscaling and Downscaling Methods for Environmental Research, Published 2000 as vol. 88 in the "Developments in Plant and Soil Sciences" Series by Kluwer Academic Publishers, 190pp.
- Bilbro, J.D., Fryrear, D.W., 1985. Effectiveness of residues from six crops for reducing wind erosion in a semiarid region. *Journal of Soil & Water Conservation*, Vol 40(4) ; pp 358-360.
- Blöschl, G., Sivapalan and M. 1995. Scale issues in hydrological modelling: a review. *Hydrological Processes* Vol 9; pp251-290.

- Blöschl, G., 1999. Scaling issues in snow hydrology. *Hydrological Processes*, Vol 13(14-15) pp;2149-2175.
- Bowker, G.E., Gillette, D.A., Bergametti, G., and Marticorena, B. 2006. Modeling flow patterns in a small vegetated area in the northern Chihuahuan Desert using QUIC (Quick Urban & Industrial Complex). *Environmental Fluid Mechanics*, Vol 6(4) pp;359-384.
- Bowker, G.E., Gillette, D.A., Bergametti, G., Marticorena, B., and Heist, D.K. 2008. Fine-scale simulations of aeolian sediment dispersion in a small area in the northern Chihuahuan Desert. *Journal of Geophysical Research. field of Earth-Surface Processes*, Vol 113(2).
- Bravo, O and Silenzi, J.C. 2002. Strip cropping in the semi-arid region of Argentina: Control of wind erosion and soil water accumulation. *Soil Science*, Vol 167(5); pp 346-352.
- Burri, K., Gromke, C., Lehning, M., Graf, F., 2011. Aeolian sediment transport over vegetation canopies: A wind tunnel study with live plants. *Aeolian Research*, Vol3(2) ;pp 205-213.
- Campbell, E.P and Palmer, M.J. 2010. Modeling and forecasting climate variables using a physical-statistical approach. *Journal of Geophysical Research*, Vol 115(D10) ; pp D10114.
- Chandler, D.G., Saxton, K.E., and Busacca, A.J. 2005. Predicting wind erodibility of loessial soils in the pacific northwest by particle sizing. *Arid Land Research and Management*, Vol 19(1) ; pp 13-27.
- Chang, E.H., Chen, C.T., Chen, T.H., and Chiu, C.Y. 2011. Soil microbial communities and activities in sand dunes of subtropical coastal forests. *Applied Soil Ecology*, Vol 49(1) ; pp 256-262.
- Chappell, A., and Warren, A. 2003. Spatial scales of ¹³⁷Cs-derived soil flux by wind in a 25 km² arable area of eastern England. *Catena*, Vol 52(3-4) ; pp 209-234.
- Chappell, A., Zobeck, T.M., and Brunner, G. 2006. Using bi-directional soil spectral reflectance to model soil surface changes induced by rainfall and wind-tunnel abrasion. *Remote Sensing of Environment*, Vol 102(3-4) ; pp 328-343.
- Chen, J., Franklin, J.F., and Spies, T.A. 1995. Growing-season microclimatic gradients from clearcut edges into old-growth Douglas-fir forests. *Ecological Applications*, Vol 5(1); pp 74-86.
- Chepil, W.S. 1942. Measurement of wind erosiveness of soils by the dry sieving procedure. *Sci Agric* Vol 23(3); pp 154–160.

- Chepil, W.S. 1957. Width of Field Strip to Control Wind Erosion. Kansas Agricultural, Experimental Station Technical Bulletin, Vol 92 ; pp 16 Dec.
- Chepil, W.S and Woodruff, N.P. 1963. The Physics of Wind Erosion and its Control, Advances in Agronomy, pp. 211-302.
- Cook, B.I., Miller, R.L., and Seager, R. 2008. Dust and sea surface temperature forcing of the 1930's 'Dust Bowl' drought. Geophysical Research Letters, Vol 35.
- Cornelis, W., Hartmann, R., Gabriels, D., 1998. Assessing and controlling dust pollution in the harbour of Ghent. In: Gabriels D, Cornelis WM (eds) Proceedings of the International Workshop on Technical aspects and use of wind tunnels for winderosion control, combined effect of wind and water on erosion processes. Ghent, Belgium pp 25–32.
- Cornelis, W.M., and Gabriels, D. 2004. A simple model for the prediction of the deflation threshold shear velocity of dry loose particles. Sedimentology, Vol 51(1); pp 39-51.
- Cornelis, W.M., and Gabriels, D. 2005. Optimal windbreak design for wind-erosion control. Journal of Arid Environments, Vol 61(2) ; pp 315-332.
- Cornelis, W.M. 2006. Hydroclimatology of wind erosion in arid environments (Chapter 9) In: P. D'Odorico, A. Porporato (Eds.), Dryland ecohydrology. Springer, Dordrecht, The Netherlands. pp. 141-157.
- Cornelis, W., Kerckhoven, S.v., Riksen, M.J.P.M., and Gabriels, D. 2010. Assessment of wind erosion risk in Flanders, Belgium, Third conference on Desertification and Land Degradation; Workshop Action of Rain and Wind in Soil Degradation Processes, Ghent, Belgium, 16 - 17 June, 2010. Unesco Chair of Eremology; International Centre for Eremology (ICE), Ghent University, Belgium, pp. 18-19.
- Csavina, J., Sáez, A.E., Betterton, E.A., Barbaris, B., Rine, K., Campillo, A., Rheinheimer, P., Landázuri, A., Wonaschutz, A., and Conant, W. 2010. Modeling and characterization of aerosol emissions from mining operations, AIChE Annual Meeting, Conference Proceedings. Salt Lake City, UT;7 November 2010through12 November 2010;Code83459.
- Cuadros, J., Spiro, B., Dubbin, W., and Jadubansa, P. 2010. Rapid microbial stabilization of unconsolidated sediment against wind erosion and dust generation. Journal of Soils and Sediments, Vol 10(7) ; pp 1415-1426.
- Dierickx, W., Gabriels, D., and Cornelis, W. 2001. A wind tunnel study on wind speed reduction of technical textiles used as windscreen. Geotextiles and Geomembranes, Vol 19(1) ; pp 59-73.

- Drenova, A.N. 2011. Ancient continental dunes in the upper volga basin: Their orientation, structure, granulometric composition. *Geomorfologiya*, Vol 1 ; pp 37-48.
- Floyd, K.W., and Gill, T.E. 2011. The association of land cover with aeolian sediment production at Jornada Basin, New Mexico, USA. *Aeolian Research*, Vol 3(1), ; pp 55-66.
- Fryrear, D.W., Stout, J.E., Hagen, L.J., and Vories, E.D. 1991. Wind erosion: field measurement and analysis. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers (Gen Ed)*, Vol 34(1) ; pp 155-160.
- Fryrear, D.W., and Saleh, A. 1996. Wind erosion: Field length. *Soil Science*, Vol 161(6) ; pp 398-404.
- Fryrear, D.W., Saleh, A., Bilbro, J., Schomberg, H., Stout, J., and Zobeck, T. 1998. Revised Wind Erosion Equation (RWEQ). Wind Erosion and Water Conservation Research Unit, Technical Bulletin 1,. Southern Plains Area Cropping Systems Research Laboratory, USDA-ARS.
- Fryrear, D.W., Bilbro, J.D., Saleh, A., Schomberg, H., Stout, J.E., and Zobeck, T.M. 2000. RWEQ: Improved wind erosion technology. *Journal of Soil and Water Conservation*, Vol 55(2) ; pp 183-189.
- Fryrear, D.W., Wassif, M.M., Tadrus, S.F., and Ali, A.A. 2008. Dust measurements in the Egyptian Northwest Coastal Zone. *Transactions of the ASABE*, Vol 51(4) ; pp 1255-1262.
- Gabriels, D., Cornelis, W., Pollet, I., Van Coillie, T., and Ouassar, M. 1997. The I.C.E. wind tunnel for wind and water erosion studies. *Soil Technology*, 10(1), 1-8.
- Gash, J.H.C., 1986. Observations of turbulence downwind of a forest-heath interface. *Boundary-Layer Meteorology*, Vol 36(3) ; pp 227-237.
- Gillette, D.A. 1977. Fine particle emissions due to wind erosion. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* Vol (20) ; pp 890-897.
- Gregory, J.M., Borrelli, J., Fedler, C.B., 1990. Windstorm erosion and soil deposition simulation. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol 36(1-3) ; pp 1415-1424.
- Gregory, J.M., Wilson, G.R., Singh, U.B., and Darwish, M.M. 2004. TEAM: integrated, process-revised wind erosion equation based wind-erosion model. *Environmental Modelling and Software*, Vol 19(2) ; pp 205-215.
- Gupta, J.P., and Rama, P. 1996. Wind erosion and it control in hot arid areas of Rajasthan, India. In Buerkert, B. Allison, B. E. and M. V. Oppen (Ed). *Proceedings of International. symposium. " Wind erosion" in West Africa. The problem and its control*, University of Hohenheim, 5-7th December 1994. Margraf Verlag, Weikersheim, Germany.

- Hagen, L.J. 1991. A wind erosion prediction system to meet user needs. *Journal of Soil and Water Conservation*, Vol 46(2), ; pp 106-111.
- Hagen, L.J. 1996. Crop residue effects on aerodynamic processes and wind erosion. *Theoretical and Applied Climatology*, Vol 54(1-2) ; pp 39-46.
- Hagen, L.J. 1999. Assessment of wind erosion parameters using wind tunnels. In: D.E. Stott, R.H. Mohtar, and G.A. Steinhardt (eds.) *Sustaining the Global Farm*; 1999 May 24-29; Purdue University, West Lafayette, IN. pp 742–746.
- Hagen, L.J. 2004. Evaluation of the Wind Erosion Prediction System (WEPS) erosion submodel on cropland fields. *Environmental Modelling and Software*, Vol 19(2) ; pp 171-176.
- Hassine, A.B., and Lutts, S. 2010. Differential responses of saltbush *Atriplex halimus* L. exposed to salinity and water stress in relation to senescing hormones abscisic acid and ethylene. *Journal of Plant Physiology*, Vol 167(17) ; pp 1448-1456.
- Heisler, G.M., Dewalle, and D.R., 1988. 2. Effects of windbreak structure on wind flow. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Vol 22-23(C) ; pp 41-69.
- Hesse, P.P., Magee, J.W. and van der Kaars, S. 2004. Late Quaternary climates of the Australian arid zone: A review. *Quaternary International*, Vol 118–119 ; pp 87-102.
- Hoogmoed, W.B., Stroosnijder, L., Posthumus, H., and Tammes, H.B. 2000. Effect of decreasing soil organic matter content and tillage on physical properties of sandy Sahelian soils In: *Soil Erosion and Dryland Farming*, Laflen, JM, Junliang Tian, Chi-Hua Huang (eds). CRC press, Boca Raton, FL;. Soil erosion and dryland farming pp 191 – 201.
- Hupy, J.P. 2004. Influence of vegetation cover and crust type on wind-blown sediment in a semi-arid climate. *Journal of Arid Environments*, Vol 58(2) ; pp 167-179.
- Irvine, M.R., Gardiner, B.A., and Hill, M.K. 1997. The evolution of turbulence across a forest edge. *Boundary-Layer Meteorology*, Vol 84(3) ; pp 467-496.
- Karssenber, D., De and Jong, K. 2005. Dynamic environmental modelling in GIS: 2. Modelling error propagation. *International Journal of Geographical Information Science*, Vol 19(6) ; pp 623-637.
- King, J., Nickling, W.G., Gillies, J.A. 2005. Representation of vegetation and other nonerodible elements in aeolian shear stress partitioning models for predicting transport threshold. *Journal of Geophysical Research F: Earth Surface*, Vol 110(4).

- Klik, A. 2004. Wind Erosion Assessment in Austria using Wind Erosion Equation and GIS”, in OECD, Agricultural Impacts on Soil Erosion and Soil Biodiversity: Developing Indicators for Policy Analysis, Paris, France, www.oecd.org/tad/env/indicators.
- Lancaster, N., and Baas, A. 1998. Influence of vegetation cover on sand transport by wind: Field studies at Owens Lake, California. *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol 23(1) ; pp 69-82.
- Leenders, J.K., van Boxel, J.H., and Sterk, G. 2005. Wind forces and related saltation transport. *Geomorphology*, Vol 71(3-4) ; pp 357-372.
- Leenders, J.K. 2006. Wind erosion control with scattered vegetation in the Sahelian zone of Burkina Faso. Doctoral thesis Wageningen University, Wageningen.
- Leenders, J.K., van Boxel, J.H., and Sterk, G. 2007. The effect of single vegetation elements on wind speed and sediment transport in the Sahelian zone of Burkina Faso. *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol 32(10) ; pp 1454-1474.
- Leenders, J.K., Sterk, G., and Van Boxel, J.H. 2011. Modelling wind-blown sediment transport around single vegetation elements. *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol 36(9) ; pp 1218-1229.
- Leslie, L.M., and Speer, M.S. 2006. Modelling dust transport over central eastern Australia. *Meteorological Applications*, Vol 13(02) ; pp 141-167.
- Ley, T.W., Allen, R.G., Jensen, M.E., 2009. Adjusting wind speed measured over variable height Alfalfa for use in the ASCE standardized penman-monteith equation, Proceedings of World Environmental and Water Resources Congress 2009 - World Environmental and Water Resources Congress 2009: Great Rivers, pp. 4141-4157.
- Leys, J., McTainsh, G., and Shao, Y. 2001. Wind erosion monitoring and modeling techniques in Australia. In *Sustaining the Global Farm, Selected Papers from the 10th International Soil Conservation Organization Meeting May 24-29, 1999*, Stott, DE, Mohtar, RH, Steinhardt GC (eds). USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory, Purdue University, Richmond, IN; . Vol 940-950.
- Li, S.X., Wang, Z.H., Hu, T.T., Gao, Y.J., and Stewart, B.A. 2009. Chapter 3 Nitrogen in Dryland Soils of China and Its Management, *Advances in Agronomy*, pp. 123-181.
- Li, Z., Wu, S., Dale, J., Ge, L., He, M., Wang, X., Jin, J., Liu, J., Li, W., Ma, R., 2008. Wind tunnel experiments of air flow patterns over nabkhas modeled after those from the Hotan River basin, Xinjiang, China (II): Vegetated. *Frontiers of Earth Science in China*, Vol 2(3) ; pp 340-345.

- Lopez, M.V., Sabre, M., Gracia, R., Arrue, J.L., and Gomes, L. 1998. Tillage effects on soil surface conditions and dust emission by wind erosion in semiarid Aragon (NE Spain). *Soil and Tillage Research*, Vol 45(1-2) ; pp 91-105.
- Lu, H., Shao, and Y. 2001. Toward quantitative prediction of dust storms: An integrated wind erosion modelling system and its applications. *Environmental Modelling and Software*, Vol 16(3) ; pp 233-249.
- Lyles, L. 1988. 4. Basic wind erosion processes. *Agric. Ecosyst. Environ.*, Vol 22-23(C) ; pp 91-101.
- Martínez-Fernández, D., and Walker, D.J. 2011. The Effects of Soil Amendments on the Growth of *Atriplex halimus* and *Bituminaria bituminosa* in Heavy Metal-Contaminated Soils. *Water, Air and Soil Pollution*, Vol 223(1) ; pp 63-72.
- Maurer, T., Herrmann, L., and Stahr, K. 2009. The effect of surface variability factors on wind-erosion susceptibility: A field study in SW Niger. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, Vol 172(6) ; pp 798-807.
- Maurer, T., Herrmann, L., and Stahr, K. 2010. Wind erosion characteristics of Sahelian surface types. *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol 35(12) ; pp 1386-1401.
- McTainsh, G.H., and Pitblado, J.R. 1987. Dust storms and related phenomena measured from meteorological records in Australia. *Earth Surface Processes & Landforms*, Vol 12(4) ; pp 415-424.
- McTainsh, G.H., and Lynch, A.W. 1996. Quantitative estimates of the effect of climate change on dust storm activity in Australia during the last glacial maximum. *Geomorphology*, 17(1-3 SPEC. ISS.), Vol 263-271.
- McTainsh, G.H., Leys, J.F., and Nickling, W.G. 1999. Wind erodibility of arid lands in the channel country of western Queensland, Australia. *Zeitschrift fur Geomorphologie, Supplementband*, Vol 116 ; pp 113-130.
- Michels, K., Sivakumar, M.V., and Allison, B.E. 1995. Wind erosion control using crop residue. II. Effects on millet establishment and yields. *Field Crops Research*, Vol 40(2) ; pp 111-118.
- Middleton, N.J., Goudie, A.S., and Wells, G.L. 1986. The frequency and source areas of dust storms. 17th annual, In: Nickling, W.G. (ed.) *Aeolian Geomorphology*. Allen and Unwin, London , pp 237-259.
- Molina-Aiz, F.D., Valera, D.L., Álvarez, A.J., and Madueño, A. 2006. A Wind Tunnel Study of Airflow through Horticultural Crops: Determination of the Drag Coefficient. *Biosystems Engineering.*, Vol 93(4) ; pp 447-457.

- Morgan, R.P.C. (2005). *Soil Erosion and Conservation* (3rd ed.). Malden, MA: Blackwell Publishing, Oxford, 2005. ISBN 1-4051-1781-8.
- Munson, S.M., Belnap, J., Okin, G.S., 2011. Responses of wind erosion to climate-induced vegetation changes on the Colorado Plateau. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol 108(10) ; pp 3854-3859.
- Musick, H.B., Trujillo, S.M., and Truman, C.R. 1996. Wind-tunnel modelling of the influence of vegetation structure on saltation threshold. *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol 21(7) ; pp 589-605.
- Niemeijer, D., and Mazzucato, V. 2002. Soil degradation in the West African Sahel: How serious is it? *Environment*, Vol 44(2) ; pp 20-31.
- Okoba, B.O., and Sterk, G. 2006. Quantification of visual soil erosion indicators in Gikuuri catchment in the central highlands of Kenya. *Geoderma*, Vol 134(1-2) ; pp 34-47.
- Pacheco, A.M., McNairn, H., and Merzouki, A. 2010. Evaluating TerraSAR-X for the identification of tillage occurrence over an agricultural area in Canada, *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*.
- Qi, L., Wang, T., and Li, Q. 2011. Investigation on dust suppressant for the ash field of coal-fired power plant, 2011 International Conference on Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering, RSETE 2011 - Proceedings, pp. 4129-4132.
- Raupach, M.R. 1990. Turbulent transfer in plant canopies. In: Russel, G., Marshall, B., and Jarvis P.G. (eds.) *Plant canopies, their growth and function*. Cambridge University Press, 178 pp.
- Raupach, M.R. 1992. Drag and drag partition on rough surfaces. *Boundary-Layer Meteorology*, Vol 60(4) ; pp 375-395.
- Raupach, M.R., Gillette, D.A., and Leys, J.F. 1993. The effect of roughness elements on wind erosion threshold. *Journal of Geophysical Research*, 98(D2), 3023-3029.
- Riksen, M., Brouwer, F., De Graaff, J., 2003. Soil conservation policy measures to control wind erosion in northwestern Europe. *Catena*, Vol 52(3-4) ; pp 309-326.
- Romm, J., 2011. Desertification: The next dust bowl. *Nature*, Vol 478(7370) ; pp 450-451.
- Ruiz-Mirazo, J., and Robles, A.B. 2011. Short- and medium-term response of *Atriplex halimus* L. to repeated seasonal grazing in south-eastern Spain. *Journal of Arid Environments*, Vol 75(6); pp 586-595.

