T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BAZI TOPRAK DÜZENLEYİCİLERİN RÜZGÂR EROZYONUNA OLAN ETKİLERİ: LABORATUVAR ÖLÇEKLİ RÜZGÂR TÜNELİ ÇALIŞMASI

Vildan ERCİ

DOKTORA TEZİ

Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Ocak-2020
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

DOKTORA TEZİ

BAZI TOPRAK DÜZENLEYİCİLERİN RÜZGÂR EROZYONUNA OLAN ETKİLERİ: LABORATUVAR ÖLÇEKLİ RÜZGÂR TÜNELİ ÇALIŞMASI

Vildan ERCİ

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

Danışman: Prof. Dr. Cevdet ŞEKER
İkinici Danışman: Prof. Dr. Mustafa BAŞARAN

2020, 169 Sayfa

Jüri
Prof. Dr. Cevdet ŞEKER
Prof. Dr. Günay ERPUL
Prof. Dr. Ayşen AKAY
Prof. Dr. Ramazan ACAR
Prof. Dr. Hakan KARABÖRK

Kurak ve yarı kurak bölgelerde önemli bir çevre problemi olan erozyon, yeryüzünün oluşumu ve iklim olaylarıyla başlayan, insan-toprak ilişkileriyle hızlandırılan ve zararı geç fark edilmiş, sürekli bir olaydır. Gerekli önlemlerin alınabilmesi için erozyon ve etkilerinin iyi bilinmesi ve bu bilgiler ışığında çözümler üretilmesi gerekmektedir. Laboratuvar ölçekli rüzgâr tüneli çalışmaları ile arazi şartlarının getirmiş olduğu dezavantajlar azaltılabileceği gibi, erozyon için önemli unsurlardan birisi olan eşik hız değerinin yükseltilebilmesi için daha kısa sürede daha çok ve stabil denemeler yapılabilecektir. Bu kapsamda yapılan bu çalışmada mevcut rüzgâr erozyonu problemine yönelik fazla sayıda uygulamaların etkisini kısa sürede deneyebilmek ve çözüm önerileri getirebilmek için 0.4x0.4x5 m boyutlarında laboratuvar ölçekli bir rüzgâr tüneli tasarımı yapılmıştır. Tasarımı yapılan rüzgâr tünelinde 5, 7, 9 ve 11 m s^{-1} rüzgâr hızları, rüzgâr profilini ve hız dağılımını belirlemek için referans hızlar olarak belirlenmiştir. Tünelin gövde başlangıcına 0.5-1.5-2-2.5 m mesafelerinde yer alan ölçüm noktalarının (toplamda 28) her birinden, belirlenen her bir yükseklik için rüzgâr hız ölçümleri 2 adet hassas anemometre ile yapılmıştır. Bu işlem her bir referans hızı için ayrı ayrı olacak şekilde tekrarlanarak rüzgâr tüneli boyunca toplamda 2240 noktada rüzgâr hız ölçüm sonuçları elde edilmiştir ve bu sayede rüzgâr tünelinin profili ve hız dağılımı ortaya çıkarılmıştır.

Laboratuvar şartlarında, oluşturulan koşullarda yapılan uygulamaların rüzgâr erozyonuna etkilerinin belirlenmesinde Konya ovasında, Sarıcalar ve Karapınar mevkiinden, işlemeli tarım yapılmayan alanlardan sırasıyla alınan siltli killi tınlı ve kumlu tın tekstüre sahip toprak örnekleri kullanılmıştır. Belli koşullar altında meydana gelen erozyon miktarına melas (M), çimento (Ç), melas + çimento karışımı (ÇM) ve hidrojel (H) uygulamalarının farklı dozlarının (6.66-13.33-26.66-53.33 g m^{-2}) 0.075 m^2 yüzey alanına sahip, 0.5 kg'lık toprak örneklerine ayrı ayrı uygulanarak 24 saat boyunca beklemeye bırakılmıştır. Bu sürenin sonunda rüzgâr tünelinin test odasına, uygulama yapılmış toprak örnekleri ayrı ayrı yerleştirilerek 10 dk boyunca 2 farklı rüzgâr hızına (9 ve11 m s^{-1}) erozyona maruz bırakılmıştır. Bunun sonucunda yapılan uygulamaların erozyon ile kaybedilen toprak miktarında meydana getirdikleri azaltma, her bir tavadaki toprak miktarlarının erozyon öncesi ve sonrası ayrı ayrı tartılması ile belirlenmiştir. Sonuç olarak, her iki toprak örneği için de 9 ve 11 m s^{-1} rüzgâr hızlarında hidrojel uygulamalarının sırasıyla; 13.33, 26.66 g m^{-2} ve üzeri dozlarında oldukça etkin olduğu, çimento ve çimento + melas karışımında ise 13.33 g m^{-2} ve üzeri uygulamalarında yaklaşık olarak aynı etkiyi gösterdiği istatistiki olarak belirlenmiştir. Melas uygulamasının çalışmada kullanılan mevcut dozları deneme şartlarında erozyonu önlemedeki etkinliği sınırlı kalmış olup, sonraki çalışmalarda daha yüksek

dozların ve farklı uygulamaların denenmesi yerinde olacaktır. Yapılan çalışma kapsamında erozyonu önlemedeki etkileri göz önüne alındığında, hidrojelin diğer toprak düzenleyicilerine kıyasla rüzgâr erozyonunu, yüzeyde oluşturduğu kabuk katmanı sebebiyle, daha iyi önlediği belirlenmiştir. Fakat, kolay ulaşabilme ve ekonomik açıdan değerlendirilecek olursa hidrojele alternatif olarak çimento veya çimento ve melas karışımının kullanılmasının daha uygun olacağı bu çalışma ile değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çimento, Hidrojel, Melas, Rüzgâr Erozyonu, Rüzgâr Tüneli.

ABSTRACT

Ph.D THESIS

THE EFFECTS OF SOME SOIL CONDITIONERS ON WIND EROSION: LABORATORY SCALE WIND TUNNEL STUDY

Vildan ERCİ

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE / DOCTOR OF PHILOSOPHY IN PLANT NUTRITION AND SOIL SCIENCE

Advisor: Prof. Dr. Cevdet ŞEKER
Second Advisor: Prof. Dr. Mustafa BAŞARAN

2020, 169 Pages

Jury
Prof. Dr. Cevdet ŞEKER
Prof. Dr. Günay ERPUL
Prof. Dr. Ayşen AKAY
Prof. Dr. Ramazan ACAR
Prof. Dr. Hakan KARABÖRK

Erosion, which is an important environmental problem in semi-arid and arid, has started with the formation of earth and climate events. Erosion is a continuous event that accelerates with human-soil relations and its damages have been realized late. In order to take necessary precautions, erosion and its effects should be well known, and solutions should be produced accordingly. Thanks to the studies based on the laboratory wind tunnel, the disadvantages of the field conditions can be eliminated, and more stable tests can be performed in a shorter time in order to increase the threshold speed value which is an important factor for erosion. In this thesis, a laboratory-scale wind tunnel with a dimension of 0.4x0.4x5 m was designed in order to test the effect of many applications towards the existing wind erosion problem in a short time and to propose solutions to this problem. The wind speeds of 5, 7, 9 and 11 m s^{-1} in the designed wind tunnel were determined as reference speeds to determine the wind profile and speed distribution. Wind speed measurements were made with 2 precision anemometers for each determined height from each of the measuring points (28 in total) located at 0.5-1.5-2-2.5 m from the beginning of the tunnel body. This process was repeated for each reference speed separately to obtain wind speed measurement results at a total of 2240 points along the wind tunnel, thereby revealing the profile and speed distribution of the wind tunnel.

Soil samples with loamy sand and silty clay loam textures taken from untreated agricultural areas in Sarıcalar and Karapınar locality in Konya plain were used to determine the effects of some application to the wind erosion under the conditions created in the laboratory. Molasses, cement, molasses + cement mixture, and hydrogel in different doses (6.66-13.33-26.66-53.33g m^{-2}) were applied to 0.5 kg soil samples with 0.075 m^2 surface area, exposed to erosion under certain conditions, and allowed to incubate for 24 hours. At the end of this period, treated soil samples placed separately in the test room of the wind tunnel were exposed to 2 different wind speeds (9 and 11 m s^{-1}) for 10 minutes. Consequently, the reduction in the amount of soil loss by erosion was determined by weighing the soil amounts in each pan before and after erosion. As a result, hydrogel applications for both soil samples at wind speeds of 9 and 11 m s^{-1} were highly effective at doses of 13.33, 26.66 g m^{-2} and above, respectively. In addition, the application of the 13.33 g m^{-2} and above in cement and cement molasses mixture were found to have approximately the same effect statistically. The current doses of molasses used in the study have been

limited in effectiveness in preventing erosion under experimental conditions and it might be appropriate to try higher doses and different applications in subsequent studies. Considering effects of the applications used in this study on erosion prevention, we found that hydrogel prevents wind erosion better than other soil conditioners because of the formation of the crust layer on the surface. However, as a result, it has been concluded that using cement or a mixture of cement and molasses as an alternative to hydrogel might be more convenient because it is easily accessible and cost effective.

Keywords: Cement, Hydrogel, Molasses, Wind Erosion, Wind tunnel.

ÖNSÖZ

"Bazı toprak düzenleyicilerin rüzgâr erozyonuna olan etkileri: laboratuvar ölçekli rüzgâr tüneli" çalışması konu başlıklı doktora tez yolculuğum süresince engin bilgi ve deneyimi ile bu yolda ilerlememde yardımcı olan çok değerli danışman hocam Prof. Dr. Cevdet ŞEKER'e sonsuz saygı ve şükranlarımı sunarım.

Türkiye açısından oldukça önemli olan bu tez konusu, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'nun (TÜBİTAK) sağlamış olduğu 118O015 nolu proje desteği ile yürütülmüş ve sonuçlandırılmıştır. Bu tezin gerçekleştirilmesi için sağladığı maddi destek için TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

Bu çalışmanın yerine getirilmesine imkân sağlayan Ziraat Fakültesi Dekanlığına, Fen Bilimleri Enstitüsüne, Toprak ve Bitki Besleme Bölümü Başkanı Sayın Prof. Dr. Sait GEZGİN ve bölümümüzün değerli öğretim üyelerine, ayırca gerektiğinde yardımlarını esirgemeyen Ankara Üniversitesi öğretim üyesi Prof. Dr. Günay ERPUL, Erciyes Üniversitesi öğretim üyesi Prof. Dr. Mustafa BAŞARAN ve Ondokuz Mayıs Üniversitesi Öğretim Üyesi Prof. Dr. Orhan DENGİZ'e teşekkürü ederim.

Deneysel çalışmam boyunca benden yardımlarını esirgemeyen ve desteklerini unutamayacağım sevgili çalışma arkadaşlarım Dr. İlknur GÜMÜŞ, Öğr. Gör. Dr. Hamza NEGİŞ, Zir. Yük. Müh. Ayşe ÇETİN, Zir. Yük. Müh. Noel MANİKARİZA ve Zir. Yük. Müh. Qutaiba ABDULVAHHAB'ye ve gerektiğinde yardımıma koşan, maddi manevi desteklerini sürekli hissettiğim Dr. Mert DEDEOĞLU, Zir. Yük. Müh. Öznur YALÇIN, Zir. Yük. Müh. M. Rümeyra OMAY, Zir. Yük. Müh. Hümeyra OMAY ve Zir. Yük. Müh. Hatice SÜSLÜ'ye teşekkür ederim.

Yaşadığım her zorluğa şartsız koşulsuz koşan ve desteklerini asla benden esirgemeyen kardeşlerim Yavuz ve Selim IŞILDAK'a, varlığı ile beni devleştiren, fedakârlıklarının karşılığını veremeyeceğim canım annem Ayten IŞILDAK'a, hayatım boyunca rol model aldığım çalışkanlık, merhamet ve dürüstlük gibi insani faktörlerde bana öncü olan canım babam İbrahim IŞILDAK'a teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışkanlık, disiplin, özgüven ve vazgeçmemeyi öğrenerek örnek aldığım ve her zaman desteğini yanımda hissettiğim sevgili eşim Fatih ERCİ'ye, anlayışı ile bana doktora sürecimde destek olan canımdan çok kıymetli biricik oğlum İbrahim Ethem ERCİ'ye bütün içtenliğimle teşekkürü ederim.

Vildan ERCİ
KONYA-2020

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **i**

ABSTRACT ..... **iii**

ÖNSÖZ ..... **v**

İÇİNDEKİLER ..... **vi**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **viii**

1 GİRİŞ **1**

2 KAYNAK ARAŞTIRMASI **7**

2.1 Rüzgâr Erozyonu 7
2.1.1 Rüzgâr erozyonu süreçleri 9
2.1.2 Rüzgâr erozyonu kontrolü 10
2.1.3 Rüzgâr erozyonu ölçüm yöntemleri 12
2.2 Rüzgâr Erozyonu Kontrolünde Bazı Toprak Stabilizatörlerinin Kullanımı 21

3 MATERYAL VE YÖNTEM **30**

3.1 Rüzgâr Tünel Yapımı ve Özellikleri 30
3.2 Rüzgâr Tünelinin Rüzgâr Akış Karakterizasyonunun Belirlenmesi 43
3.3 Toprak Örneklerinin Alınması ve Analize Hazırlanması 49
3.3.1 Çalışma alanları ve özellikleri 49
3.3.2 Toprak örneklerinin alınması ve analize hazır hale getirilmesi 52
3.4 Toprak Örneklerinde Yapılan Bazı Fiziksel - Kimyasal Analizler ve Yöntemleri 53
3.4.1 Fiziksel analizler: 53
3.4.2 Kimyasal analizler: 56
3.5 Çalışmada Kullanılması Planlanan Toprak Düzenleyici Materyaller ve Çalışma Topraklarına Uygulanma Dozları 56
3.6 Uygulanan Toprak Düzenleyicilerinin Rüzgâr Tünelinde Erozyona Olan Etkinliklerinin Belirlenmesi 62
3.7 İstatistiki analizler 63

4 ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA **64**

4.1 Dizayn Edilen Rüzgâr Tüneli 64
4.2 Rüzgâr Tünelinin Rüzgâr Akış Karakterizasyonu 68
4.3 Çalışmada kullanılan toprakların bazı özellikleri 93
4.4 Toprak Düzenleyici Materyallerin Rüzgâr Erozyonuna Olan Etkinliklerinin Belirlenmesi 96
4.4.1 Uygulanan Toprak Düzenleyicilerin Toprakların Eşik Sürtünme Hızlarına Etkisi 96
4.4.2 Uygulanan Toprak Düzenleyicilerin Toprak Kayıp Miktarlarına Etkisi 101

5 SONUÇLAR VE ÖNERİLER 110

5.1 Sonuçlar 110
5.2 Öneriler 113

6 KAYNAKLAR 115

7 EKLER 132

8 ÖZGEÇMİŞ 155

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

U	Rüzgâr Hızı
U_{max}	Maksimum Rüzgâr Hızı
U_{min}	Minimum Rüzgâr Hızı
U*	Kesme Hızı
SiCL	Siltli Killi Tın
SL	Kumlu Tın
Pb	Hacim Ağırlığı
Pk	Tane Yoğunluğu
P	Porozite
kPa	Kilo Paskal
cm	Santimetre
ppm	Parts Per Million
mg kg^{-1}	Miligram/Kilogram
g cm^{-3}	Yoğunluk, Kütle/Hacim
%	Yüzde
µm	Mikrometre
g	Gram
kg	Kilogram
pH	Hidronyum İyonlarının Antilogaritması
dk	Dakika
ha	Hektar
km	Kilometre
m	Metre
mm	Milimetre
mg	Miligram
kw	Kilowatt
s	Saniye
Re	Reynold Sayısı
Fr	Froude Sayısı
C_0	Külçe Etkisi
µs	Mikrosiemens
Mg	Megagram

Kısaltmalar

K	Kontrol
K_{su}	Su Uygulaması Yapılan Kontrol
H	Hidrojel
M	Melas
Ç	Çimento
ÇM	Çimento + Melas Karışımı (1:1 w/w)
SS	Standart Sapma
OM	Organik Madde
TN	Toplam Azot
YP	Yarayışlı Fosfor
AS	Agregat stabilitesi
TK	Tarla Kapasitesi
SN	Solma Noktası
FSK	Faydalı Su Kapasitesi
Ort	Ortalama
FKT	Fırın Kuru Toprak Ağırlığı
EC	Elektriki İletkenlik
VK	Varyasyon Katsayısı

1 GİRİŞ

Toprak, Dünyanın en değerli doğal kaynaklarından biri olup gezegendeki tüm yaşam formları için temel bir unsurdur. Çünkü yaşam için gerekli olan suyun bitkilere, atmosfere, yer altı sularına, göllere, nehirlere iletmesinde ve depolanmasında rol oynayan en temel elemandır. İnsanlar tarafından kullanılan tüm tatlı suların %74'ünün topraktan geldiği tahmin edilmektedir (Hoekstra ve Mekonnen, 2012). Topraklar, su depolamak ve tedarik etmek için önemli olmalarının yanı sıra suyun filtrelenmesi sürecinde de önemli rol oynamaktadırlar. Toprak, materyallerin geri dönüştürülmesi sürecinde de işlev görmektedir. Topraklar, besinlerin ve kirleticilerin dönüşümünü sağlayan bakteri, mantar ve diğer toprak canlılarının rol aldığı reaksiyonlar sonucunda yüklü yüzeylere sahip olurlar ve böylelikle ekosistem içerisinde besin ve su döngüsünde rol onayan bitkilerin büyümesine ve gelişmesine olanak sağlayan bir ortam görevi görürler (Keesstra ve ark., 2016).

Topraklar hayatın sürdürülmesinde önemli bir yere sahiptir. İnsanlar tükettiği besinlerin yaklaşık % 99.7'sinden fazlasını topraklardan alırlar, okyanuslardan ve diğer su ekosistemlerinden ise % 0.3'ünden daha azını almaktadırlar (Pimentel, 2006). Topraklar aynı zamanda, mevcut gıda ve suyun miktarını, kalitesini ve güvenliğini belirleyen ana faktör olup buna ek olarak bireylerin topraktan farklı amaçlar doğrultusunda yararlanmalarını sağlamaktadır. Ayrıca, binalar ve diğer tesisler de dâhil olmak üzere tüm canlı organizmalar ve yapıları için mekanik destek sağlayan toprak; drenaj, dere akışı ve yüzey-yeraltı su deposu gibi birçok hidrolojik süreci de etkilemektedir. Toprak, litosfer- hidrosfer- biyosfer- atmosfer sistemi içerisindeki malzeme, enerji, su ve gaz değişimini düzenlemektedir (Anderson ve ark., 2010.)

Lal (1989)'e göre, insan nüfusunun kabul edilebilir bir düzeyde tutulabilmesi için kişi başına yaklaşık 0.5 ha ekim alanı gerekmektedir (Lal, 1989). Ancak kişi başına düşen toprakların %0.07'den az olduğu birçok ülke vardır (Smil, 1987). Kayalık alanlar, çöller ve buzla kaplı alanlar dâhil, Dünya genelinde 130.575.894 km^2 arazi alanı bulunmaktadır. Bu alanın yaklaşık 38.5 milyon km^2'si (yeryüzünün buzlanmayan arazi yüzeyinin%29.45'i) insan yerleşimi için çok kuru ve soğuk tundra bölgesinden meydana gelmektedir (Beinroth ve ark., 1994). Arazinin yaklaşık 20.2 milyon km^2'si (%15.46) tarım için uygun değildir. Tuzlu ve alkali topraklar yaklaşık 3.105.000 km^2 topraktan (arazi yüzeyinin %2.4'ü) oluşurken; toprak asitliği 18.420.100 km^2 toprak alanını (toplam arazinin %14.1'i) etkilemektedir (Eswaran ve ark., 1997). Buringh, (1989)'e

göre; arazi yüzeyinin sadece %12'si gıda ve hayvan üretimi için uygun olup, %24'ü otlak alan ve %31'i ormanlık alandan oluşmaktadır; kalan %33'lük kısım ise birçok kullanım için kısıtlı alandır.

Tarımsal toprakların tümü verimli ve üretken değildir. Bazı topraklar verimsizdir; bazıları kurak ve tuzlu, bazıları çok kumlu ve kuru; bazıları ise büyüme mevsiminin bir kısmı veya çoğu için ıslak ve suyla doludur. Sulama ve drenaj dâhil olmak üzere gelişmiş su yönetimi teknikleri, kuru arazilerin, sulak alanların ve turbalık alanların bir miktar kullanılmasını sağlamaktadır. Eğimli alanlar, kumlu topraklar ve düşük besin tutma kapasitesine sahip topraklar vardır. Çöl bölgelerindeki pek çok toprak sulanır, ancak bunlar sürdürülemez olarak kabul edilir. Arazilerin yanlış kullanımı ve yönetimi, Dünya çapında birçok üretken araziyi olumsuz etkilemektedir. (Oldeman ve ark., 1991)), yaptıkları bir çalışma sonucunda küresel alanda üretken toprak alanlarının yaklaşık %17'sinin insan müdahaleleriyle bozulduğunu öne sürmektedir. Arazi bozulmasının sonuçları, toprağın gıda ve tarım üretimi için gerekli olan performansını etkilemekle kalmamakta, aynı zamanda çevre için de ağır sonuçlara yol açmaktadır.

Ülkemiz topraklarının yalnızca %24'ü (19 milyon hektar) tarımsal kullanıma elverişlidir (I., II. ve III. sınıf tarım arazisi). Bu durumun nedeni kısmen, toprak yüzeyinin yeterince derin olmaması olarak nitelendirilmektedir. Türkiye arazisinin %68'inde toprak derinliği 50 cm'den az olup toprakların %40'ı aşırı sığ olarak nitelendirilmektedir. Ülke arazisinin %9'luk bir bölümünde ise tarım; ancak çeşitli önlemler alındıktan sonra yapılabilecek durumdadır (IV. ve V. Sınıf arazi). Arazilerin %64'ü ise, herhangi bir biçimde tarım yapılamaz (VI. VII. ve VIII. tarıma uygun olmayan arazi sınıfları) durumdadır (Anonim, 2017).

Küresel ekilebilir (işlenebilir) alanın 1.351 milyar hektar olduğu tahmin edilmektedir ve bu ekilebilir alanın %38'i farklı oranlarda erozyona maruz kalmıştır. Erozyonun jeolojik ve hızlandırılmış erozyon adı altında iki ana türü bulunmaktadır. *Jeolojik erozyon,* doğal toprak şekillendirme süreçlerinin bir parçası olarak genellikle tüm topraklarda düşük oranlarda meydana gelen normal bir yıpranma işlemidir. Uzun jeolojik zaman dilimlerinde meydana gelir ve insan aktivitesinden etkilenmez. Kayaların yıpranıp yıkanan toprak profillerinin oluşumu yavaş ama sürekli jeolojik erozyondan etkilenen süreçlerdir. Gerçekten de erozyonun düşük oranları toprak oluşumu için gereklidir. Buna karşılık, hızlandırılmış erozyon olarak bilinen toprak erozyon oranı belirli bir eşik seviyesini aşıp çok hızlı hale geldiğinde önemli bir sorun

haline gelmektedir. Bu tür erozyon ormansızlaşma, yoğun pulluk kullanımı, yoğun ve kontrolsüz otlatma ve anız yakma gibi antropojenik nedenlerden kaynaklanmakta olup; tarım alanları ile birlikte orman, otlak ve mera alanlarının da kalitesini etkilemektedir (Pimentel ve ark., 1995). Bununla birlikte tarım alanları üretim dönemi haricinde çok az ürün artıkları ile kaplı kalmakta veya çıplak bırakılmakta olduklarından dolayı genellikle erozyona karşı daha hassastırlar. Üretim döneminin başlangıç aşamasında sıra bitkilerinin ekildiği alanlar da toprak erozyonuna karşı oldukça hassastır.

Dünya genelinde oldukça önemli bir arazi bozulması sebebi olarak değerlendirilen rüzgâr erozyonu, ülkemizde küçük ölçekli alanları etkilemekle birlikte, iklimsel farklılaşmaların belirginleşmesiyle de etki alanını oldukça önemli düzeyde arttırmaktadır. Ülkemiz topraklarının % 88.7 oranında orta, şiddetli ve çok şiddetli erozyon görülmekte olup; rüzgâr erozyonuna maruz kalan alanların büyük kısmı Orta Anadolu bölgesinde (% 98) ve özellikle Konya ilinde (% 69) yer almaktadır (Acar ve Dursun, 2010).

Toprak verimliliğindeki azalma erozyonunun arazi içi olumsuzlukları iken, rüzgâr ve su tarafından taşınan materyalin kaynağından uzakta birikmesi erozyonun arazi dışı sonuçları olarak değerlendirilmektedir (Skidmore, 1994; Nordstrom ve Hotta, 2004). Dünya yer yüzeyinin üçte birinden fazlasında meydana geldiği bilinen rüzgâr erozyonu (Weinan ve Fryrear, 1996); kumul hareketi (Rezaie, 2009), hava kirliliği (Song ve ark., 2007), çevre sorunları (örneğin astım ve kötü görme) (Sprigg ve ark., 2014), radyoaktif kirlilik (Goudie, 2014) ve toprak yüzeyinden hava katmanlarına hareketi (Hagen, 2010) gibi bazı arazi dışı sorunları kapsamaktadır. Rüzgârla toprak erozyonu birçok kurak ve yarı kurak bölgede ciddi bir çevre sorunu olup; Dünya çapında 500 milyon hektarın üzerinde bir alanı etkilemektedir (Grini ve ark., 2005; Webb ve ark., 2017).

Rüzgâr erozyonu, doğal ve antropojenik yüzeylerde yaygın olup; jeolojik, antropojenik ve iklimsel süreçler rüzgâr erozyonunun oranını ve büyüklüğünü kontrol eden temel parametreler olarak karşımıza çıkmaktadır (Gomes ve ark., 2003). Rüzgâr erozyonu özelikle teksel zerrelerin fazla olduğu kumlu topraklarda, yüzey örtüsünü oluşturan bitkilerin tahribi ve yokluğu ile ortaya çıkmaktadır (Nordstrom ve Hotta, 2004; Warren ve ark., 2007). Eolian erozyonu olarak da bilinen rüzgâr erozyonu, toprak parçacıklarının rüzgârın aşındırıcı kuvvetleri tarafından ayrıldığı ve yerinden oynatıldığı dinamik bir süreçtir ve toprağın erozyona karşı oluşturduğu direncin rüzgâr kuvveti ile eşik seviyesini aştığı anda meydana gelmektedir. Yüksek hıza sahip

rüzgârlar toprak parçacıklarını ayırıp taşınmaktadırlar. Bu taşınan parçacıklar, rüzgârın taşıma kapasitesindeki ani bir değişiklik sonucu kaynaktan uzak bir mesafede birikirler.

Lyles, (1988) toprak parçacıklarının oluşması, aşınması, taşınması (süspansiyon, sıçrama ve yüzey sürüklenmesi), sıralanması ve birikmesi gibi işlemlerin rüzgâr erozyonu ile ilgili olduğunu belirtmiştir. Bu süreçlerden birikme süreci, parçacık boyutuna bağlı bir olay olup Stoke yasasını temel almaktadır. Stoke yasasına göre herhangi bir parçacığın düşme hareketinin hızı, parçacık yarıçapının karesi ile orantılıdır. Küçük çaplı parçacıkların düşme hızlarının çok düşük olması daha uzun mesafelerce taşınıp birikmesine neden olurken kısmen daha büyük parçacıkların taşınımı ise daha kısa mesafelerde son bularak birikimi gerçekleşir. Atmosferik tozu oluşturan daha küçük parçacıklar ise askıda kalmaktadır (Blanco-Canqui ve Lal, 2008).

Rüzgâr erozyonunun taşınma sürecinde ise üç tipik toprak parçacık hareketi vardır. Bunlar sıçrama, süspansiyon ve yüzeyde sürüklenme şeklinde adlandırılmaktadır. Bu üç rüzgâr erozyonu süreci kısmen de olsa aynı anda gerçekleşir. Toprak partiküllerinin hareketi ile meydana gelen rüzgâr erozyonunda taşınan partiküllerin yaklaşık %50-75'i sıçrama ile taşınırken partiküllerin yaklaşık %30-40'ı süspansiyon, %7-25'i ise yüzeyde sürüklenme ile taşınır (White, 2013).