- Saleh, A. 1993. Soil Roughness Measurement - Chain Method. *Journal of Soil and Water Conservation*, Vol 48(6) ; pp 527-529.
- Shao, Y., and Leslie, L.M. 1997. Wind erosion prediction over the Australian continent. *Journal of Geophysical Research D: Atmospheres*, Vol 102(25) ; pp 30091-30105.
- Shao, Y., Raupach, M.R., and Findlater, P.A. 1993. Effect of saltation bombardment on the entrainment of dust by wind. *Journal of Geophysical Research*, Vol 98(D7), 12,719-; pp 712,726.
- Shao, Y., and Zhao, S. 2001. Wind Erosion and Wind Erosion Research in China: A Review. *Annals of Arid Zone*, Vol 40(3) ; pp 317-336.
- Shao, Y., Jung, E., and Leslie, L.M. 2002. Numerical prediction of northeast Asian dust storms using an integrated wind erosion modeling system. *Journal of Geophysical Research D: Atmospheres*, Vol 107(24).
- Shao, Y. 2008. *Physics and Modelling of Wind Erosion*. Springer, Berlin, Heidelberg, New York.
- Sharratt, B., and Wendling, L., Feng, G. 2012. Surface characteristics of a windblown soil altered by tillage intensity during summer fallow. *Aeolian Research*, Vol 5 ; pp 1-7.
- Sivakumar, M.V.K., Motha, R.P., and Das, H.P. 2005. Impacts of sandstorms/dust storms on agriculture. In *Natural Disasters and Extreme Events in Agriculture: Impacts and Mitigation*. Sivakumar MVK, Motha RP, Das HP (eds). Springer Berlin, Heidelberg, New York; pp 159-178.
- Skidmore, E.L., and Hagen, L.J. 1977. Reducing wind erosion with barriers. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers (Gen Ed)*, Vol 20(5) ; pp 911-915.
- Skidmore, E.L. 1986. Wind erosion control. *Climatic Change*, Vol 9(1-2) ; pp 209-218.
- Spaan, W.P., van den and Abeelee, G.D. 1991. Wind borne particle measurements with acoustic sensors. *Soil Technology*, Vol 4(1) ; pp 51-63.
- Sterk, G., 1993. Sahehan wind erosion research project, Report III. Description and calibration of sediment samplers. Department of Irrigation and Soil & Water Conservation, Wageningen University, Wageningen.
- Sterk, G., Herrmann, L., and Bationo, A. 1996. Wind-blown nutrient transport and soil productivity changes in Southwest Niger. *Land Degradation and Development*, Vol 7(4) ; pp 325-335.

- Sterk, G., and Raats, P.A.C. 1996. Comparison of models describing the vertical distribution of wind-eroded sediment. *Soil Science Society of America Journal*, Vol 60(6) ; pp 1914-1919.
- Sterk, G. 1997. *Wind Erosion In The Sahelian Zone Of Niger: Processes, Models, and Control Techniques*. Doctorate thesis, Wageningen University Wageningen.
- Sterk, G., Jacobs, A.F.G., and Van Boxel, J.H. 1998. The effect of turbulent flow structures on saltation sand transport in the atmospheric boundary layer. *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol 23(10); pp 877-887.
- Sterk, G., López, M.V. and Arrúe, J.L. 1999. Saltation transport on silt loam soil in Northeast Spain. *Land Degradation and Development*, Vol 10(6) ; pp 545-554.
- Sterk, G., and Spaan, W.P. 1997. Wind erosion control with crop residues in the Sahel. *Soil Science Society of America Journal*, Vol 61(3) ; pp 911-917.
- Sterk, G., and Stein, A. 1997. Mapping wind-blown mass transport by modeling variability in space and time. *Soil Science Society of America Journal*, Vol 61(1) ; pp 232-239.
- Stetler, L.D., Saxton, K.E., 1996. Wind erosion and PM10 emissions from agricultural fields on the Columbia Plateau. *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol 21(7); pp 673-685.
- Stroosnijder, L. 2005. Measurement of erosion: is it possible? *Catena*, 64(2-3), 162-173.
- Stroosnijder, L. 2007. Rainfall and land degradation. In Sivakumar, MVK and N Ndiang'ui (Eds) *Climate and land degradation* Springer, Berlin, pp 167-195
- Tenge, A.J., De Graaff, J., and Hella, J.P. 2005. Financial efficiency of major soil and water conservation measures in West Usambara highlands, Tanzania. *Applied Geography*, Vol 25(4) ; pp 348-366.
- Thomas, R.J and Turkelboom, F. 2008. An Integrated Livelihoods-based Approach to Combat Desertification in Marginal Drylands. In: C. Lee, T. Schaaf (Eds.), *Future of Drylands*. Springer, Dordrecht, pp. 631-646.
- Tibke, G. 1988. Basic principles of wind erosion control. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Vol 22–23(0) ; pp 103-122.
- Todd, R.W., Guo, W., Stewart, B.A., and Robinson, C. 2004. Vegetation, phosphorus, and dust gradients downwind from a cattle feedyard. *Journal of Range Management.*, Vol 57(3) ; pp 291-299.
- Udo, K., and Takewaka, S., 2007. Experimental study of blown sand in a vegetated area. *J. Coast. Res.*, Vol 23(5) ; pp 1175-1182.

- Udo, K., Kuriyama, Y., Jackson, D.W.T., 2008. Observations of wind-blown sand under various meteorological conditions at a beach. *Journal of Geophysical Research F: Earth Surface*, field of Earth Surf., Vol 113(4).
- Van De Ven, T.A.M., Fryrear, D.W., and Spaan, W.P. 1989. Vegetation characteristics and soil loss by wind. *Journal of Soil & Water Conservation*, Vol 44(4) ; pp 347-349.
- Visser, S.M., Sterk, G., and Karssenber, D. 2005a. Modelling water erosion in the Sahel: Application of a physically based soil erosion model in a gentle sloping environment. *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol 30(12), ; pp 1547-1566.
- Visser, S.M., Sterk, G., and Karssenber, D. 2005b. Wind erosion modelling in a Sahelian environment. *Environmental Modelling and Software*, Vol 20(1); pp 69-84.
- Visser, S.M., Stroosnijder, L., Chardon, W.J. 2005c. Nutrient losses by wind and water, measurements and modelling. *Catena*, Vol 63(1) ; pp 1-22.
- Visser, S.M. and Palma, J. 2004. Upscaling wind and water erosion models, Far from reality?. Chapter in the book of *Wind and rain Interaction in erosion*. In: *Wind and rain interaction in erosion* / Visser, S.M., Cornelis, W., Wageningen: Erosion & Soil and Water Conservation Group, 2004 (Tropical Resource Management Papers (TRMP) 50) - ISBN 906754843X.
- Visser, S.M. and Sterk, G. 2007. Nutrient dynamics - Wind and water erosion at the village scale in the Sahel. *Land Degradation and Development*, Vol 18(5) ; pp 578-588.
- Warren, A., 2010. Sustainability in aeolian systems. *Aeolian Research*, Vol 1(3-4) ; pp 95-99.
- Washington, R., Todd, M., Middleton, N.J., and Goudie, A.S. 2003. Dust-storm source areas determined by the total ozone monitoring spectrometer and surface observations. *Annals of the Association of American Geographers*, Vol 93(2) ; pp 297-313.
- White, B.R. 1996. Laboratory simulation of aeolian sand transport and physical modeling of flow around dunes. *Annals of Arid Zone*, Vol 35(3) ; pp 187-213.
- White, B.R. 1997. A Wind Tunnel Study to Determine Vegetation Cover Required to Suppress Sand Dust Transport at Owens (dry) Lake, California, Univ. of Cal, Davis, Dept. of Mechanical and Aeronautical Engineering, Interagency Agreement no.9464, Final Report, pp. 1-168. Prepared for: Cal. State Lands Commission, Sacramento, CA 95814-7187.
- Willmott, C.J., 1981. On the validation of models. *Phys. Geogr.*, Vol 2(2), ; pp 184-194.

- Wilson, S.J. and Cooke, R.U., 1980. Wind erosion. In *Soil Erosion*, Kirkby, M.J., Morgan, R.P.C. (eds). John Wiley & Sons, Chichester, UK; 217-251.
- Wilson, T.M., Cole, J.W., Stewart, C., Cronin, S.J., and Johnston, D.M. 2011. Ash storms: Impacts of wind-remobilised volcanic ash on rural communities and agriculture following the 1991 Hudson eruption, southern Patagonia, Chile. *Bulletin of Volcanology*, Vol 73(3); pp 223-239.
- Woodruff, N.P. and Siddoway, F.H. 1965. A wind erosion equation. *Soil Science Society of America Journal. Proc.* Vol 29; pp 602-608.
- Woodruff, N.P., 1956. Wind-blown soil abrasive injuries to winter wheat plants, *Agronomy Journal*, Vol 48; pp 499-504.
- Wuyts, K., Verheyen, K., De Schrijver, A., Cornelis, W.M., and Gabriels, D. 2008. The impact of forest edge structure on longitudinal patterns of deposition, wind speed, and turbulence. *Atmospheric Environment*, Vol 42(37) ; pp 8651-8660.
- Xue, M., Song, D., and Zhang, J. 2008. Compaction and testing method of wind-blown-sand subgrade, *Proceedings of the 7th International Conference of Chinese Transportation Professionals Congress 2007: Plan, Build, and Manage Transportation Infrastructures in China*, pp. 858-866.
- Yan, C., Wang, T., and Han, Z. 2005. Using MODIS data to assess land desertification in Ordos Plateau - Mu us sandy land case study, *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, pp. 2373-2375.
- Youssef, F., Visser, S., Karssenber, D., Bruggeman, A., and Erpul, G. 2012a. Calibration of RWEQ in a patchy landscape; a first step towards a regional scale wind erosion model. *Aeolian Research*, Vol 3(4) ; pp 467-476.
- Youssef, F., Visser, S., Karssenber, D., Erpul, G., Cornelis, W.M., Gabriels, D., and Poortinga, A. 2012b. The effect of vegetation patterns on wind-blown mass transport at the regional scale: A wind tunnel experiment. *Geomorphology*. Vol 159-160; pp 178-188.
- Zobeck, T.M. and Fryrear, D.W. 1986. Chemical and physical characteristics of windblown sediment I. Quantities and physical characteristics. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers (Gen Ed)*, Vol 29(4) ; pp 1032-1036.
- Zobeck, T.M., Parker, N.C., Haskell, S., and Guoding, K. 2000. Scaling up from field to region for wind erosion prediction using a field-scale wind erosion model and GIS. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Vol 82(1-3) ; pp 247-259.

- Zobeck, T.M. 2002. Field measurement of erosion by wind. *Encyclopedia of Soil Science*. Marcel Dekker, New York, pp 503–507.
- Zobeck, T.M., Sterk, G., Funk, R., Rajot, J.L., Stout, J.E., and Van Pelt, R.S. 2003. Measurement and data analysis methods for field-scale wind erosion studies and model validation. *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol 28(11); pp 1163-1188.
- Zou, X.Y., Cheng, H., Zhang, C.L., and Zhao, Y.Z. 2007. Effects of the Magnus and Saffman forces on the saltation trajectories of sand grain. *Geomorphology*, Vol 90(1-2);pp 11-22.

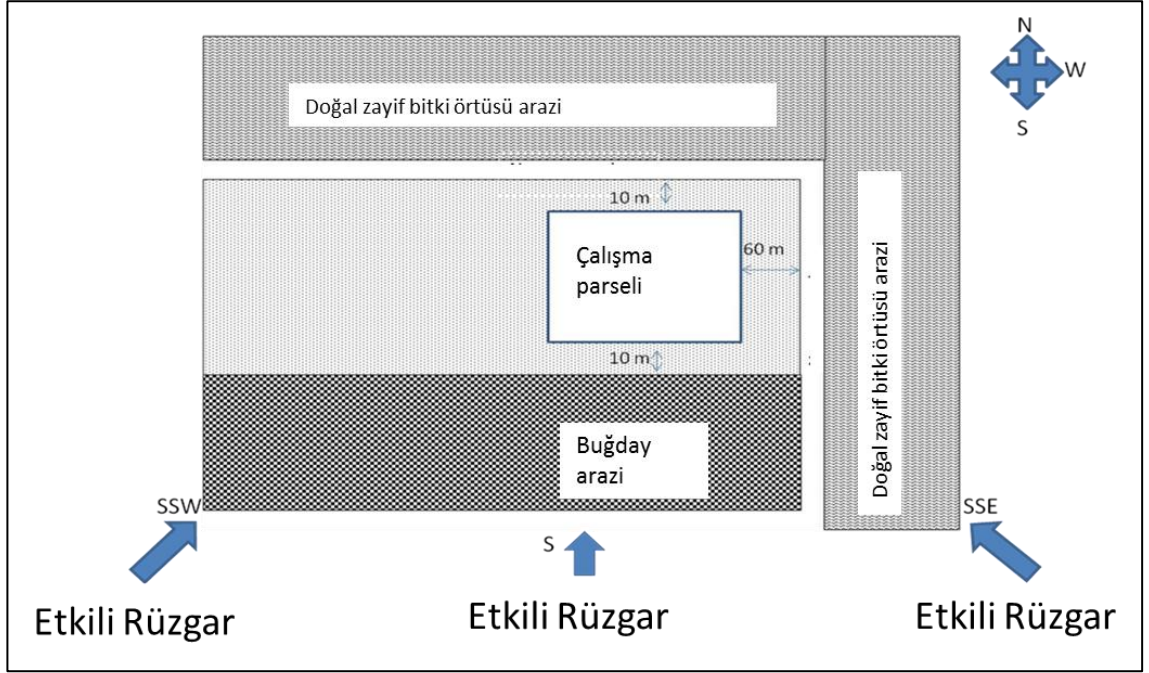
EKLER

- Ek 1 Karapınar Latife Cingözü çalışma parseli ve etrafındaki arazi kullanım görüntüsü
- Ek 2 Karapınar Örnek tepe çalışma parseli ve etrafındaki arazi kullanım görüntüsü
- Ek 3 Khanasser Vadisi, Serdah C parseli çalışma parseli ve etrafındaki arazi kullanım görüntüsü
- Ek 4 Khanasser Vadisi, Umm Mial çalışma parseli ve etrafındaki arazi kullanım görüntüsü
- Ek 5 Khanasser Vadisi, Adami (Kumlu alanı) çalışma parseli ve etrafındaki arazi kullanım görüntüsü
- Ek 6 Khanasser Vadisi, Mugherat (Atriplex olamayan alanı) çalışma parseli ve etrafındaki arazi kullanım görüntüsü
- Ek 7 Khanasser Vadisi, Mugherat (Atriplex alanı) çalışma parseli ve etrafındaki arazi kullanım görüntüsü
- Ek 8 Khanasser Vadisi, Serdah A çalışma parseli ve etrafındaki arazi kullanım görüntüsü
- Ek 9 Toplam sediment taşınımı hesaplanmasında kullanılan regresyon modelin uyumu
- Ek 10 Kalibre edilmiş YRED modelinin formatı
- Ek 11 Khanasser, Adami (kumlu alanı) parseli için kalibre edilmiş YRED modelinin tahmin ettiği sediment kütle akışının konumsal dağılımı
- Ek 12 Khanasser, Mug Atri parseli için kalibre edilmiş YRED modelinin tahmin ettiği sediment kütle akışının konumsal dağılımı
- Ek 13 Khanasser, Mugherat (Atriplex olamayan) parseli için kalibre edilmiş YRED modelinin tahmin ettiği sediment kütle akışının konumsal dağılımı
- Ek 14 Khanasser, Serdah C parseli için kalibre edilmiş YRED modelinin tahmin ettiği sediment kütle akışının konumsal dağılımı
- Ek 15 Khanasser, Serdah A parseli için kalibre edilmiş YRED modelinin tahmin ettiği sediment kütle akışının konumsal dağılımı
- Ek 16 Her bir bitki deseni için tünel içinde belirli yüksekliklerde ölçülen sediment miktarlarının konumsal dağılımları (deney 1)

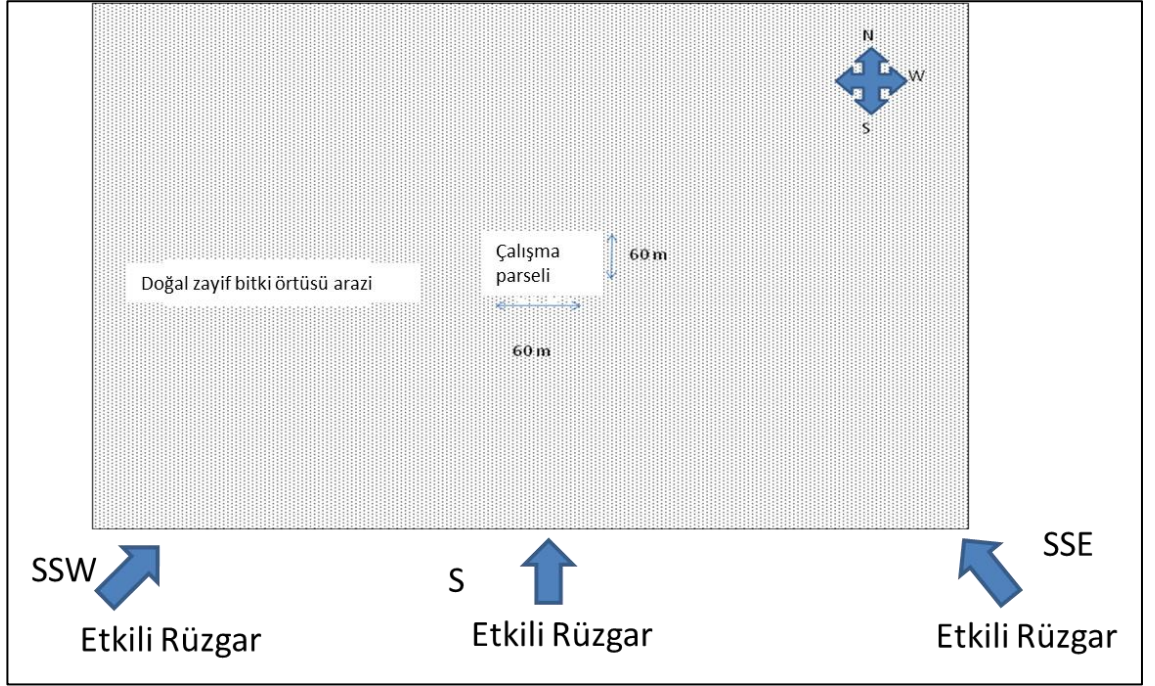
Ek 17 Her bir bitki deseni için tünel içinde belirli yüksekliklerde ölçülen sediment miktarlarının konumsal dağılımları (deney 2)

Ek 18 Her bir bitki deseni için tünel içinde belirli yüksekliklerde ölçülen sediment miktarlarının konumsal dağılımları (deney 3)

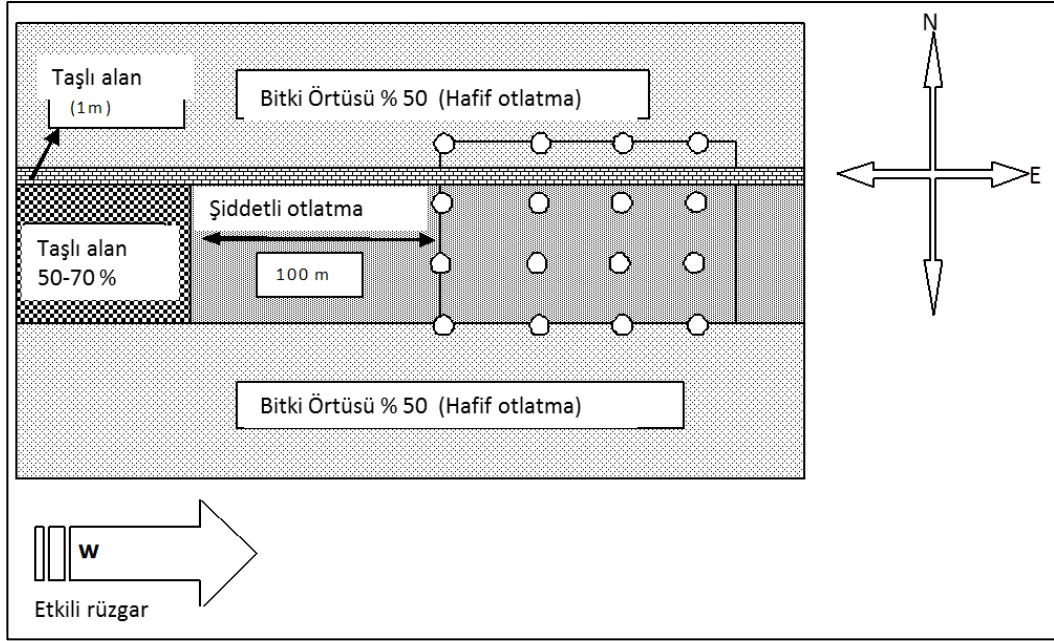
Ek 1. Karapınar Latife Cingözü çalışma parseli ve etrafındaki arazi kullanım görüntüsü



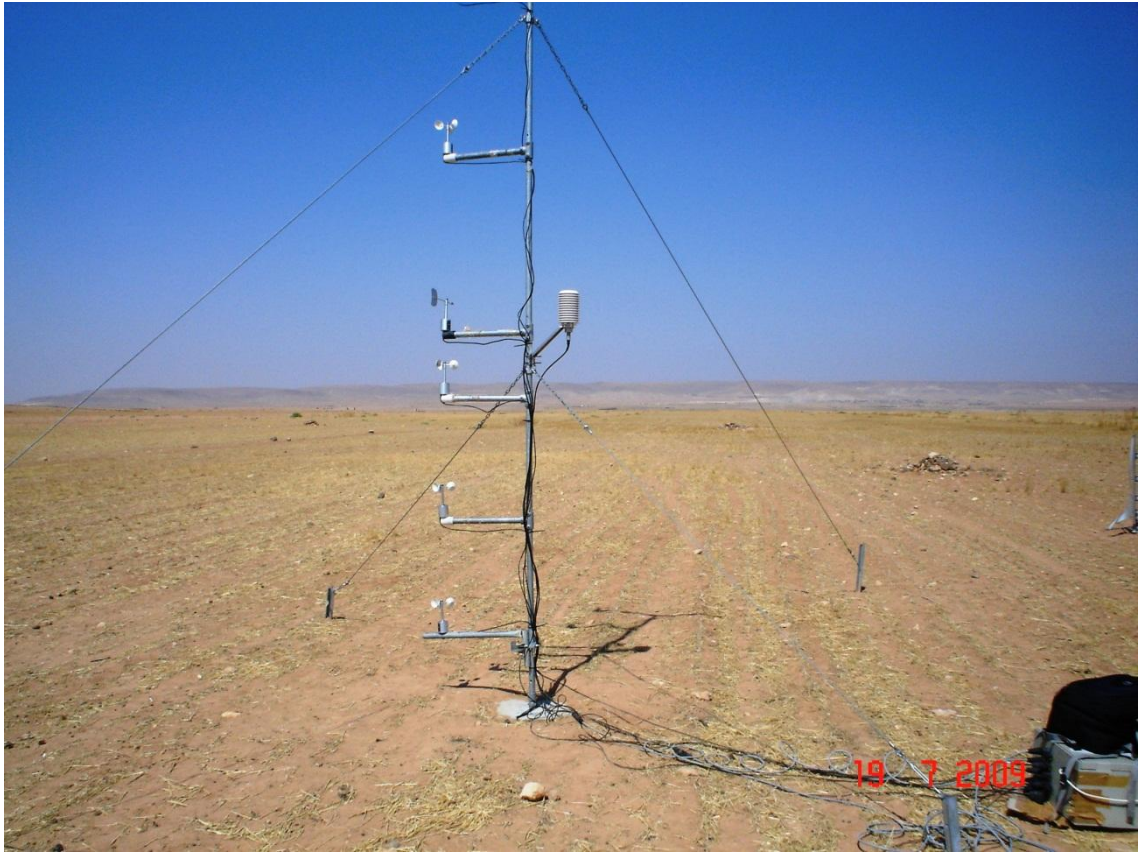
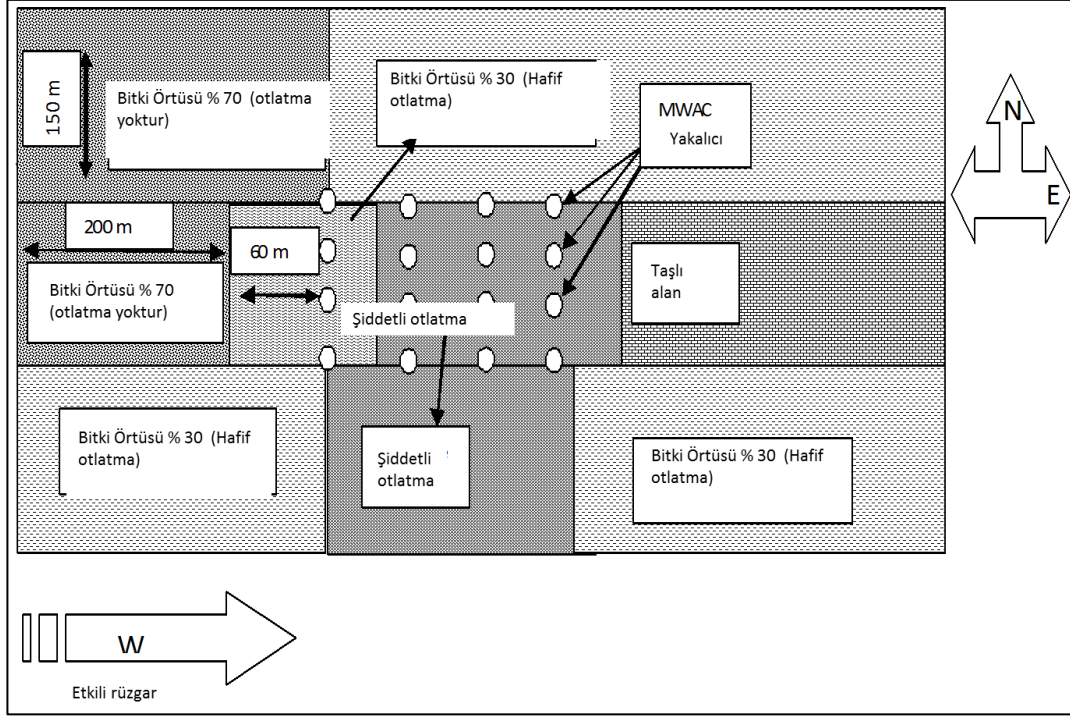
Ek 2. Karapınar Örnek tepe çalışma parseli ve etrafındaki arazi kullanım görüntüsü



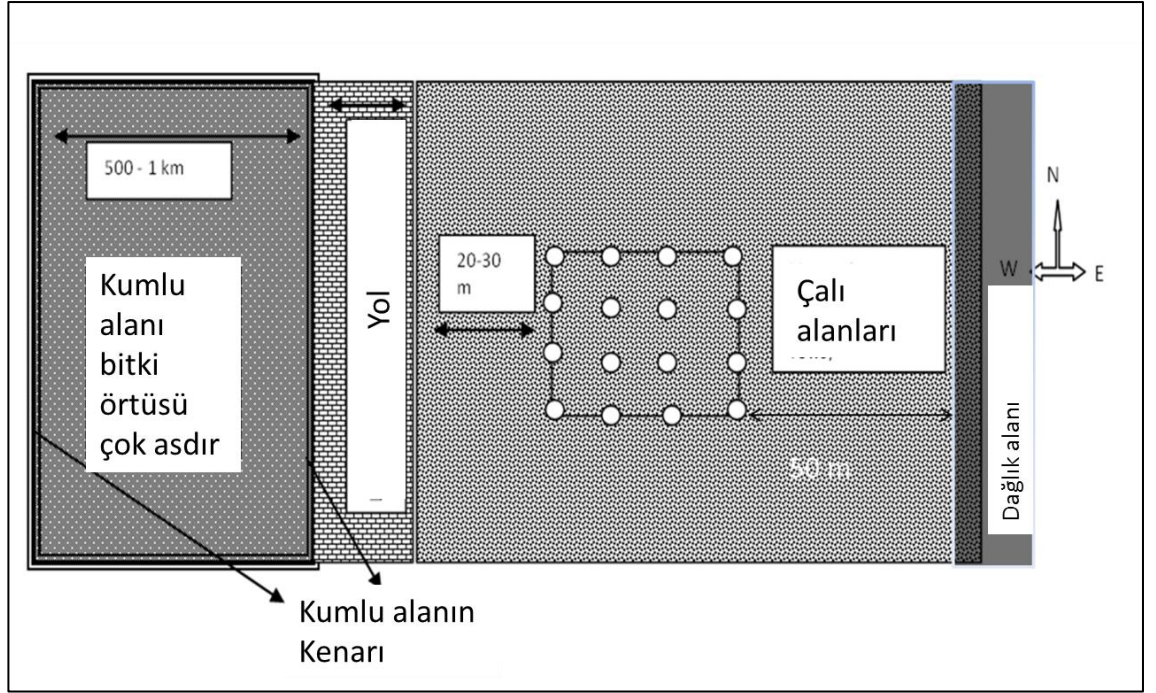
Ek 3. Khanasser Vadisi, Serdah C parseli çalışma parseli ve etrafındaki arazi kullanım görüntüsü



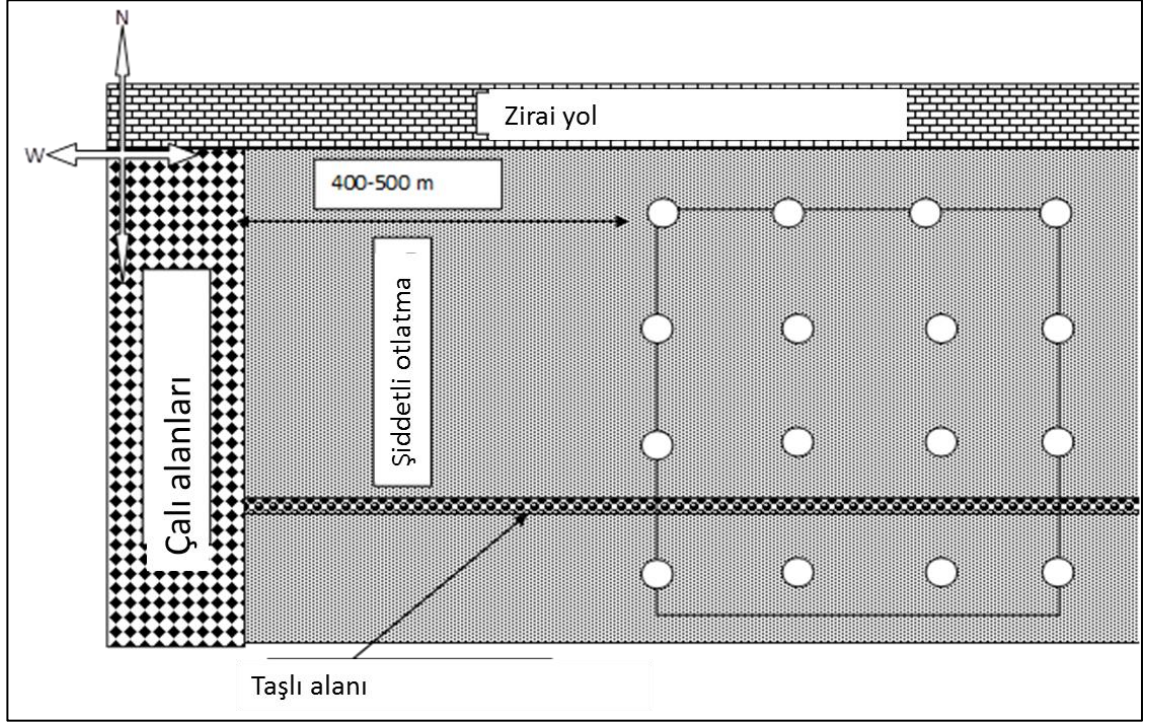
Ek 4. Khanasser Vadisi, Umm Mial çalışma parseli ve etrafındaki arazi kullanım görüntüsü



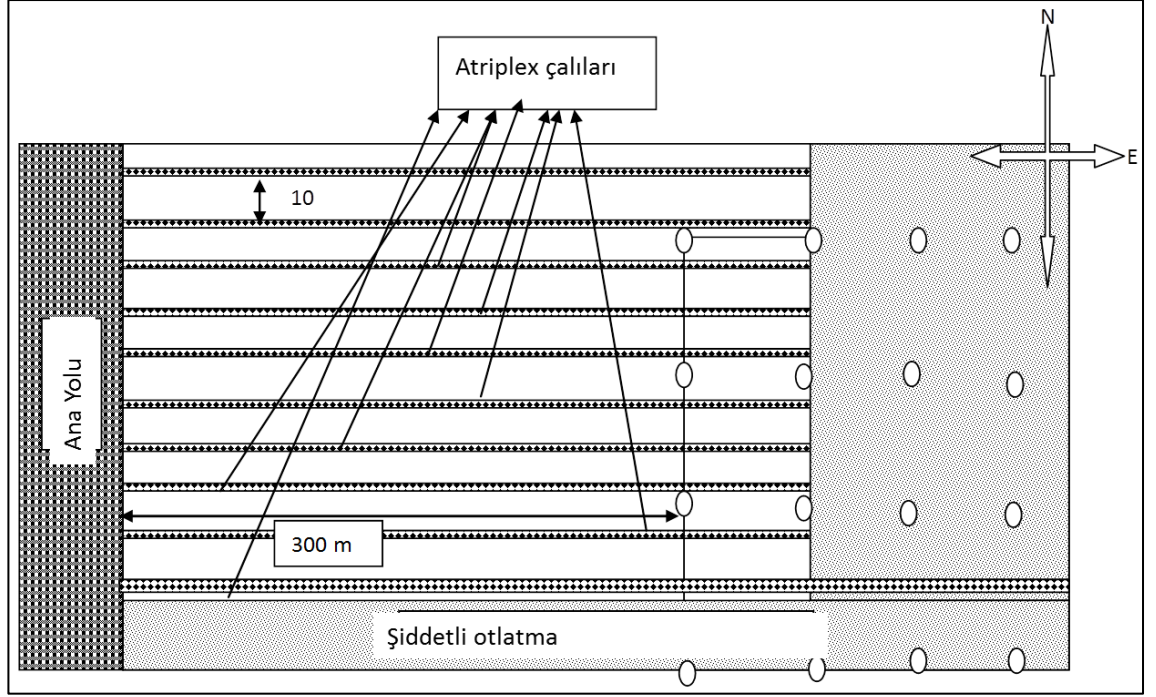
Ek 5. Khanasser Vadisi, Adami (Kumlu alanı) çalışma parseli ve etrafındaki arazi kullanım görüntüsü