Sıçrayan bir parçacık tarafından kat edilen yatay mesafe, atlayış yüksekliğinin dört ila beş katı civarında olmaktadır. Yüzeye çarparken, parçacıklar havaya geri sıçrayabilir veya tekrar sıçramadan önce diğer parçacıkların da havaya kalkmasına neden olabilir. Dolayısıyla, sıçrama, ardışık sıçramaların meydana gelmesi ile toprak parçacıklarının ilerleyerek yer değiştirmesi olayı olarak ortaya çıkmaktadır. Sıçrama, diğer parçacıkların süspansiyon içinde hareket etmesine ve yüzeyde sürüklenmesine neden olur. Ne yüzey sürüklenmesi ne de süspansiyon, sıçrama olmadan gerçekleşemez.

Süspansiyon parçacıklarının hareket mesafesi, sıçrama ve yüzeyde sürüklenmeden büyük ölçüde farklı olup sıçrama ve yüzeyde sürüklenme ile taşınan parçacıklara nazaran daha kısa mesafelere taşınır. Süspansiyon ile taşınan partiküllerin miktarı çıplak arazinin alanı ve rüzgâr hızındaki artış ile doğru orantılı olarak artar.

Bu durum, erozyon tehlikesinin değerlendirilmesiyle ilgili yapılacak olan araştırmaların daha geniş ölçeklerde çalışılması zorunluluğunu da beraberinde getirmektedir. Bir yüzeyin rüzgâr erozyonuna olan yatkınlığı; rüzgâr rejimi ve sediment taşınımının alan tabanlı izlenmesi, laboratuvar veya saha temelli rüzgâr tünellerinin kullanımı, portatif rüzgâr erozyonu tesisleri ve modellemelerinin kullanılması dâhil olmak üzere çeşitli şekillerde ölçülebilir (Goudie ve ark., 1999; Goossens ve Offer,

2000; Etyemezian ve ark., 2007; Webb ve McGowan, 2009; Webb ve Strong, 2011). Çalışma alanlarının rüzgâr erozyonuna olan yatkınlığının belirlenmesinde yukarıda belirtilen ölçüm yöntemlerine ek birçok ölçüm tekniği bulunmaktadır. Bu teknikler zamanla değişip gelişerek artış göstermektedir. Bu ölçüm teknikleri arasında mevcut olan en eski ölçüm tekniklerinden biri rüzgâr tünelleri olup hala çok yaygın olarak kullanılmaktadır (Bagnold, 2012). Rüzgâr tünelleri de dahil olmak üzere mevcut araştırma tekniklerinin bazı avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır (Van Pelt ve ark., 2010).

Rüzgâr erozyonu yoğunluğunun ve doğal koşullar altındaki etkileyici faktörlerinin ölçülmesi her zaman zor ve pahalıdır. Bu nedenle, bu ve bunun gibi çalışmalarda rüzgâr erozyonu simülatörünün alternatif bir yöntem olarak kullanılması daha büyük bir kolaylık sağlayacaktır (Shahnavaz ve ark., 2019). Rüzgâr erozyonu simülatörü kullanılarak rüzgâr hızı etkisi, toprak özellikleri, kontrollü koşullar altında parçacık taşıma mekanizmaları ve toprak stabilizatörlerinin etkinliği incelenebilir (Burri ve ark., 2011). Mobil rüzgâr tünelleri standart, yarı-doğal rüzgâr koşullarında, doğal yüzeylerde rüzgâr erozyon işlemlerinin saha incelemesi ve miktar tayini için gerekli araçlardır (Maurer ve ark., 2006). Aslında rüzgâr tünelleri, rüzgâra maruz kalan alan ve toprak yüzeylerinde rüzgâr hızı, rüzgâr yönü ve türbülans gibi kontrollü koşullar için rüzgâr erozyonu oluşturmaya izin verir (Pi ve Sharratt, 2017).

Laboratuvar ölçekli rüzgâr tüneli ile arazi üzerinde büyük çapta denemeler kurmadan, çalışılması planlanan toprak düzenleyici materyallerin etki ve kalıntılarını toprağa bırakmadan arazinin temel yapısını en iyi şekilde temsil edecek simülasyonların yapılabildiği bilinmektedir. Burada en önemli olgu ise rüzgâr tünelinde çalışmaya başlamadan önce rüzgâr tünelinin iyi bir biçimde tasarlanması ve deneysel hata oranını minimize edecek yapıda olması olarak ortaya çıkmaktadır. Toprak düzenleyiciler ile gerçekleştirilecek bu tarz uygulamalarda arazinin alan büyüklüğü de düşünüldüğünde daha standart ölçümler alınabilmesi ve ayrıca iklimsel şartların ve insan kaynaklı sorunların oluşturabileceği dengesiz sonuçlardan bağımsız sağlıklı sonuçların elde edilebilmesi iyi tasarlanmış bir rüzgâr tüneli vasıtası ile ancak gerçekleştirilebilecektir. Bu nedenle bu tez kapsamında toprak örneklerine uygulanacak toprak düzenleyicilerinin rüzgâr erozyonuna olan etkilerinin en iyi biçimde simüle edilebilmesi amacı ile bir laboratuvar ölçekli rüzgâr tüneli dizayn edilmiştir. Bu dizayn edilen tünelde belirlenen toprak düzenleyici ajanlarının rüzgâr erozyonuna olan etkileri test edilerek mevcut rüzgâr erozyonu riskinin azaltılabileceği varsayılmaktadır.

Bu bağlamda yapılan bu tez çalışmasında Konya, Karapınar ve Sarıcalar bölgelerindeki bakir alanlardan alınan toprak örneklerine melas (M), çimento (Ç), çimento ve melas karışımı (ÇM) ve hidrojel (H) gibi toprak düzenleyicileri 6.66-13.33-26.66-53.33 g m^{-2} olacak şekilde uygulanmıştır. Yapılan bu uygulamaların rüzgâr erozyonunu önlemedeki etkinliklerinin belirlenebilmesi amacıyla dizayn edilen laboratuvar ölçekli bir rüzgâr tüneli kullanılarak 9-11 m s^{-1} rüzgâr hızlarındaki rüzgâr erozyonu tahminleri gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen bu tahminler doğrultusunda hangi toprak düzenleyici materyalin ve dozunun rüzgâr erozyonunu önlemedeki etkisinin daha iyi olduğu belirlenmiştir. Buna ek olarak; topraklara uygulanan bu toprak düzenleyicilerinin rüzgâr erozyonu eşik hızına olan etkileri de çalışma kapsamında tespit edilmiştir.

2 KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1 Rüzgâr Erozyonu

Kurak ve yarı kurak bölgelerde toprak bozulması ve çölleşme ile ilişkili en önemli süreçlerden biri olan rüzgâr erozyonu, Dünyada yer yüzeyinin üçte birinden fazlasında meydana gelmektedir (Weinan ve Fryrear, 1996). Yarı kurak bölgelerde rüzgâr erozyonuna duyarlılık, iklim değişikliği ile artacak olup, dolayısıyla kuraklığın da buna paralel olarak büyük ölçüde artması beklenmektedir (Çetin ve ark., 2007; Lal, 2007). Rüzgâr erozyonu, atmosferik kompozisyonu ve iklim değişikliğini (Prospero ve ark., 1983), sedimentler üzerinde herbisit taşınımını (Larney ve ark., 1998), toprak yapısını, besin içeriğini, vejetasyon büyümesi ve verimliliğini (Grantz ve ark., 1998), derin deniz sedimentlerinin özelliklerini (Prospero ve ark., 1983) ve insan sağlığını (Norton ve Gunter, 1999) etkilemektedir. Bu nedenle kuraklık ve çölleşme sonucunda açığa çıkan rüzgâr erozyonunun yayılma etkisinin izlenmesi ve kontrol altında tutulması sürdürülebilirlik açısından son derece önemlidir (Doğan ve Kuzucuoğlu, 1993; Çetin ve ark., 2007).

Yarı kurak bölgelerde görülen yüksek hızlı rüzgârların varlığı, düşük yağış miktarı (<300 mm yıllık), su kaynaklarının yetersizliği, yüksek buharlaşma miktarı, seyrek bitki örtüsü ve sınırlı toprak oluşumu rüzgâr erozyonu ve çölleşmenin başlıca etkenleridir. Özellikle teksel zerrelerin fazla olduğu kumlu topraklarda, yüzey örtüsünü oluşturan bitkilerin tahribi ve yokluğu ile rüzgâr erozyonu ortaya çıkmaktadır (Skidmore, 1994; Nordstrom ve Hotta, 2004; Warren ve ark., 2007). Rüzgâr erozyonu toprakların kuru, gevşek ve örtüsüz olduğu dönemlerde; rüzgâr hızının eşik hızın üzerine çıkmasıyla başlamaktadır.

Türkiye'de rüzgâr erozyonu genellikle yarı-kurak iklimin hâkim olduğu alanlar olan, Orta Anadolu'nun güneyinde (Konya-Niğde-Kayseri) ve Güney Doğu Anadolu ile Doğu Anadolu bölgesinde yer alan Iğdır yöresinde yaygın olarak görülmektedir. Türkiye'deki yaklaşık 465.000 hektarlık kara kumullarında hafiften çok şiddetliye kadar rüzgâr erozyonu problemi bulunmaktadır. Bu alanın yaklaşık %69'u Konya ili sınırları içinde yer almaktadır (ÇEM, 2015). Konya kapalı havzasında yer alan tarım alanları, nispeten seyrek bitki örtüsüne sahip olması, yağış almayan aylarda yoğun olarak otlatılması ve yanlış işleme tekniklerinin uygulanması neticesinde rüzgâr erozyonuna açık hale gelmektedir.

Rüzgâr erozyonuna maruz kalan 103.000 hektarlık alan Konya'nın Karapınar ilçesinde yer almaktadır (Acar ve Dursun, 2010). Karapınar ilçesinde artan rüzgâr erozyonunun nedenlerini şu şekilde özetlemek mümkündür:

- Gölün kurumasını takiben eski göl yatağından kaynaklanan kumlu malzemelerin harekete geçmesi,
- Sıcak ve yarı kurak karasal iklim koşullarının olması, mevsimsel anlık yüksek yağışlar olması ve yıldan yıla bu yağışların değişkenlik göstermesi,
- Meraların aşırı otlatılmasından ve mera bitkilerinin yakıt olarak kullanılmasından dolayı arazilerde meydana gelen şiddetli tahribat,
- Toprağın yapısını bozan ve toprağın üretken yüzey kısmının toprak altına gömülmesine sebep olan pulluk kullanımı ile aşırı toprak işleme,
- Ve en önemlisi Karapınar bölgesinin güçlü bir rüzgâr rotasında yer alıyor olmasıdır (Groneman, 1968; Akca ve ark., 2000; Yildirim ve Akay, 2010; Kantarcı ve ark., 2011).

Özellikle Konya Karapınar bölgesinde büyük bir tehdit haline gelen rüzgâr erozyonunu önleme amacıyla 1962 yılında araştırma istasyonu ve erozyon önleme sahası oluşturulmuştur. Bu bölgedeki bitki örtüsünün yoğunluğu daha da iyileştirilerek toprak koruma projesi başlatılmıştır (Kuzucuoglu ve ark., 1998). Ancak koruma harici bölgedeki mera arazileri ve diğer tarımsal araziler üzerinde rüzgâr erozyonunun ve kum hareketlerinin olumsuz etkileri devam etmekte olup toprak verimliliği, ürün kalitesi, mera ve tarım alanları çölleşme riski ile karşı karşıya kalmaktadır (Kuzucuoglu ve ark., 1998; Zengin ve ark., 2012; Youssef ve ark., 2010).

Konya bölgesinde 2012 yılının nisan ayında meydana gelen en son ve şiddetli rüzgâr olayı (Hızı 105 km/saat) tarım alanlarındaki mevcut ürünleri etkileyerek büyük çaplı bir hasara neden olmuştur. Konya Tarım il müdürlüğü kayıtlarına göre bu olay sonucunda yaklaşık olarak 240 000 ha alan, rüzgâr erozyonunun meydana getirdiği zarardan etkilenmiştir. Koruma altında olan ve düşük rüzgâr erozyonu oluşma potansiyeline sahip alanlar da bu son rüzgâr hareketinden etkilenmiştir. Meydana gelen bu olay bize yarı kurak Konya ovasının rüzgâr erozyonuna duyarlılığı ve dolayısıyla çölleşme durumlarını inceleme ve değerlendirme amacıyla acil olarak iklim verileri, toprak karakteristiği, arazi kullanımı, bitki örtüsü yayılımı ve yönetimi konularında sistematik bilgi edinimini ve bu bilgilerin entegrasyonunun sağlanması gerekliliğini göstermektedir (Gomes ve ark., 2003; Lal, 2007).

2.1.1 Rüzgâr erozyonu süreçleri

Rüzgârlar, atmosferin güneş tarafından dengesiz bir şekilde ısınmasından, Dünyanın yüzeyindeki düzensizliklerden ve dönmesinden kaynaklanmaktadır. Rüzgâr bir tür güneş enerjisidir. Rüzgârın akışı; yavaş iken laminar olup hızlı iken türbülanslı olmaktadır. Ayrıca, rüzgâr akışı, akan su ile aynı sürtünme kuvvetleriyle yavaşlatılabilir (Coasts, 1993; Deisadze ve ark., 2013). Rüzgâr hızı nitel olarak Beaufort ölçeği kullanılarak tanımlanabilir. Beaufort ölçeği, gözlemlenen deniz koşullarına (yani dalga yükseklikleri ve köpükler) dayanarak 1805'te İngiliz Donanması'ndan Amiral Sir Francis Beaufort tarafından icat edilmiştir (Coasts, 1993).

2.1.1.1 Sıçrama

Sıçramada, ince toprak parçacıkları (0.1-0.5 mm), doğrudan rüzgâr basıncı ile bir mesafeye kadar toprak yüzeyi üzerinde yuvarlanıp, ardından aniden 20- 30 cm yüksekliğe dikey olarak hareket eder. Toplam taşınan partiküllerin büyük kısmı, yaklaşık olarak %50-80'i sıçrama sonucu meydana gelir. Sıçrayan parçacıklar en fazla <120 cm'ye kadar yükselirken çoğunlukla bu yükseklik <30 cm mesafeyi geçmemektedir. Sıçrayan parçacıklar yüzeye çarptıklarında, yüzeyde bulunan parçacıkları bulunduğu yerden hareket ettirerek sıçramasına neden olurlar. Yüzeyde meydana gelen bu çarpma bombardımanı daha fazla toprak parçacığının yer değiştirmesine neden olur ve bunun sonucunda toprak parçacıkları eğim yönünde hareket ederek çığ etkisi oluşturur. Kaldırılan parçacıklar hız kazanır ve sonra yataydan 5-12 ° açıyla neredeyse düz bir çizgide aşağıya doğru harekete geçerler (Chepil, 1945; Zingg, 1953).

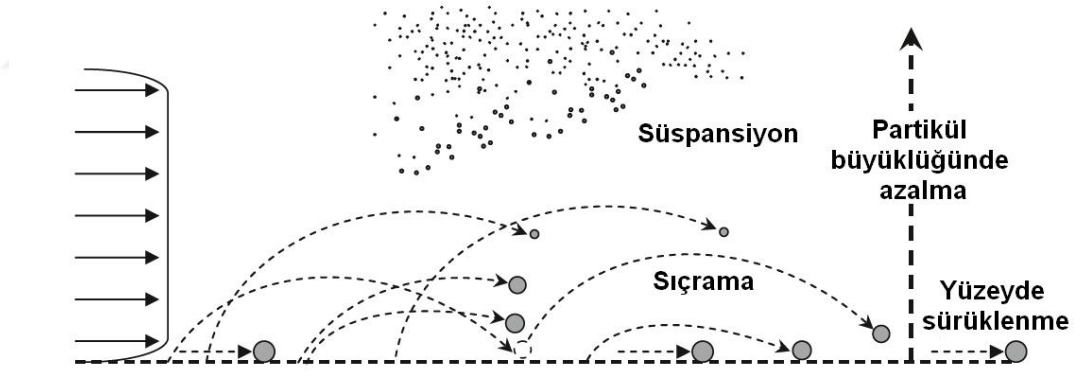
2.1.1.2 Süspansiyon

Süspansiyon, genellikle çok küçük toprak partiküllerinin toprak yüzeyinden uzaklaşarak dikey yükselmesi ve yatay taşınması anlamına gelir. Askıda partiküller rüzgârın birkaç metre veya yüzlerce kilometre ötesinde bitebilir. Erozyona uğrayan bir alandan süspansiyon ile taşınan partikül çapı yaklaşık 2 ila 100 µm arasında değişim göstermekte olup, ortalama partikül çapı yaklaşık 50 µm'dir (Chepil, 1957; Gillette ve Walker, 1977; Lyles, 1988). Bununla birlikte, uzun mesafeli taşınmaya maruz kalan partiküllerin büyük bir oranını 20 µm'den küçük çapa sahip olan partiküller oluşturur (Gillette, 1977). Süspansiyonu meydana getiren partiküllerin bir kısmı toprağın kendi bünyesinde mevcut bulunurken çoğu erozyon sırasında aşınma sonucunda parçalanma

ile meydana gelir. Süspansiyon hareketleri kolayca toz fırtınası şeklinde fark edilebilir olup, (Hagen ve Woodruff, 1973)'un büyük ovalarda yaptıkları bir çalışmada ortalama toz fırtınasının 6.6 saat sürdüğünü ve medyan toz konsantrasyonunun 4.83 mg m^{-3} olduğunu tahmin etmişlerdir.

2.1.1.3 Yüzeyde sürüklenme

Yüzeyde sürüklenen partiküller 500-1.000 μm çapında veya agregatlar normal erozif rüzgârlarda kaldırılamayacak kadar büyüktür. Sıçrama ve rüzgârın etkileri ile itilir, yuvarlanır ve sürüklenirler. Şiddetli rüzgârlarda, tüm yüzey yavaşça ileri sürünüyor gibi görünür. Rüzgârla harekete geçirilen kumun dalgalanması, yüzeyde sürüklenme akışındaki düzensizliğe bağlanmıştır (Bagnold, 1941). Yüzeyde sürüklenme toplam taşınmanın % 7-25'ini oluşturur (Bagnold, 1941; Chepil, 1945; Horikawa ve Shen, 1960). Yüzeyde sürüklenme rüzgâr erozyonu süreçleri içerisindeki en pasif taşınma şekli olarak görünmektedir, fakat yüzeyde sürüklenme büyüklüğündeki agregatlar, sıçrama ve süspansiyonu oluşturan partikül büyüklüğüne geçebilmektedir. Yüzeyde sürüklenmedeki agregatlar nadiren kaynak alanlarından uzaklaşır.



Şekil 2.1. Rüzgâr erozyonu ile hareket eden taneciklerin taşınma şekilleri (Blanco-Canqui ve Lal, 2008).

2.1.2 Rüzgâr erozyonu kontrolü

Rüzgâr erozyonu, askıda taşınan parçacıkların, hava kirliliğinin, toprak ve çevre degradasyonlarının başlıca etkenlerinden biri olup, bu olgunun sürecini daha iyi anlayabilmek için detaylı çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır (Refahi, 2004; Movahedan ve ark., 2012). Öte yandan, iklim değişiklikleri bağlamında rüzgâr erozyonu kurak ve yarı kurak alanlarda önemli konulardan birisidir. Rüzgâr erozyonunun meydana getirdiği zarar, yüzey katman özellikleri ve taşınan parçacıkların türlerinin yanı sıra rüzgârın hızı ve süresi gibi özelliklere de bağlıdır. Rüzgâr erozyonu tarımsal üretim,

binalar ve yapılarda birçok zararlara neden olur (Liu ve ark., 2003; Movahedan ve ark., 2012). Rüzgâr erozyonunu kontrol etmek için birçok koruma uygulaması yapılabilir. Koruma uygulamaları, ya toprak yüzeyindeki rüzgâr kuvvetini azaltmak ya da rüzgâr kuvvetlerine daha dirençli bir toprak yüzeyi oluşturmak için tasarlanmıştır. Bazı uygulamalar ise, toprak yüzeylerinin aşınmasını azaltmak için sıçrama aralığındaki partiküllerin toprağın içine hapsedilmesi ile rüzgârdan etkilenme oranını düşürmeyi hedefler.

Rüzgâr erozyonunu kontrol etmek için farklı yöntemler vardır. Biyolojik yöntemler (rüzgâr siperi olarak bitkileri kullanarak), mekanik yöntemler (çukur açılması ve yapıların rüzgâr siperi olarak kullanılması) ve kimyasal yöntemler (petrol, malç ve polimerik malzemeler) kullanılarak toprak yüzey tabakasının güçlendirilmesidir.

Rüzgâr erozyonunun kontrolünde çeşitli toprak stabilizatörleri kullanılmıştır (Chepil, 1963; Diouf ve ark., 1990; Yang ve ark., 2008; Yang ve Tang, 2012). Bunlar arasında malç, son yıllarda yaygın olarak kullanılan ve insanlar tarafından üretilen bir bileşiktir. Tanıma göre, malç toprak yüzeyine yerleştirilen ve toprağı, suyu ve bitkileri koruyan ince bir tabakadır. Malçlar, organik malç (saman, yapraklar, gübre vb.) ve inorganik malç (çimento, alçı vb.) olmak üzere tiplere ayrılabilir (Keesstra ve ark., 2019). Yapılan bir çalışmada rüzgâr erozyonunu kontrol altına almak için malç uygulaması yapılmıştır. Bunun sonucunda malç uygulamalarının toprak parçacıklarının hareketini engellediği ve bu sayede rüzgâr erozyonunu kısmen de olsa durdurduğu bildirilmiştir (Refahi, 2006). Tüm bu bileşikler çevreyi korumayı ve erozyonu önlemeyi amaçlamaktadır. Malç, toprak yüzeyinde kabuk oluşturma gibi birçok avantaja sahiptir; toprak yüzeyindeki havanın hareket etmesini önler. Ayrıca; malç, bitkileri ve bitki tohumlarını korur, toprak nemini tutar, toprak buharlaşmasını azaltır, toprak yüzeyinin sıcaklığını azaltır ve toprak verimliliğini arttırır (Ghosh ve ark., 2015). Ayrıca, petrol malçlarının Dünyada uzun bir geçmişi vardır ve rüzgâr erozyonunu kontrol etmek için yaygın olarak kullanılmaktadırlar (Ekhtesasi ve ark., 2005). Ancak, uzun süredir çalışılmakta olan yağ malçlarının çevre üzerindeki olumsuz etkileri yapılan bazı çalışmalar sonucunda kanıtlanmıştır. Bu olumsuz etkilerden en belirgin olanı petrol malçının koyu renkli olması nedeniyle güneş ışınlarını emmesi ve uzun vadede bölgedeki kasırgalara neden olmasıdır (Shojaei ve ark., 2019). Petrol malçları bölgedeki kirliliği arttırarak toprak mikroorganizmalarına ve çevreye zarar vermektedir (Chen ve ark., 2014). Petrol malçlarının olumsuz etkileri arasında yeryüzü sıcaklığının artması, kimyasal kirlenmenin gelişmesi, bitki büyümesindeki azalma ve toprağın tahribi

sayılabilir. Günümüzde araştırmacılar yeni tür malçları petrol malçlarının yerine kullanmaya çalışmaktadır. Genellikle, kimyasal toprak stabilize edici ajanlarda değişken başarılar elde edilmektedir. (Armbrust ve Lyles, 1975)'e göre yüzey toprağına uygulanacak stabilizatörlerde aranması gereken kriterler aşağıdaki gibi olmalıdır.

- Toprağın %100'ü seçilen düzenleyici ile kaplanmalıdır,
- Seçilen toprak düzenleyicisi bitki büyümesini veya ortaya çıkmasını olumsuz yönde etkilememelidir,
- Genellikle her mevsimde en az 2 ay süreyle ciddi erozyon tehlikesi mevcut olup bu süreçte erozyonun başlangıçta azaltılarak önlenmesi gerekmektedir,
- Toprak düzenleyicisi kolayca ve özel ekipman olmadan uygulanmalı ve
- Maliyeti, karlı kullanım için yeterince düşük olmalıdır.

Kolay ve ucuz bir toprak düzenleyicisi olan buğday samanı bitkisel yöntemlere örnek gösterilebilir ve rüzgâr erozyonunu önlemedeki etkinlikleri test edilerek belirlenebilir (Chepil ve ark., 1963). Bu ve bunun gibi ürünlerin çoğu kısa sürede rüzgâr erozyonunu başarılı bir şekilde kontrol etmektedir.

2.1.3 Rüzgâr erozyonu ölçüm yöntemleri

Rüzgâr erozyonu oranlarının doğru bir şekilde ölçülmesi, erozyon problemlerinin büyüklüğünü değerlendirmek, tahmine dayalı modelleri geliştirmek, doğrulamak, kalibre etmek ve gerektiğinde erozyon kontrol uygulamalarını oluşturmak için önemlidir. Rüzgâr erozyonu ölçüm yöntemleri 4 ana başlık altında toplanabilir.

2.1.3.1 Sediment tuzakları

Sediment tuzakları; sediment akışını rüzgârla yakalamak için çeşitli örnekleme etkinliklerine ve tasarım özelliklerine sahip bir dizi örnekleme cihazıdır. Sediment yakalayıcı seçimi, rüzgâr kıranlardan kaynaklanan parçacıkların boyutuna bağlıdır. İzokinetik bir sediment tuzak tasarımı, tuzak girişinden geçen hava akışının atmosferdeki hava akışı ile aynı olduğu anlamına gelir. Askıda taşınan küçük parçacıklar genelde rüzgârın akışını takip ederken, nispeten daha büyük parçacıklar hareketsiz bir şekilde çoğu zaman rüzgârın çapraz akış çizgilerinden etkilenir (Shao ve ark., 1993b). Arazide numune alma yeri normal rüzgâr akışına engel teşkil ettiği için, sürtünme hızını değiştirir ve toprak parçacıklarının akışını bozar, bu da genellikle sediment yakalaması gereken sediment tuzaklarının verimliliğini azaltır.

Sediment tuzaklarını 2 ana kategori altında toplamak mümkündür. Bunlar; aktif ve pasif sediment tuzaklarıdır.

Aktif sediment tuzakları izokinetik koşulları korumak için pompalama cihazları ile donatılmıştır ve < 2 μm ince parçacıkları (örneğin kil, PM_{10} ve $PM_{2.5}$ emisyonlarını) toplamak için uygundur, pasif sediment tuzaklarında ise bir pompalama mekanizması kullanılmaz ve > 40 μm büyük parçacıkları toplamak için uygundurlar (Shao ve ark., 1993a). Rüzgâr erozyonu saha ölçümleri aktif sediment tuzaklar yerine genellikle daha ucuz ve daha taşınabilir olan pasif sediment tuzaklara dayanır.

Parçacık boyutuna göre kum ve havadan gelen toz partikülleri için tuzaklar vardır. Örnekleme deliklerinin konumuna bağlı olarak, tuzaklar yatay ve dikey sediment akışını toplamak için kullanılır. Rüzgârla dağılmış partiküllerin hareketi ve birikmesi, yatay ve dikey akıntıların net sonucudur.

Sediment tuzakları ayrıca tek noktalı veya derinlik tümleştirici sediment tuzakları olarak da sınıflandırılır. Tek noktalı sediment tuzakları küçük bir giriş deliğine sahiptir (örneğin, 10 mm genişlik 20 mm yüksekliğinde) (Shao ve ark., 1993a), dikey olarak entegre edilmiş numuneleri toplamak için tasarlananlar ise dikdörtgen giriş açıklığına sahiptir (örneğin, 20 mm genişliğinde 500 mm yüksekliğinde) (Nickling ve Neuman, 1997). Bu sediment tuzakları, sırasıyla <40 ve <60 μm çapındaki partiküllerin yakalanması için arka kısımda 40 ve 60 μm tel örgü ile kaplanmıştır.

İlk ve pasif derinlik tümleştirici sediment tuzağı Bagnold tuzağıydı (Bagnold, 1941). Bagnold tuzağı, mevcut rüzgâr tüneli testlerinde kullanılmak üzere aktif sediment tuzaklarından modifiye edilmiştir. Modifiye Wilson ve Cooke (MWAC) ve Big Spring Number Eight (BSE) havadaki toz ve tozlu parçacıkları toplamak için en popüler sediment tuzaklarıdır (Zobeck ve ark., 2003). Dünya genelinde yaygın olarak kullanılan bu iki pasif sediment tuzaklarına iyi bir alternatif olarak ülkemizde geliştirilip üretilen Başaran ve Erpul Sediment Trap (BEST) yeni dizayn bir tuzak olup plastikten üretilmesi dolayısıyla da maliyeti oldukça düşüktür. Bu tuzakların <100μm partikül için göstermiş olduğu performans %80 oranlarında olup arazi çalışmalarında bu performans %90'lara kadar çıktığı belirtilmektedir (Basaran ve ark., 2011; Basaran ve ark., 2016; Başaran ve ark., 2017).

2.1.3.2 Nokta ölçümleri

Şiddetli erozyon altındaki topraklarda üst toprak ve/veya profil kalınlığındaki değişiklikler hızlı bir şekilde meydana gelir. Aşırı rüzgâr erozyonu toprak yüzeyinde

taş, kaya ve bitki köklerini açığa çıkararak topraklarda görsel değişikliklere neden olur. Bir referans noktası baz alınarak toprak düzeyindeki bu değişikliklerden rüzgâr erozyon oran tahminleri sağlanabilir. Tek bir noktada meydana gelen seviye değişimi basit bir şekilde ölçülebilmektedir. Her ne kadar bu yapılan bireysel ölçümler ucuz ve basit bir yöntem olarak görülse de çok sayıda noktada örnekleme yapılabildiğinde kullanışlı ve anlamlı sonuçlar ortaya çıkarabilmektedir. Güvenilir tahminler elde etmek için çok sayıda tekerrür yapılması gerekmektedir. Çok sayıda tekrarlı ve ölçüm noktalı alınan ölçümler maliyetin artmasına neden olmakla birlikte bazı topraklarda, toprak düzeyinde meydana gelen önemli değişiklikler sadece uzun bir süre gözlemlenerek elde edilebilir.

Pim yönteminde ise, toprağa takılan çiviler veya çelik çubuklar (erozyon pimleri), "toprak ileri hareketini" ve "toprak geri çekilmesinin" ölçülebileceği bir veri sağlayabilir (Loughran, 1989).

Haigh (1977) pim yöntemine yönelik çeşitli önerilerde bulunmuştur (Haigh, 1977):

- Erozyon tahmininde kullanılan pimler ince olmalı,
- Erozyon pimleri toprağa paralel olarak yerleştirilmemeli, gömülebilir ve kaybolabilir şekilde dik konulmalıdır,
- Pimlerden elde edilen sonuçlar en az altı ayda bir kaydedilmelidir,
- Pimler kısa sıralar veya kümeler halinde oluşturulmalıdır ve
- Pim sıraları eğime dik olarak ayarlanmalıdır.

Ağaç gövdeleri, çalılar, kayalar ve çit direklerinin etrafının boyanması ile yapılan boyama tekniği de bir başka ölçüm tekniğidir. Boya hatları dikkate alınarak toprak seviyesinde ki azalma, rüzgârın kaybettiği toprağın tahminini verir (Carrara ve Carroll, 1979). Profil ölçer, toprak işlemenin neden olduğu pürüzlülüğü belirlemek için kullanılan cihaza benzer niteliktedir. Bu teknikler sadece kaba tahminler sağlar ve rüzgâr erozyonu süreçlerinin dinamiklerini anlamak için sınırlı kullanıma sahiptir.

2.1.3.3 Radyonüklid serpintiler

1950 ve 1960'lı yıllarda yapılan nükleer testler sonucunda ortama gaz halinde yayılan fisyon ürünlerinden ^{137}Cs radyonüklidi, yağan yağmur ve kar ile serpinti radyonüklidi olarak toprağa iner ve kildeki mineraller tarafından çabuk ve güçlü bir şekilde absorblanarak toprakta tutunur (Chappell ve Warren, 2003). ^{137}Cs'nin toprak yüzeyine güçlü adsorbsiyonundan ve toprak tanecikleri ile birlikte hareketinden dolayı

birçok araştırmacı bu radyoaktif elementi erozyon çalışmalarında izleyici olarak kullanmıştır (Haciyakupoglu ve ark., 2005).

Serpinti radyonüklidleri ile toprak taşınmasının belirlenmesi yöntemi temel olarak; ^{137}Cs, ^{210}Pb ve ^{7}Be serpinti radyonüklidlerini içeren toprakların, aşınarak taşınıp, başka bir yerde birikmesi gibi fiziksel süreçlerle toprak kaybının ve birikiminin ölçülmesi temeline dayanır.

Toprak kaybını belirlemek için ^{137}Cs tekniği kullanılarak yapılan çalışmalar 1970'li yıllarda başlamış olup günümüze kadar da uzanmaktadır. 1974'te, yapılan bir çalışmada ^{137}Cs'un yüzde kaybı ile USLE'de elde edilen toprak kaybı arasında güçlü bir bağ olduğu gözlemlenmiştir (Ritchie ve McHenry, 1990).

^{137}Cs tekniğinin erozyon hızı tayinlerinde kullanımıyla birlikte birçok model ortaya çıkmıştır (Zhang ve Yu, 1990). (Walling ve He, 1999b)'da yaptıkları bir çalışmada ^{137}Cs izleyicisi ile erozyon hızlarının tahmini için geliştirdikleri temel kütlesel denge modelini (Simplified Mass Balance Model) kullanmışlardır. Daha sonra (Walling ve He, 1999a)'da bu modeli geliştirerek içinde çevresel faktörlere bağlı birçok parametresi olan gelişmiş kütlesel denge modellerini (Refined Mass Balance Models) oluşturmuşlardır.

Tüm Dünya'da, örneğin kuzey yarıkürede New York (USA), Milford Haven (UK) ve güney yarıkürede Adelaide/Brisbane (Avustralya) ^{137}Cs tekniğini toprak hareketlerinin izlenmesinde başarılı bir şekilde kullanmışlardır. Özellikle son yıllardaki erozyon çalışmalarında ^{137}Cs'un kullanılması giderek artmıştır (Walling ve He, 1999a; Walling ve He, 1999b; Basher, 2000; Bernard ve Laverdière, 2000; Ionita ve ark., 2000; Bujan ve ark., 2000; Nagle ve ark., 2000; Schuller ve ark., 2000; Theocharopoulos ve ark., 2000; Collins ve ark., 2001; Porto ve ark., 2001; Theocharopoulos ve ark., 2003).

^{137}Cs tekniği ile erozyon hızı tayini birçok ülkede geliştirilerek kullanılmasına rağmen erozyonun büyük problem olduğu ülkemiz topraklarında bu konu ile alakalı yapılan çalışmalar oldukça yetersizdir.

2.1.3.4 Rüzgâr tünelleri

Rüzgâr erozyonu, doğal ve antropojenik yüzeylerde yaygındır ve Dünya genelinde rüzgâr hızlarının toprağı veya sediment parçacıklarını ayırmak ve bunları taşımak için gereken eşik hızını aştığı yerlerde meydana gelir. Bir yüzeyin rüzgâr erozyonuna yatkınlığı rüzgâr rejimi ve sediment taşınımının alan tabanlı izlenmesi, laboratuvar veya saha bazlı rüzgâr tünellerinin kullanımı, portatif rüzgâr erozyonu

tesisleri ve modellemelerinin kullanılması dâhil olmak üzere çeşitli şekillerde ölçülebilir (Goudie ve ark., 1999; Goossens ve Offer, 2000; Etyemezian ve ark., 2007; Webb ve McGowan, 2009; Webb ve Strong, 2011). Rüzgâr erozyonunu araştırmak için yukarıdaki gibi çeşitli teknikler bulunmasına ve zamanla artmasına rağmen mevcut olan ve en eski yaklaşımlardan (Bagnold, 2012) biri olan rüzgâr tünelleri hala çok yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu yöntemde, tünel boyunca toprak partikül taşınım dinamiklerini ve rüzgâr akış karakteristiklerini izlemek için şeffaf tüneller veya borular kullanılmıştır. Bu teknik daha çok laboratuvarda toprak erozyonu modellerini geliştirmek ve onaylamak için kullanılsa da sahada yerinde ölçümler almak içinde taşınabilir üniteler şeklinde üretilerek kullanılmaktadır (Pietersma ve ark., 1996). Büyük fanlar, farklı rüzgâr güçlerini ve zamanla toplanan sediment örneklerini simüle etmek için kullanılır. Mevcut rüzgâr erozyonu tahmin modellerinin çoğu, rüzgâr tüneli deneylerinden elde edilen verilere göre doğruluğunu kanıtlamıştır. Her yaklaşımın kendine göre avantajları ve dezavantajları vardır (Van Pelt ve ark., 2010).

Rüzgâr tünellerinin kullanışlılığı ve geçerliliği, doğal rüzgâr süreçlerini yeterince simüle etmelerine bağlıdır ve bu nedenle, ölçeklendirme etkilerini en aza indirmek için olabildiğince büyük olacak şekilde inşa edilmişlerdir (Chepil, 1953). Sabit bir yer olmasına rağmen, erozyon araştırması için kullanılan rüzgâr tünelleri çok büyük olabilir, örneğin Çin Bilimler Akademisi 38 m laboratuvar tabanlı bir tünele sahiptir. (Zhang ve ark., 2006)'larının en büyük sınırlılığı, rüzgâr tüneli çalışmalarını sadece suni toprak yüzeylerinde kullanabilmeleridir. Buna karşılık, bazı portatif rüzgâr tünelleri açık bir zemine sahip olup yerinde yüzeylerin rüzgâr erozyonunu simüle etmek için alanda hareket ettirilebilirler. (Van Pelt ve ark., 2010) rüzgâr erozyonu araştırmalarında kullanılan taşınabilir rüzgâr tünelinde faydalı bir inceleme sağlamıştır. Taşınabilir olan bu tünel oldukça büyüktür ve taşıma-yer değiştirme gibi durumlarda lojistik ölçüde desteğe ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca büyük portatif tüneller, jeneratörlerin, kamyonların, römorkların ve yardımcı ekipmanların konumlandırılabilmesi için tünel etrafında boş alanlara ihtiyaç duyarlar. Bu durum ciddi bir dezavantajı ortaya çıkarır. Geçmişten günümüze kadar yapılan bazı rüzgâr tünellerinin ölçüleri ve üretebildikleri maksimum rüzgâr hızları Tablo 2.1 de verilmiştir.

Tablo 2.1. Rüzgâr tünellerinde uzunluk, genişlik, yükseklik ve maksimum rüzgâr hızları (Van Pelt ve ark., 2010)

REFERANS	**Tünel dizayn**	**Genişlik (m)**	**Yükseklik (m)**	**Uzunluk (m)**	**U_{MAK} ($m\ s^{-1}$)**
(Zingg, 1951b)	Pusher	0.91	0.91	9.12	17
(Armbrust ve Box, 1967)	Suction	0.91	1.22	7.32	18
(Gillette, 1978)	Suction	0.15	0.15	3.01	7
(Fryrear, 1984; Fryrear, 1985)	Pusher	0.60	0.90	7.00	20
(Nickling ve Gillies, 1989)	Suction	1.00	0.75	11.90	15
(Raupach ve Leys, 1990)	Pusher	1.20	0.90	4.20	14
(Pietersma ve ark., 1996)	Pusher	1.00	1.20	5.60	>20
(Leys ve ark., 2002)	Suction	0.05	0.10	1.00	19
(Maurer ve ark., 2006)	Suction	0.60	0.70	9.40	15
(Fister ve Ries, 2009)	Pusher	0.70	0.70	3.00	8
(Movahedan ve ark., 2012)	Suction	0.30	0.30	4.00	>15

ABD Ziraat Departmanı ile birlikte makine mühendisi olan Austin Zingg portatif rüzgâr tünelinin tasarımını ve yapımını belgeleyen ilk çalışmalardan birini gerçekleştirmiştir. Bu rüzgâr tüneli, tarla yüzeylerinin aşınabilirliğini test etmek ve test edilen toprak yüzeyindeki basınç farklarına dayanarak pürüzlülük ve sürüklemenin etkilerini değerlendirmek için kullanılmıştır (Zingg, 1951b; 1951a; Zingg ve Woodruff, 1951). Tablo.1.'de yer alan ilk taşınabilir rüzgâr tüneli tasarımını ve işletimini gerçekleştiren (Zingg, 1951b) rüzgâr tüneli yapımında düşünülmesi gereken yedi pratik kriter sunmuştur. Bu yedi kriter aşağıda listelenmiştir.

- Rüzgâr tüneli, genel rotasyonda ve bilinen sabit özelliklere sahip bir hava akımı üretebilme kapasitesine sahip olmalıdır,
- Rüzgâr tünelinde oluşturulan doğal rüzgâr hızları ve rüzgâr kuvvetlerinin kontrolü kolay olmalıdır,
- Rüzgâr tüneli dayanıklı olmalıdır,
- Rüzgâr tünelinin kullanımı güvenli olmalıdır,
- Rüzgâr tünellerinin taşınabilirliği kolay olmalıdır,
- Toprak yüzeylerinden aşınıp taşınan malzemelerin takibini ve örneklemesini rahat yapabilmek açısından da rüzgâr tüneli yeterli büyüklüğe sahip olmalıdır,
- Yapılması planlanan rüzgâr tünelinin hafif olmasının yanı sıra montaj ve söküm işlemlerinin de pratik olması gerekmektedir.
- Kullandığı ancak listelemediğini belirttiği bir diğer kriterde, mevcut olduğunda ticari olarak kullanılabilen ekipmanların kullanılmasıdır.

Yapılan başka bir çalışmada ise, tarlada yetiştirilen mahsullerin sıçrayan parçacıkların meydana getireceği aşınmaya karşı duyarlılıklarını test etmek için taşınabilir bir rüzgâr tüneli inşa etmişlerdir (Armbrust ve Box, 1967). Bu araştırmacıların inşa ettikleri rüzgâr tünelinde;

- Tarlada kamyon veya traktör ile taşınabilmesi,
- 40 MPH 'ye kadar çıkabilen rüzgâr hızı,
- 7.3 ila 14.6 metre değişebilir tünel uzunluğu,
- Tünel'in 90 dereceye kadar dönebilmesi,
- Sorgum anızına yerleştirecek kadar yüksek kanal ihtiva etmesi,
- Doğal rüzgârlarla karşılaştırılabilir akış düzenlerine sahip olması gibi özellikler mevcuttur.

Gerçekleştirilen başka bir çalışmada ise bozuk yüzeylere ve elenmiş toprağa kıyasla, doğal yüzeylerde parçacık hareketi için gerekli olan eşik rüzgâr hızını test etmek için küçük bir emme tipi tünel başarıyla kullanılmıştır (Gillette, 1978). Bu çalışmada bir çakıl kaplı çöl toprağı ile nispeten kumlu bir tarım toprağı arasında değişen üç toprak test edilmiştir. Üç toprak için eşik hızları, yüzey malzemesinin boyut dağılımının önemini göstermiştir.

Raupach ve Leys, (1990) rüzgâr tünelleri içindeki akışın doğal rüzgâr erozyonuna neden olan atmosferik akışı yansıtabilecek şekilde iki alternatif tasarıma sahip olan taşınabilir rüzgâr tüneli yapmışlardır. Çeşitli aerodinamik kriterleri bu tünellerde oluşan akış ve türbülansı değerlendirmek için kullanmışlardır. Bu tünellerden bir tanesi üçgen şeklinde, 'çadır şeklinde' kesite sahip bir çalışma bölümüne sahiptir. Diğer rüzgâr tüneli ise geleneksel, dikdörtgen bir çalışma bölümüne sahiptir. Ölçümler Pitot-statik tüpler ve X-konfigürasyonlu sıcak-tel anemometrelerle, çoğunlukla sabit (aşındırıcı olmayan) pürüzlü yüzeylerle, 1 cm yüksekliğinde gerçekleştirilmiştir. Honey comb ve grid çerçeveler gibi akış dağılımını düzenleyici elemanları da dikkate aldıklarında; araşrıcılar dikdörtgen tünelde kabul edilebilir bir akış elde edebildiklerini gözlemlemişlerdir. Çadır şeklindeki tünelde akışın; yüzey pürüzlülüğüne bağlı olarak logaritmik rüzgâr profili yasasından farklılıklar sergileyerek, diğer tünele oranla daha iyi sonuç veremediği belirlenmiştir.

Gabriels ve ark., (1997) Uluslararası Eremoloji Merkezi'nde (UEM, Ghent Üniversitesi Belçika) rüzgâr ve su erozyonu çalışmaları için ince metal levhadan yapılmış kapalı devre düşük hızlı bir rüzgâr tüneli inşa etmişlerdir. Tünelde hava akımını sağlamak amacı ile 1.5 m çapında, 200 hp fana monte edilmiş bir elektrik

motoru kullanmışlardır. Rüzgâr hızını, kompresör vasıtasıyla kanatların eğim açısını ayarlayarak kontrol etmişlerdir. Rüzgâr tünelinin boyutları 1.20 m genişliğinde, 12 m uzunluğunda ve tavanı 1.80 m ila 3.20 m arasında ayarlanabilir olarak tasarlanmıştır. Bu rüzgâr tüneli hem rüzgârın hem de suyun toprak erozyonu üzerindeki kombine etkisini incelemeye olanak sağlamıştır.

Stetler, (1999) Amerika Birleşik Devletleri batı Güney Dakota bölgesinde çok sayıda arazi toprağının maruz kaldığı rüzgâr erozyonunu araştırmak için bir arazi boyutlu rüzgâr tüneli tasarlamıştır. Tünel, 4.5 m uzunluğunda, 0.5 m yüksekliğinde ve 0.5 m genişliğinde bir çalışma bölümü ile toplam 8.5 m uzunluğundadır. Güç, 0.62 m çapa sahip eksensel fandan 6.5 kW'lik bir jeneratör kullanılarak sağlanmıştır. Tünel içi güç çevirici, fana değişken bir akım beslenmesi sağlayarak rüzgâr hızının kontrolüne olanak sağlamıştır. Basınç kayıplarını gidermek için çalışma bölümünün alt kenarında bir difüzör kullanılmıştır. Fanın hemen yanında 2:1'lik bir genişlemeye sahip bir parça kullanılarak akış ve düşük hız delikli plaka ve plastik bir bal peteği içinden geçirilerek aerodinamik stabilite sağlanmıştır. Bu 2:1'lik geniş parça ve bal peteklerinden hemen sonraki çalışma bölümünde ise yapılan 4:1 oranındaki daralma, yüzeyin üzerinden geçen doğal hızı arttırmıştır. Tünel yapımında ilk olarak düşünülen noktalardan birisi yapılan rüzgâr tünelinin bir kişi tarafından kolayca idare edilebilmesiydi. Tünel yapımında bu sebepten dolayı malzeme olarak 1.25 cm kalınlığındaki alüminyum panelleri seçmişlerdir. Bu malzeme ağırlık gereksinimlerini istenildiği gibi karşılamıştır ve tünel buna ek olarak su geçirmez olma özelliğine de sahiptir. Tünelin toplam bitmiş ağırlığı <50 kg (fan ve jeneratörden daha az) idi ve her bir parça <10 kg ağırlığında altı kısımdan inşa edilmişti. Her bölümün yapımı sırasında, tek tek parçalar küçük açılı parantezler kullanılarak birleştirilmiştir ve tüm bağlantı noktaları fiberglas malzeme ile kaplanmıştır. Tünel, 1.5 x 3.0 m römork ve 1.0m vinç kullanılarak sahada taşınabilir şekilde üretilmiştir.

Van Pelt ve ark., (2010) bir tandem dingilli römorkta kolayca taşınabilen ve bir kamyonetle çekilebilen, taşınabilir bir rüzgâr tüneli tasarlayıp inşa etmişlerdir. Rüzgâr tünelini bir merkez kaç kuvvetli üfleyici ve uzunluğu 2 m ila 6 m arasında değişebilen 1 m boyunda ve 0.5 m genişliğinde bir çalışma bölümü oluşturmaktadır. Normalde saha testlerinde 12.6 m s^{-1} orta yükseklikte bir hız kullanmalarına rağmen tasarladıkları tünelde ulaşılabilen maksimum rüzgâr hızı 18.7 m s^{-1}dir. Tünel çalışma bölümündeki ölçülen rüzgâr hız profillerine dayanarak, çalışma bölümündeki sınır tabakası derinliği tahmini 0.5 m olarak belirlenmiştir. Bu rüzgâr tünelini, çeşitli yerlerde mera ve

kırpılmış yüzeyleri test etmek için kullanmışlardır. Ve sonuç olarak yapılan çalışmalarda güvenilir ve kullanılabilir toprak erozyonu ve toz emisyonu verileri sağlamışlardır.

Strong ve ark., (2016) yüksek ebatlarda çözünürlüğe sahip rüzgâr erozyonu işlemlerini simüle etmek için tasarlanmış bir mikro rüzgâr tünelinin geliştirilmesi ve test edilmesini çalışmalarında sunmuşlardır. Mikro rüzgâr tüneli, 0.1 m genişliğinde ve 1.0 m uzunluğunda çalışma bölümü olan 0.05 m yüksekliğinde kanal tipi bir tasarımdan oluşmaktadır. Tünelde havayı bir akış dengeleme bölümünden, çalışma bölümünden ve daha sonra bir sediment toplama bölümünden; emmek için bir merkez kaç motor kullanılmıştır. Simüle edilmiş rüzgâr hızları, yüksek tekrarlanabilirlik ile 5 ila 18 m s^{-1} aralığında gerçekleştirilmiştir. Rüzgâr hızları yatay olarak homojendir ve tünel yatağındaki u* değerlerinin (mikro rüzgâr tüneli içindeki basınç düşüşleri ölçülerek hesaplanmıştır), logaritmik profillerin geliştirilebileceği daha büyük tünellerinkilerle karşılaştırılabilir düzeyde olduğunu iddia etmişlerdir. Tünelin tek bir kişi tarafından taşınıp çalıştırılabileceği ve 0 ila 10° arasında değişen eğimlerde de aynı sonuçların elde edilebileceği belirtilmiştir. Yapılan bu çalışmanın sonucunda üretilen bu rüzgâr tünelinin; mera vb. alanlarda rüzgâr erozyonu çalışmaları için faydalı bir şekilde kullanılabileceği öngörülmüştür.

Sirjani ve ark., (2019) ise; seçtikleri bölgelerde rüzgâr erozyonunu belirlemek amacıyla, portatif bir rüzgâr tüneli kullanmışlardır. Bu rüzgâr tüneli, İran Yazd Üniversitesi Kuraklık ve Çölleşme Bölgeleri Araştırma Merkezi'nde tasarlamış, yapılandırılmış ve kalibre edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan taşınabilir rüzgâr tüneli, aşağıda belirtilen 3 ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar:

- Yüksekliği 0.25 m ve 0.5–22 ms^{-1} aralığında rüzgâr hızları üretebilen 2 hp güce sahip bir jet fan,
- Kesit alanı 0.3 m x 0.3 m, tünel başlangıcında bir akım düzenleyici (bal peteği) ve sonrasında 1 m uzunluğunda ve 0.3 m genişliğinde bir test alanı bulunan toplamda 2.5 m'lik çalışma bölümü ve
- İç içe geçmiş iki plastik borudan oluşan toplamda 8 metrelik bir sediment toplayıcı. Plastik borulardan 6 m uzunluğunda ve 0.6 m çapındaki boru 8 m uzunluğunda ve 1 m çapındaki diğer borunun içine yerleştirilerek son kısmı açık bırakılır. Bu iki katmanlı siklon sediment toplayıcı, çalışma bölümünün sonuna bağlanır ve çalışma bölümünün içinde oluşan rüzgâr sonunda iç boruya girer. Dış borunun ucu kapalı olup ve rüzgâr çıkışı için üst kısmında delikler (0.1 m çapında) oluşturulmuştur.

2.2 Rüzgâr Erozyonu Kontrolünde Bazı Toprak Stabilizatörlerinin Kullanımı

Chepil, (1952) toprak agregatlarının mekaniksel stabilite değerlerini tespit etmek amacıyla rotary eleğini geliştirerek toprak örnekleri üzerinde denemeler yapmışlardır. Yaptıkları analizler sonucunda siltli-kil tekstür sınıfına sahip toprak örneklerinde mekaniksel stabilite değerinin yüksek çıktığını, daha kaba bünyeli toprak örneklerinde ise bu değerin düşük çıktığını bildirmişlerdir.

Chepil, (1954) toprakların fiziksel özelliklerinin düzeltilmesinde kullanılan Vinilasetatmalerik asit'i (VAMA) rüzgâr erozyonunu önlemek amacı ile yaptığı bir çalışmada; kumlu tın, killi tın ve kil tekstürdeki topraklara dekara 15, 30 ve 150 kg olacak şekilde uygulamıştır. Yapılan ölçümler ışığında VAMA'nın rüzgâr erozyonunu önlemedeki etkisinin oldukça az olduğu belirlenmiştir. VAMA'nın rüzgâr erozyonunu önlemedeki etkisinin zaman ile açığa çıkabileceği düşünülmüş olsa da uzun vadede yapılan ölçümler sonucunda etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir.

Chepil ve Woodruff, (1954) erozyonla 62.5 kg da^{-1}'lık bir toprak kaybının göz ardı edilebileceğini, 62.5-1250 kg da^{-1}'lık bir kaybın orta derecede öneme sahip olduğunu ve 1250 kg da^{-1}'ın üstünde meydana gelen kaybın ise çok önemli olduğunu tespit etmişlerdir.

Bir başka çalışmada, farklı tür gübre uygulamalarını erozyona karşı bir faktör olarak incelenmiştir. Araştırma, iki çeşit yüzey pürüzlülüğüne (düz ve pürüzlü) sahip toprak örneklerine, iki gübre türü (kompost ve biyosolid) uygulanarak karşılaştırılmıştır. Gübre ve su karışımının uygulanması toprak yüzeyinde bir kabuk oluşumuna neden olmuştur. Sonuç olarak, uygulama yapılmamış çıplak toprakta rüzgâr erozyonu 6 m s^{-1}'de başlarken, gübre-su karışımının uygulanması sonucunda oluşan kabuklu toprakta ise rüzgâr erozyonunun başlangıç hızı 12-14 m s^{-1} değerlerine kadar yükselmiştir. Bütün bunlara ek olarak, iki gübre türünün rüzgâr erozyonunu önlemedeki etkisi karşılaştırılacak olursa belirgin bir fark gözlemlenememiştir (De Vos, 1996).

Hadjiev ve Hadjiev, (2003) endüstriyel faaliyetlere maruz kalan toprakları rüzgâr erozyonuna karşı korumak için Terra-Control SC 823 markası altında satılan asetat polimerini 30 ila 50 g m^{-2} olacak şekilde topraklara uygulamışlardır. Uygulama sonrasında uygulanan asetat polimerinden 15 ila 20 g m^{-2} oranında toprak yüzeyinde kaldığını ve kalan bu miktarın koruyucu bir tabaka oluşturduğunu elde ettikleri sonuçlar göstermiştir.

Özdemir ve ark., (2005)'larının yaptıkları bir çalışmada kil tekstür sınıfında, düşük pH'ya ve orta düzeyde organik madde (OM) içeriğine sahip yüzey toprağına

kireç (K), atık çamuru (AÇ), zeolit (Z) ve polyacrylamid (PAM) gibi organik ve inorganik kökenli düzenleyicileri ilave ederek toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri ile erozyona karşı duyarlılığı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Organik ve inorganik toprak düzenleyici uygulamalarının toprak agregasyonunu artırarak, dispersiyon oranı ve aşınım faktörü değerlerini azalttığını; bu sayede de erozyona karşı dayanıklılığın arttığını belirlemişlerdir. Toprakların dispersiyon oranı değerleri zeolit> atık çamuru> PAM sıralamasıyla azalma göstermiştir. Organik ve inorganik toprak düzenleyicilerin etkinlikleri uygulama düzeyleri ile çeşitlerine bağlı olarak değişmiş olup; en yüksek etki kireç ihtiyacı giderilmiş olan ve düzenleyicilerin yüksek doz uygulamalarının yapıldığı örneklerde gözlenmiştir.