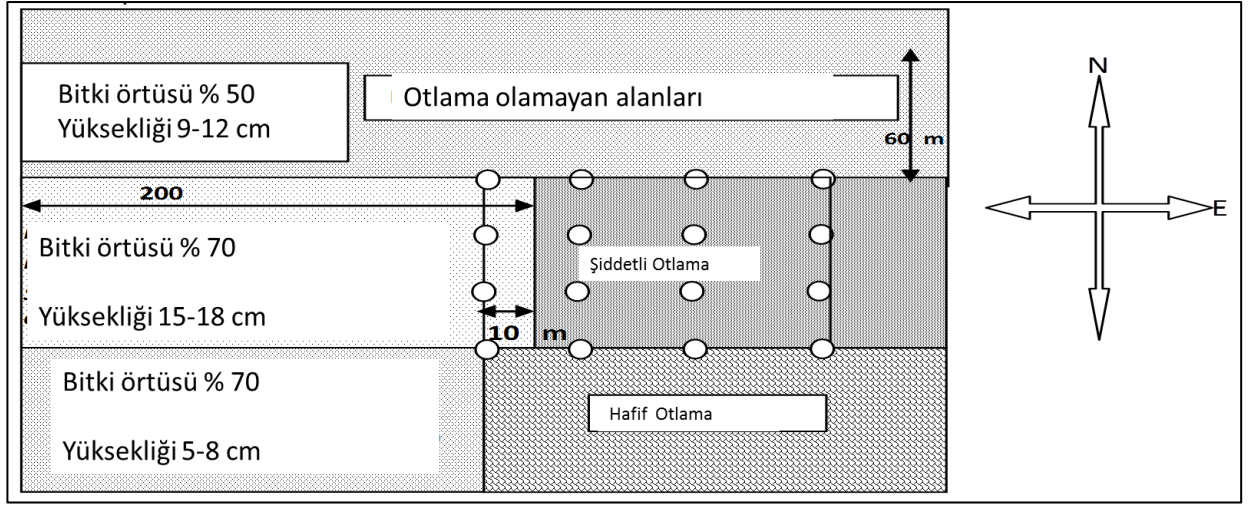
Ek 6. Khanasser Vadisi, Mugherat (Atriplex olamayan alanı) çalışma parseli ve etrafındaki arazi kullanım görüntüsü



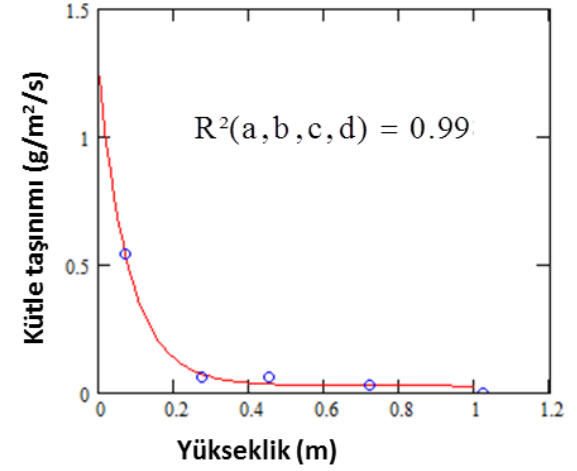
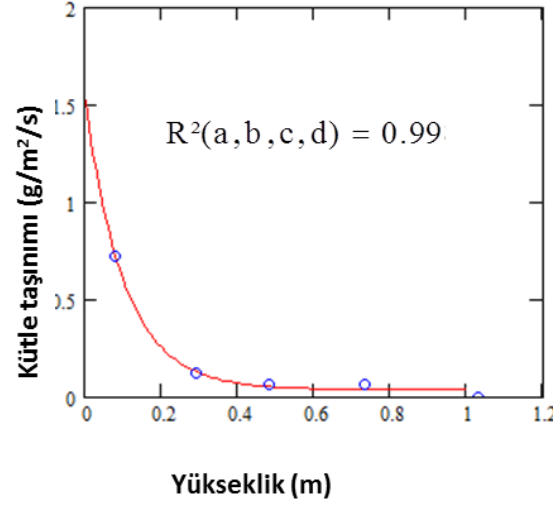
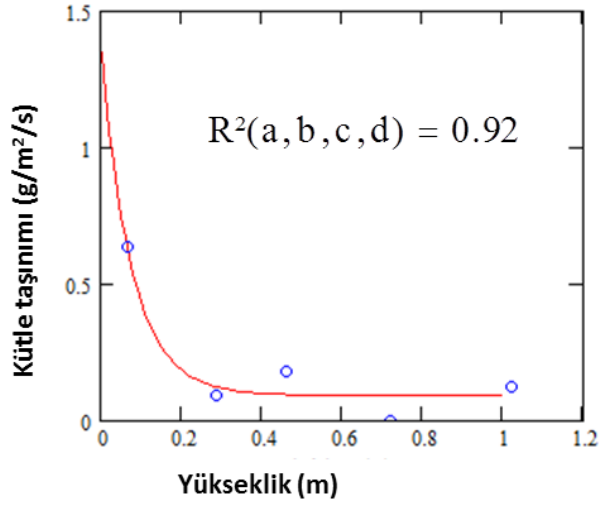
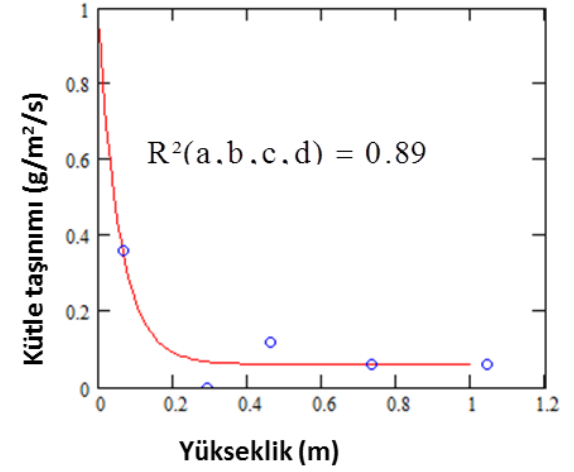
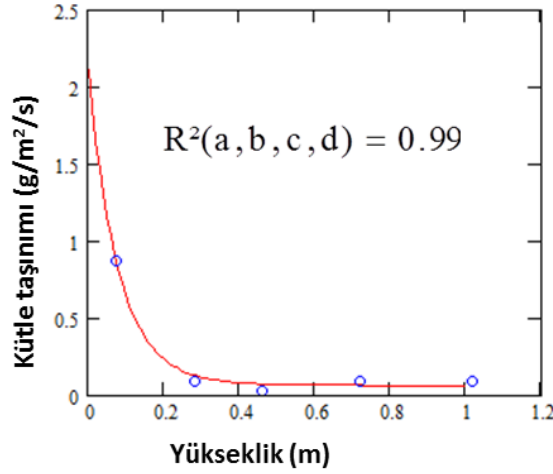
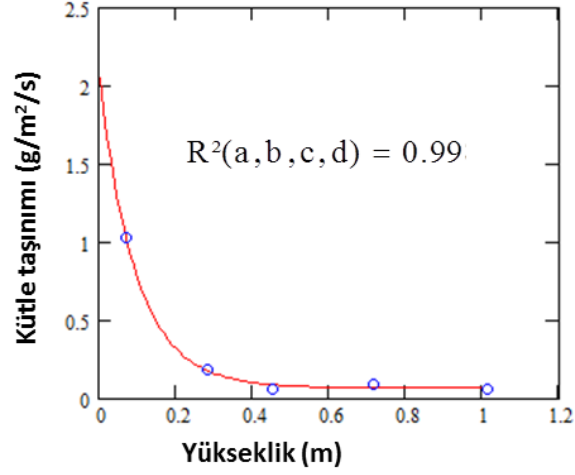
Ek 7. Khanasser Vadisi, Mugherat (Atriplex alanı) çalışma parseli ve etrafındaki arazi kullanım görüntüsü



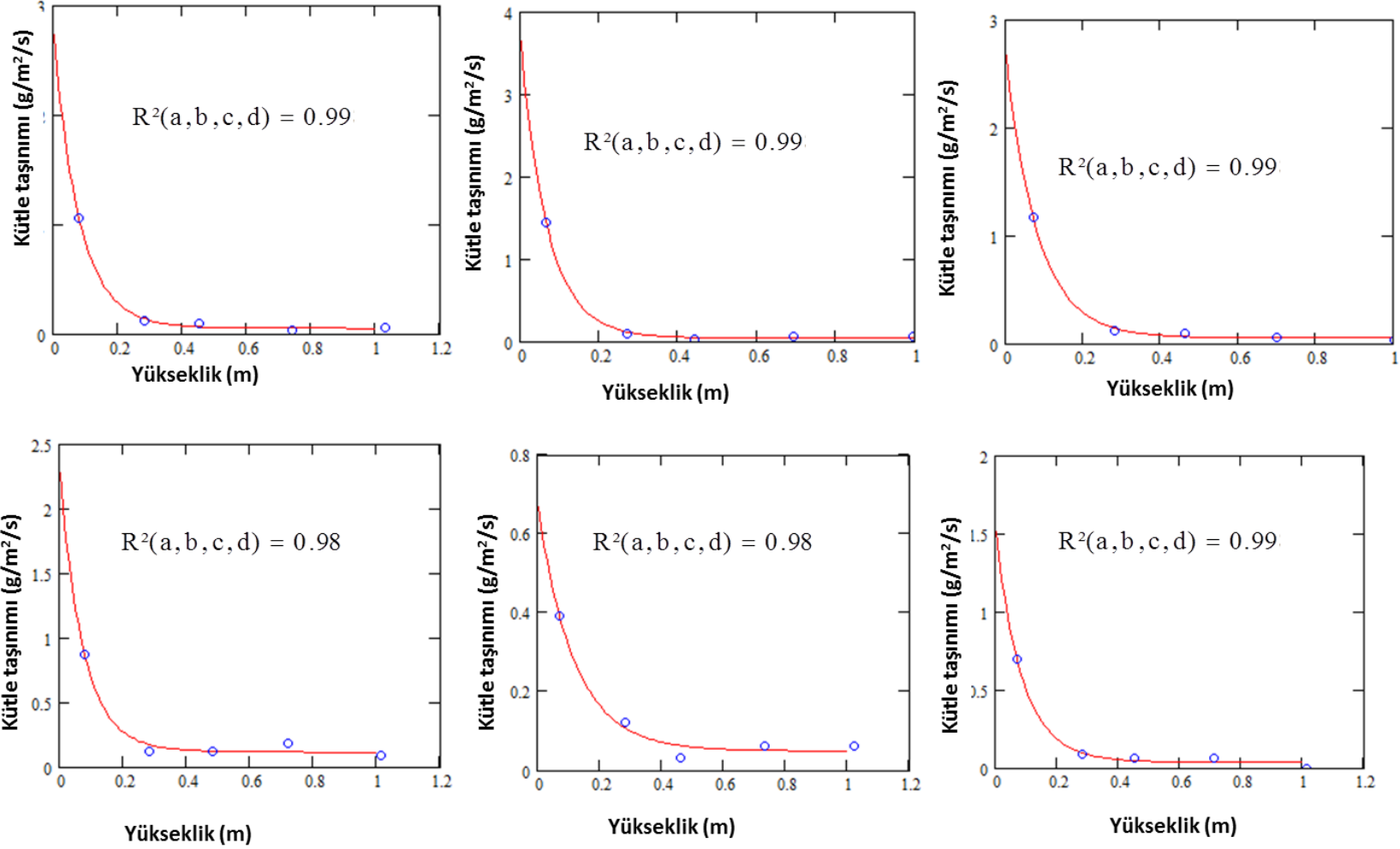
Ek 8. Khanasser Vadisi, Serdah A çalışma parseli ve etrafındaki arazi kullanım görüntüsü



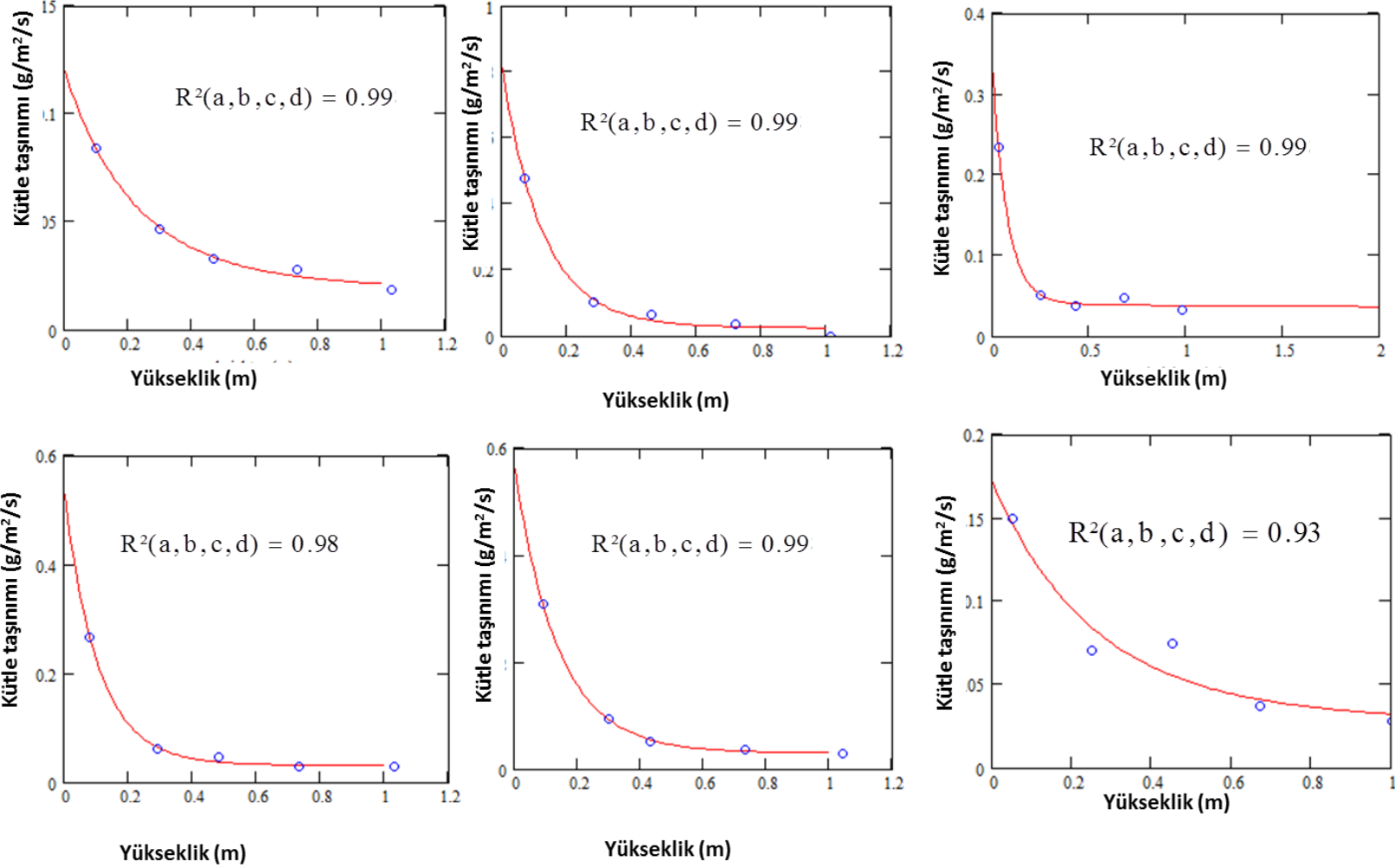
Ek 9. Toplam sediment taşınımı (Q) hesaplanmasında kullanılan regresyon modelin uyumu



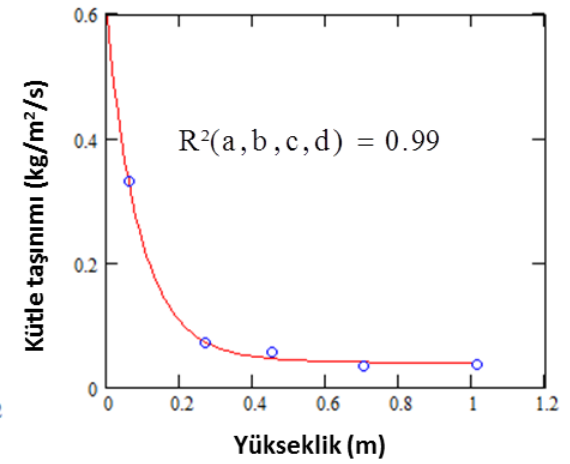
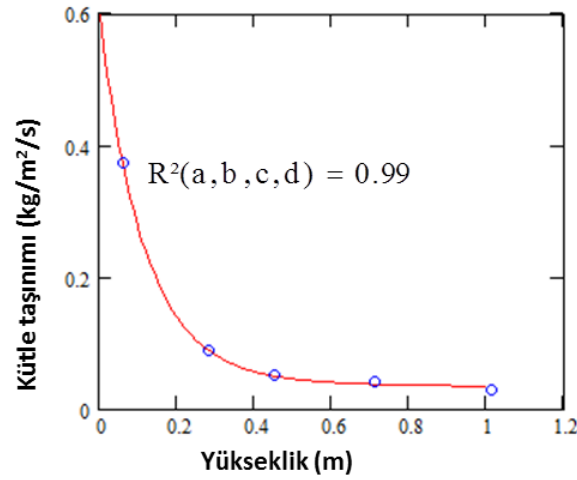
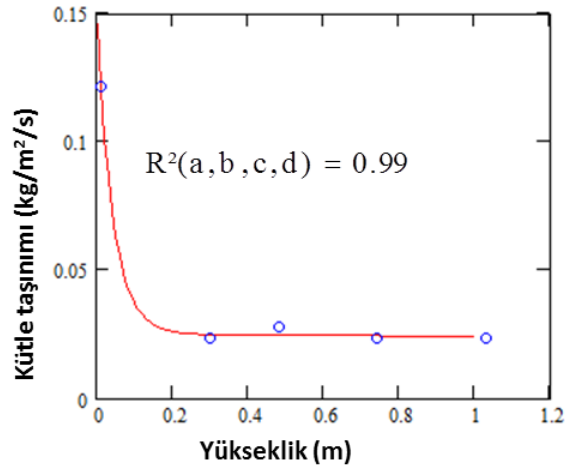
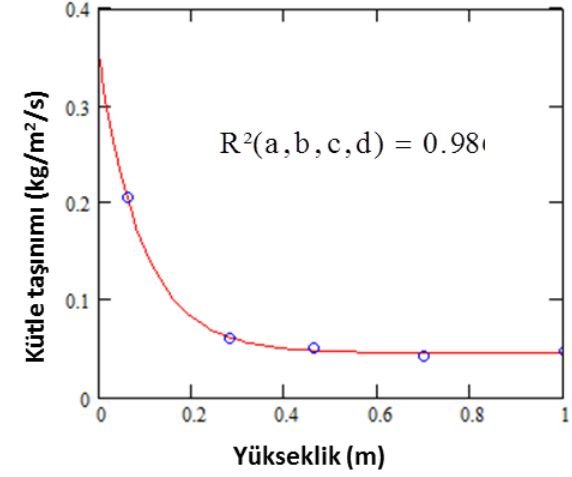
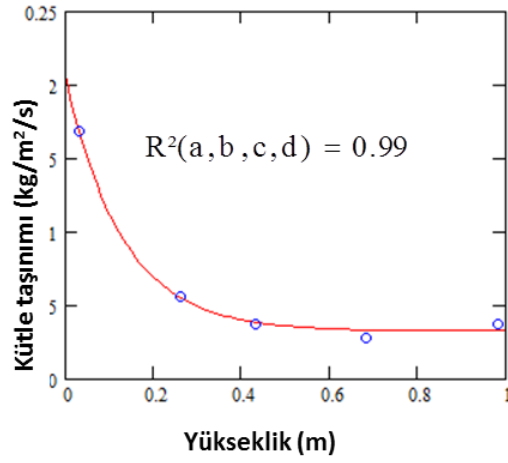
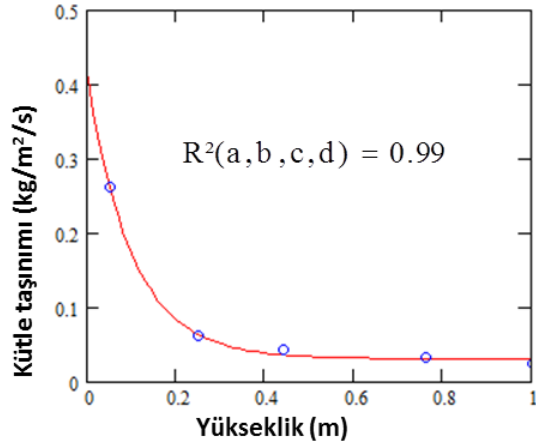
Ek 9 (devam). Toplam sediment taşınımı (Q) hesaplanmasında kullanılan regresyon modelin uyumu



Ek 9 (devam). Toplam sediment taşınımı (Q) hesaplanmasında kullanılan regresyon modelin uyumu

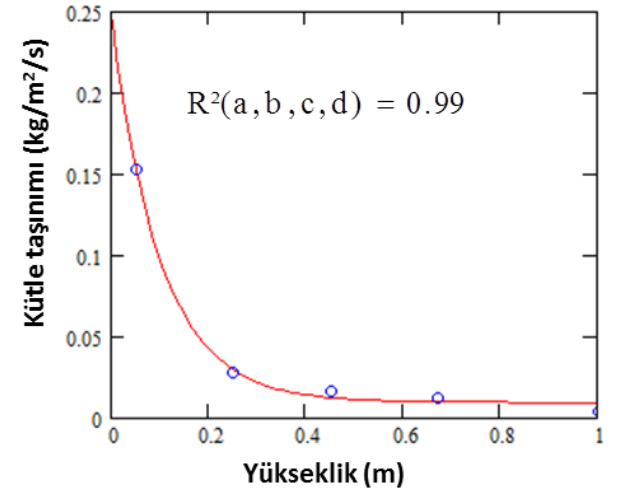
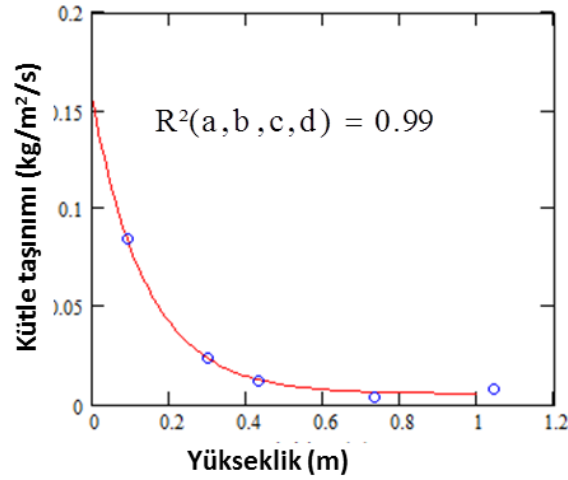
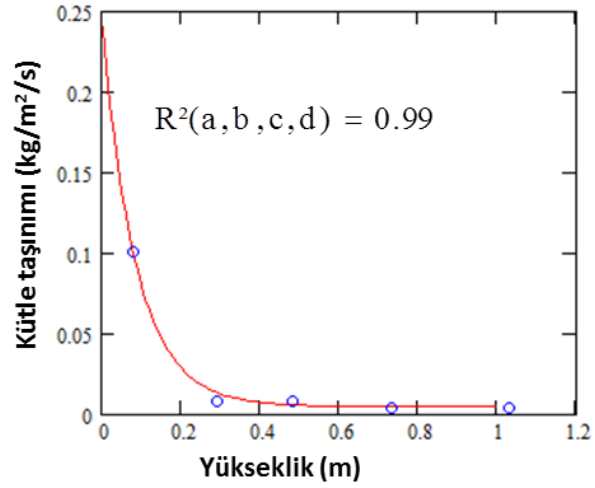
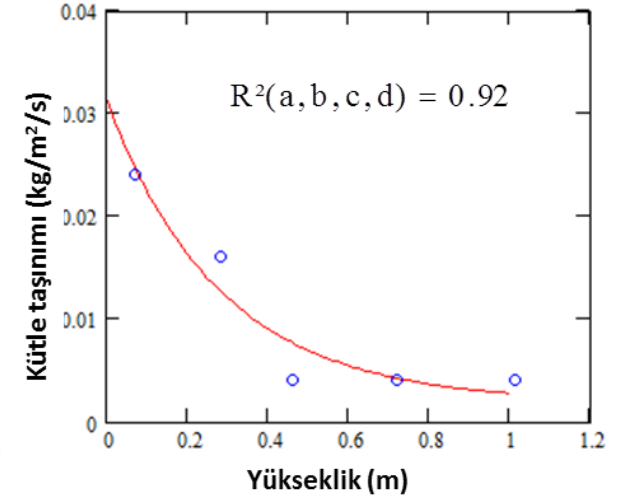
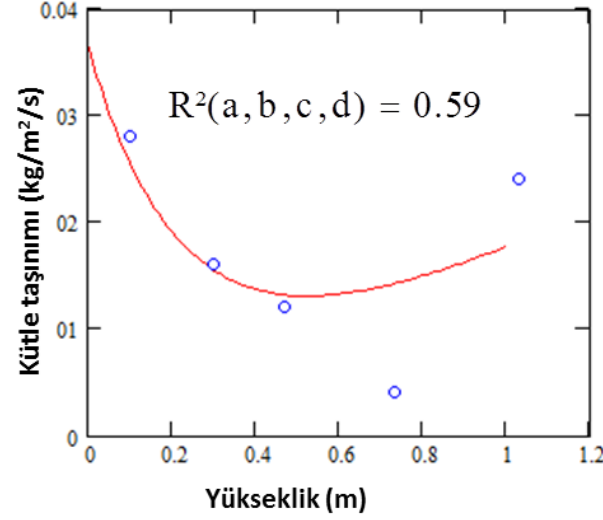
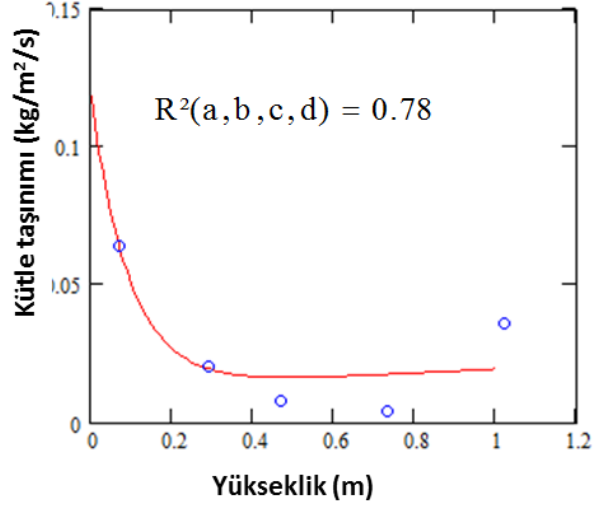


Ek 9 (devam). Toplam sediment taşınımı (Q) hesaplanmasında kullanılan regresyon modelin uyumu

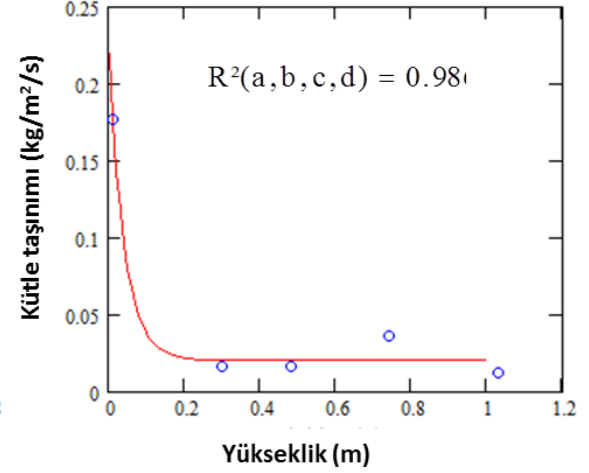
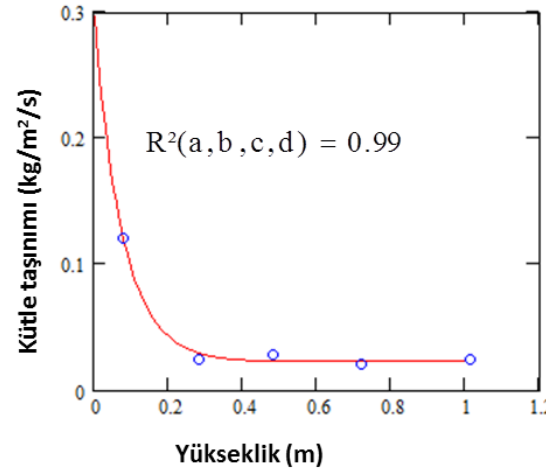
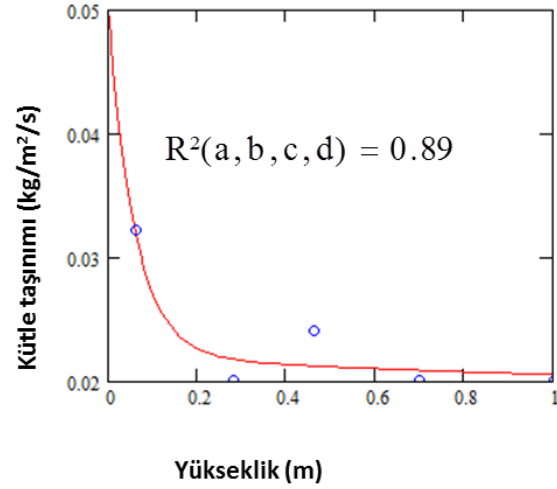
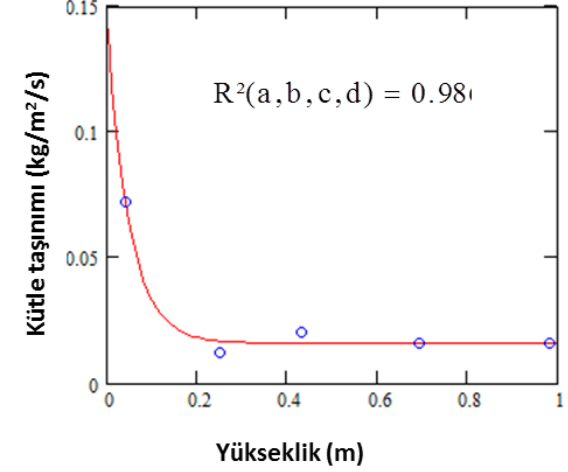
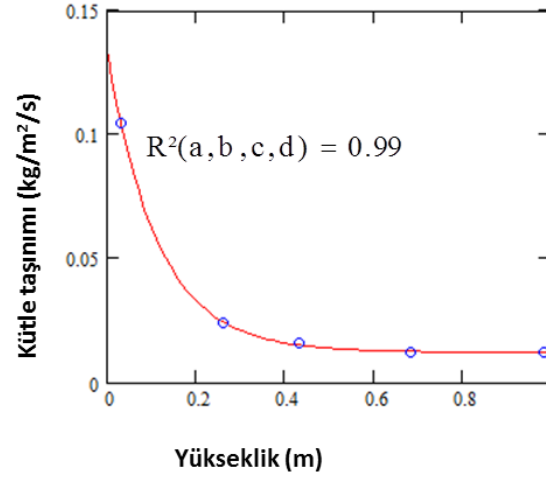
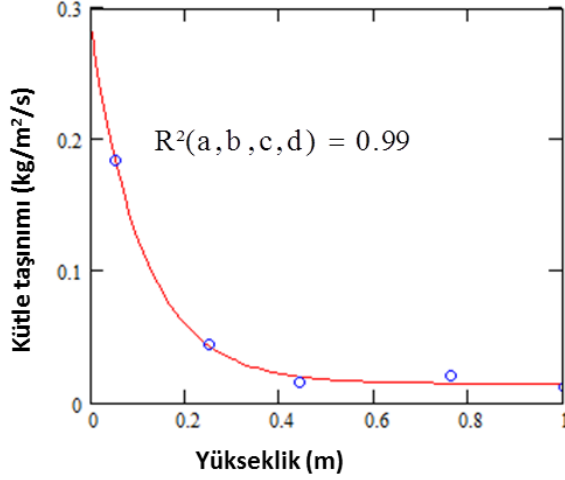


Ek 9 (devam). Toplam sediment taşınımı (Q) hesaplanmasında kullanılan regresyon modelin uyumu

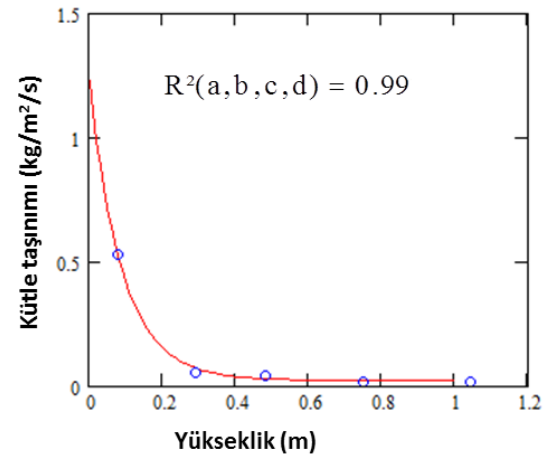
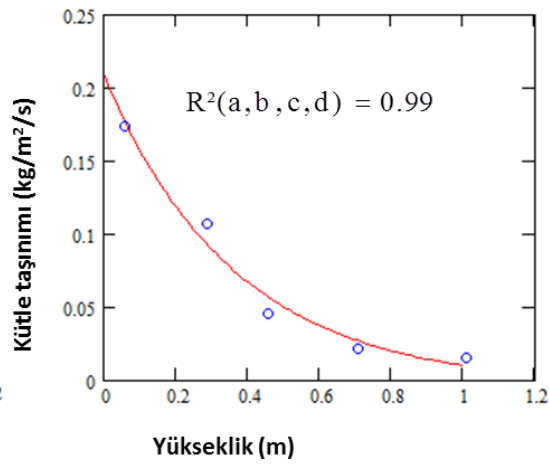
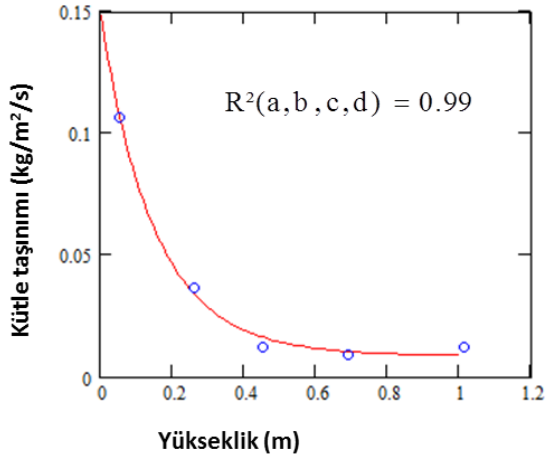
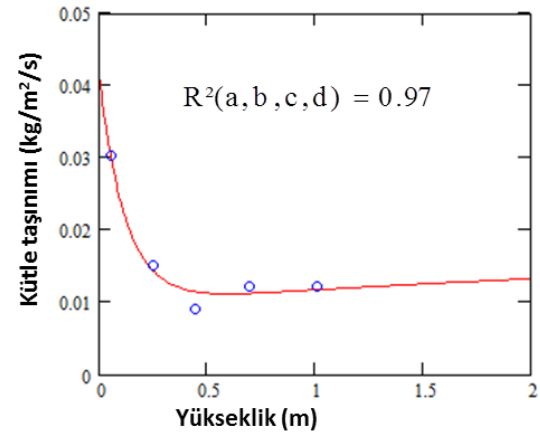
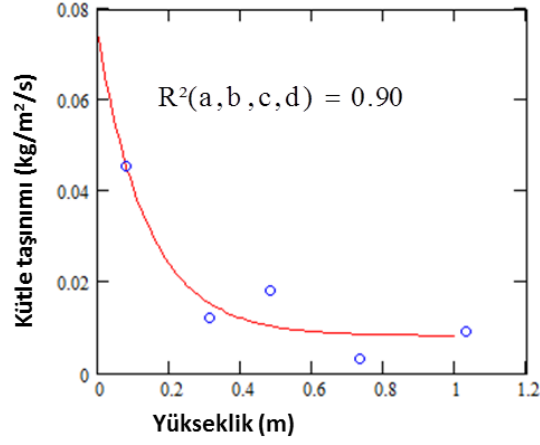
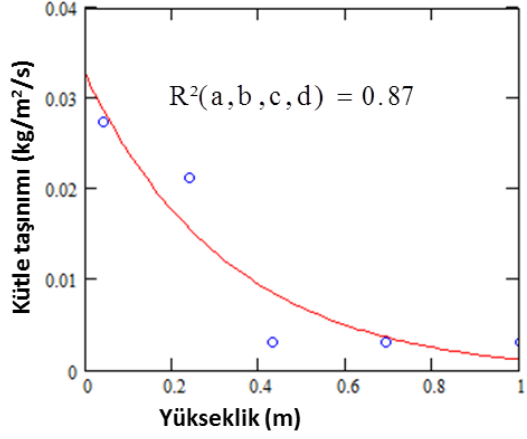
111