El-Hady ve Abo-Sedera, (2006) kumlu kireçli topraklara düzenleyici olarak kompost ve akrilamid temelli hidrojel uygulanmasının toprağın fiziksel, biyolojik ve kimyasal özelliklerine etkilerini incelemişlerdir. Bu çalışmada, uygulanan kompost ve akrilamid temelli hidrojellerin rüzgâr erozyonuna olan etkisi; işlenmemiş ve işlenmiş toprağın>0.84 mm çapındaki strüktürel birimlerinin oranı olarak, rüzgâr erozyonu parametreleri hesaplanmıştır. Daha düşük hesaplanan parametre, toprağın erozyona karşı istikrarlı olduğunu göstermiştir. Bu parametrede bitki çevresine 2 kg da^{-1} organik madde (OM) uygulandığında %53.5 oranında azalma görülürken, sırası ile 2 g ve 4 g hidrojel (H) uygulanması ile %64.0 ve 74.8'lik bir azalma gözlenmiştir. Ayrıca, OM ve G karışımları ile işlemden geçirilen kumlu kireçli topraklarda rüzgâr erozyonu parametrelerinin işlenmemiş olanlardan daha düşük olduğu gözlenmiştir.

He ve ark., (2008) yüksek moleküler ağırlıklı anyonik poliakrilamidi (PAM) rüzgâr erozyonu kontrolü için test etmişlerdir. Araştırma rüzgâr tünelinde gerçekleştirilmiş olup, kil içeriği sırasıyla %22.0 ve %13.7 olan, biri İç Moğolistan ve diğeri Çin'in kuzeybatısındaki agro-pastoral alan olmak üzere iki çeşit toprak kullanılmıştır. Bu testler rüzgâr hızı 14 m s^{-1} ve üfleme açısı %8.75 olan koşullar altında gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonuçları, toprak yüzeyinde PAM kullanarak rüzgâr erozyonunu önleme yeteneğinin geliştirilebileceğini; aynı zamanda, 4 g m^{-2} PAM'ın rüzgâr toprak erozyonunu kontroldeki etkisinin; 2 g m^{-2} PAM uygulamasına göre daha iyi olduğunu göstermiştir. Ekonomik açıdan değerlendirilirse, toprak yüzeyinde kullanılan 2 g m^{-2} PAM'ın bu bölgede etkin bir rüzgâr erozyonu kontrolü için yeterli olduğunu bulmuşlardır. Ayrıca bu çalışmada; rüzgâr erozyonu kontrolü için PAM'ın toprak yüzeyine çözelti şeklinde uygulanmasının, etkili sonuç verdiği tespit edilmiştir. Özellikle de toprak yüzeyindeki PAM çözeltisi kuruduğunda bu etkinin arttığını ve bu

artışında PAM'ın yapışkanlık etkisinden kaynaklandığını göstermektedir. PAM'ın rüzgâr erozyonu kontrolü üzerindeki etkisinin temel olarak toprak yüzeyinde olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle, PAM'ın rüzgâr erozyonu üzerinde iyi bir etki kazanması için her yıl toprak yüzeyine yeniden uygulanması gerektiği kanısına varılmıştır.

Copeland ve ark., (2009) laboratuvar şartlarında rüzgâr erozyonunu ve kaçak toz emisyonlarını kontrol etmede hem tarımsal saman hem de odunsu damarlara sahip lifli malzemenin etkinliğini değerlendirmişlerdir. Sonuçlar test edilen odunsu malzemelerin 18 m s^{-1} rüzgâr hızlarına kadar kararlı olduğunu göstermiştir. Oysaki buğday samanı 6.5 m s^{-1} hıza kadar stabil kalabilmiştir. Odun lifler test edilen rüzgâr hızları aralığında, çıplak toprağa kıyasla %90 oranında toplam sediment kaybını ve PM_{10} emisyonlarını azaltmıştır. Buğday samanının, test edilen hızlarda, toplam sediment kaybını azaltmadığı; ancak 11 m s^{-1} ye kadar olan rüzgâr hızlarında çıplak toprağa kıyasla %75 oranında PM_{10} emisyonunu azalttığını belirlemişlerdir.

Kavazanjian Jr ve ark., (2009) laboratuvar çalışmasında, bir biyopolimer emülsiyonunun kumlu ve siltli toprakların yüzeyine uygulanması sonucunda rüzgâr erozyonuna karşı direncini önemli ölçüde artırabileceğini gözlemlemişlerdir. Biyopolimer çözeltilerinin uygulanmasıyla oluşan kabuğun uzun süre oldukça stabil olabileceğini öne sürmüşlerdir. Hem püskürtmeli uygulama hem de bir biyopolimer emülsiyonunun, sıkıştırmadan önce toprakla karıştırılmasının etkili olduğunu gösterilmiştir. Biyopolimer karışımlarının güneş ışığından sonra bile etkili olduğu ve yaz sıcaklığında 7 güne kadar olan süre zarfında etkisini sürdürdüğünü tespit etmişlerdir. Ancak, uzun süre (7 gün) ve aşırı sıcaklıklar (105 °C) sonucunda uygulanan polimerler varlığını azaltmakta ve bu nedenle toprak rüzgâr erozyonuna karşı kendisini koruyamamaktadır.

Movahedan ve ark., (2011) rüzgâr erozyonuna karşı üç farklı tekstür sınıfına sahip topraklarda Polivinil Asetat (PA) bazlı polimer kullanarak bu polimerin rüzgâr erozyonu kontrolü üzerindeki etkisini araştırmışlardır ve elde edilen sonuçları su ile muamele edilmiş toprak numuneleri ile karşılaştırmışlardır. Maksimum 26 m s^{-1} rüzgâr hızına sahip rüzgâr tüneli sonuçları, polimer uygulanan numuneler ve su uygulanan numunelerin rüzgâr erozyonuna etkisi arasında önemli bir fark olduğunu göstermiştir. 25 gr m^{-2} PA uygulandığında, Aeolian kum örneklerinde rüzgâr erozyonunun deneysel koşullarda sıfıra indirildiği gözlemlenmiştir. Polimerle muamele edilen siltli ve killi topraklarda, rüzgâr erozyonunun su ile muamele edilmiş numunelere göre minimum %90 oranında azaldığı sonucuna ulaşmışlardır.

Yang ve Tang, (2012), etkili ve ekonomik bir kum stabilizasyonu için rüzgâr tüneli çalışması yürüterek, uçucu külün (FA) kumul stabilizasyonuna etkisini üç farklı uygulama oranında (%10, 20, ve 30; w/w toprak) değerlendirmişlerdir. PAM'ın etkisi iki farklı uygulama oranında (%0.05 ve 0.1; w/w toprak) çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda FA kullanımının işlenmiş toprağın akışkan eşik rüzgâr hızını önemli ölçüde artırdığını göstermiştir.

Movahedan ve ark., (2012) Polivinil asetat bazlı polimerleri farklı toprak çeşitlerine uygulamışlardır. Toprakların rüzgâr erozyonu kontrolünde polimerin etkisini doğrulamak için polimer ilave edilen toprak örnekleri ve su muamele edilmiş toprak örnekleri bir rüzgâr tünelinde deneysel olarak incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Tünel içi rüzgâr hızı maksimum 26 m s^{-1}'ye ulaşan bir rüzgâr tüneli ile denemeler yapılmıştır. Rüzgâr tüneli denemelerinin sonucunda polimer ve su ile muamele edilmiş toprak örneklerinin arasında rüzgâr erozyonunu önleme açısından anlamlı bir fark olduğu tespit edilmiştir. Rüzgârla taşınan kumlara 25 g m^{-2} polimerin uygulanması su ile muamele edilmiş numunelere göre erozyonu neredeyse sıfıra kadar azaltmıştır. Polimer ile muamele görmüş siltli ve killi topraklar için, rüzgâr erozyonu su ile muamele görmüş örneklere göre %90 daha az çıkmıştır.

Genis ve ark., (2013), Batı Negev kum fırtınalarını önlemede PAM'ın etkinliğini araştırmışlardır. Çıplak kumlu toprakta hektar başına PAM solüsyon hacmini belirlemişlerdir. Rüzgâr tünelinde partiküllerin harekete başlangıcı ve sürekli ayrılması için gerekli rüzgâr hızlarını belirlemişlerdir. Sonuç olarak; kum fırtınaları tarafından bitkilerde meydana gelen zararı en aza indirmek için PAM uygulamasının etkisini deneysel görüntü analiz araçları kullanarak doğrulamışlardır.

Koopaeenia ve Afzali, (2015) rüzgâr erozyonu ve toz kontrolünü önlemede toprağı stabilize eden en yaygın yöntemlerden biri olan malç kullanmışlardır. Çevresel erozyon faktörlerine karşı direncin arttırılmasında malç tipinin seçiminin etkili olabileceğini düşünmüşlerdir ve bu nedenle, araştırmada çöl koşullarında rüzgâra, basınca ve neme karşı dayanıklı bazı canlı olmayan malçları laboratuvar ortamında incelemiştir. Bu çalışma; rüzgâr tüneli kullanılarak 13 tür malç uygulaması (polimerik malç ve çakıl, taş tozu, dönüştürücü çamur ve kil içeriği ile agreget içeriği yüksek olan bölgesel topraklardan oluşan farklı kompozisyonlar), iki tip uygulama toprağı (orta ve şiddetli erozyona maruz kalmış topraklar) ve üç çevresel ısı seviyesi (ortam sıcaklığı, 50 ° ve 60 °C) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Rüzgâr tünelinden elde edilen sonuçlara

göre, tünelde 0.25 m yükseklikte 10 m s^{-1} hızında 5 dakika boyunca erozyon olmadığını belirtmişlerdir.

El-Hady ve ark., (2015), yaptıkları çalışma da pirinç samanı (RS) temelli hidrojelleri kumlu kireçli toprakların hidro-fiziksel özelliklerini iyileştirmede düzenleyici olarak kullanmışlardır. Bu bağlamda toprakların bazı hidro-fiziksel özelliklerini 3 ardışık büyüme sezonunun sonunda her sezon için farklı bitki deseni kullanarak incelemişlerdir. Tamamen rastgele seçilmiş deneme parsellerinde her işlem için 3 tekerrür yapılmıştır. Deneme Mısır'ın El-Saff-Giza Governorate bölgesinde gerçekleştirilmiştir. RS-temelli hidrojellerin toprağa uygulanması ile gerçekleştirilen çalışma sonucunda elde edilen bulgular şunlardır;

- Islak agregat stabilitesi (> çapı 0.25 mm) ve strüktür stabilitesi (> 0.84 mm çapı) gibi rüzgâr erozyonu parametrelerinde iyileşmeler olduğunu tespit etmişlerdir. Bu iyileşmeler, toprağın sürüm işlemleri ile toprak tahribatının yanı sıra hem rüzgâr ve hem de su erozyonuna karşı direnç oluşturduğunu göstermektedir. Ayrıca, toprak hacim ağırlığının ve makro gözenekliliğin (drenaj gözenekleri) azaldığı, bu nedenle su tutma kapasitesinin (toprakta tutulan nem) arttığını belirtmişlerdir.
- Toprak gözeneklerinin ortalama çapında, su iletim özelliklerinde, yani toprak profilinde dikey yöndeki hidrolik iletkenlik ve geçirgenlikte azalmalar olduğunu gözlemlenmiştir.
- Uygulanan hidrojellerin oranının, 2 g kg^{-1}'den iki katına yani 4 g kg^{-1}'a çıkarılması durumunda toprağın hidro-fiziksel özelliklerinde büyük bir iyileşmeye neden olduğu ve toprakta su tutulmasında da artış olduğu bulunmuştur Ayrıca, toprak mikro-gözenekliliğin artmasının bir sonucu olarak kök bölgesinin havalanması üzerinde olumsuz bir etkisi vardır. Bu nedenle, bitki büyümesi, su ve gübre kullanımı üzerinde olumsuz etkileri olmadan, toprak düzenleyicisi olarak yararlı olmasından dolayı, RS-hidrojellerinin 2 g kg^{-1} olacak biçimde toprağa uygulanması tavsiye edilmiştir.

Son zamanlarda, farklı türdeki malçların erozyonu azaltmadaki etkisini bulmak için birçok çalışma yapılmıştır. (Khalili Moghadam ve ark., 2016) Güney Batı Khuzestan'ın kumullarında toprağın üst tabakasında toprağın yüzey gerilim kuvveti ve penetrasyon direnci üzerine şeker kamışı ve petrol malçının etkisi üzerine yaptığı çalışmada, şeker kamışı malçının yüzey gerilim kuvvetini ve penetrasyon direncini artırdığını göstermiştir. Şeker kamışı malçında büyük miktarda organik madde, kalsiyum karbonat ve elektrolit bu artışın nedenleri olarak açıklanmıştır. En yüksek

penetrasyon direncinin ise, düşük viskozitesinden dolayı petrol malçıyla elde edildiğini bildirilmiştir.

Li ve Wang, (2017) makro moleküler polimerlerin ve polipeptit türevlerinin, taşınan kum ve lös kumunda rüzgâr erozyonu etkisini incelemek için kapalı alanda rüzgâr tüneli deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada dört makro moleküler polimer veya polipeptit türevi kullanılmıştır. Bunlar poliakrilamid (PAM), katyonik hidroksipropil kito şekeri (Jag C162), karboksimetil selüloz (CMC) ve hidroksipropil polisakarit (HP-120)'tir. Polimerlerin uygulama dozları 0, 0.4, 0.6 ve 1.2 g m^{-2}'dir. Çalışmada kullanılan rüzgâr tüneli 24 m uzunluğunda, rüzgâr hızı 0-16 m s^{-1} aralığında ayarlanabilir biçimdeydi. Denemelerin yapıldığı örnek tavalarının ölçüleri 98 cm genişlikte, 126 cm uzunlukta ve 5 cm derinliktedir. Taşınan kum ve lös kumunda zerre yoğunluğu sırasıyla 1.36 ve 1.29 g cm^{-3}'tür. Kurutulmuş lös kumunun ve taşınan kumun su içeriği sırasıyla; %0.25 ve 0.21olarak bulmuşlardır. Deney sırasında, rüzgâr hızı 20 dakika boyunca 14 m s^{-1}' olacak şekilde ayarlanmıştır. Yapılan rüzgâr tüneli denemesi sonucunda rüzgâr erozyonu hesaplanmıştır. Sonuç olarak, farklı dozlardaki tüm malzemelerin, kum ve lös kumu yüzeyinde rüzgâr erozyonu oranını ($P < 0.05$) önemli ölçüde azaltabileceğini göstermiştir. Diğerleriyle karşılaştırıldığında, PAM'ın lös kumu yüzeyinde rüzgâr erozyonu oranını düşürmede en iyisi olduğu bulunmuştur. CMC ise polimerler arasında taşınan kum yüzeyinde rüzgâr erozyonu oranını azaltmada en iyi etkiye sahip olduğunu göstermişlerdir. Çoğu uygulamada, sertliğin uygulama dozlarıyla birlikte arttığı belirlenmiştir. Genel olarak, PAM rüzgâr erozyonu oranını düşürmede ve lös kumu yüzeyindeki sertliği arttırmada en iyi etkiye sahipken, CMC'nin taşınan kum için en iyisi olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak, 1.2 g m^{-2}'lik uygulama dozunda tüm polimerlerin 20 dakika boyunca 14 m s^{-1} rüzgâra karşı direnç sağladığı için rüzgâr erozyonu kontrolünde iyi bir kapasiteye sahip olduğu bulunmuştur.

Ayeldeen ve ark., (2018) biyopolimer malzemenin rüzgâr erozyonunun engellenmesindeki etkinliğini değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Bu çalışmada dört farklı tipte biyopolimer (ksantan sakızı, guar sakızı, karragenan ve modifiye nişastalar) üç farklı konsantrasyonda (%0.25, %0.50 ve %0.75) olacak şekilde kullanmışlardır. Bu polimerlerin, işlenmiş toprağın temel fiziksel parametrelerinin erozyon direnci üzerindeki etkilerini anlamak için incelemişlerdir. Sonra ise, biyopolimer tipine, konsantrasyonuna, yoğunluğuna ve dayanıklılığına dayalı olarak işlenmiş toprakta erozyon direncindeki artışı tahmin etme çabası olarak matematiksel bir model geliştirmişlerdir. Çalışma sonucunda elde ettikleri sonuçlara göre;

- Biyopolimerlerin toprak erozyonunu azaltmada dikkate değer etkilerinin olduğu ve bu etkinin değişen biyopolimer türü ve konsantrasyonuyla değişebildiğini veya kontrolünün mümkün olabileceğini,
- Guar sakızının toprak erozyonu direnci üzerinde en yüksek etkiye sahip olduğunu, karragenan sakızının ise en az etkiye sahip olduğu,
- Kesme direncinin artırmanın erozyon direncini olumlu yönde etkilediği, fakat, kesme direncinin erozyon direncini kontrol eden tek faktör olmadığını ve toprağın su tutma kapasitesi, viskozitesi ve biyopolimer tiplerinin de bu süreçte önemli rol oynadığı,
- Hem modifiye nişastaların hem de guar sakızının, ıslak ve kuru olmak üzere toprak üzerindeki etkilerinin hala var olduğu hem ıslak hem de kuru durumlarda oldukça dayanıklı bir dirence sahip oldukları; ayrıca, %0.5'lik biyopolimer çözeltisi konsantrasyonu ile muamele edilen tüm örneklerin uzun yaş/kuru döngülerinde bile dayanabildiklerini göstermişlerdir.

Asgari ve Afzali, (2018) çevre dostu malçların üretimi için Press çamur ve Dunder (şeker üretiminde oluşan çökelti) gibi şeker fabrikası organik atıklarının kil ile kullanılmasının rüzgâr erozyonundaki fizibilitesini araştırmışlardır. Çalışmada Fars Eyaleti, Dejgah Bölgesi'nden alınan kumlu topraklar kullanılmıştır. İşlemler, bu düzenleyicilerin farklı oranları kullanılarak hazırlanmıştır. Her bir malç kombinasyonuna 50 x 30 x 1 cm boyutundaki bir alana uygulanması için 250 ml su ilave edilmiştir. Araştırmada, malçların oluşturduğu Basınç Dayanımı (BD), Aşınma Dayanımı (AD) ve Darbe Dayanımı (DD) gibi mekanik parametreler ile yapılan uygulamaların rüzgâr erozyonuna etkisi analiz edilmiştir. Sonuç olarak, organik atıkların uygulama dozlarındaki her bir artış ile birlikte BD, AD ve DD değerlerinde de önemli ölçüde artış meydana geldiği ve böylece rüzgâr erozyonunu azalttığı tespit edilmiştir.

Shahnavaz ve ark., (2019) iki toprak stabilize edici ajanın (anyonik poliakrilamid polimeri ve sebze bazlı malç) Batı Huzistan'daki (İran) üç tip toprak örneği üzerinde, farklı konsantrasyonlarda (0, %15, %30 ve %60) uygulanmalarının toprak kaybını azaltmadaki etkileri çalışılmıştır. Çalışma, doğal ve laboratuvar bazlı koşullarda dört zaman aralığında (0, 3, 6 ve 12 ay) gerçekleştirilmiştir. Ayrıca; çalışma stabilizatörlerin toprağın kimyasal özellikleri üzerindeki kalıcılığını ve etkisini de kapsamıştır. Sonuçlar, rüzgâr erozyonunun 16.36 kg m^{-2} $saat^{-1}$ ile 26.73 kg $m^{-2}saat^{-1}$ arasında olduğunu göstermiştir. İstatistiksel sonuçlar, işlem görmeyen ve stabilize edici ajanların uygulandığı topraklar arasında önemli bir fark olduğunu göstermiştir.

Polimerlerin toprak kaybını %90'dan daha fazla azalttığı bulunmuştur. Malç verimi, 6 ay sonra doğal koşullarda azaldığı; ancak, laboratuvar koşullarında herhangi bir değişiklik olmadığını göstermiştir. Laboratuvardaki polimer verimliliği ile doğal koşullar arasında önemli bir fark olmadığı ve polimerin doğal ve laboratuvar koşullarında dirençli olduğunu belirlemişlerdir. Polimerin 1 yıl sonra topraktaki EC, pH ve SAR değerlerini arttırırken, malç uygulamasının pH ve SAR değerlerini düşürdüğü ancak EC'yi değiştirmediği belirlenmiştir.

Son zamanlarda yapılan çalışmalarda, sadece bir bileşiğin malç oluşturduğu düşünüldüğü halde; Shojaei ve ark., (2019) yaptıkları çalışmada rüzgâr erozyonunu ve çevre kirliliğini önlemek için organik bir malç karışımı yapmayı amaçlamışlardır. Bu tür bir malç oluşturmak için, melas, gübre, biyosolitler ve saman gibi farklı malzemeler kullanmışlardır. Ayrıca, malç bileşiğini erozyonu azaltmak, kabuk ve penetrasyon direncini arttırmak için model geliştirerek optimize etmeye çalışmışlardır. Saman, gübre, melas ve biyosolitler için optimum kabuk kalınlığı değerleri (1.5 mm) sırasıyla 12.48, 19.94, 7.16 ve 16.70 g uygulamalarında ölçülmüştür. Saman, gübre, melas ve biyosolitler için ise optimum penetrasyon dirençleri sırasıyla 11.31, 15.71, 4.36, 19.24 g uygulama yapılanlarda ölçülmüştür. Bu malzemeler bileşikte daha fazla kullanıldığından bileşikteki yapışma ve kabuk nedeniyle penetrasyon direnci yükselmiştir. Bununla birlikte, bileşikte daha fazla melas kullanımı ters sonuç vermiştir. Sonuçlar, öngörülen veriler ile deneysel veriler arasında önemli bir fark olmadığını ve modelin simülasyonda kabul edilebilir olduğunu göstermiştir.

Feizi ve ark., (2019) şehirleri çevreleyen çöllerde rüzgâr erozyonunu azaltmak için kil minerallerinin (yani bentonit), polivinil asetat ve hurma biyokömürü kullanımının etkilerini araştırmışlardır. Uygulamalar, 3 tekrar halinde, kumla doldurulmuş örnek tavalarına (5 x 35 x 105 cm, 0.37 m^2) düzgün biçimde püskürtülmüştür. Deneyler, 1, 10 ve 20 hafta sonra art arda tekrarlanan bir rüzgâr tünelinde gerçekleştirilmiştir. İncelenen uygulamalar arasında bentonit uygulamalarının toprak kaybını ciddi düzeyde azaltması toprak erozyonunun kontrolünde en etkili materyal olduğunu göstermiştir. Aksine, hurma biyokömürünün toprak erozyonu kontrolü üzerinde daha az etkiye sahip olduğu ve eşik hızı üzerinde sadece hafif bir etkiye sahip olduğunu göstermişlerdir.

Mikrobiyal kaynaklı karbonat çökeltme (MICP) prosesi yoluyla mikrobiyolojik çimentolaşmanın gevşek kum ve kumlu silt topraklarının stabilizonunda ve buna bağlı olarak rüzgâr erozyonu etkisini azaltmadaki rolü incelenmiştir. Laboratuvar ortamında

bir rüzgâr tünelinde gerçekleştirilen çalışmada kullanılan tekniğe bağlı olarak silika ve karbonat kumlarının farklı derecelerde stabilizasyonu, optimum reaktif konsantrasyonlarının belirlenmesi, tek ve çift MICP sprey işlemlerinin ardından zamana bağlı kesme direnç gelişiminin belirlenmesini hedeflemişlerdir. Sonuç olarak, MICP sprey muamele yaklaşımı ile mikrobiyolojik çimentolaşmanın gevşek kum ve hafif-siltli kum topraklarında rüzgâr erozyonu etkisini azaltmada özellikle kabuk katmanının stabilizasyonunda etkili ve çevre dostu bir alternatif yöntem olarak sunmuşlardır (Zomorodian ve ark., 2019).

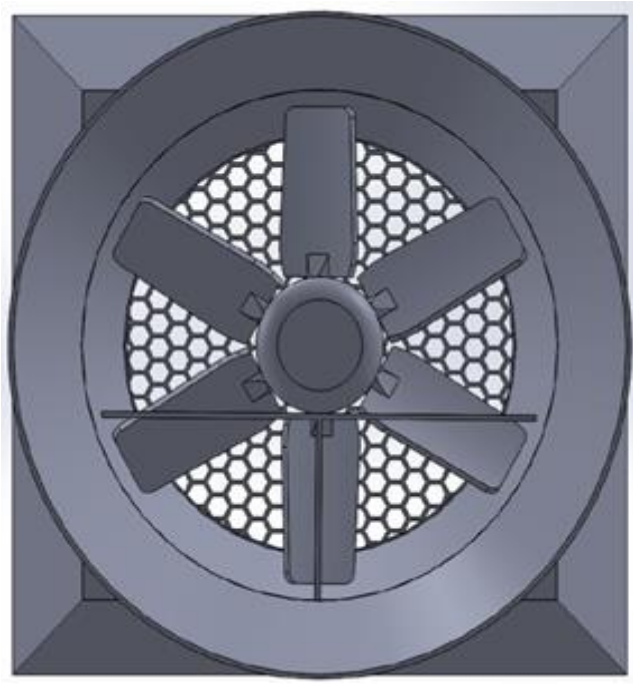
3 MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Rüzgâr Tünel Yapımı ve Özellikleri

Rüzgâr tüneli İstanbul Sanayii'nde yer alan Üçler Makine tarafından üretilmiş olup, rüzgâr tünelinin rahat çalıştırılabilmesi için altına yerden 0.9 m yüksekliğe ve yaklaşık 4 m uzunluğa sahip tekerlekli, metal ayaklı ve taşınabilir bir tabla yerleştirilmiştir. Rüzgâr tünelinin yapımında hafif, dayanıklı ve kolay şekil alabilmesi nedeniyle 4 mm'lik alüminyum levha tercih edilmiştir.

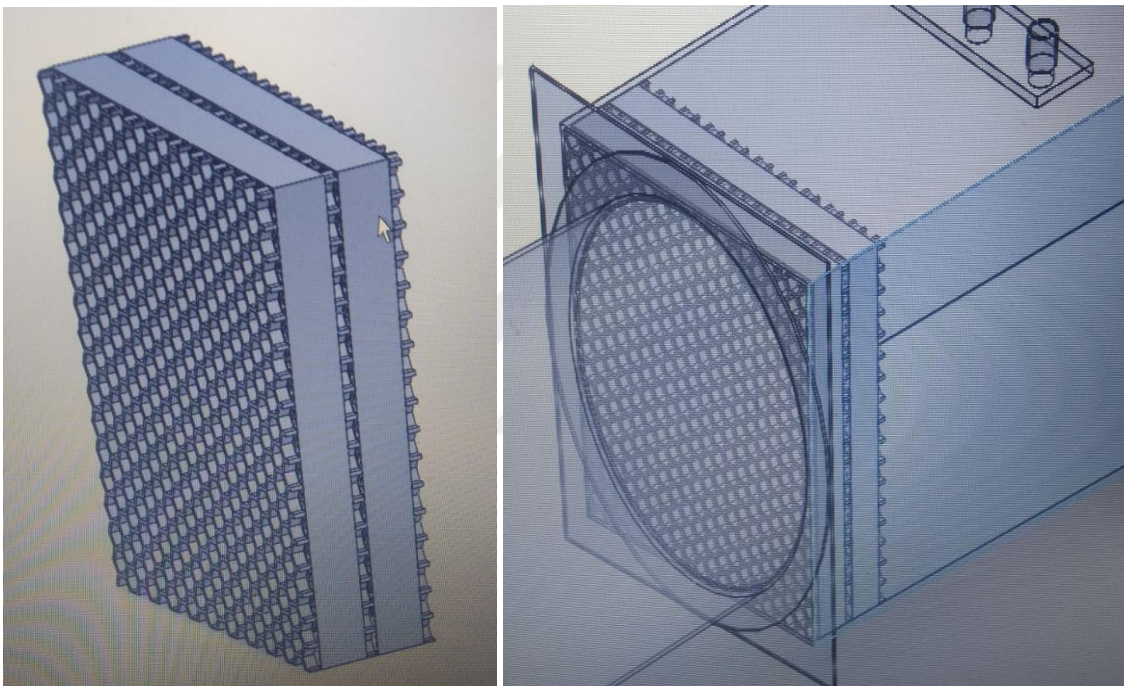
Rüzgâr tünelinde kullanılan endüstriyel aksiyel fan ve bazı özellikleri aşağıda belirtilmiştir;

- Aksiyal Pervanelerin kanatları iki yönlü çalışmaya uygun olarak tasarlanmış olup, 2800 W gücünde ve rüzgâr hızı ayarlanabilir şekilde tasarlanmıştır,
- Tasarlanan pervane kanatçıkları alüminyum döküm malzemeden imal edilmiştir,
- Aksiyal pervanelerin İSO 1940 standartları doğrultusunda hassas bir şekilde statik ve dinamik balansları dengelenmiş, pervanesi aksiyal ve radyal kuvvetlere uzun süre mukavemet gösterecek şekilde yapılmıştır,
- Bağlantı tekniği olarak konik burçlu kaplin sistemi kullanılmıştır,
- Tasarlanan aksiyal fanın çapı ise 0.45 m'dir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Aksiyal fanın SOLİD çizimi

Yapılan ilk tünel tasarımında aksiyal fan ile tünel gövdesinin arasına 1.5 m uzunluğunda yüksekliği 0.45 m'den 0.30 m'ye düşecek şekilde alüminyumdan yapılmış bir bağlantı yerleştirilmiştir. Bu kısmın gövde ile bağlantısının yapılacağı uç kısma, hazırlanan 3 adet akım düzenleyici bal peteği aralarında 0.1 m boşluk kalacak şekilde paralel olarak monte edilmiştir (Şekil 3.2.). Rüzgâr tünelinde bal peteklerinin kullanılmasının amacı aksiyal fan tarafından sağlanan rüzgârın tünel içerisine laminer akış koşullarını sağlayarak rüzgârın tünel boyunca eşit bir şekilde dağılımını sağlamak ve bu sayede türbülansı en aza indirmektir. Tamamlanan giriş bölümü ile tünel gövdesi bağlantıya hazır hale getirilmiştir.