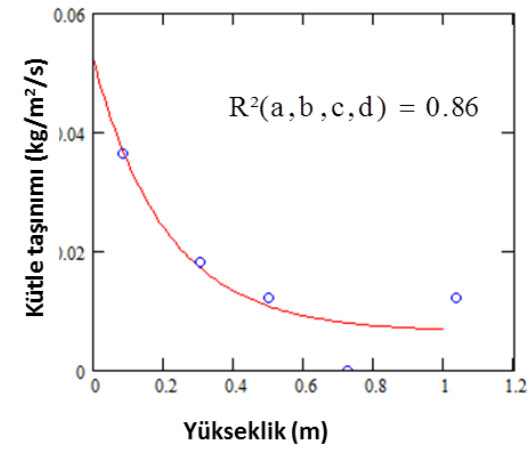
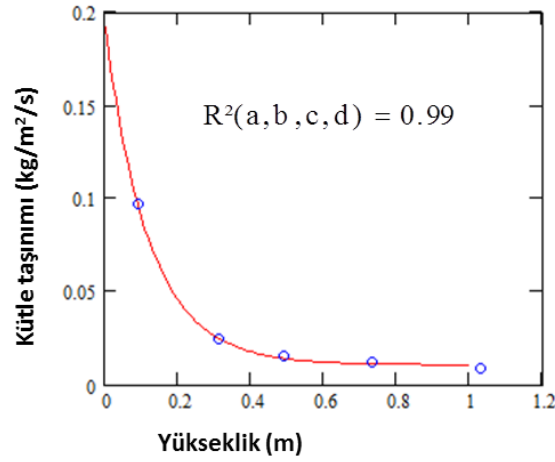
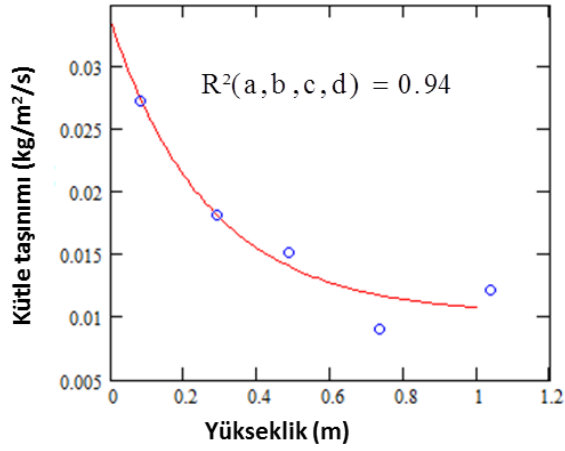
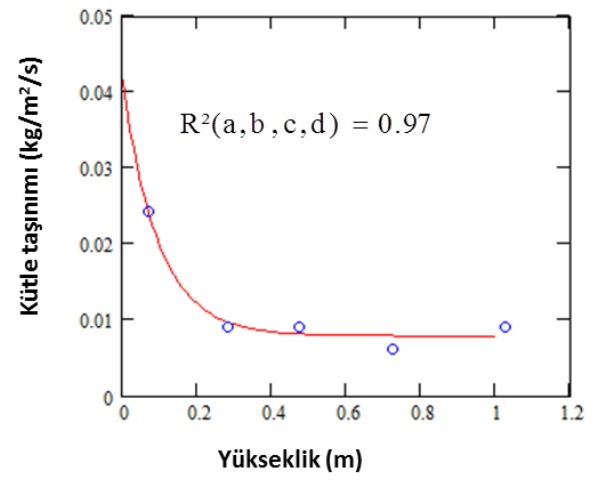
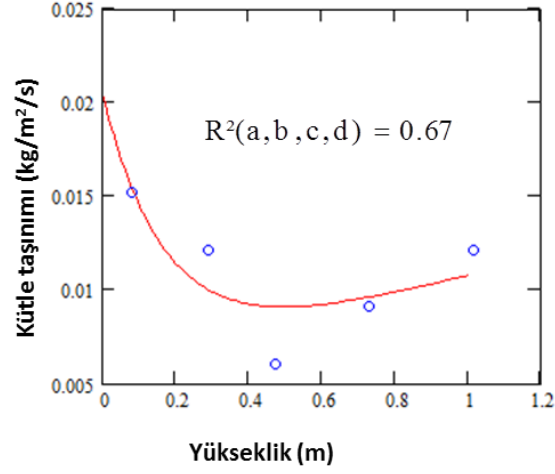
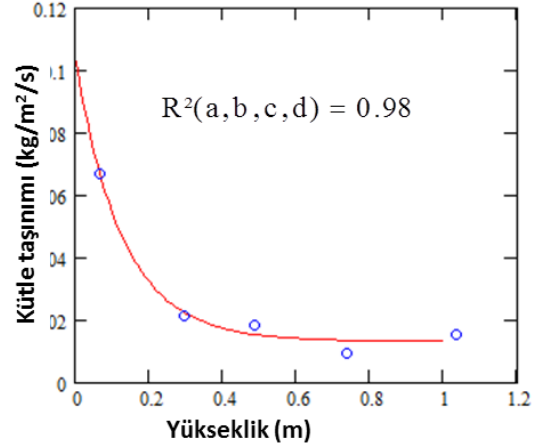
Ek 9 (devam). Toplam sediment taşınımı (Q) hesaplanmasında kullanılan regresyon modelin uyumu



Ek 9 (devam). Toplam sediment taşınımı (Q) hesaplanmasında kullanılan regresyon modelin uyumu



Ek 9 (devam). Toplam sediment taşınımı (Q) hesaplanmasında kullanılan regresyon modelin uyumu



Ek 10 Kalibre edilmiş RWEQ/YRED modelin formatı

#RWEQ wind erosion model; in PCRaster, time step is 1 minute

Binding

Meteorological (weather) characteristics of event
Wind value (m/sec)³
##Time series with wind speed, wind direction and temperature (m/s)
WS = WSGT.tss; # (m/s) wind speed
WinDir= WDT.tss;# (degree) wind direction
Temper=Tem.tss; # (Kelvin)
HWS = scalar(2.0);# (m) Height of wind speed measurements
Ut=scalar(3.9); # (m/s)threshold wind velocity
Nd=scalar (6); # (number) number of days (In RWEQ model was 15 in our case was 6-7)
El = scalar (350); # (m) The altitude value
g = scalar (9.807); # (m/s²) Acceleration due to gravity
SD = scalar (1); # (1 = no snow cover, 0 complete surface covered with snow, 0.5 50 % of soil surface cover.
since no rain events was recorded during the measurement period we gave value (1) so no effects
Rd = scalar (0); # number of rainfall and/or irrigation days ## in Khansser there was no rainy days or any irrigation
R = scalar (0); # (mm) Rainfall ## in khansser there was no rainfall and irrigation
I = scalar (0); # (mm) Irrigation, ## in khansser there was no rainfall and irrigation
Total solar radiation for the time period
the average solar radiation in Aleppo - Syria per day is 26 MJ/m² = 620 cal/cm²(Bruggeman; A) (ICARDA Data 2009)
SR = scalar(3720); # (Cal/cm²) = calorie/cm²
so for 6 days it will be 3720 (Cal/cm²) refererence
#DT = scalar (25); # average temperature celesius degree (that will change every event)
Soil Equations
Soil Erodible fraction (EF)
Sa = scalar (58.9); # (%)sand continent taking from soil texture results(average of 6 soil samples results)
Si = scalar (27.2); # (%) silt continent taking from soil texture results (average of 6 soil samples results)
Cla = scalar (13.9); # (%) clay continent taking from soil texture (average of 6 soil samples results)
in the original RWEQ clay symbols is CL but we give cla to distinguish it from cell length in the PCRaster maps
OM = scalar (1.30); # (%) organic matter (%) taking from soil analyzing data
CaCO₃ = scalar (48.66); # (%) Calcium carbonate (%) taking from soil analyzing data
Soil crust Factor (SCF)
Residue and Crops Equations
Flat Residues (SLRf)
SC = resd.map; # (%) map for the residues. It was prepared by visually estimation of

```

# percentage of covered area in the measurement plot.
# standing Residues (SLRs)
# SA: Silhouette area computed by Multiplying the number of standing stalks in 1 m2
# times average diameter (cm) times stalk height (cm):
# Standing Boiomass
SA= scalar (0); # for Mugherat without Atriplex there was no standing biomass that will
change in another plots
# Crop Residues decomposition
# another method to determin the percent soil cover SC is using equation

# Crop canopy (SLRc)
# This coefficient is not used unless green plants are in the field (RWEQ manual)
# in our measurements plots there were no green plants in the plots. There were a
# shrubs in some plots which is not considered in RWEQ model
# in the agricultural fields the measurement took place after harvesting
##From here it may adjust for shrubs
# Pd # days after planting
pgca = scalar (5); #(0.542) # (Change new added)RWEQ manual page 44 : plant
growth coefficient (a)
pgcb = scalar (-222); # (Change new added)(-3162.92) # RWEQ manual page 44: plant
growth coefficient (b)
Pd = scalar (90); # days after palnting

## Tillage Roughness
## Soil roughness
## soil ridge roughness
RH = scalar (7);
#RH = SZrg.map; # (cm) map for ridge height
RS = scalar (25);
# RS = SXrg.map; # (cm) map for ridge spacing
Crr = Crr.map; # (no unit) Random roughness
## Degradation of Soil Roughness
CUMEI = scalar (0); # (MJ-MM/ha-h):Cumulative storm erosivity index, It is related
to the rainfall amount
# and since no rain events during during our measurments in Khanasser valley we gave
0 value
CUMR = scalar (0); # (mm) Cumulative rainfall, Because no rain events during
during our measurments in Khanasser valley
Kr = scalar (0); # soil ridge roughness
A = scalar (90); # wind angle

## wind barriers parameters
##Optical dencity (28-100 %)
OD = scalar (0); # Because no wind barriers were present around the measurment plots
# Distance downwind in barrier heights H
DD = scalar (0); # Because no wind barriers were present around the measurment plots
### Output maps
SS=Sa.map; # (m) Map of total critical field length

```

Q=mass.map; # (kg/meter-width) Map of total maximum transport capacity
 Qm=Qma.map; # (kg/meter-width) Map of total mass transport
 areamap
 Clone.map;

Timer

1 25 1; # number of minutes in the event
 #reportdefault=1,2+2..endtime;
 on=1..endtime;

initial

CL = celllength (); # cell length
 # #Meteorological (weather) characteristic of event
 PR = R + I; # (mm) Total amount of precipitation by rainfall and irrigation PR (new added)
 ## Intial value of total mass transport (Kg/meter-width)
 Q = scalar (0);
 ## Intial value of total maximum transport capacity (Kg/meter-width)
 Qm = scalar (0);
 ## Intial value of critical field length (m)
 SS= scalar (0);

Soil Equations

Soil Erodible fraction (EF)
 SCR = Sa/Cla; # new added # the Sand to Clay ratio
 # Soil Erodible fraction

$$EF = (29.09 + 0.31 * Sa + 0.17 * Si + 0.33 * SCR - 2.59 * OM - 0.95 * CaCO3) / 100;$$
 # (dimensionless)
 # Soil Crust Fctor (SFC) # if there is no crust on the soil surface SCF = 1 (see RWEQ manual page 41)

$$SCF = 1 / (1 + (0.0066 * (Cla)) ** 2 + (0.021 * (OM)** 2));$$
 # (dimensionless)
 # soil loss ratio coefficient for flat cover

$$SLRf = \exp(-0.0438 * (SC));$$
 # (dimensionless)
 # Standing Residues (SLRs)

$$SLRs = \exp(-0.0344 * (SA** 2));$$
 # SLRs is the soil ratio for plant silhouette
 # Crop canopy (SLRc)

$$cc = \exp(pgca + (pgcb/(Pd)**2));$$
 # (dimensionless) Fraction soil surface covered with crop canopy

$$SLRc = \exp(-5.614 * (cc)**0.7366);$$
 # (dimensionless) Soil loss ratio for growing crop canopy
 #### Tillage Roughness
 # Soil roughness
 # soil ridge roughness
 #Kr soil ridge roughness, cm

$$Krr = 4 * ((RH)**2/RS);$$
 # (Cm)
 # that is because the soil ridges parallelto the dominat wind direction K'

```

#include only the random roughness (RWEQ manual page 45)
# Rc=rotational coefficient
Rc = 1 - 0.00032 * A - 0.000349 * A ** 2 + 0.00000258 * A ** 3;
# Krmod = correction for the wind angle
Krmod = Krr * Rc;
## Ktot = Random roughness
Ktot = exp(1.86 * Krmod - 2.41 * (Krmod ** 0.934) - 0.124 * Crr);
## Decay Factor
DF = exp(0.943 - 0.07 * Cla + 0.0011 * (Cla) ** 2 - 0.674 * OM + 0.12 * (OM) ** 2); #
(dimensionless)
## Degradation of soil ridge roughness
ORR = exp((DF * (-0.025 * (CUMEI) ** 0.31)) - 0.0085 * (CUMR) ** 0.567); # Ratio
of Kr (ridge roughness)
# after rainfall to Kr before rainfall
## Degradation of soil random roughness
RRR = exp(DF * (-0.0009 * CUMEI - 0.0007 * CUMR));
# Ratio of random roughness (Crr) after rainfall to Crr before rainfall
##SEDIMENT TRANSPORT
#Create ldds used for stream direction of sediment and input of sediment
LDDW=lddrepair(if(clone.map eq 1,ldd(4)));
LDDE=lddrepair(if(clone.map eq 1,ldd(6)));
LDDS=lddrepair(if(clone.map eq 1,ldd(2)));
LDDN=lddrepair(if(clone.map eq 1,ldd(8)));
LDDNW=lddrepair(if(clone.map eq 1,ldd(7)));
LDDNE=lddrepair(if(clone.map eq 1,ldd(9)));
LDDSW=lddrepair(if(clone.map eq 1,ldd(1)));
LDDSE=lddrepair(if(clone.map eq 1,ldd(3)));
## WIND BARRERS/shell terbelts
## Percent ofupwind velocity
#in case wind barriers are present first the user should change the values of OD and DD
#then use the equation 1 and 2:
##PUV1 = -1 * (OD** 0.423) * DD ** (- 1.098); # (1)
##PUV = 100 * exp(PUV1); (2)
##CIRCULATION MATERIAL
#Create maps for input materials
LDDNW=lddrepair(if(clone.map eq 1,ldd(7)));
LDDNE=lddrepair(if(clone.map eq 1,ldd(9)));
LDDN=lddrepair(if(clone.map eq 1,ldd(8)));
LDDS=lddrepair(if(clone.map eq 1,ldd(2)));
LDDE=lddrepair(if(clone.map eq 1,ldd(6)));
LDDW=lddrepair(if(clone.map eq 1,ldd(4)));
LDDSE=lddrepair(if(clone.map eq 1,ldd(3)));
LDDSW=lddrepair(if(clone.map eq 1,ldd(1)));
INE=scalar(if(LDDE eq 5, 1));
INW=scalar(if(LDDW eq 5, 1));
INN=scalar(if(LDDN eq 5, 1));
INS=scalar(if(LDDS eq 5, 1));
INNE=scalar(if(LDDNE eq 5, 1));

```

```

INNW=scalar(if(LDDNW eq 5, 1));
INSE=scalar(if(LDDSE eq 5, 1));
INSW=scalar(if(LDDSW eq 5, 1));
CLE=if(INE eq 1, maptotal (INE));
CLS=if(INS eq 1, maptotal (INS));
CLW=if(INW eq 1, maptotal (INW));
CLN=if(INN eq 1, maptotal (INN));
CLNE=if(INNE eq 1, maptotal (INNE));
CLSE=if(INSE eq 1, maptotal (INSE));
CLNW=if(INNW eq 1, maptotal (INNW));
CLSW=if(INSW eq 1, maptotal (INSW));
#Initial amount of outflow at borders
OUTT=scalar(0);
OUTssT=scalar(0);
#Initial winddirection (before storm starts)
prevdir=scalar(0);