Şekil 3.3.2. Akım düzenleyici bal petekleri ve rüzgâr tüneli içerisindeki konumu

Rüzgâr tünelinin gövde kısmı ise toplamda 2 parçadan oluşmaktadır. Bu parçalardan ilki 2 m uzunluğa sahipken diğer parçalar ise 1 m uzunluğa sahiptir (Şekil 3.3.).



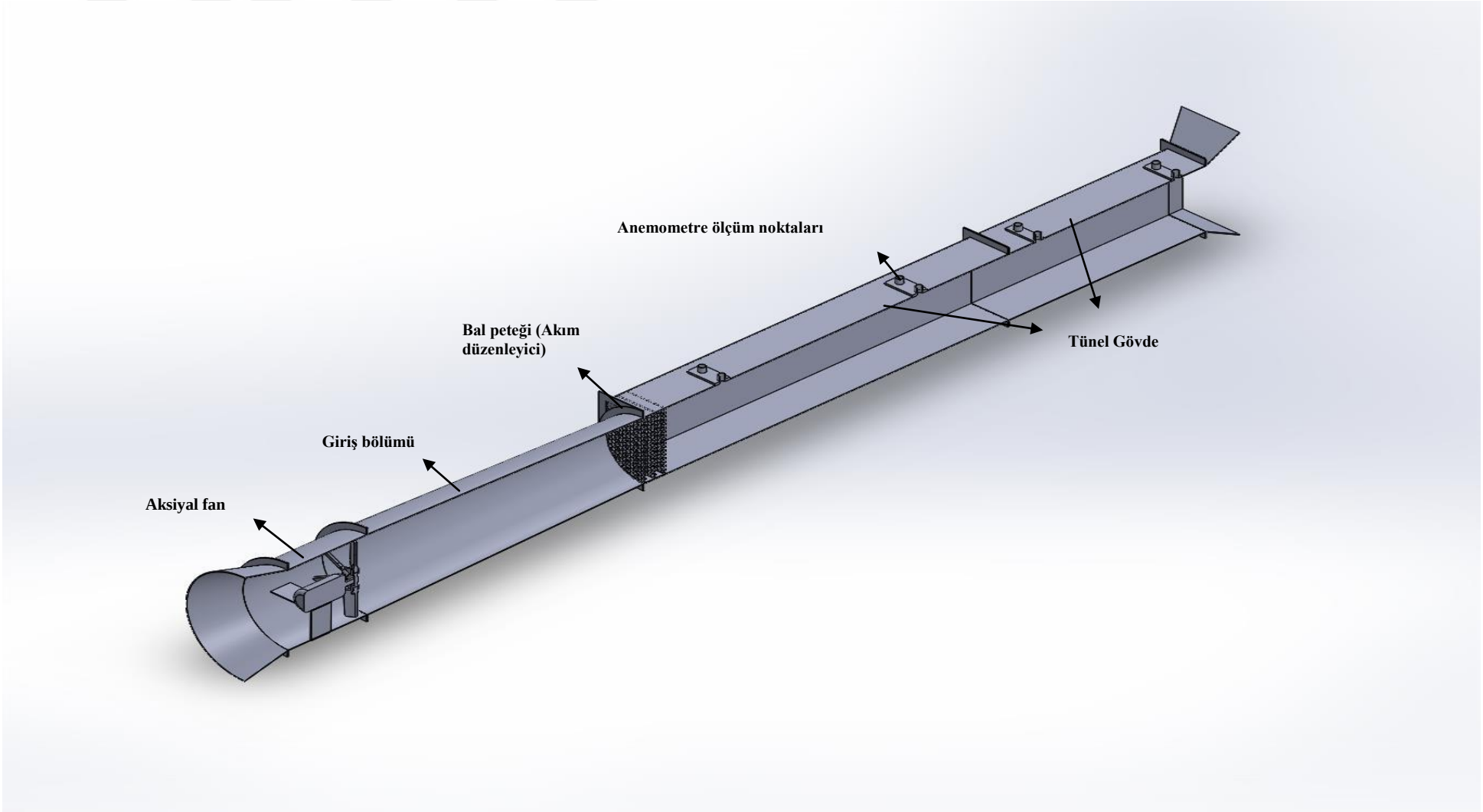
Şekil 3.3. Rüzgâr tünelinde kullanılan ek kısım

Tünel içerisinde cereyan eden olayları gözlemlemek ve toprak örneklerini rahatlıkla tünel içerisine yerleştirebilmek için tünelin gövde kısmına açılıp-kapanabilen sızdırmaz pencereler yapılmıştır. Pencerelerin yapımında ise; normal camlara göre yaklaşık 5 kat daha dayanıklı olan temperli lamine cam (güvenlik camı) tercih edilmiştir (Şekil 3.4.).

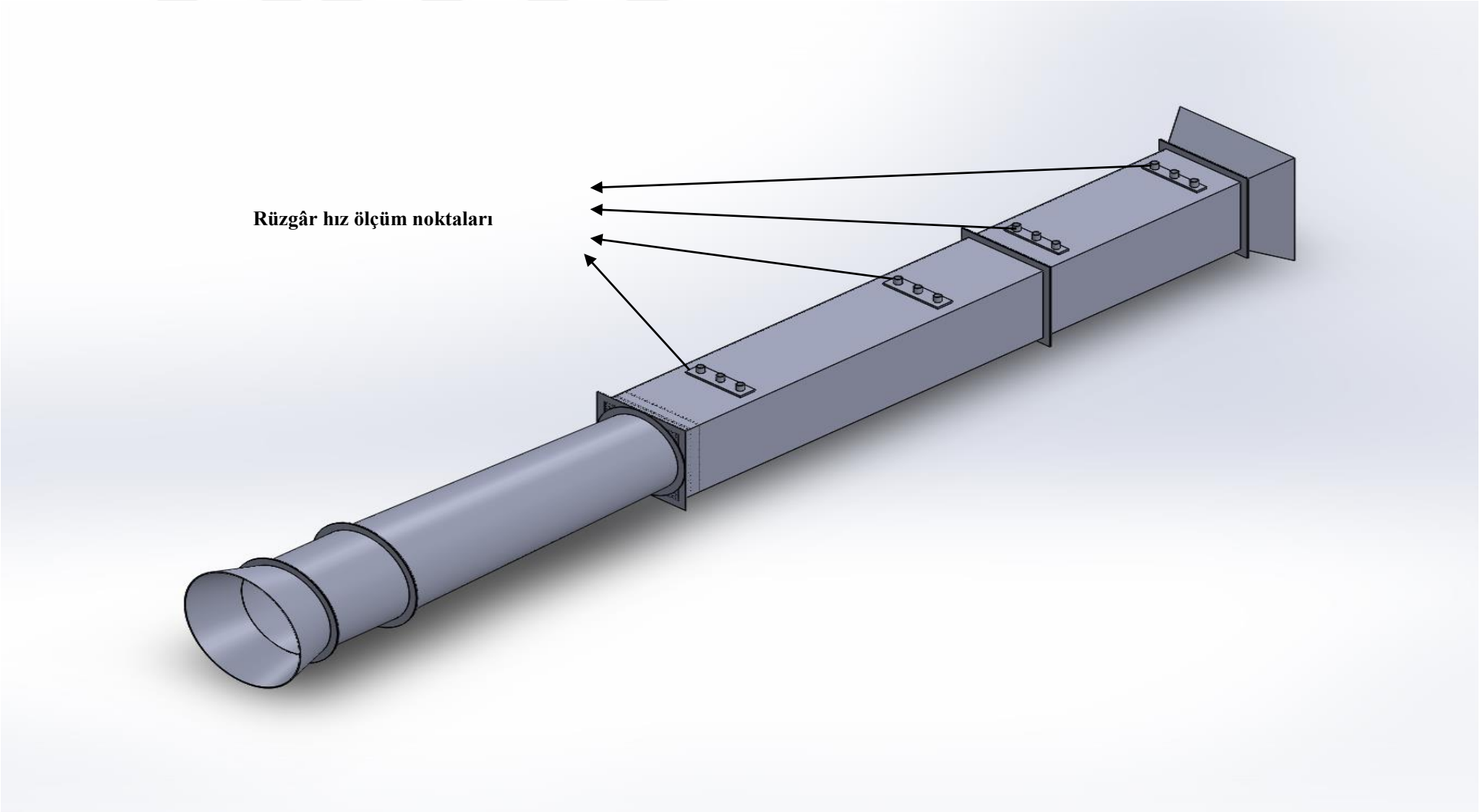


Şekil 3.4. Rüzgâr tüneli test odası ve gözlem için kullanılan temperli lamine cam

Rüzgâr tünelinin gövde kısmının hemen üstüne rüzgâr hız ölçümlerinin yapılabilmesi için anemometrenin girebileceği kadar büyüklükte delikler açılmıştır. Bu delikler kullanılmadığı zamanlarda tünel içi hava akımını etkilememesi için vidalı bir tıpa yardımıyla kapatılmaktadır. Giriş kısmından sonra yer alan gövde kısmında toplamda 12 adet ölçüm noktası bulunmaktadır. Bu ölçüm noktalarının ilk 3'ü 0.5m mesafede, diğerleri ise sırasıyla l.5m, 2m ve 2.5m mesafelerde yer almaktadırlar (Şekil 3.5. ve Şekil 3.6.). Tünel gövde kısmı ile giriş kısmı bir araya getirilerek, laboratuvar ölçekli rüzgâr tüneli, yapılacak ölçümler için hazır hale getirilmiştir.



Şekil 3.5. Üretimi gerçekleştirilen rüzgâr tünelinin yan kesit SOLİD çizimi ve tünel parçalarının gösterimi



Şekil 3.6. Rüzgâr hız ölçüm noktalarının rüzgâr tüneli üzerinde konumlandırılması

Rüzgâr tüneli içerisindeki rüzgâr akışını (hız ve türbülans) ölçmek için 2 adet TESTO 416 hız ölçer kullanılmıştır (Şekil 3.7.).



Şekil 3.7. Rüzgâr hız ölçümlerinde tercih edilen anemometre cihazları.

Tünel içerisinde yer alan test kısmında ise 1 mm kalınlığa sahip alüminyum levhalardan üretilen 0.25x0.30x0.01m boyutunda tünele özel olarak tasarlanan örnek tavaları kullanılmıştır (Şekil 3.8.).



Şekil 3.8. Rüzgâr tünelinde kullanılan örnek tavalarının üst ve yan görünümü

Rüzgâr tünelinde istenilen hız aralığına ulaşılamadığı için revizyona gidilerek aksiyal fan sonrasında yer alan giriş kısım değiştirilmiş ve akım düzenleyici bal petekleri tünelden çıkartılmıştır.



Şekil 3.9. Örnek tablaları ve kum kâğıtlarının örnek tablalarını yerleştirilmiş görünümü

Ekolojik sistemin en önemli parçası olan toprağın derinlik kavramını gerçeğine yakın bir şekilde yansıtabilmesi için tünelde kullandığımız örnek tavalarının içerisine kumlu zımpara kağıtları yerleştirilmiştir (Şekil 3.9.).



Şekil 3.10. Toprak örneğinin bir cetvel yardımı ile eşit miktarda dağıtılması

Tabanına kumlu zımpara kağıtları yerleştirilen örnek tavalarına 500 g toprak örneği konularak bir cetvel yardımı ile yüzeyleri düzeltilmiştir (Şekil 3.10.). Bu işlem sırasında derecelenmeyi önlemek için toprak örnekleri iyice karıştırılarak alınmış ve tavanın her yerine ilave edilerek üzeri düzletilmiştir. Bu işlemden sonra sırası ile belirlenen düzenleyiciler ayrı ayrı uygulanmıştır (Şekil 3.11.).



Şekil 3.11. Toprak düzenleyicilerinin toprak örneklerine uygulanması

Uygulama için hazır hale getirilen örnek tavalarındaki toprak numunelerinin üzerine melasın viskoz yapısı nedeniyle direk uygulanması mümkün değildir. Bu nedenle 6.66-13.33-26.66 ve 53.33 g m^{-2} olacak şekilde tartılan melas ayrı ayrı 25 ml saf su içerisinde çalkalanarak homojen hale getirildikten sonra bir sprey yardımı ile örnek tavalarındaki toprak örneklerinin yüzeyine uygulanmıştır.

Aynı şekilde 6.66-13.33-26.66 ve 53.33 g m^{-2} olacak şekilde tartılan çimento numuneleri örnek tepsilerindeki toprak yüzeylerine ipek bir elek yardımı ile uygulandıktan sonra 25 ml saf su yine bir sprey yardımı ile çimento uygulaması yapılmış toprak yüzeylerine ayrı ayrı uygulanmıştır.

Çalışmada karışım olarak nitelendirdiğimiz melas + çimento diğer toprak düzenleyicilerinde uygulanan toplam doz miktarı sabit olacak şekilde yarı yarıya kullanılarak toprakların yüzeylerine uygulanmıştır. Uygulama sırası şu şekilde olmuştur:

- Çimento 3.33-6.66-13.33-26.66 g m^{-2} olacak şekilde tartılarak ipek bir elek yardımı ile toprak yüzeylerine ayrı ayrı uygulanmıştır.
- Ardından ise melas 3.33-6.66-13.33-26.66 g m^{-2} olacak şekilde tartılarak 25 ml saf su içerisine karıştırılmıştır
- Bu karışım sırasıyla 3.33-6.66-13.33-26.66 g m^{-2} çimento uygulanmış toprak yüzeylerine toplam uygulama dozları diğer düzenleyiciler ile aynı olacak şekilde bir sprey yardımı ile uygulanmıştır.

Granül yapısının çimentoya göre kısmen daha büyük olması sebebiyle hidrojel, ilk önce öğütücüden geçilmiştir. Öğütücüden geçilen hidrojel daha sonra 6.66-13.33-26.66 ve 53.33 g m^{-2} olacak şekilde tartılarak çimentoda olduğu gibi ipek bir elek yardımı ile toprak yüzeylerine uygulanmıştır. Ardından her bir hidrojel uygulamasının üzerine 25 ml saf su bir sprey yardımıyla uygulanmıştır.

Bütün uygulamalarda kullanılan 25 ml saf su, kontrol örnekleri için bir sprey yardımıyla diğer uygulamalardaki gibi her bir toprak örneği ve rüzgâr hızı için 3 tekerrür olacak şekilde uygulanmıştır.

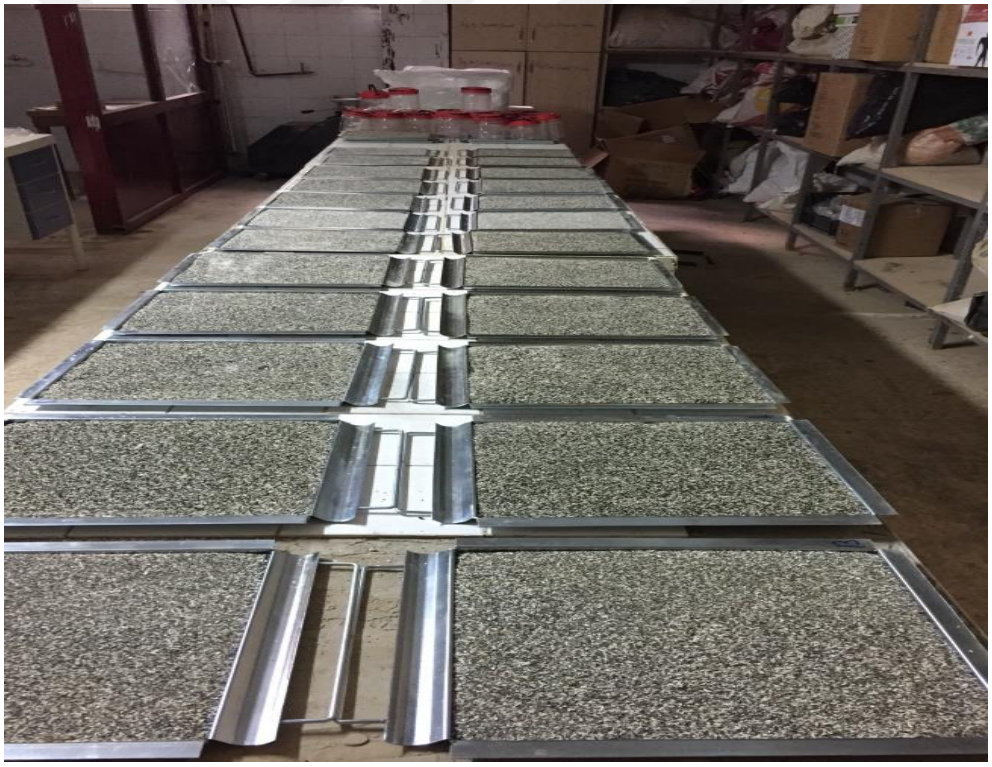
Islak kontrol örneklerinin yanı sıra su ve düzenleyici uygulaması yapılmamış çıplak kontrol örnekleri de rüzgâr tünelinin test odasına konulmak üzere aynı şekilde her toprak örneği ve rüzgâr hızı için 3 tekerrür olacak şekilde hazırlanmıştır.

Yapılan bütün bu uygulamalar sonrasında toprak örnekleri toplamda 24 saat olacak şekilde oda sıcaklığında beklemeye bırakılmıştır (Şekil 3.12-3.13). 24 saatin sonunda örnekler rüzgâr tünelinin test odasına ölçüm yapılmak üzere sırasıyla

konulmuştur.

İşlem sonrası örnekler rüzgâr tünelinin gövde başlangıcından yaklaşık 2.10 m uzaklığında yer alan test odasına ayrı ayrı olacak şekilde yerleştirilmiştir. Rüzgâr tüneli test odasına ayrı ayrı yerleştirilen toprak örneklerine 9 ve 11 m s^{-1} olacak şekilde 2 farklı rüzgâr hızı 10 dakika süreyle uygulanmıştır (Şekil 3.14 – Şekil 3.15). Tava içerikleri, rüzgâr erozyonu öncesi ve sonrasında tavada bulunan toprak miktarlarının tartılması ile belirlenmiştir. Belirlenen bu tava içerikleri her uygulama için g m^{-2} cinsinden olacak şekilde hesaplanmıştır.

Bütün bu aşamalar sonrasında hangi toprak materyalinde, hangi düzenleyici ve dozlarının, mevcut koşullarda rüzgâr erozyonu oluşumunu önlemede daha etkili olduğu tespit edilmiştir. Bütün bu uygulamalar her toprak örneği ve düzenleyici için iki farklı rüzgâr hızı da dikkate alınırsa toplamda 6 tekerrür olacak şekilde yapılmıştır.



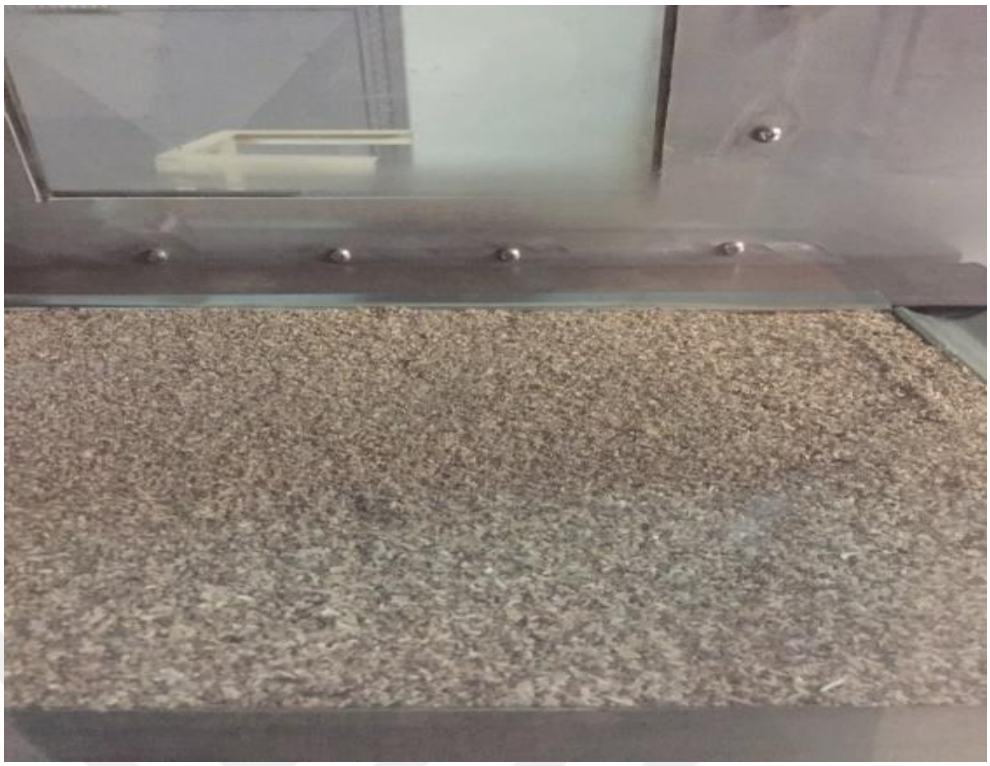
Şekil 3.12. Denemede kullanılan SL tekstür sınıfındaki toprak örneklerine toprak düzenleyicilerin belirlenen dozlarda uygulanmış görüntüsü



Şekil 3.13. Denemede kullanılan SiCL tekstür sınıfındaki toprak örneklerine toprak düzenleyicilerin belirlenen dozlarda uygulanmış görüntüsü



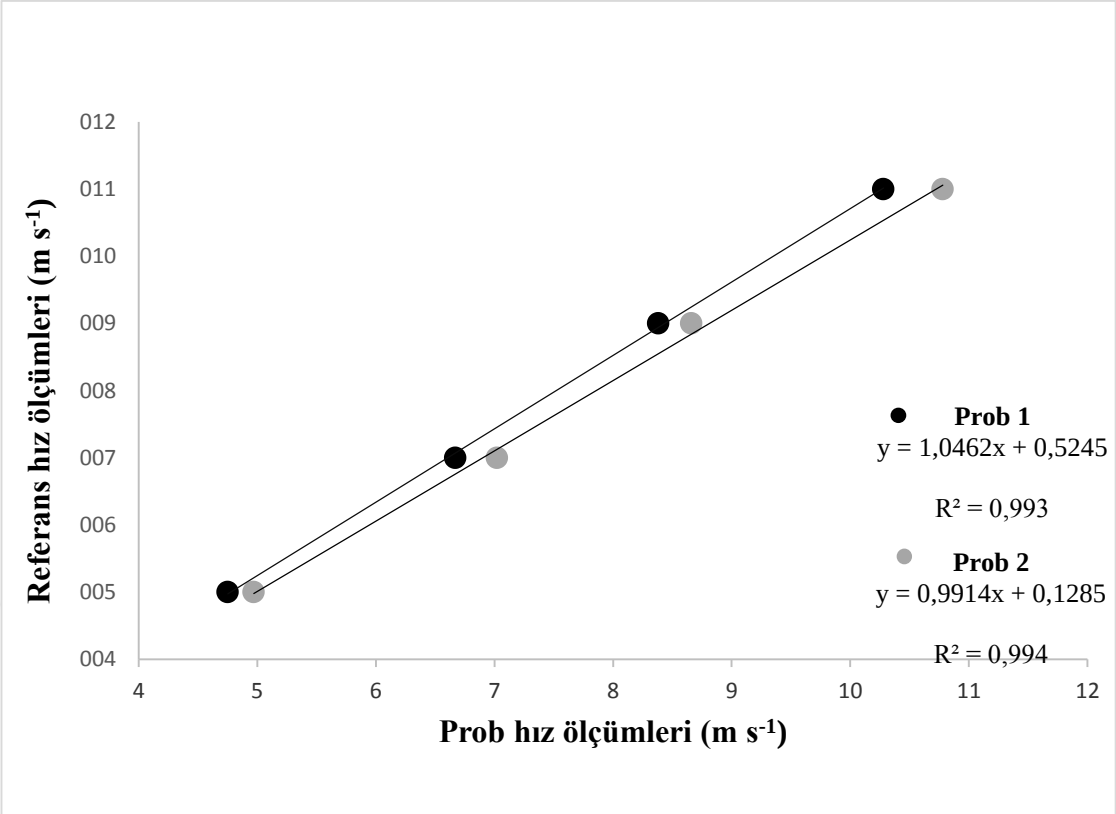
Şekil 3.14. Test odası ve örnek tavalarının tünel içerisindeki konumu



Şekil 3.15. Test odasına konulan örneklerin gözlem penceresinden görünüşü

3.2 Rüzgâr Tünelinin Rüzgâr Akış Karakterizasyonunun Belirlenmesi

Rüzgâr tünelinde 5, 7, 9 ve 11 m s^{-1} rüzgâr hızları, rüzgâr profilini ve hız dağılımını belirlemek için referans hızlar olarak belirlenmiştir. Logaritmik rüzgâr hız profili ölçümleri için iki adet TESTO 416 marka anemometre kullanılmıştır. Tünelin girişindeki referans probu, x = 0.5 m mesafe, y = 0.35 m yükseklik ve z = 0.2 m derinliğe yerleştirilmiştir. Rüzgâr problarının ölçümleri arasında (referans, Prob 1. ve Prob 2.) ciddi farklılıklar olmadığı belirlenmiştir. Veri kayıt cihazlarındaki var olan minimum farklılıkları da en aza indirmek için, düzeltme katsayıları Şekil 3.16'da gösterilmektedir.



Şekil 3.16. Referans prob okumaları için düzeltme faktörleri

Tünelin gövde başlangıcına 0.5- 1.5- 2 ve 2.5 m mesafelerde olacak şekilde tünelin üst kısmında yer alan rüzgâr hız ölçüm noktaları 5, 7, 9 ve 11 m s^{-1} referans rüzgâr hızlarında ölçülen konumsal ve anlık rüzgâr hızlarının dağılımlarını belirlemek için jeoistatistik yöntemler kullanılmıştır. Rüzgâr hızları ortalama olarak rüzgâr tüneli boyunca her bir nokta ve yükseklik için 1'er dakikalık ölçümler sonucunda elde edilmiştir ve veriler eş zamanlı olarak rüzgâr hızlarını izlemek için bilgisayar ortamına aktarılmıştır.