```

dynamic

```

## Wind direction per time step (deg)
WiDi = timeinputscalar(WinDir, 1); # (degree)
# Dtermination of flow direction
LDDX=if(WiDi gt 45 and WiDi lt 135, LDDE, LDDW);
LDDX=if(WiDi gt 225 and WiDi lt 315,LDDW, LDDE); # Sediment in X direction
LDDY=if(WiDi gt 135 and WiDi lt 225, LDDS, LDDN); # sediment in y direction
LDDY=if(WiDi gt 315 and WiDi lt 45, LDDN, LDDS); # sediment in y direction
## Determine the number of cells of sediment flows
CLTOT=if(WiDi eq 0, CLN, if(WiDi eq 90, CLE, if(WiDi eq 180, CLS, if(WiDi eq
270, CLW,
if(WiDi gt 0 and WiDi lt 90, CLNE,
if(WiDi gt 90 and WiDi lt 180, CLSE,
if(WiDi gt 180, CLSW, CLNW))))));
CLTOT=mapmaximum(CLTOT);
#FLOW OF SEDIMENT
## Set grid length (LX) depending on wind direction (m)
LD=if(WiDi eq 90 or WiDi eq 270, CL, if(abs(tan(WiDi)) lt 1, abs(CL/cos(WiDi)),
abs(CL/sin(WiDi))));
LB=if(WiDi eq 90 or WiDi eq 270, CL, if(abs(tan(WiDi)) lt 1, abs(tan(WiDi)*CL),
CL));
LA=if(WiDi eq 90 or WiDi eq 270, 0, if(abs(tan(WiDi)) lt 1, CL, sqrt(LD*LD-
LB*LB)));

##Calculate field length (m)

LX=LD*(1.0-0.2928*LA*LB/(CL*CL));
LY=CL*CL/LX;

# Calculation air density
## Temperture per time step (celsius degree)

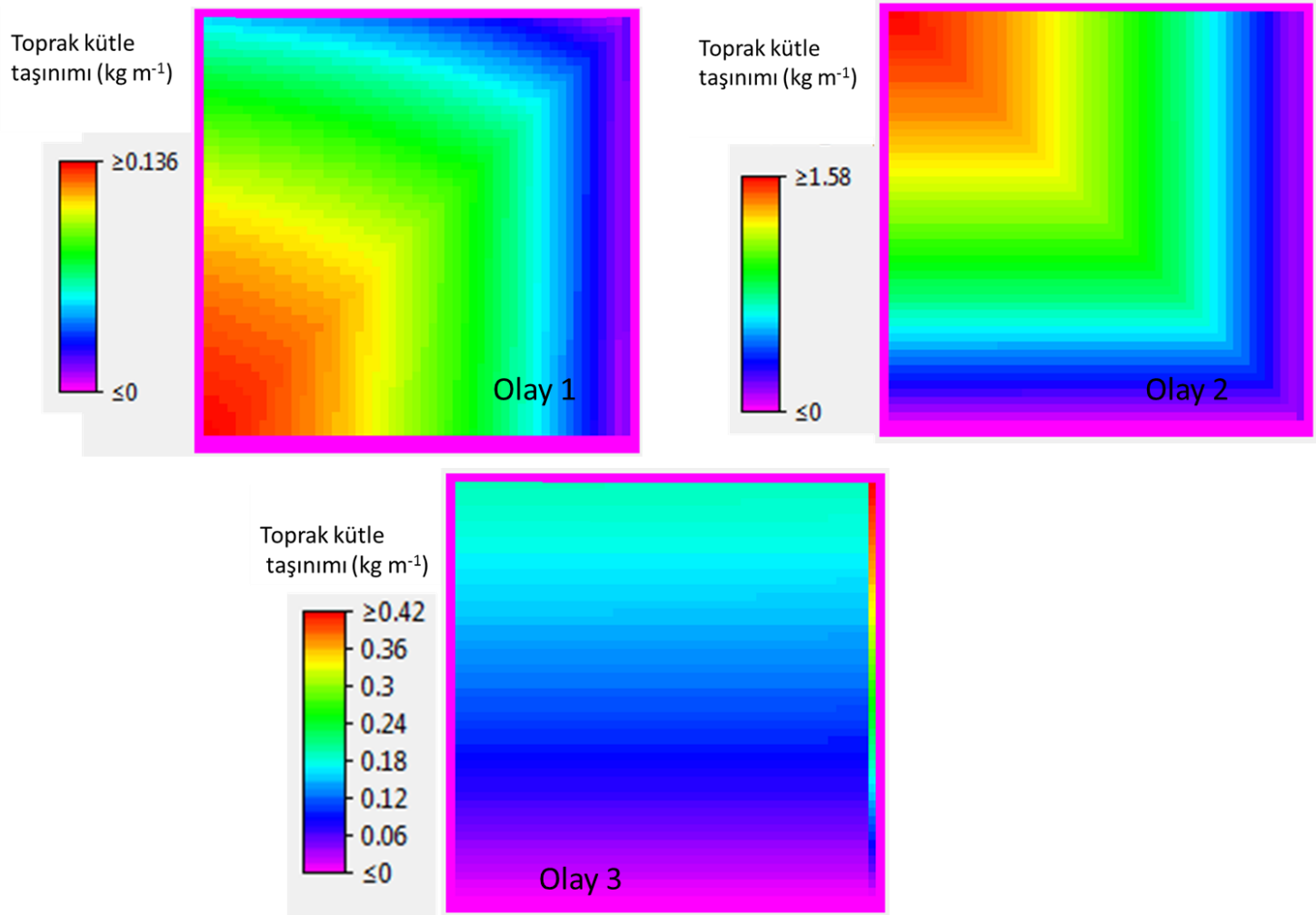
```

```

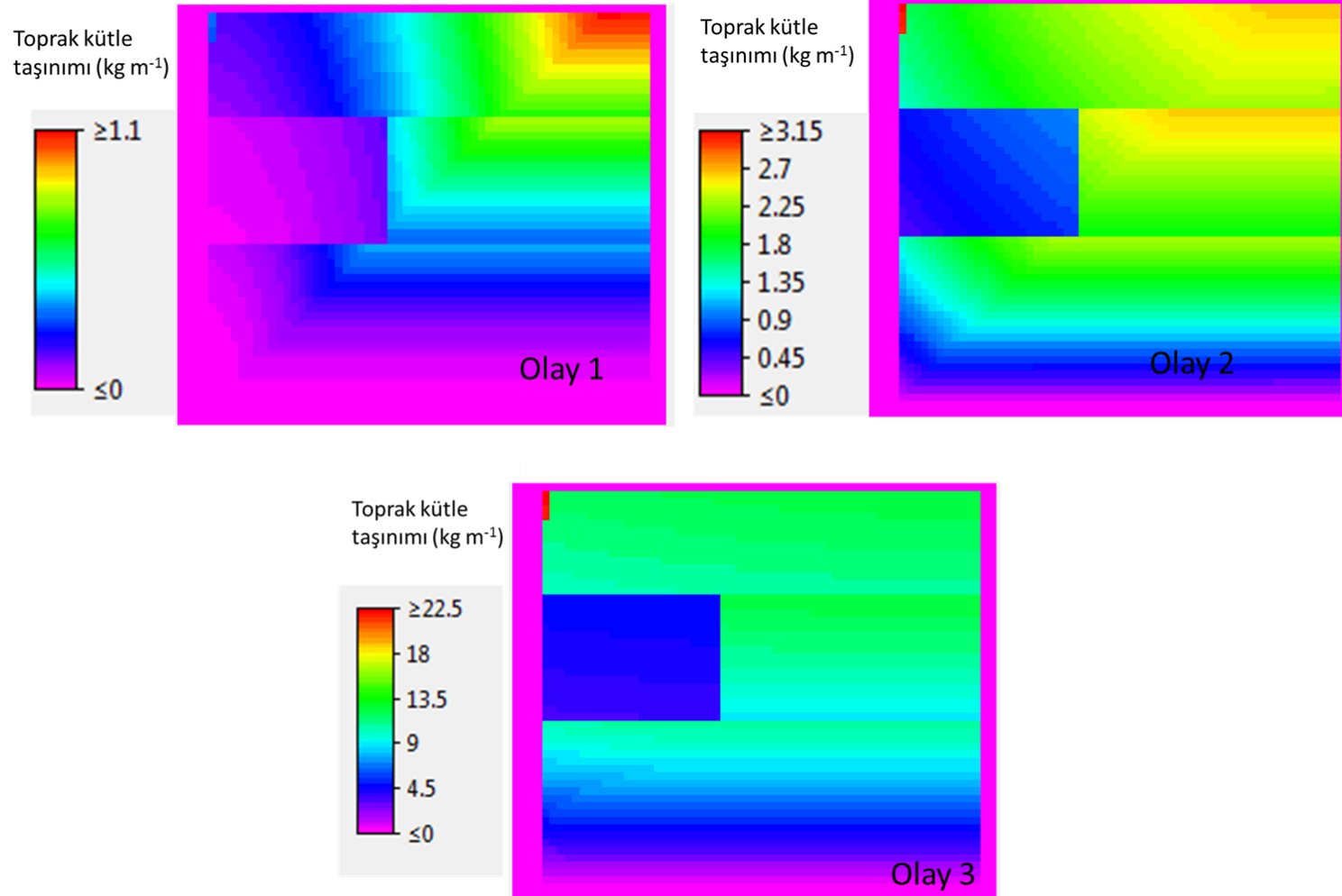
Temperature = timeinputscalar(Temper, 1); # (Kelvin***** importnat!!)
ETp= 0.0162 * (SR/58.5) * (Temperature + 17.8); # (mm) Potential relative
evapotranspiration,
SW = (ETp - (R + 1) * (Rd/Nd))/ETp; # #Soil Wetness (dimensionless)
# AD = Air dencity (Kg/m3)
AD = (348 * 0.0048 * El ** 2 + 1.031 - (0.1183 * El))/Temperature; # (Kg/m3)
#AD = scalar (1.164);
## Wind speed per time step (m/s)
wi = timeinputscalar(WS,1); # (m/s)
## Wind Value (m/s)3
WV = wi * (wi-Ut)**2; # (m/s)3
# Wind factor (m/sec)3
Wif = WV/500 * Nd;# wind factor (m/sec)3
## Weather factor (Kg/m)
WF = Wif * (AD/g) * SW * SD;# (kg/m)
# In Khansser valley there was no wind barriers around the measurement plots
# Avoiding 0 value for Crop canopy (SLRcc)
SLRcc = if (SLRc eq 0, 1,SLRc); # Crop canopy without 0 values
## Combined crop factor
COG = SLRf * SLRs * SLRcc; # (dimensionless)
report Qmax = 109.8 * (WF * EF * SCF * Ktot * COG);#
#report (on)Qm+=Qmax;# added to have the total of the Omax. Which i dont agree on
it
report S = 109.71 * (WF * EF * SCF * Ktot * COG)** -0.3711; # Critical field length
report (on)SS+=S;
TT = p3.map;
#Diss = if(WiDi le 180, LX, if (WiDi gt 90 and WiDi lt 270, LY));
#Diss = if(WiDi le 180, lddd(LDDX, SCC,1), if (WiDi gt 90 and WiDi lt 270, lddd
(LDDY, SCC,1));
Diss = if(WiDi gt 22.5 and WiDi lt 67.5, spreadldd (LDDSW,TT,0,1),
if(WiDi gt 67.5 and WiDi lt 112.5, spreadldd (LDDW,TT,0,1),
if(WiDi gt 112.5 and WiDi lt 157.5, spreadldd (LDDNW,TT,0,1),
if(WiDi gt 157.5 and WiDi lt 202.5, spreadldd (LDDN,TT,0,1),
if(WiDi gt 202.5 and WiDi lt 247.5, spreadldd (LDDNE,TT,0,1),
if(WiDi gt 247.5 and WiDi lt 292.5, spreadldd (LDDE,TT,0,1),
if(WiDi gt 292.5 and WiDi lt 337.5, spreadldd (LDDSE,TT,0,1),
if(WiDi gt 337.5 and WiDi lt 360, spreadldd (LDDS,TT,0,1),
if(WiDi gt 0 and WiDi lt 22.5, spreadldd (LDDS,TT,0,1)))))))));
#Diss = if(WiDi gt 45 and WiDi lt 135, accuflux (LDDY,1), if(WiDi gt 225 and WiDi lt
315, accuflux (LDDY,1),
#if (WiDi gt 315 and WiDi lt 45, accuflux (LDDX,1), if (WiDi gt 135 and WiDi lt 225,
accuflux (LDDX,1)))));
#distance = if (Diss eq 0 or Diss eq 90, Diss, if (Diss gt 0 and Diss lt 90 then Diss +1));
#report ggg= (distance);
#fff = accuflux (ggg, distance);
report (on)Qtot = Qmax * (1 - (1/exp((Diss)/S) ** 2)); # Mass Transport at dwonwind
x, Kg/m
report (on)Q+=Qtot;

```

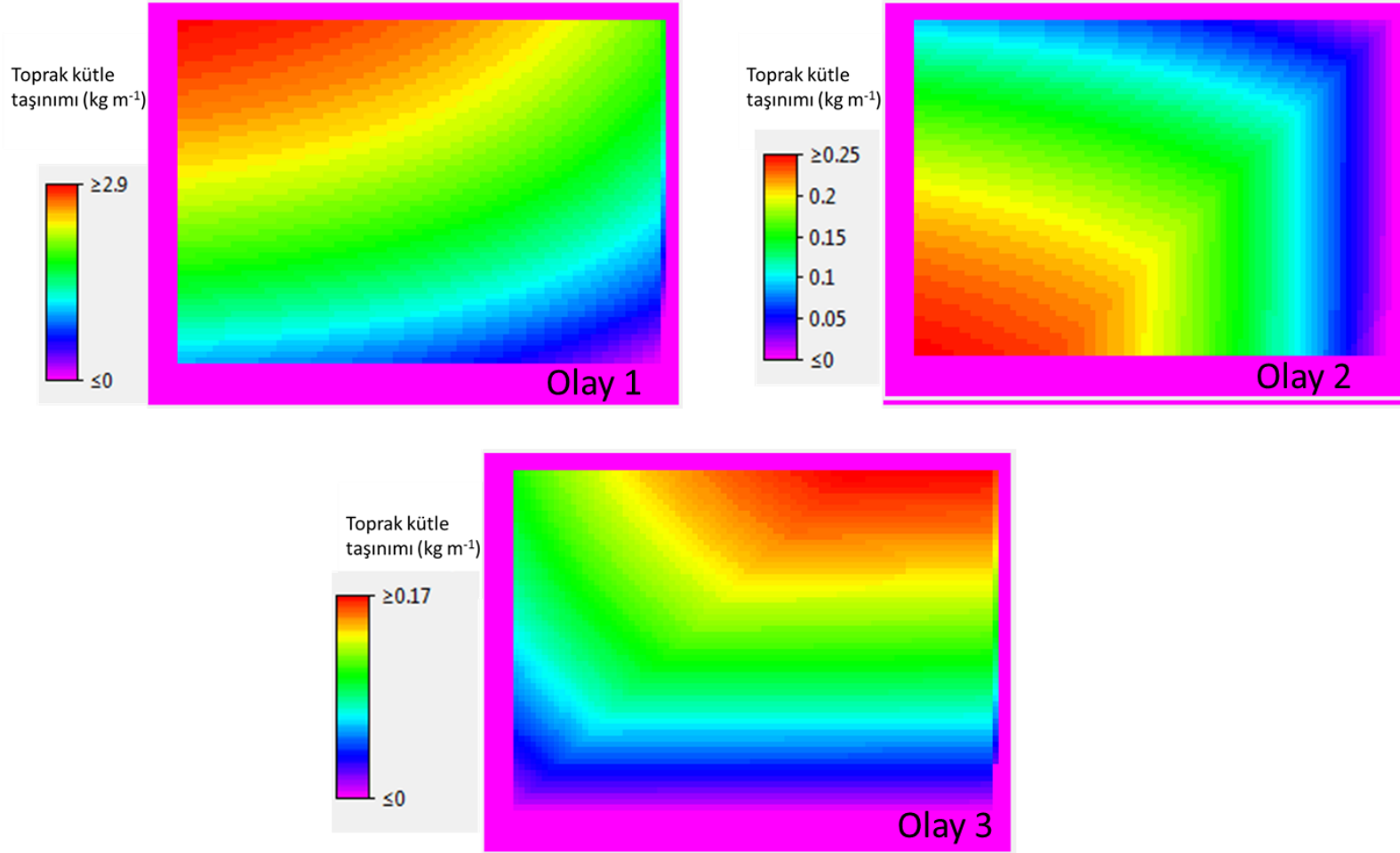
Ek 11. Khanasser, Adami (kumlu alanı) parseli için kalibre edilmiş YRED modelin tahmin ettiği toprak sediment taşınım konumsal dağılımı



Ek 12. Khanasser, Mug Atri parseli için kalibre edilmiş YRED modelin tahmin ettiği toprak sediment taşınım konumsal dağılımı



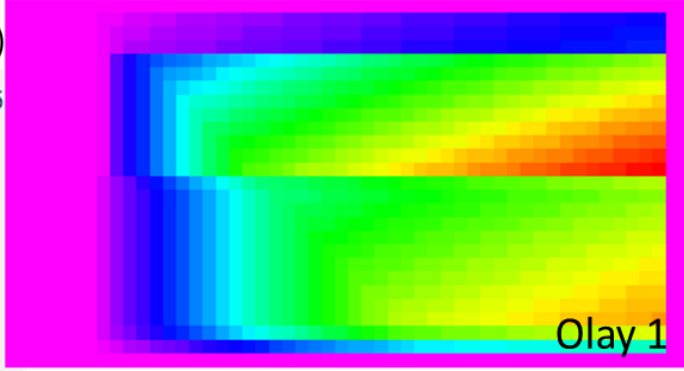
Ek 13. Khanasser, Mugherat (Atriplex olamayan) parseli için kalibre edilmiş YRED modelin tahmin ettiği toprak sediment taşınım konumsal dağılımı



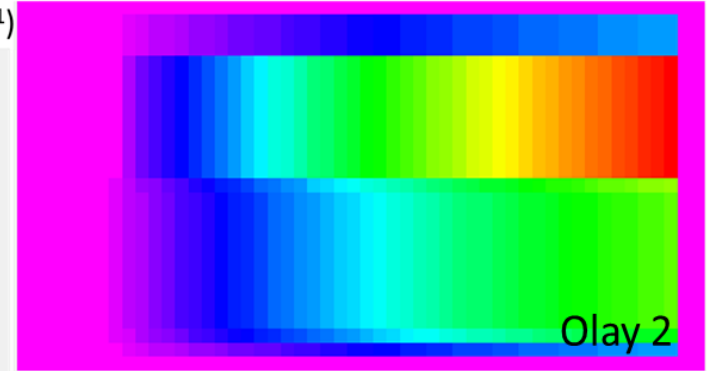
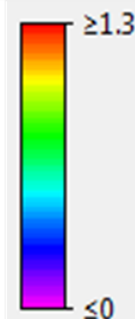
Ek 14. Khanasser, Serdah C parseli için kalibre edilmiş YRED modelin tahmin ettiği toprak sediment taşınım konumsal dağılımı

124

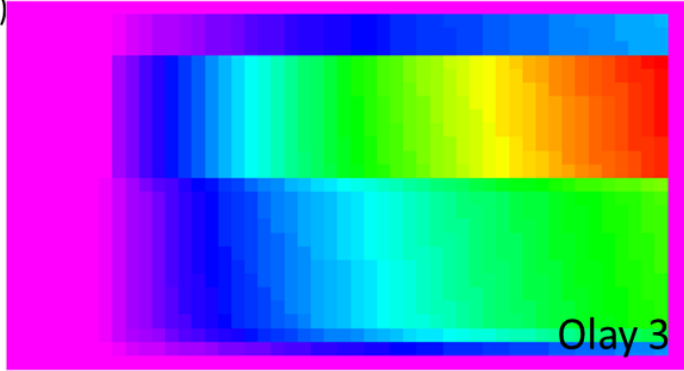
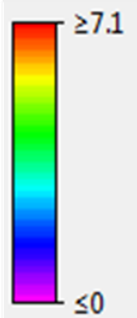
Toprak kütle taşınımı (kg m^{-1})



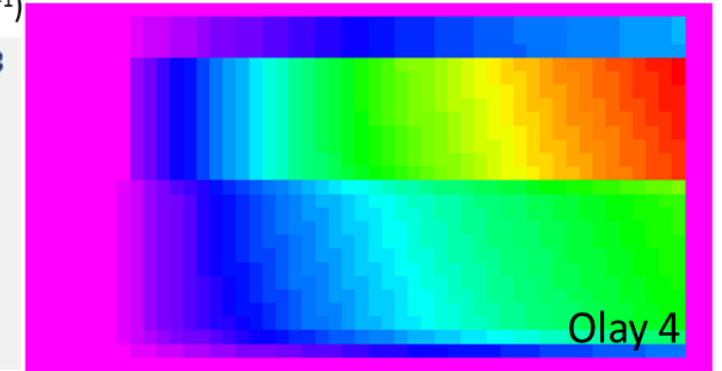
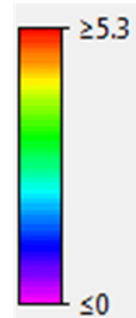
Toprak kütle taşınımı (kg m^{-1})