Tünel yapımının başlangıcında toplamda 12 adet hız ölçüm noktası mevcutken bu sayı jeoistatistiksel analizler için yetersiz görülerek toplamda 28 ölçüm noktasına çıkarılmıştır. Ölçüm noktalarının tünel gövde başlangıcına olan mesafelerinde bir değişiklik yapılmamış olup mevcut bulunan noktalara eşit mesafede olacak şekilde aynı hizada fazladan hız ölçüm delikleri açılmıştır. Rüzgâr dağılımını ve rüzgâr akış özelliklerini belirlemek için, anemometreler ile tünel boyunca her referans hız için ayrı ayrı olacak şekilde 560 noktada ölçüm yapılmıştır. Yapılan bu hız ölçümleri sonucunda elde edilen ham veriler Ek-2, Ek-3, Ek-4 ve Ek-5'de belirtilmiştir.

Rüzgâr, gövde başlangıcına 0.5-1.5- 2 ve 2.5 m uzaklıktaki ölçüm noktalarından 5, 7, 9 ve 11 m s^{-1} rüzgâr hızları için ölçülen hız verileri kullanılarak logaritmik hız profilleri ve tanımlayıcı istatistikler belirlenmiştir.

Rüzgâr tünelinde logaritmik hız profilleri Von Karman eşitliği kullanılarak tayin edilmiştir.

$$u(z) = \frac{u_*}{k} \ln \frac{z}{z_0}$$

Eşitlik.[1]

Burada;

$u(z)$: $z(m)$ yükseklikteki rüzgâr hızı (m s^{-1}),

Z_0: (m) aerodinamik engebe yüksekliği,

u_*: rüzgâr kesme hızı(ms^{-1}) ve

k: Von Karman katsayısıdır.

Tanımlayıcı istatistiklerde yer alan ortalama rüzgâr hızı değeri aritmetik ortalama ile hesaplanmamış olup; logaritmik rüzgâr hız profillerinden yararlanılarak ortalama rüzgâr hızları hesaplanmıştır.

$$\overline{WU}(Z) = \frac{1}{b-a} \int_a^b WU(Z) \partial Z$$

Eşitlik.[2]

Burada;

$\overline{WU}(Z)$; rüzgâr hız profili ortalama değeri (m s^{-1})

WU(Z): $a \leq Z \leq b$ yüksekliklerinde ölçülen rüzgâr hızları (m s^{-1})

Standart sapma: Standart sapma ile verilerin ne kadarının ortalamaya yakın olduğunu buluruz. Eğer standart sapma küçükse veriler ortalamaya yakın yerlerde dağılmışlardır. Bunun tersi olarak standart sapma büyükse veriler ortalamadan uzak yerlerde dağılmışlardır. Bütün değerler aynı olursa standart sapma sıfır olur.

Varyans: Aritmetik ortalamaya olan uzaklıkların karesinin ortalamasına varyans denir.

Varyans katsayısı: İki veri topluluğunun varyasyonlarını, verilerin büyüklüğünden doğan farklılığı standardize ederek mukayese edebilmek için Varyasyon Katsayısı (Coefficient of Variation) kullanılır.

Çarpıklık: Çarpıklık değerlerinin pozitif olması sağa, negatif olması ise sola yatkınlığı göstermektedir.

Basıklık: Basıklık katsayılarının ise negatif çıkması eğrinin normalin altında basık olmasını, pozitif olması ise normal eğriye göre daha dik olmasının göstergesidir.

Akımlarda viskozite etkisi “Reynold sayısı” (atalet kuvvetlerinin (u*L) viskozite kuvvetlerine oranı) ile yerçekimi etkisi ise “Froude sayısı” (atalet kuvvetlerinin (u*L) yerçekimi ivmesine oranı) ile değerlendirilmektedir. Bu nedenle çalışmada kullanılan rüzgâr tüneli içerisinde oluşan viskozite ve yerçekimi etkileri aşağıdaki yer alan Eşitlik.[3] ve Eşitlik.[4] yardımıyla hesaplanmıştır.

$$Re = \frac{u*L}{v}$$ Eşitlik.[3]

Re: Reynolds sayısı

u: Akış hızı (m s^{-1})

L: karakteristik uzunluk = ½*(Tünel Genişliği + Tünel Yüksekliği) (m)

ν: Kinematik Viskozite (m^2 s^{-1})

$$Fr = \frac{u}{g*H}^2$$ Eşitlik.[4]

Fr: Froude sayısı

u: Akış hızı (m s^{-1})

H: Tünel Yüksekliği (m)

g: Yer çekimi ivmesi (m s^{-2})

Rüzgâr dağılımını ve rüzgâr akış özelliklerini belirlemek için 0.5-1.5-2 ve 2.5 m ölçüm mesafelerinde 5-7-9 ve 11ms-1 rüzgâr hızları için konumsal ve anlık rüzgâr hızlarının dağılımlarını belirlerken jeoistatistik yöntemler kullanılmıştır. Rüzgâr dağılımını ve rüzgâr akış özelliklerini belirlemek için yapılan anemometre ölçümleri kullanılarak GS+5 paket programı yardımı ile yarıvariogram grafikleri elde edilmiştir.

Jeoistatistik, klasik istatistik yöntemlerinden farklı olarak örnekler arası ilişkiyi, örneklerin alındıkları koordinatları da hesaba katarak ele alan ve temelleri fonksiyonlar teorisindeki durağan rastlantı teorisine dayanan istatistiksel bir hesaplama metodudur. Bu hesaplama yönteminin, yapılan hata miktarının belirli güven düzeylerinde belirlenebilmesi gibi çok önemli avantajları bulunmaktadır (Clark, 1979). Jeoistatistik’te, bölgesel değişkenlerin (spatial variable) uzaklığa bağlı değişimleri

variogram (veya semivariogram) fonksiyonu ile belirlenir ve bu fonksiyon birbirinden h kadar uzaktaki iki değişken arasındaki farkın varyansı olarak ifade edilir.

Varyansın artması, aralarındaki ilişkinin azalması şeklinde yorumlanabilir. Bir başka deyişle iki nokta arasındaki farkın varyansının büyüklüğü noktalar arasındaki mesafenin büyüklüğüne bağlıdır (Diggle ve ark., 1998). Ölçüm yapılan tüm uzay için semivaryans aşağıdaki eşitlikle tanımlanır,

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} \left[z(x_i) - z(x_i + h) \right]^2 \qquad \text{Eşitlik.[5]}$$

Burada,

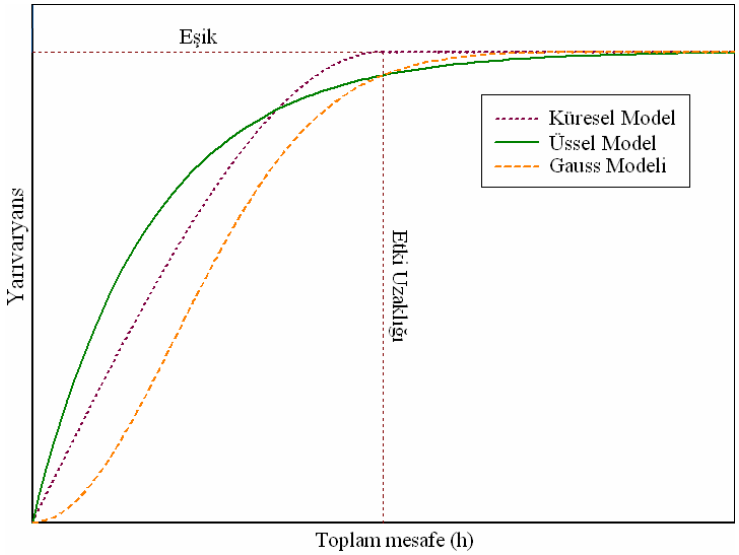
γ(x) Semivaryans değeri, *h, i* ve *j* noktaları arasındaki mesafe,

N(h): *h* uzunluğundaki nokta çiftleri sayısı (ya da bölge içindeki h vektörü sayısı),

$Z(x_i)$: Değişkenin i noktasındaki ölçülen değeri,

$Z(x_j+h)$: Değişkenin noktasında ölçülen değeridir (Matheron, 1965; Journal andHuijbregts, 1978; Burgers ve Webster, 1986ab; Trangmaret al., 1985).

Bu deneysel semivariogram fonksiyonu her doğrultuda ve her ölçüm çifti için hesaplanır daha sonra uygun bir parametrik fonksiyon fit edilir. Literatürde en çok kullanılan modeller, küresel (spherical) (Eşitlik.[6]), Üssel (exponential) (Eşitlik.[7]), gauss (gaussian) (Eşitlik.[8]) ve doğrusal (lineer) (Eşitlik.[9]) modellerdir (Webster ve Oliver, 2007).



Şekil 3.17. Yaygın olarak kullanılan bazı teorik yarıvaryogram modelleri (Bohling, 2005)

$$\gamma(h)=\begin{cases} c_0+c\left(\dfrac{3h}{2a}-\dfrac{1}{2}\left(\dfrac{h}{a}\right)^3\right) & \text{for } \ h\le a, \\ c_0+c & \text{for } \ h>a. \end{cases}$$

Eşitlik.[6]

$$\gamma(h)=c_0+c\left(1-\exp(-\frac{h}{r})\right), \quad \text{for } \ h\ge 0$$

Eşitlik.[7]

$$\gamma(h)=c_0+c\left(1-\exp(-\frac{h^2}{r^2})\right), \quad \text{for } \ h\ge 0$$

Eşitlik.[8]

$$\gamma(h)=\begin{cases} c_0+c\left(\dfrac{h}{a}\right) & \text{for } \ h\le a, \\ c_0+c & \text{for } \ h>a. \end{cases}$$

Eşitlik.[9]

Burada a etki mesafesi (range), yani konumsal bağlılığın mesafesidir. c eşik değer (sill), yani maksimum varyansıdır, c_0 kontrolsüz etki varyansı (nugget effect), yani çalışma alanının homojenliğini ifade eden kısım ve h uygulama mesafesidir. Fit edilen model kriging interpolasyonu için gerekli olan giriş parametrelerini (ağırlık katsayılarını) sağlar. Ayrıca bölgenin spatial yapısı hakkında bilgi verir. Uygun modeli bulmak için çapraz doğrulama yöntemi kullanılmıştır.

Çapraz doğrulamada üç tanımlayıcı istatistik uygulanır. Bunlar; ortalama hata (ME, Eşitlik.[10]), hata karelerinin ortalamasının karekökü (RMSE, Eşitlik.[11]) ve ortalama hata karesi oranı (MSDR, Eşitlik.[12])'dır. Kriging yansız olduğundan ortalama hata (ME) ideal olarak "0" olmalıdır. Kriging yarıvariogramdaki hatalar için duyarsız olduğundan hesaplanan ME, zayıf bir tanımlayıcıdır. RMSE'nin küçük olması istenir (yaklaşık "0"). Eğer yarıvariogram modeli doğruysa, RMSE krigleme varyansının karesine eşit olmalıdır. Bu nedenle de MSDR "1" olmalıdır (van den Boogaart ve Schaeben, 2002).

$$ME=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left\{Z(x_i)-\breve{Z}(x_i)\right\}$$

Eşitlik.[10]

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left[Z(x_i) - \tilde{Z}(x_i)\right]^2}$$ Eşitlik.[11]

$$MSDR = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\frac{\left[Z(x_i) - \tilde{Z}(x_i)\right]^2}{\hat{\sigma}^2(x_i)}$$ Eşitlik.[12]

Burada, $s(x_i)$, x_i noktasındaki kriging varyansı, $Z(x_i)$ bilinen değer, $\check{Z}(x_i)$ tahmin edilen değerdir, N veri sayısıdır. Bu çalışmada jeoistatistiğin temel yöntemi olan kriging yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, matematiksel olarak, bilinen en iyi lineer yansız hesaplayıcı (BLUE [best linear unbiased estimator]) olarak tanımlanır (McGrath ve ark., 2004). Bunun anlamı, kestirim hatasının minimum olması şartına göre ağırlıkların belirlenmesidir. Kriging yöntemi klasik istatistik teoremindeki ağırlıklı ortalama yöntemine benzer bir şekilde yakındaki noktalardan daha fazla etkilenmeyi sağlayan bir ağırlık modeli kullanır (Krige, 1966). Kriging yönteminin genel eşitliği aşağıdaki gibidir;

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^{N} W_i Z(x_i)$$ Eşitlik.[13]

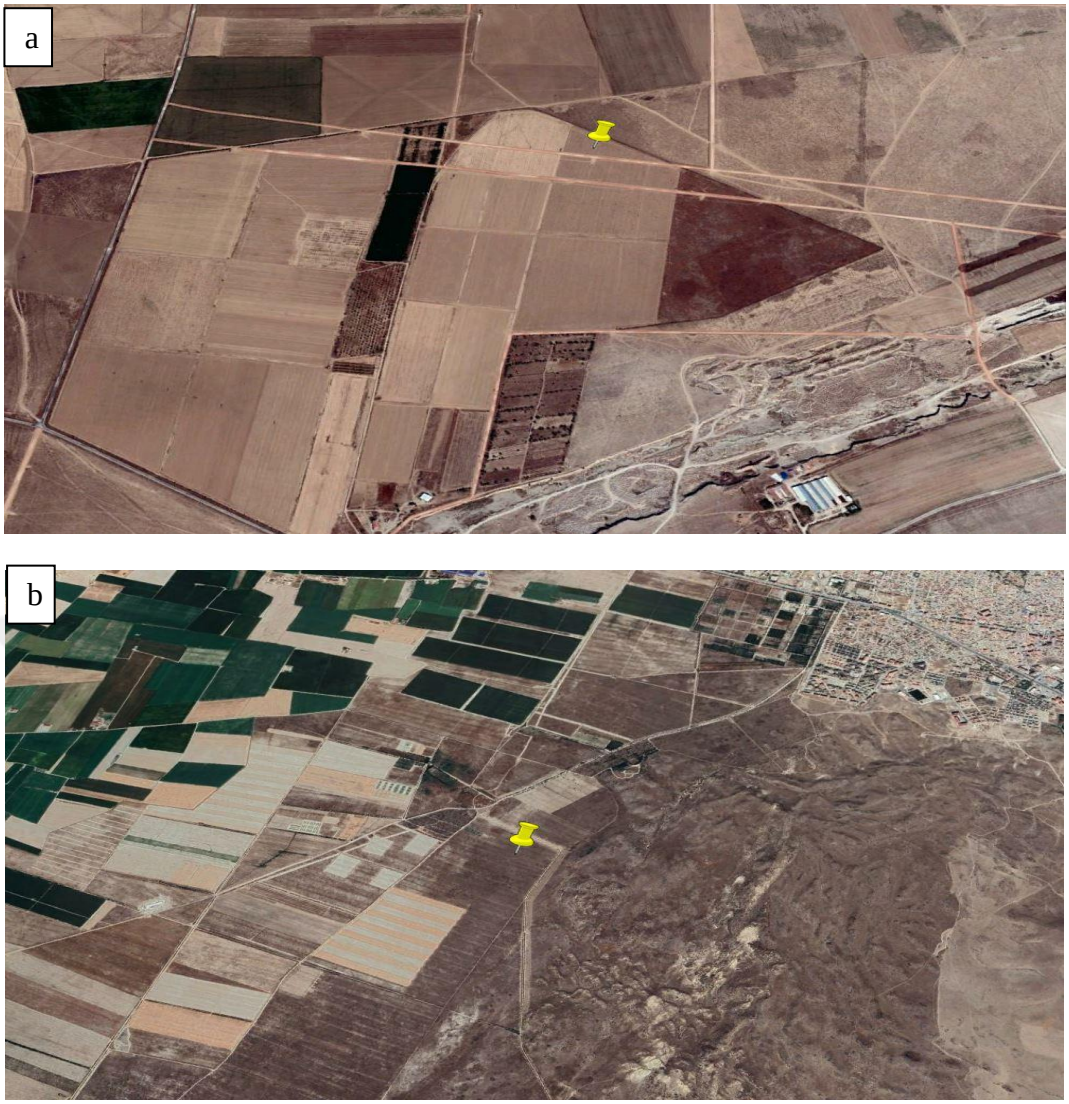
Burada; $Z(x_0)$, x_0 noktasında bilinmeyen ancak tahmin edilen Z değeri, W_i $Z(x_0)$'nin hesabında kullanılan her bir $Z(x_i)$ ye karşılık ağırlık değerleri, $Z(x_i)$ $Z(x_0)$'nin tahmin edilmesinde kullanılan deneysel veriler, N $Z(x_0)$' nin hesabında kullanılan nokta sayısıdır.

Tünel içerisinde rüzgâr dağılım modellerini görebilmek için variogram modelleri ve parametreler yardımı ile kriging haritaları oluşturulmuştur. GS +5 jeoistatistik yazılımı yardımıyla konumsal analizler yapılmıştır.

3.3 Toprak Örneklerinin Alınması ve Analize Hazırlanması

3.3.1 Çalışma alanları ve özellikleri

Araştırma, Büyük Konya Ovası içerisinde yer alan Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Sarıcalar Deneme İstasyonu (36˚6´7.37´´K, 32˚36´44.99´´D) ve Karapınar Erozyon Kontrol İstasyonu (37˚41´13.97´´K, 33˚30´52.16´´D) sınırları içerisinde yer alan mevcut durumda siltli killi tın ve kumlu tın tekstüre sahip toprak örnekleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.17).



Şekil 3.18. Çalışmada kullanılan toprak örneklerinin alındığı yerler a) Sarıcalar b) Karapınar

Kurak ve yarı kurak bölgelerde, rüzgâr erozyonu çevresel sorunların başlıca nedenlerinden birisi olup, geçmiş yıllarda Türkiye'de yılda erozyonla taşınan toprak miktarı 500 milyon ton iken yapılan erozyon kontrolü, ağaçlandırma çalışmaları, bozuk orman alanların iyileştirilmesi, meraların iyileştirilmesi, tarım alanlarında sulama teknolojilerindeki gelişmeler ile akarsularda ölçülen çöküntü verilerinin değerlendirilmesi neticesinde taşınan toprak miktarı yaklaşık 168 milyon ton/yıla inmiştir (DSİ, 2014). Fakat azalan bu miktar bu sorunun hala ortadan kalkmadığının bir göstergesidir. Türkiye'nin toplam zirai alanını yakından inceleyecek olursak 24.437.000 hektar'lık bir alanı kapsamaktadır (TUİK, 2015) ve bu alanların %59'unda aktif erozyon bulunmaktadır (ÇEM, 2015). Türkiye'de kara kumulu olarak bilinen 465.913 ha alanda hafiften çok şiddetliye kadar değişen rüzgâr erozyonu problemi vardır. Bu alanın yaklaşık %70'i (322.474 ha) ise Konya il sınırları içinde yer almaktadır ki, bu

alanın büyük bir bölümü Konya'nın Karapınar ilçesinde bulunmaktadır (Özdoğan, 1976; Abalı ve ark., 1986).

Konya kapalı havzasındaki nispeten seyrek bitki örtüsü, yağışsız aylardaki yoğun otlatma ve tarım alanlarındaki yanlış uygulamalar ile toprak yüzeyi rüzgâr erozyonuna açık hale gelmektedir. Yüksek hızlı rüzgârların varlığı, düşük yağış miktarı (<300 mm yıllık), su kaynaklarının yetersizliği ve buharlaşma yüksekliği, bitki örtüsü azlığı ve sınırlı toprak oluşumu yarı kurak bölgelerde rüzgâr erozyonu ve çölleşmenin başlıca etkenleridir. Rüzgâr erozyonunun yayılma etkisinin kuraklık ve çölleşme etkileşimi nedeniyle izlenmesi ve kontrol altında tutulması sürdürülebilirlik açısından son derece önemlidir (Doğan ve Kuzucuoğlu, 1993; Çetin ve ark., 2007).

Bu yüzden, uygulamaya yönelik her türlü bilimsel ve teknik önleme veya koruma önlemleri alınmazsa, tehlike boyutlarının giderek artacağı ve özellikle toprak, topografya, su ve bitki örtüsü açısından geri-dönüşümsüz evrelere gelinebileceği açık bir şekilde görülmektedir. Bütün bunlar dikkate alındığında; çalışmada kullanılan toprak örneklerinin alındığı çalışma alanlarının iklim özellikleri ise şu şekildedir;

Sarıcalar (1): Araştırma alanı olarak seçilen bölge yarı kurak iklim özelliklerine sahip olup, kışları soğuk ve yağışlı, yazları sıcak ve kurak geçmektedir. Bölgede yağışların çoğunluğu kış aylarında düşmektedir. Yıllık yağış miktarı 323.6 mm olup, uzun yıllar ortalaması esas alındığında yıllık ortalama sıcaklık 11.4 ^{o}C, ortalama nispi nem %60 ve ortalama yıllık buharlaşma 1172.6 mm' dir (Anonim, 2017).

Tablo 3.1. Konya Selçuklu (Sarıcalar) Bazı İklim Verilerinin Uzun Yıllar Ortalaması (1975-2015) (Anonim, 2017)

	Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz.	Tem	Ağu.	Eyl.	Eki.	Kas.	Ara.	Yıl.
S	-0.3	1.0	5.4	10.9	15.6	20.1	23.5	22.9	18.6	12.4	5.7	1.4	11.4
YS	4.6	6.6	11.8	17.5	22.2	26.7	30.2	30.0	26.3	20.0	12.4	6.0	17.9
DS	-4.2	-3.6	-0.3	4.4	8.5	12.8	16.1	15.5	11.2	6.0	0.5	-2.5	5.4
ORH	1.8	2.3	2.5	2.3	2.1	2.4	2.6	2.4	2.0	1.7	1.7	1.8	2.1
TY*	34.8	24.1	26.5	39.5	43.5	21.9	7.9	5.5	10.0	32.4	36.1	41.4	26.9

S: Ortalama sıcaklık (°C), YS: Ortalama yüksek sıcaklık (°C) DS: Ortalama düşük sıcaklık (°C), ORH: Ortalama rüzgâr hızı (m/s), TY: Toplam yağış ortalaması

Karapınar (2): Bölgedeki ortalama yıllık toplam yağış miktarı 260 mm'dir. Hâkim rüzgâr yönü güney-güneybatıdır ve maksimum rüzgâr hızı ilkbahar ve sonbahar aylarında 25 m s^{-1} hıza kadar ulaşabilmektedir. Bölgede uzun yıllar ortalaması esas alındığında yıllık sıcaklık ortalaması 11.14 ^{o}C derecedir. Ortalama nispi nem %65 ve ortalama yıllık toplam buharlaşma miktarı da 1156 mm' dir. Alan içerisinde eğim genel itibariyle düz ve düze yakındır.

Tablo 3.2. Konya Karapınar Bazı İklim Verilerinin Uzun Yıllar Ortalaması (1975-2015)

	Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz.	Tem	Ağu.	Eyl.	Eki.	Kas.	Ara.	Yıl.
S	-0.5	0.9	5.4	10.7	15.5	19.9	23.1	22.4	17.7	11.6	5.1	1.4	11.14
YS	5.0	7.1	12.6	18.1	23.1	27.5	30.9	30.9	27.0	20.5	13.0	6.9	15.98
DS	-5.3	-4.6	-1.2	3.1	7.2	10.8	13.5	12.7	8.3	3.7	-1.0	-3.4	3.65
ORH	2.7	2.9	3.0	3.0	2.6	2.7	3.1	2.8	2.3	2.2	2.3	2.6	2.68
TY*	27.2	24.1	23.9	32.4	34.3	22.9	4.5	1.9	7.9	20.2	24.9	34.2	21.6

S: ortalama sıcaklık (°C), YS: ortalama yüksek sıcaklık (°C) DS: ortalama düşük sıcaklık (°C), ORH: ortalama rüzgâr hızı (m/s), TY: toplam yağış ortalaması

3.3.2 Toprak örneklerinin alınması ve analize hazır hale getirilmesi

Bu çalışmada, bozulmuş toprak örnekleri bir toprakçı küreği yardımıyla Konya ovası içerisinde yer alan, Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Sarıcalar Deneme İstasyonu (36˚6´7.37´´K, 32˚36´44.99´´D) ve rüzgâr erozyonundan etkilenen Karapınar Erozyon Kontrol İstasyonu (37˚41´13.97´´K, 33˚30´52.16´´D) sınırları içerisinde yer alan bakir (tarım yapılmayan) alanlardan, uygun nemde 0- 30 cm derinlikten alınmıştır. Arazinin 8-10 farklı noktasından alınan toprak örnekleri karıştırılarak yaklaşık olarak 8 kg toprak örneği laboratuvara getirilmiştir. Getirilen örnekler gölgede hava kuru hale getirilmiş ve bir kısmı eleme işlemlerine tabi tutulmadan önce, rotary eleğinde kullanılmak üzere depolanmıştır. Kalan kısım ise toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirleyebilmek için 2 mm'lik eleklerden elenerek analize hazır halde depolanmıştır.

Ayrıca uygulayacağımız düzenleyicilerin rüzgâr erozyonuna olan etkilerini incelemek için belirlenen çalışma sınırları içerisinden uygun nemde alınan yüzey toprak örnekleri 1 mm-0.50 mm'lik elekler yardımıyla yerinde elemeye tabi tutulmuş ve torbalara doldurularak laboratuvara getirilmiştir (Şekil 3.18). Getirilen örnekler gölgede havada kurutulmuş ve yapılacak çalışmalar için depolanmıştır.



Şekil 3.19. Arazi ortamında eleme yapmak için tasarlanan 1-0.50 mm'lik elek düzeneği

3.4 Toprak Örneklerinde Yapılan Bazı Fiziksel - Kimyasal Analizler ve Yöntemleri

Tez kapsamında kullanılan toprak örneklerimizin temel özellikleri aşağıdaki yöntemler aracılığı ile belirlenmiştir.

3.4.1 Fiziksel analizler:

- **Tekstür Tayini:** Bouyoucos hidrometre yöntemine göre yapılmıştır (Gee ve ark., 1986).
- **Zerre Yoğunluğu**: Kütle yoğunluğunun tayininde "piknometre yöntemi kullanılmıştır (Blake ve Hartge, 1986).
- **Hacim Ağırlığı**: Bozulmuş örneklerde hacim ağırlığı belirlemek için geliştirilen ölçü silindiri yöntemi kullanılmıştır (Mohamed, 2011).
- **Porozite:** Hacim ağırlığı ve kütle yoğunluğu kullanılarak hesap yoluyla bulunmuştur (Danielson ve Sutherland, 1986)
- **Tarla Kapasitesi:** Basınç tablası kullanılarak, 33 kPa basınçta, ağırlıkça toprakta tutulan nem yüzdesi olarak belirlenmiştir (Klute, 1986)

➢ **Solma Noktası:** Basınç tablası kullanılarak, 1500 kPa basınçta, ağırlıkça toprakta tutulan nem yüzdesi olarak belirlenmiştir (Klute, 1986)

➢ **Faydalı Su:** Tarla kapasitesi değerinden solma noktası değeri çıkartılarak hesaplama yoluyla bulunmuştur.

➢ **Agregat Stabilitesi:** Agregat stabilitesi tayini 40 °C de fırında kurutulan örneklerde yapılmıştır. Bunun için üstte 2.0 mm ve altta da 0.25 mm, en altta elek altlığı olan elek serisi hazırlandı ve hazırlanan seriye üstten ilave edilen kurutulmuş toprak, üste elek açıklığından daha küçük materyal kalmayana kadar elenmiştir. Ayrılan agregatlardan (2-0.25 mm arası) yaklaşık 20 g tartılarak alınmıştır, agregatlar tek bir tabaka halinde 0.25 mm açıklığa sahip, 20 cm çaplı elek üzerine yayılarak ve yapay yağmur simülatörünün (Şekil 3.19) 50 cm aşağısına yerleştirilmiştir. Hazırlanan agregatlar 150 mm saat^{-1}'lik yağış yoğunluğuna sahip yağmur simülatörünün altında 5 dakika bekletilerek toplam 12.5 mm yağış uygulanmıştır. Yapay yağışın ortalama damla çapı 4-5 mm olup, her bir elek üzerindeki agregatlara 0.74 J'lük bir enerji aktarılmıştır. Agregat stabilitesi, stabil agregatların kütlesinin toplam örnek kütlesine bölünmesiyle bulunmuştur (Gugino ve ark., 2009).



Şekil 3.20. Yapay Yağmur Simülatörü

➢ **Kuru Agregat Analizi ile Mekaniksel Stabilite ve Stabilite İndeksinin Belirlenmesi:** Kuru Agregatlar (%), Toprak örneklerinin kuru agregat yüzdeleri Chepil tarafından geliştirilen Rotary eleği yardımıyla yapılmıştır. Silindirik olarak içi içe geçmiş 0.42 mm, 0.84 mm, 2.0 mm, 6.4 mm ve 12.7 mm çapındaki elek takımından oluşan bu Rotary eleği (Şekil 3.20) kullanılarak yapılan eleme sonunda elde edilen toprak fraksiyonlarının genel ağırlıklarına göre yüzdeleri hesaplanmıştır (Chepil, 1962)

Rotary eleği ile eleme (İki defa)

(<0.42; 0.42-0.84; 0.84-2; 2.0-6.4; 6.4-12.7; >12.7 mm)

Stabilite İndeksi = (birinci elemede)

(>0.84 mm kuru agregat miktar /> 0.42 mm kuru agregat miktar) Eşitlik. [1]

Mekaniksel stabilite= (ikinci elemede)

(>0.84 mm kuru agregat miktar / toplam eleme örneği miktarı) ∗100 Eşitlik.[2]



Şekil 3.21. Rotary eleği

3.4.2 Kimyasal analizler:

- **pH:** Cam elektrotlu, dijital göstergeli pH metre ile 1:1 toprak-saf su karışımında ölçülmüştür (Keeney ve Nelson, 1982; KACAR, 2009).
- **Elektriki İletkenlik (EC):** 1:1 toprak-saf su karışımında elektrik iletkenlik aleti kullanılarak ölçülmüştür (KACAR, 2009).
- **Kireç ($CaCO_3$):** Örneklerin kireç içerikleri "Scheibler Kalsimetresi" ile hacimsel olarak belirlenmiştir (Nelson, 1982).
- **Toplam Azot (TN):** Örneklerin toplam azot kapsamları Dumas kuru yakma metodu ile LECO CN-2000 cihazı kullanılarak belirlenmiştir (Wright ve Bailey, 2001).
- **Yarayışlı Fosfor (YP):** Toprakların yarayışlı fosfor kapsamları Olsen metoduna göre belirlenmiştir. Burada pH'sı 8.5'e ayarlanmış, 0.5 M $NaHCO_3$ çözeltisi kullanılarak ekstrakte edilen P miktarına göre oluşan mavi renk intensitesi Spektrofotometrede 880 nm dalga boyunda okunarak ölçülmüştür (Nelson ve Sommers, 1982).
- **Organik Madde:** Örneklerin toplam organik karbon (OC) kapsamları Dumas kuru yakma metodu ile LECO CN-2000 cihazı kullanılarak belirlenmiştir (Wright ve Bailey, 2001). Ölçülen organik karbonun organik maddeye dönüştürülmesinde organik maddenin %58'inin organik karbon olduğu kabulü nedeniyle, organik karbon yüzdesinin 1.724 sayısı ile çarpılmasıyla yüzde organik madde hesaplanmıştır (Nelson ve Sommers, 1996).

3.5 Çalışmada Kullanılması Planlanan Toprak Düzenleyici Materyaller ve Çalışma Topraklarına Uygulanma Dozları

Rüzgâr erozyonu kontrolünde kullanılan yaygın yöntemlerden biri de toz üretimi ve rüzgâr erozyonunu önlemek için toprak yüzeyinin yağmurlama yolu ile ıslatılmasıdır. Ancak, bu yöntemin uygulanabilirliği iklim koşullarına, arazi konumuna ve iş gücüne bağlı olup, maliyeti oldukça yüksektir (Hoover, 1986). Uzun yıllardır rüzgâr erozyonunu ve toprak stabilizasyonunu kontrol etmek amacıyla; toprak için petrol, malç ve yapay polimerler kullanılmaktadır. Kullanılan bu ve bunun gibi düzenleyicilerin en önemli özelliklerinden birisi toprak yüzeyi ile toprak parçacıkları arasında köprü görevi gören bir ağ oluşturmasıdır. Bu ağ sayesinde toprak parçacıkları birbirine bağlanarak toplam agregat stabilitesi artacaktır. Artan agregat stabilitesi ile su toprak profili içerisinde rahatça hareket ederek infiltrasyonda sorun yaşamayacaktır. Bunun

sonucunda da yüzey akışı ile meydana gelen kayıplar (özellikle toprak) azalarak toprak erozyona karşı dirençli hale gelecektir (Abbasi ve ark., 2010; Gümüş ve ark., 2016; Shahnavaz ve ark., 2019).

Polimer ve toprak yüzeyi arasındaki etkileşim mekanizması bu kadar basit değildir; bu nedenle daha derinlemesine araştırılması gerekmektedir (Lu ve ark., 2002). Rüzgâr erozyonu kontrolünde etkili düzenleyici tanımı, optimum konsantrasyon, aşındırıcı etkenlere karşı direnç, su erozyonu kontrolünde verimlilik, doğal halinde (yüksek ve düşük sıcaklıklar, UV ışınları, kimyasal çözeltiler vs.) dayanıklılık gibi birçok faktöre bağlıdır. Düzenleyici seçiminde bu faktörler dikkate alınarak toprak stabilizatörlerinin dikkatle seçilmesi ve kontrollü kullanımı önerilmektedir.

Bu düzenleyiciler, toprak yüzeyine yetecek şekilde yüksek bir oranda uygulandığında rüzgâr erozyonunu önleyebilse de maliyetlerinin oldukça yüksek olması ciddi bir sorun olarak karşılanmaktadır. Bu nedenle toprak stabilizatörlerini arazilerde uygulamak için farklı yaklaşımlar geliştirmek gerekmektedir. Bunlardan ilki maliyeti düşük yeni düzenleyicilerin tespiti olup, kullanılacak olan stabilizatörlerin seçiminde; buna ek olarak dikkat edilmesi gereken diğer unsurlar ise, kısaca şu şekilde sıralanabilir;

- Mevcut düzenleyicilerin uygulama kolaylığının olması,
- Kaba bünyeli topraklarda yabancı ot kontrolü için güvenilir olması,
- Yağmur damlası etkisine dayanabilecek ve bitki-su ilişkisine izin verecek kadar güçlü olması ve
- Toprak-su-hava ortamı üzerinde olumsuz etkisinin olmamasıdır.

Stabilizatörlerin seçiminde dikkat edilmesi gereken genel unsurlar yukarıda belirtildiği gibi olup kimyasal kökenli toprak düzenleyiciler için sadece bu unsurların değerlendirilmesi tek başına yeterli olmamaktadır. Birçok kimyasal düzenleyici hareketli kumlu yüzeylerde bir kabuk oluşturmak için bağlayıcı malzemeler olarak kullanılmakta olup, oluşan bu kabuk sayesinde rüzgâr erozyonunun önlenmesini ve toprağın su tutma kapasitesini arttırmasını sağlamaktadır.

Bu kimyasal stabilizasyon yöntemleri, kolay ve hızlı teknolojik ürünler olmaları gibi avantajları ile son zamanlarda dikkat çekmektedir. Bununla birlikte, uygulamasında aşağıdaki gibi bazı dikkat edilmesi gereken hususlar bulunmaktadır:

1. Kullanılan malzemelerin kimyasal özellikleri bu malzemelerin uygulama etkinliklerini fazlasıyla etkilemiştir. Bundan dolayı çalışma öncesi etki mekanizmaları ve yapılarıyla ilgili ilişkiler detaylı olarak araştırılmalıdır.

2. Kullanılan malzemenin farklı amaçlar için veya farklı coğrafya, iklim ve hidrojeolojik durumu olan bölgeler için uygunluğunun önceden belirlenmesi gerekmektedir.
3. Kimyasal stabilizasyonda kullanılan malzemeler genellikle yüksek maliyetli olabilmektedir ve bu da rüzgâr erozyonuna maruz kalan geniş alanlarda uygulanma işlemini sınırlamaktadır. Yüksek maliyet, pahalı hammadde, düşük ölçekli üretim ve mevcut satış sisteminden kaynaklanan bir problem olmakla beraber, çalışma öncesinde bu durumlararın dikkate alınması gerekmektedir.
4. Stabilizasyon malzemeleri için yetkili bir uygulama standardının olmayışı ve kullanılan malzemenin toprak yapısına, mikroorganizma ekolojisine ve bitki büyümesi üzerine olan etkilerinin belirsizliklerinden dolayı yeni bir stabilizasyon malzemesinin geliştirilmesinde çalışma öncesi iyi bir tasarım gerekmektedir.

Bütün bu unsurlar dikkate alındığında kullanılması gereken toprak düzenleyicilerin seçiminde öncelikli olarak organik kökenli olanlarının tercih edilmesinin kimyasal düzenleyicilere kıyasla bir avantaj olacağı çıkarılmakta olup, bu gibi düzenleyicilerin sınırlı miktarda olmasının getirmiş olduğu sorun ise dezavantaj olarak görülmektedir.

Bu durum erozyonu önlemede daha etkin olabileceği düşünülen kimyasal düzenleyicilerin kontrollü şekilde ön çalışmaları yapılarak kullanımının da gereklililiğini göstermektedir. Toprak düzenleyici seçimi yapılırken dikkat edilmesi gereken bir diğer husus ise toprak düzenleyicilerin uygulamalarının yapılacağı bölgenin özellikleri ve bölgede mevcut bulunan doğal düzenleyicilerin zenginliğidir. Bu amaçla ülkemizde üretiminin ciddi oranda olduğu bilinen çimento'nun, Konya kapalı havzasında yaygın olarak üretimi gerçekleştirilen şeker pancarlarından atık materyal olarak elde edilen melas'ın, bunlara ek olarak ise son yıllarda oldukça gözde olan, yüksek su tutma kapasitesi nedeniyle birçok alanda kullanımının yaygınlaştığı hidrojeller'in rüzgâr erozyonunu önlemedeki etkinliklerinin bir rüzgâr tüneli yardımıyla belirlenmesi planlanmıştır. Seçilen toprak düzenleyicilerinde planlanan uygulamalar yapıldıktan sonra öncelikle toprak kaybını önlemedeki etkinlikleri belirlenmiştir ve her materyalin rüzgâr erozyonunun başlangıç anına olan etkileri gözlemlenmiştir.

Tez çalışmasında rüzgâr erozyonunu önlemede ki etkinliklerinin belirlenmesi için seçilen toprak düzenleyici materyaller aşağıda belirtildiği gibidir;

Melas

Melas, şeker kamışından ve şeker pancarından üretilen nihai atık su veya yan üründür (Asikin ve ark., 2013; Valérie Heuzé, 2015). Melas, toplam katı maddeler (% 83.2), kül (% 10.5), K (% 2.89), Ca (% 0.54), Na (% 0.28) içermektedir ve asidik karakterdedir (pH=5.6) (Abubaker ve ark., 2012). Şeker üretiminde artık olarak ele geçen şekerli, kahverengimsi kıvamlı sıvı olarak bilinmekte olup, sanayi hammaddesi, hayvan yemi ve gübre olarak da kullanımı söz konusudur. Literatürden, melas içerikli gübrenin yanı sıra toprak düzenleyici olarak tarımda kullanımının büyük bir rol oynayabileceği kanıtlanmıştır (Cleasby, 1959; Sarka ve ark., 2012). Yapılan başka çalışmalarda ise melas'ın, zayıf fiziksel özelliklere sahip ağır killi toprakların yapısı üzerinde yararlı etkilere sahip olduğu ve bu toprakların işlenmelerini kolaylaştırdığı belirlenmiştir. Bununla birlikte, toprak agregatlarının sayısında ve stabilitesinde bir artışa neden olduğu gözlemlenmiştir (Wynne ve Meyer, 2002).

Çimento:

Çimento, su ile reaksiyona sokulduğunda hidrasyona uğrayan ve sonrasında irreversibil dehidrasyonla bağ yapıları oluşturan bir bileşiktir. Yapısında %75-80 kalker, %20 - 25 kil ve %0.5-1 pirit bulunmaktadır. Fırınlama sonrası içerisine %13-14 öğütülmüş volkanik cüruf ve %3-4 alçı taşı ilave edilerek hazırlanmaktadır. Bileşiminde %56.02 CaO, %25.46 SiO_2, %6.64 Al_2O_3, %3.03 Fe_2O_3, %1.32 MgO, %1.12 K_2O+Na_2O ve %2.74 SO_3 bulunmaktadır (ÇMD, 1993). Çimento toprakta kil, silt ve kum zerreleri ile etkileşime girerek dayanıklı agregatların oluşumunu sağlamaktadırlar (Seker, 2003); (Şeker, 2004).

Ticari hidrojel

Günümüzde kuraklık küresel bir problem ve tarımı sınırlayan en önemli faktörler arasında görülmektedir. Toplam su kullanımının %70'inin tarımda harcanması da suya ihtiyacı hızla arttırmaktadır. Etkili sulama sistemine sahip, su kaybını önleyen ve uygun tarımsal yönetimin olduğu bütünleşmiş bir sistemle su korumalı tarıma ihtiyaç vardır. Su korumalı tarım için su tutucu katkı maddelerin kullanılması suyun alıkonulmasında etkili ve basit bir yol olarak öngörülmektedir. Bu bağlamda son yıllarda sıklıkla kullanılan bazı toprak düzenleyicilerinin rüzgâr erozyonunu önlemdeki etkinliğini belirlemek için de çalışmamızda hidrojele yer verilmiştir.

Hidrojeller, üç boyutlu (3B) hidrofilik ağı, kuru ağırlıklarından birkaç yüz kat daha fazla su tutma kabiliyetine sahip kılan, kutupsal, gevşek çapraz bağlanmış polimerik malzemelerin büyük gruplarıdır (Joo ve ark., 1998; Guilherme ve ark., 2015) .

Su sever olmaları nedeniyle "hidrofil polimerler" olarak da adlandırılırlar. Hidrojeller, ağlarındaki polimer zincirlerine hidrofilik karakter sağlayan -SO_3 H, -COOH, -$CONH_2$, -OH ve -NH_2 gibi fonksiyonel gruplara sahiptir. Bu gruplardan dolayı bağlı duruma geçen su nedeniyle çapraz bağlı polimer hacim ve kütle artışıyla şişmeye başlar (Sannino ve ark., 2009). Bu bağlamda nişasta bazlı hidrojellerin tarım alanlarında kullanımı mevcuttur (Orts ve ark., 2000). Olağanüstü su emme kapasitesi sayesinde süper emici hidrojel (SAH), tarımsal işlemlerde su tutma ve toprak düzenleyici için yenilikçi bir araç olarak araştırılmıştır.

Çalışmada, farklı uygulamaların rüzgâr erozyonu ile meydana gelen toprak kayıplarına olan etkilerinin belirlenmesinde, her bir tekstürdeki toprak için ayrı ayrı olarak tesadüf parseller deneme deseni uygulanmıştır. Buna göre dört farklı düzenleyici (melas, çimento, çimento + melas ve hidrojel), altı farklı uygulama dozunda (kontrol, sulu kontrol, 6.66 g m^{-2}, 13.33 g m^{-2}, 26.66 g m^{-2} ve 53.33 g m^{-2}) denemeye alınmıştır. Rüzgâr tüneli için üretilen 0.25x0.30x0.01m boyutuna sahip, örnek tavalarının her birine 0.5 kg toprak örnekleri ayrı ayrı olacak şekilde yerleştirilmiştir. Toprak örneği konulan örnek tavalarının üzerine yukarıda belirtilen toprak düzenleyicileri şematik olarak Şekil 3.21'de belirtilen dozlarda uygulanmış ve rüzgâr erozyonunu önlemedeki etkinlikleri rüzgâr tünelinde tek tek ölçülerek belirlenmiştir. Her bir doz düzeyi için 3 tekerrürlü olacak şekilde uygulama yapılmıştır. Kontrol (çıplak) örneklerine hiçbir uygulama yapılmazken, kontrol (ıslak) örneklerine ise sadece toprak düzenleyicileri ile birlikte verilen saf su miktarı (25 ml) kadar saf su ilavesi yapılmıştır.

Kontrol (Çıplak)	Kontrol (Su ile muamele)	Melas 6.66 g m^{-2}	Melas 13.33 g m^{-2}	Melas 26.66g m^{-2}	Melas 53.33g m^{-2}
Kontrol (Çıplak)	Kontrol (Su ile muamele)	Çimento 6.66 g m^{-2}	Çimento 13.33 g m^{-2}	Çimento 26.66 g m^{-2}	Çimento 53.33 g m^{-2}
Kontrol (Çıplak)	Kontrol (Su ile muamele)	Çimento + Melas 6.66 g m^{-2}	Çimento + Melas 13.33 g m^{-2}	Çimento + Melas 26.66 g m^{-2}	Çimento + Melas 53.33 g m^{-2}
Kontrol (Çıplak)	Kontrol (Su ile muamele)	Hidrojel 6.66 g m^{-2}	Hidrojel 13.33 g m^{-2}	Hidrojel 26.66 g m^{-2}	Hidrojel 53.33 g m^{-2}

Şekil 3.22. Rüzgâr tüneli test odasında kullanılmak üzere dizayn edilen 0.075 m^2'lik alana sahip örnek tavalarına konulan 0.5 kg (Siltli Killi Tın ve Kumlu Tın) toprak örneklerine birbirinden farklı 4 toprak düzenleyicinin belirlenen dozlarda ayrı ayrı olarak uygulanması.

3.6 Uygulanan Toprak Düzenleyicilerinin Rüzgâr Tünelinde Erozyona Olan Etkinliklerinin Belirlenmesi

Farklı iki tekstür sınıfına sahip (kumlu ve killi) toprak örnekleri 0.30 m uzunluğunda 0.25 m genişliğinde ve 0.01 m derinliğinde olan örnek tavalarına 0.5kg olacak şekilde konulduktan sonra, birbirinden farklı özelliklere sahip toprak düzenleyicileri tavalarda bulunan toprak örneklerine şu şekilde uygulanmıştır.

Melas, viskoz bir yapıya sahip olması nedeniyle uygulanacak olan 25 ml saf su ile karıştırılarak bir sprey yardımıyla uygulanmıştır.

Çimento ve hidrojel ise ipek bir elek yardımıyla toprak yüzeyine yavaş ve eşit dağıtılmaya çalışılarak uygulanmış olup, uygulama sonrasında 25 ml saf su bir sprey yardımı ile toprak yüzeyine uygulanmıştır.

Çimento + Melas (ÇM)' karışımı birinin viskoz yapıya sahip olması diğerinin ise toz halde bulunuyor olması sebebiyle aynı anda toprağa uygulanamamıştır. Uygulanacak doz miktarı toplamda diğer uygulamalardakilerle aynı olacak şekilde yarı yarıya ölçülerek uygulanmıştır. İlk önce belirlenen çimento miktarı tartılarak ipek bir elek yardımı ile toprak yüzeyine uygulanmıştır. Ardından melas 25 ml saf su ile sulandırılarak çimento uygulanmış toprak yüzeyine bir sprey yardımı ile uygulanmıştır. Yapılan uygulamalar sonrasında toprak örnekleri toplamda 24 saat olacak şekilde oda sıcaklığında beklemeye bırakılmıştır. 24 saatin sonunda örnekler rüzgâr tünelinin test odasına ölçüm yapılmak üzere konulmuştur. Rüzgâr tüneli test odasına ayrı ayrı yerleştirilen toprak örneklerine 9 ve 11 m s^{-1} olacak şekilde 2 farklı rüzgâr hızı 10 dakika süreyle uygulanmıştır. Çalışma topraklarında uygulanan düzenleyici çeşidi ve dozlarına bağlı olarak ilk partikül hareketinin meydana geldiği anlar gözlemlenerek tespit edilmiş ve zaman olarak not edilmiştir. Ayrıca rüzgâr tünelinde yapılan testlerde kullanılan her bir toprak örneği deneme öncesi ve sonrası tartılarak meydana gelen toprak kayıpları belirlenmiştir. Bütün bu denemeler sonucunda elde edilen veriler değerlendirilerek iki rüzgâr hızı için hangi toprak örneğinde hangi toprak düzenleyicileri ve dozlarının hem toprak kaybı açısından hem de partiküllerin rüzgâr enerjisi ile harekete başladığı zaman dilimi açısından rüzgâr erozyonunu engellemede daha başarılı olduğu tespit edilmiştir.

3.7 İstatistiki analizler

Elde edilen veriler kullanılarak varyans analizi yapılmış ve önemli çıkan faktörler Tukey çoklu karşılaştırma testi ile değerlendirilmiştir. İstatistiksel değerlendirilmeler MİNİTAB (sür. 10.5) paket programı kullanılarak yapılmıştır. Curve Expert 1.3 programı yardımı ile regresyon grafikleri oluşturularak matematiksel modeller elde edilmiştir.

4 ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1 Dizayn Edilen Rüzgâr Tüneli

Yerden 0.9 m yükseklikte, yaklaşık 4 m uzunluğunda metal ayaklı tabla üzerine inşa edilen rüzgâr tüneli 0.4 x 0.4 x 5 m boyutuna sahiptir. Bu tünel içerisinde rüzgâr erozyonu çalışmalarını gerçekleştirebilmek için ise 0.45 m çapa sahip aksiyal bir fan kullanılmıştır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Dizayn edilen aksiyal fan

Yapılan tünel tasarımında aksiyal fan ile tünel gövdesinin arasına çapı 0,45m den 0.30 m'ye düşecek şekilde 1.5 m uzunluğunda alüminyumdan yapılmış bir boru yerleştirilmiştir. Bu borunun gövde ile bağlantısının yapılacağı uç kısma aksiyal fan tarafından sağlanan rüzgâr hızının tünel içerisine eşit bir şekilde dağılımını sağlamak ve bu sayede türbülansı en aza indirmek için hazırlanan 3 adet akım düzenleyici bal petekleri aralarında 0.1 m boşluk kalacak şekilde paralel olarak monte edilmiştir. Akım düzenleyici bal peteklerinin monte edilmesiyle de birlikte tamamlanan giriş bölümü yaklaşık 3 metre uzunluğundaki tünel gövdesi ile bir araya getirilerek rüzgâr tüneli test çalışmaları için hazır hale getirilmiştir (Şekil 4.2.).

Rüzgâr tünelinin gövde kısmının hemen üstünde yer alan gövde başlangıcına 0.5 1.5-2 ve 2.5 m mesafelerdeki rüzgâr hız ölçüm noktalarından anemometreler yardımıyla tünel içerisinde oluşan rüzgâr hızları ölçülmüştür. Rüzgâr tünelinde yapılan bu ilk hız ölçüm denemeleri sonucunda bal peteklerin tünel içerisindeki rüzgâr hız dağılımlarına etkisinin oldukça pozitif olduğu belirlenmiştir. Ancak, aksiyal fandan çıkan ilk hız ile bal peteği sonrası oluşan son hız arasında ciddi farklar meydana geldiği görülmüştür.



Şekil 4.2. Dizayn edilen rüzgâr tüneli

Sonuç olarak, tünel içerisinde kullanılan bal petekler bu rüzgâr tüneli için hız dağılımını düzenlerken mevcut rüzgâr hızını da değerinin oldukça altına düşürmüştür. Rüzgâr tünelinde kullanılan aksiyal fan'ın tünel boyunca akım düzenleyici bal petekleri sayesinde kırılan hız değerlerini tolere edecek güce sahip olmaması mevcut rüzgâr tünelinde rüzgâr erozyonu çalışmalarının yapılabilmesi için gerekli hız aralıklarının elde

edilemeyeceği anlamına gelmektedir. Bu nedenle rüzgâr tünelinde revizyona gidilerek aksiyal fan sonrasında yer alan giriş kısım değiştirilmiş ve bal petekleri tünelden çıkartılmıştır.

Yapılan son rüzgâr tüneli dizaynında, bir önceki rüzgâr tünelinde aksiyal fan sonrasında yer alan 1.5 m'lik giriş kısmın yerine toplamda 3 parçadan oluşan 1.3 m'lik yeni bir giriş kısmı yapılmıştır. Yapılan bu giriş kısım sırasıyla;

- 0.45 m çaptan 0.5 m çapa doğru genişleyen ve 1 m uzunluğa sahip olan 1.parça,
- 1 m çapa sahip olup 0.3 m boyunca düz devam eden 2. parça ve
- 1 m çaptan 0,40 m çapa doğru daralan ve 0.5 m uzunluğa sahip olan 3. parçanın bir araya getirilmesinden oluşmaktadır (Şekil 4.3.)

Yapılan bu yeni giriş kısmın aksiyal fana ve tünel gövdesine montesi gerçekleştirildikten sonra daha önce dizaynı yapılmış rüzgâr tünelinde yapılan hız denemeleri aynı şartlar altında bu rüzgâr tünelinde de yapılmıştır. Her iki tünel dizaynı içinde hız dağılımı akım düzenleyici bal peteği kullanılmaksızın test edilmiştir. Akım düzenleyici pal petekleri olmaksızın hız dağılımları incelendiğinde, ilk yapılan rüzgâr tünel tasarımına nazaran daha doğal hız dağılımı sunması ve rüzgâr hızını aksiyal fanın olduğu kısımdan gövdeye iletirken ilk hız ile son hız arasındaki farkın daha düşük olması revize edilen giriş kısmın rüzgâr tünelinde kullanımının daha doğru sonuçlar doğuracağı izlenimini oluşturmuştur.

İlk dizaynı yapılan rüzgâr tünelinde yaşanan vibrasyon sorununa ise revize edilen rüzgâr tünelinde yeni bir çözüm üretilmiştir. Giriş kısım ile tünel gövdesi arasına bir branda yerleştirilerek bağlantı sağlanmıştır ve bağlantının neden olabileceği en büyük sorun olarak görülen hava kaçaklarının olup olmadığı kontrol edilmiştir. Aksiyal fandan kaynaklanan vibrasyon sorunu bu şekilde önlenerek yapılacak olan rüzgâr tüneli çalışmalarına olan etkisi ortadan kaldırılmıştır.



Şekil 4.3. Dizayn edilen rüzgâr tünelinin son hali

4.2 Rüzgâr Tünelinin Rüzgâr Akış Karakterizasyonu

Değişken yüzey faktörlerini etkilemeden rüzgâr tünelinin bireysel aerodinamik özellikleri hakkında veri elde etmek için rüzgâr tüneli kalibrasyonu gereklidir. Kalibrasyon sırasında, tüm test bölümünün altında tercihen pürüzsüz bir yüzey arzu edilmektedir. Bunun asıl nedeni ise; mevcut rüzgâr tünelinin kendi içinde doğru çalıştığını belirlemek ve farklı rüzgâr tüneli çalışmalarının birbirleri ile karşılaştırılabilmesini sağlamaktır (Maurer ve ark., 2006).

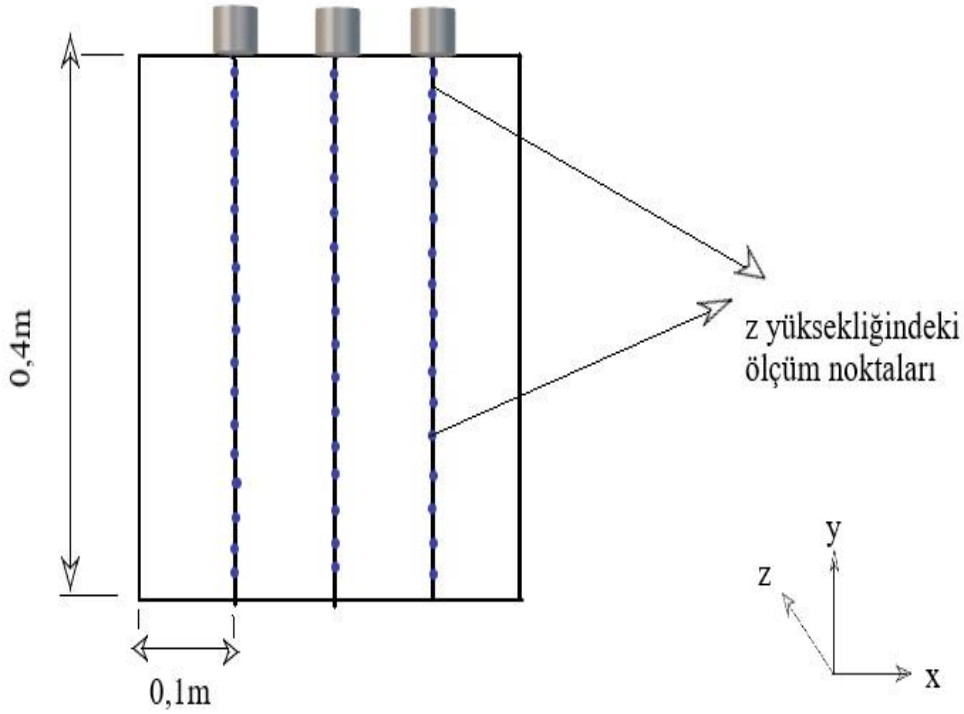
Rüzgâr hızı ve yönü, hava sıcaklığı, güneş radyasyonu, bağıl nem, yağmur miktarı, toprak sıcaklığı ve su içeriği gibi veriler rüzgâr erozyonunu karakterize etmek için temel meteorolojik parametreler olup rüzgâr karakteristiklerinin ölçümü (örn. sürtünme hızı, aerodinamik pürüzlülük) genellikle taşınabilir bir anemometre ile yapılmaktadır. Bu çalışmada yapılması planlanan rüzgâr karakteristik ölçümleri için TESTO 416 markalı 2 adet anemometre kullanılmıştır (Şekil 4.4.).