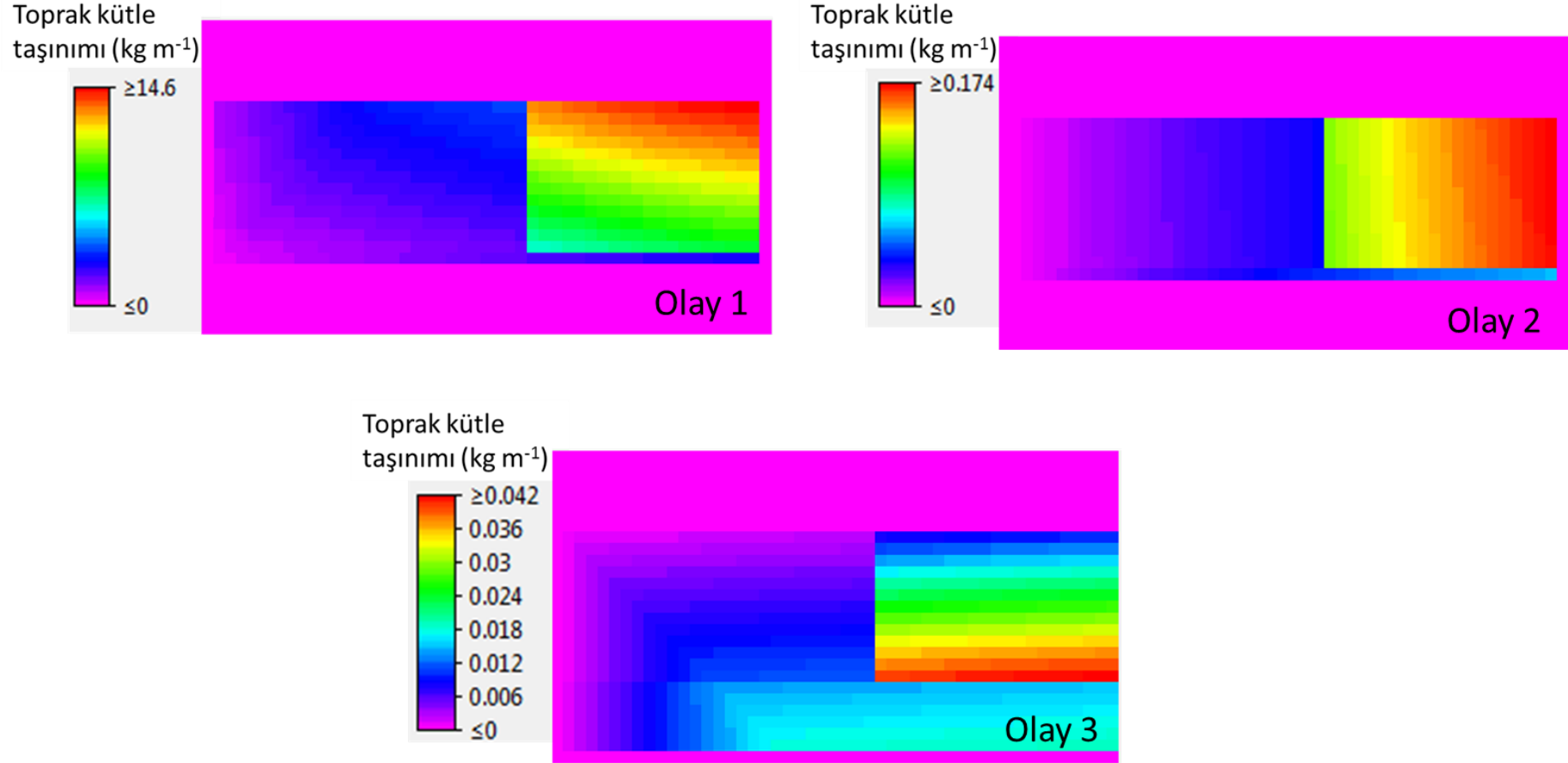
Toprak kütle taşınımı (kg m^{-1})



Toprak kütle taşınımı (kg m^{-1})

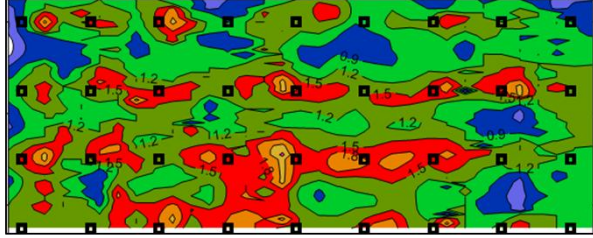


Ek 15. Khanasser, Serdah A parseli için kalibre edilmiş YRED modelin tahmin ettiği toprak sediment taşınım konumsal dağılımı

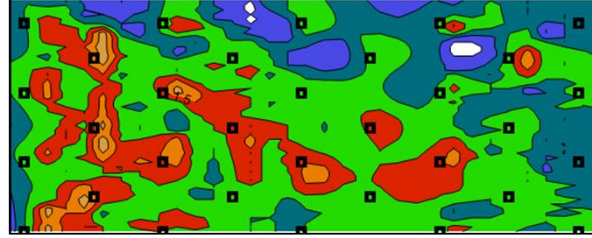


Ek 16 Her bir bitki deseni için tünel içinde belirli yüksekliklerde ölçülen sediment miktarlarının konumsal dağılımları (deney 1)

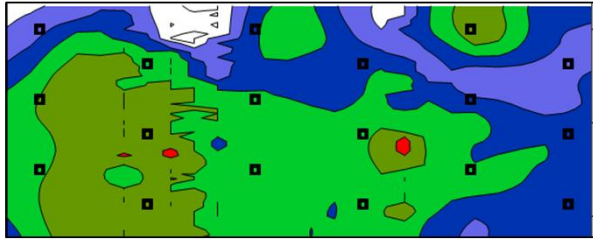
P.A



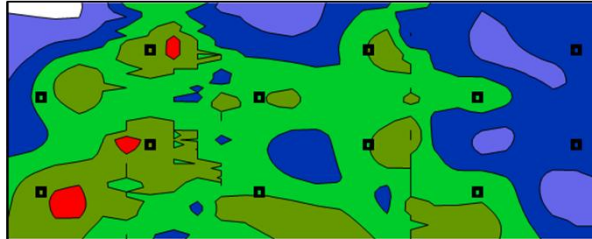
P.B



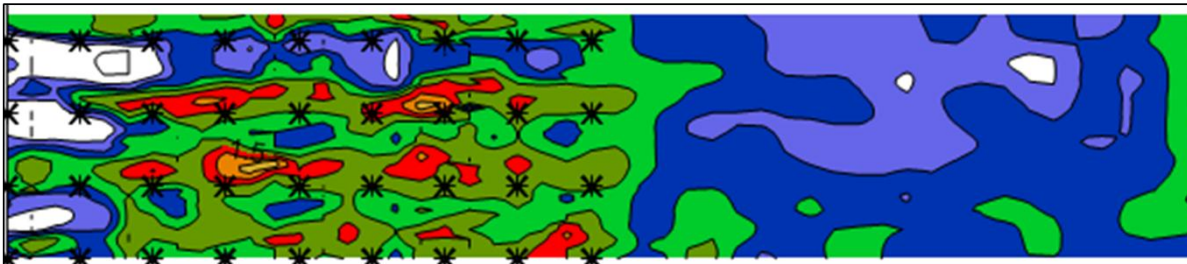
P.C



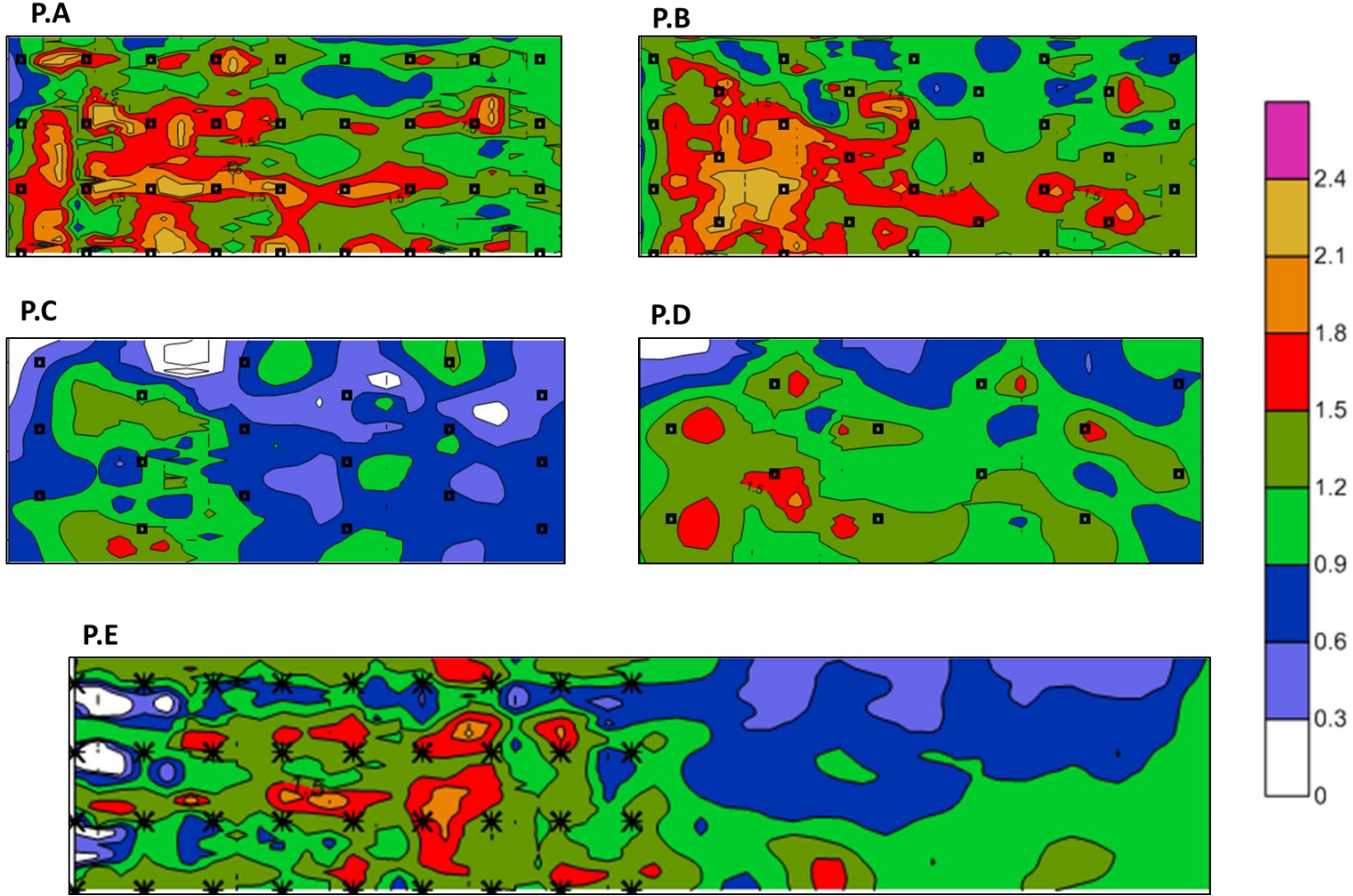
P.D



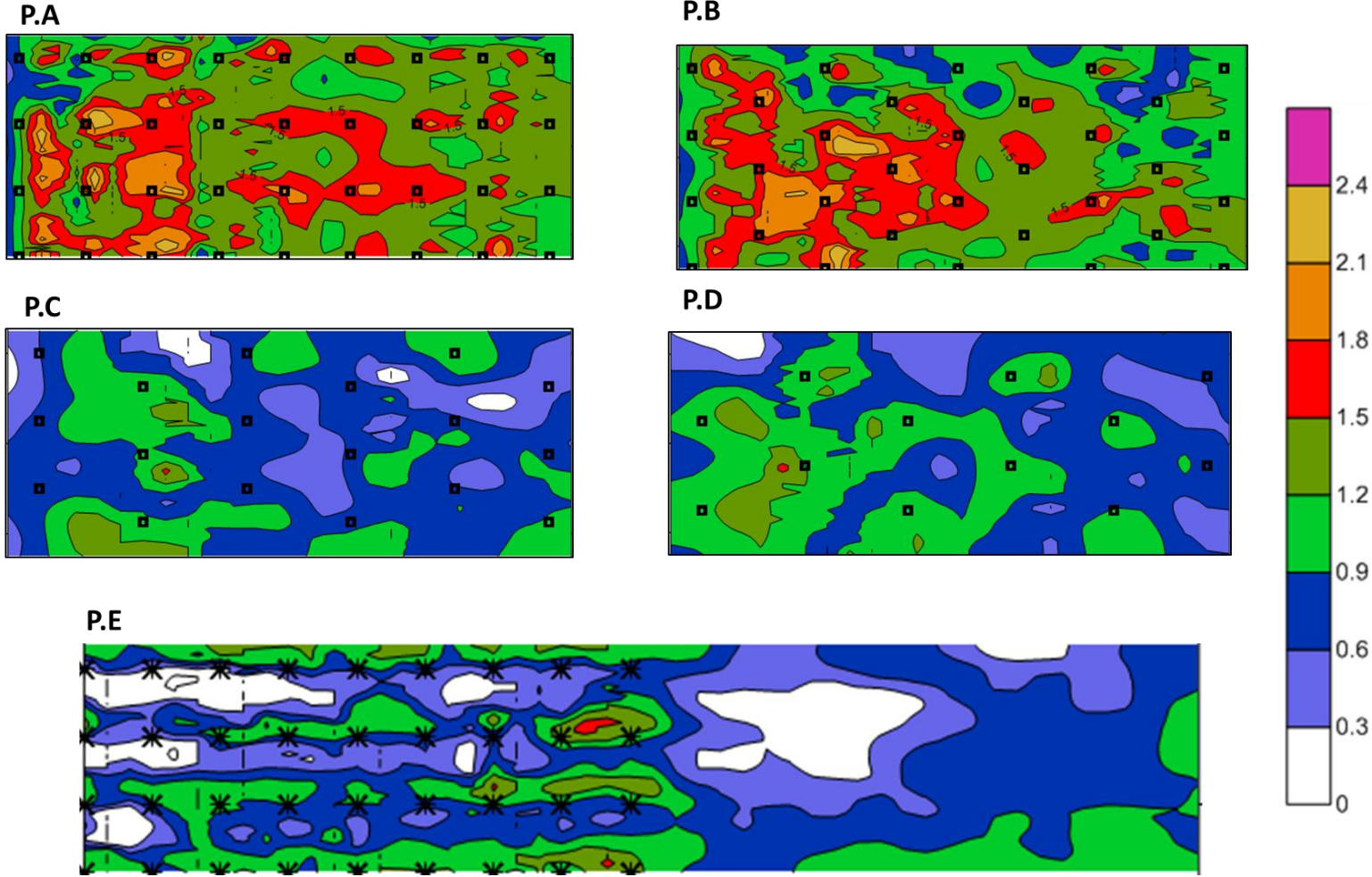
P.E



Ek 17 Her bir bitki deseni için tünel içinde belirli yüksekliklerde ölçülen sediment miktarlarının konumsal dağılımları (deney 2)



Ek 18 Her bir bitki deseni için tünel içinde belirli yüksekliklerde ölçülen sediment miktarlarının konumsal dağılımları (deney 3)



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Feras YOUSSEF

Doğum Yeri : Lazkiye, Suriye

Doğum Tarihi : 10.06.1974

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Lazkiye, Suriye (1993)

Lisans : Tishreen Üniversitesi Ziraat Fakültesi Çevre ve Orman Bölümü, (1998)

Yüksek Lisans: Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Bilimi ve Bitki

Besleme Anabilim Dalı (2006)

Yayımları (SCI ve diğer)

Youssef, F. Visser, S. Karssenber, D. Erpul, G. Cornelis, W. Gabriels, D. Poortinga, A. 2012. The effect of vegetation patterns on wind-blown mass transport at the regional scale: A wind tunnel experiment. (Geomorphology, Volumes 159–160, Pages 178–188).

Youssef, F. Visser, S. Karssenber, D. Bruggeman, A. Erpul, G. 2012. Calibration of RWEQ in a Patchy Landscape; a First Step towards a Regional Scale Wind Erosion Model. Aeolian Research, 3(4): 467-476.

Youssef, F., Erpul, G., Cornelis, W. Gabriels, D., Pogman, P. 2008. Determination of Efficiency of Vaseline Slide and Wilson and Cooke Sediment Traps by Wind Tunnel Experiments, Environmental Geology, 55: 741-750.

Youssef, F. Visser, S. Karssenber, D. 2012. A new process-based regional scale wind erosion model (RS-WEQ): the effect of land cover pattern on wind erosion (under review at the Environmental Modelling and Software).

Youssef, F., Erpul, G., Basaran, M., Gharahassanlou, A.N., Deviren Saygin, S., Ozcan, A.U., Uzun, O. 2012. Approach toward assessing wind erosion vulnerability at a regional scale in semi-arid environment in Turkey. Fourth Conference on Desertification and Land Degradation, 19 June 2012, Ghent, Belgium.

Youssef, F. Visser, S. Karssenberg, D. Erpul, G. Cornelis, W. Gabriels, D. Poortinga, De Boever. M. 2012. The effect of vegetation patterns on wind-blown mass transport at the regional-scale: A wind tunnel experiment. Agro-Environ 2012, 1 – 4 May 2012, Wageningen, The Netherlands.

Youssef, F., Visser, S., Karssenberg, D., Slingerland, E., Ziadat, F., Stroosnijder, L., Erpul, G. 2012. Strategies for Measuring Wind Erosion for Regional Scale Modeling. GM5.1 EGU2012-278, European Geosciences Union (EGU) 22 - 28 April 2012, Vienna, Austria.

Youssef, F. Visser, S. Karssenberg, D. Bruggeman, A. Erpul, G. 2012. Calibration of RWEQ in a Patchy Landscape; a First Step towards a Regional Scale Wind Erosion Model. 7th International Conference on Aeolian Research (ICAR-VII), July 5 – 9, 2010. Argentina.

Youssef, F., Visser, S., Karssenberg, D., Erpul, G. 2010. The Spatial Variation in Wind-Blown Sediment Transport in Small Scales in Karapınar , Turkey. International Soil Science Congress, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Ondokuz Mayıs University, 55139 Samsun, Turkey.

Youssef, F., Erpul, G., Cornelis, W. Gabriels D. Çanga, M. R. 2006. Determination of efficiency of vaseline slide and Wilson and Cooke sediment traps by wind tunnel experiments. 18th International Soil Meeting (ISM) on “Soil Sustaining Life on Earth, Managing Soil and Technology”, May 22 – 26, 2006 Şanlıurfa – Turkey, Proceedings, Volume 1: 389 - 394.

Başaran, M., Özcan, A.U. Uzun, O., Erpul, G., Saygın Deviren, S., **Youssef, F.** 2012. In-situ wind erosion measurement and soil loss estimation: Karapınar case study. VIII. International Soil Science Congress "Land Degradation and Challenges in Sustainable Soil Management, Çeşme, İzmir, Turkey (in press).