Şekil 4.4. Rüzgâr tüneli akış karakterizasyonunda kullanılan anemometreler ve ölçüm noktaları

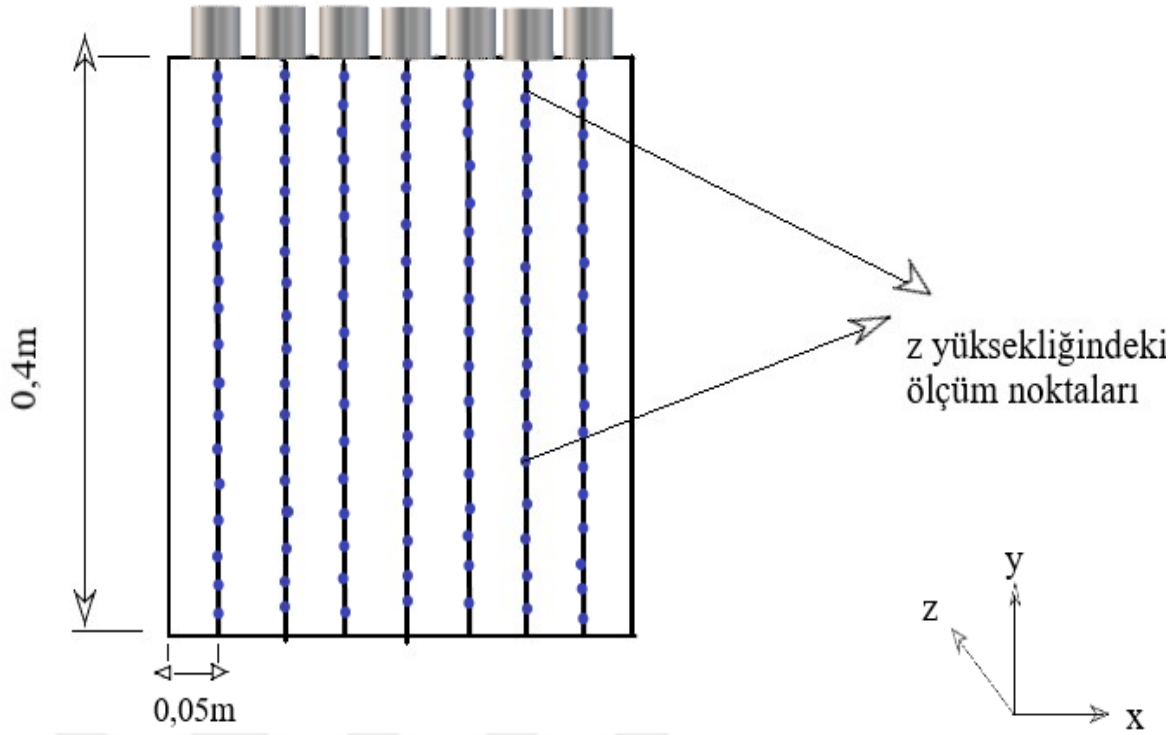
Rüzgâr tünelinde 5, 7, 9 ve 11 m s^{-1} rüzgâr hızları; rüzgâr profilini ve hız dağılımını belirlemek için referans hızlar olarak belirlenmiştir. Tünelin gövde başlangıcına 0.5-1.5-2 ve 2.5 m (Y) mesafelerde olacak şekilde tünelin üst kısmında yer

alan rüzgâr hız ölçüm noktalarında 5, 7, 9 ve 11 m s^{-1} referans rüzgâr hızları için ayrı ayrı oluşan rüzgâr hızları ölçülmüştür.



Şekil 4.5. Tüneldeki bazı ölçüm noktalarının temsili ve z mesafelerindeki hız ölçüm noktalarının konumsal dağılımı

İlk yapılan rüzgâr tünelinin her y ölçüm mesafesi (0.5-1.5-2-2.5m) için x koodinatı üzerinde 3 adet ölçüm noktası bulunmaktaydı; (Şekil 4.5.) fakat bu durum yapılan analizler sonrasında yetersiz görülmüş olup ölçüm noktaları arası eşit olacak şekilde x koodinatı yeniden oluşturulmuştur. X koordinatı üzerinde yer alan ölçüm noktaları arasındaki mesafe 0.1 m'den 0.05 m'ye düşürülerek x ekseni üzerinde her y mesafesi için 7'şer nokta elde edilmiştir. Rüzgâr tüneli boyunca toplamda 12 adet x ölçüm noktası varken son yapılan değişiklik ile birlikte bu sayı 28 adet x ölçüm noktasına çıkarılmıştır (Şekil 4.6.).



Şekil 4.6 Tünelde yapılan değişiklik sonrası ölçüm noktalarının temsili gösterimi ve z mesafelerindeki hız ölçüm noktalarının konumsal dağılımı

Mevcut olan 28 adet hız ölçüm noktasından dikeyde (z yüksekliğinde) 20 nokta olacak şekilde ayrı ayrı hız ölçümleri alınmaktadır. Alınan bu ölçümler her z yüksekliğindeki nokta için 1'er dakikalık rüzgâr hız ölçümlerinin ortalamalarından elde edilmiştir ve veriler eş zamanlı olarak rüzgâr hızlarını izlemek için bilgisayar ortamına aktarılmıştır.

Rüzgâr dağılımını ve rüzgâr akış özelliklerini belirlemek için; anemometreler ile tünel boyunca her bir referans hız için ayrı ayrı olacak şekilde toplamda 2240 noktada ölçümler yapılmıştır (yapılan bu hız ölçümleri sonucunda elde edilen ham veriler Ek-2, Ek-3, Ek-4 ve Ek-5'de verilmiştir).

Rüzgâr tünelinin gövde başlangıcına 0.5-1.5-2 ve 2.5 m uzaklıktaki ölçüm noktalarından 5, 7, 9 ve 11 m s^{-1} rüzgâr hızları için ölçülen hız verileri kullanılarak logaritmik hız profilleri ve tanımlayıcı istatistikler belirlenmiştir. Tanımlayıcı istatistikler Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tünel girişinden itibaren toplamda 2240 noktada rüzgâr hız ölçümü yapılmış olup 5 m s^{-1} referans rüzgâr hızı için ölçülen en yüksek ve en düşük hız değerleri ve bulundukları mesafeler (y) sırasıyla; 1.5 m'de 9.3 m s^{-1} ve 2.5 m'de 1.9 m s^{-1}dir. 7m s^{-1} referans rüzgâr hızı için ölçülen en yüksek değer 0.5 m'de olup 12.3 m s^{-1} ve en düşük

hız değeri ise 1.5 m'de 3.3 m s^{-1}'dir. 9 m s^{-1}referans rüzgâr hızında ölçülen en yüksek hız değeri 1.5 m'de 13.5 m s^{-1} ve en düşük hız değeri 1.5 m'de 5.9 m s^{-1} olarak bulunmuştur. 11 m s^{-1}referans rüzgâr hızı için ise ölçülen en yüksek hız değeri 14.8 m s^{-1} olup 1.5 m'de ve en düşük hız değeri 8.3 m s^{-1} ile 0.5 m'de ölçülmüştür.

Tünel girişinden itibaren, 0.5, 1.5, 2 ve 2.5 m mesafelerdeki 5, 7, 9 ve 11 m s^{-1} referans rüzgâr hızlarında (U) ölçülen en yüksek ve en düşük ortalama rüzgâr hız değerleri sırasıyla; 5 m s^{-1} için 5.99 ve 5.62 m s^{-1}; 7 m s^{-1} için 7.51 ve 7.01 m s^{-1}, 9 m s^{-1} için 10.27 ve 9.66 m s^{-1} ve 11 m s^{-1} için ise 11.83 ve 10.61 m s^{-1} olarak ölçülmüştür.

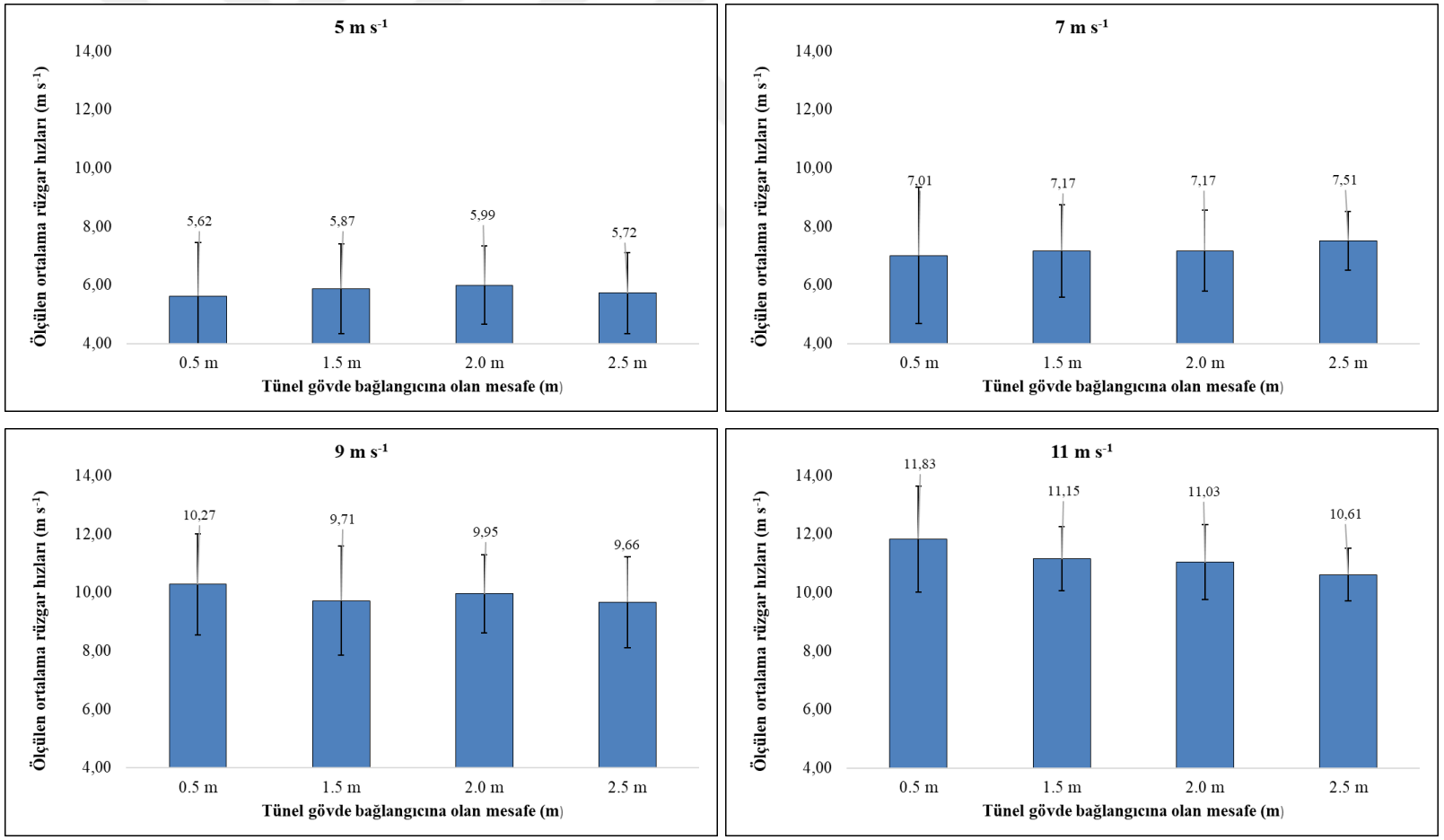
Standart sapma değerleri, 5 m s^{-1} rüzgâr hızı için yapılan ölçümlerde, en düşük değeri 2 m'de 1.34 olarak belirlenmiş olup ölçülen en yüksek standart sapma değeri ise 1.84 ile 0.5 m mesafesinde ölçülmüştür. 7 m s^{-1} rüzgâr hızı için yapılan ölçümlerde ise, en düşük standart sapma değeri 2.5 m'de 1.00 olarak ölçülmüş olup bu hızdaki en yüksek standart sapma değeri ise 0.5 m'de 2.33 olarak ölçülmüştür. 9 ve 11 m s^{-1} rüzgâr hızlarında ise sırasıyla en düşük 2 ve 2.5 m'de 1.33 ve 0.90 olarak bulunmuştur. En yüksek standart sapma değerleri ise bu hızlarda sırasıyla 1.5 m ve 0.5 m'lerde 1.87 ve 1.81 olarak belirlenmiştir. Varyans değerleri ise 0.5-1.5-2 ve 2.5 m y mesafeleri için 5, 7, 9 ve 11 m s^{-1} referans hızlarında elde edilen en yüksek varyans değeri 5.47 olup bu değer 0.5 m y mesafesinde 7 m s^{-1} referans rüzgâr hızında elde edilmiştir. En küçük varyans değeri ise 0.82 olup 2.5 m y mesafesinde 11 m s^{-1} referans hızında elde edilmiştir.

Varyasyon katsayısı; standart sapma değerlerinin ortalama rüzgâr hızlarına oranının 100 ile çarpımından bulunmaktadır. Hesaplanan varyasyon katsayıları arasında en yüksek değer 0.5 m y mesafesinde 7 m s^{-1} referans rüzgâr hızında bulunmuş olup, ,%33.24 olarak hesaplanmıştır. En düşük varyasyon katsayısı ise; %8.48 değeri ile 11 m s^{-1} referans rüzgâr hızında 2.5 m y mesafesinden hesaplanmıştır. Toprak özelliklerinin değişkenliklerinin belirlenmesinde kullanılan parametrelerden birisi olan varyasyon katsayısı, %15'ten küçük olduğu durumlarda düşük, <%15-35 olduğunda orta ve %35'in üstündeki değerlerde ise yüksek olarak sınıflandırılmıştır (Wilding, 1985). Bu sınıflandırmaya göre yapılan bu çalışmadaki varyasyon katsayısı değerleri 1.5 m'de 11 m s^{-1} için %9.87, 2 m'de 9 ve 11 m s^{-1} için sırasıyla %13.37- 11.60 olarak ve 2.5 m'de 11 ve 7 m s^{-1} için ise sırasıyla %8.48-13.32 olarak hesaplanmıştır ve düşük sınıfında yer aldığı belirlenmiştir. Elde edilen diğer varyasyon katsayılar ise %'15'in üstünde ve %35'in altında olması sebebiyle orta sınıfında yer almaktadır (Cambardella ve ark., 1994; Wilding, 1985).

Howitt ve Cramer, (2011)'in yaptığı bir çalışmada; çarpıklık ve basıklık parametrelerini ±2 sınırları içerisinde bulunmasının normal bir dağılım olarak kabul gördüğünü belirtmişlerdir. Çarpıklık değerlerinin pozitif olması sağa, negatif olması ise sola yatkınlığı göstermektedir. Basıklık katsayılarının ise negatif çıkması eğrinin normalin altında basık olmasını, pozitif olması ise normal eğriye göre daha dik olmasının göstergesidir. Yapılan bu çalışmada 2.5 m 11 m s^{-1} de elde edilen değerler hariç hesaplanan diğer çarpıklık ve basıklık katsayılarının 0'a yakın olması elde edilen değerlerin normal dağılım gösterdiğini kanıtlamaktadır.

Tablo 4.1. Rüzgâr tünelinde gövde başlangıcına 0.5, 1.5, 2 ve 2.5 m uzaklıktaki ölçüm noktalarında 5, 7, 9 ve 11 m s^{-1} rüzgâr hızlarında yapılan rüzgâr ölçümleri için tanımlayıcı istatistikler

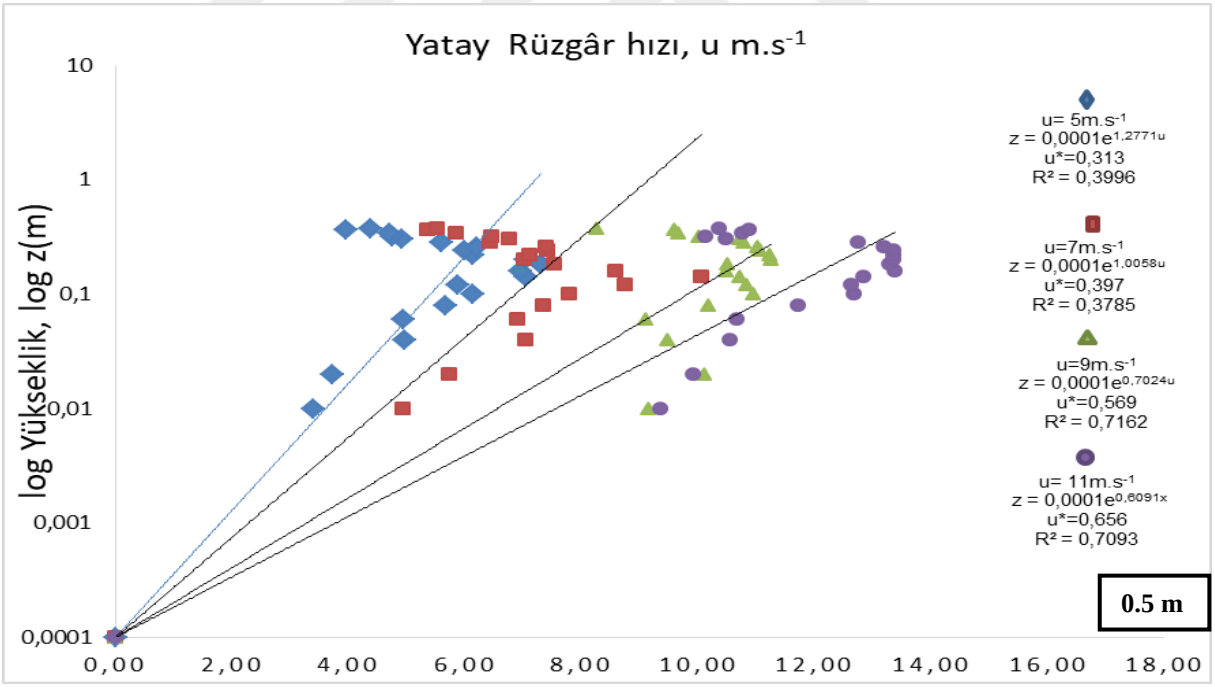
Mesafe (m)	U (m s^{-1})	Min U	Max U	Ortalama hız (m s^{-1})	SS	Varyans	Varyasyon Katsayısı (VK) (%)	Çarpıklık	Basıklık
	5	2.00	08.90	05.62	1.84	3.40	32,74	0.08	-1.20
0.5m	**7**	4.00	12.30	07.01	2.33	5.47	33,24	0.48	-0.98
	9	6.30	12.80	10.27	1.72	2.97	16,75	-0.31	-0.94
	11	8.30	14.20	11.83	1.81	3.27	15,30	-0.56	-1.21
	5	3.00	09.30	05.87	1.54	2.37	26,24	0.13	-0.96
1.5m	**7**	3.30	11.10	07.17	1.58	2.50	22,04	0.53	0.06
	9	5.90	13.50	09.71	1.87	3.51	19,26	0.05	-0.88
	11	9.70	14.80	11.15	1.10	1.22	9,87	1.05	0.55
	5	3.20	08.90	05.99	1.34	1.79	22,37	0.04	-0.84
2m	**7**	3.50	10.80	07.17	1.39	1.93	19,39	-0.08	0.30
	9	7.40	12.60	09.95	1.33	1.77	13,37	0.00	-1.17
	11	8.40	14.10	11.03	1.28	1.65	11,60	0.64	-0.26
	5	1.90	08.60	05.72	1.39	1.94	24,30	-0.09	-0.22
2.5m	**7**	5.10	10.60	07.51	1.00	1.01	13,32	0.32	0.31
	9	6.90	12.50	09.66	1.55	2.42	16,05	0.24	-1.18
	11	9.10	14.00	10.61	0.90	0.82	8,48	1.66	3.28



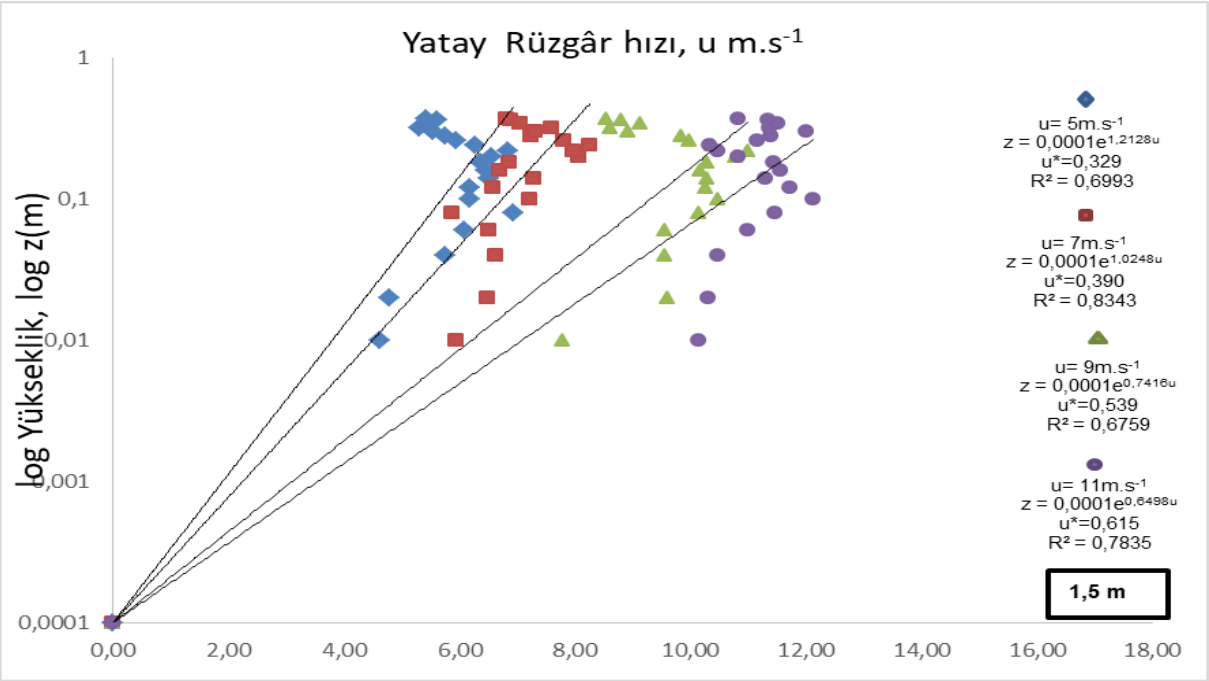
Grafik 4.1. Farklı referans rüzgâr hızlarında ölçülen ortalama rüzgâr hız değerlerinin tünel içi mesafeye göre değişimi

Tünel gövde başlangıcından 0.5-1.5-2 ve 2.5 m mesafelerde 5, 7, 9 ve 11 m s^{-1} referans rüzgâr hızları için logaritmik rüzgâr hızı profilleri Şekil 4.7. - 4.10.'da gösterilmiştir. Logaritmik hız profil grafikleri elde edilirken x ekseni üzerine rüzgâr hızı ve y ekseni üzerine yüksekliğin logaritmik değerini işaretlersek, normal olarak, eğim u*/k ve sınırlanan kısım (u*/k)ln(zo) ile düz bir hat elde ederiz. Elde edilen profiller sayesinde meydana gelecek olan erozyonun genişliği hakkında kısmen de olsa fikirler elde edilebilir.

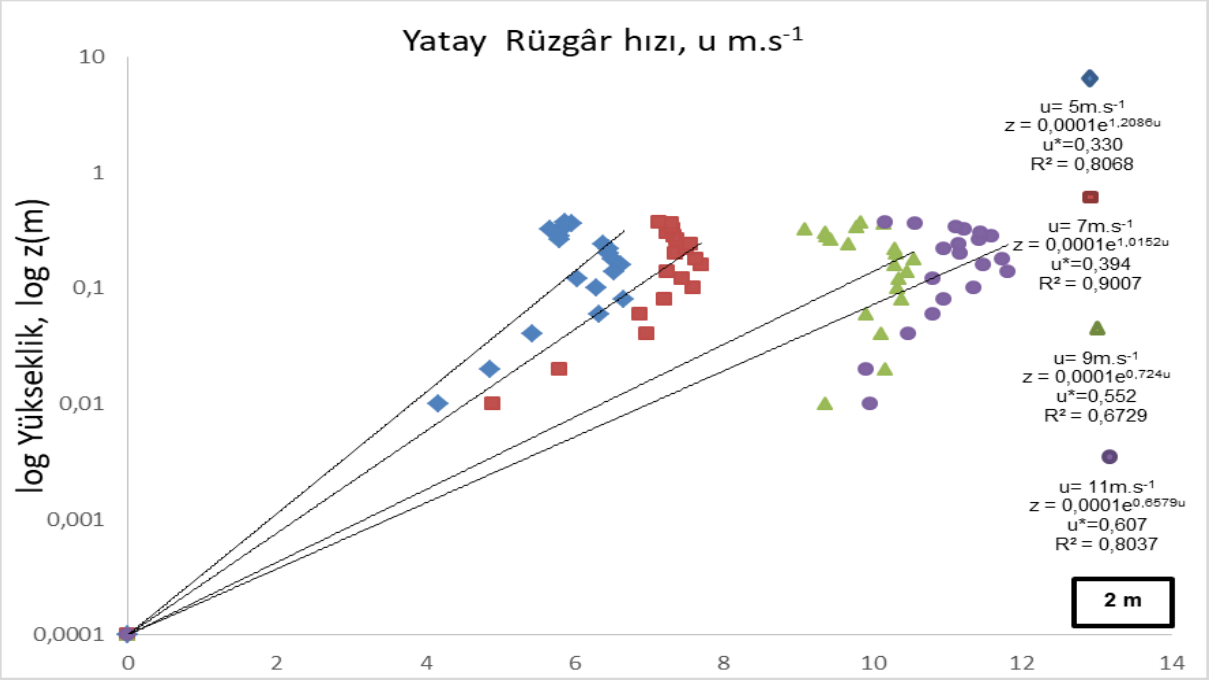
Aerodinamik pürüzlülük yüksekliği, yüzeye yakın rüzgâr hızının sıfıra düştüğü ve yüzeyin özelliklerine bağlı olduğu teorik yüksekliği ifade eder. Çok sayıda çalışma, z_0'ın pürüzlülük elemanlarının yüksekliğinin 1/30'una eşit olduğunu göstermiştir. Vejetatif yüzeylerdeki bitki örtüsü rüzgârla hareket edebileceği için z_0 rüzgâr hızıyla değişebilir. Aslında, aerodinamik pürüzlülük, yüzeyin momentumu absorbe etme kapasitesinin bir temsilidir ve ayrıca rüzgâr erozyonu çalışmalarında önemli bir birimdir (Shao, 2008). Tünel tabanındaki pürüzlülük minimum seviyede tutulmuş, aerodinamik pürüzlülük yüksekliği 0.0001 m olarak alınmıştır (Erpul ve ark., 2004).



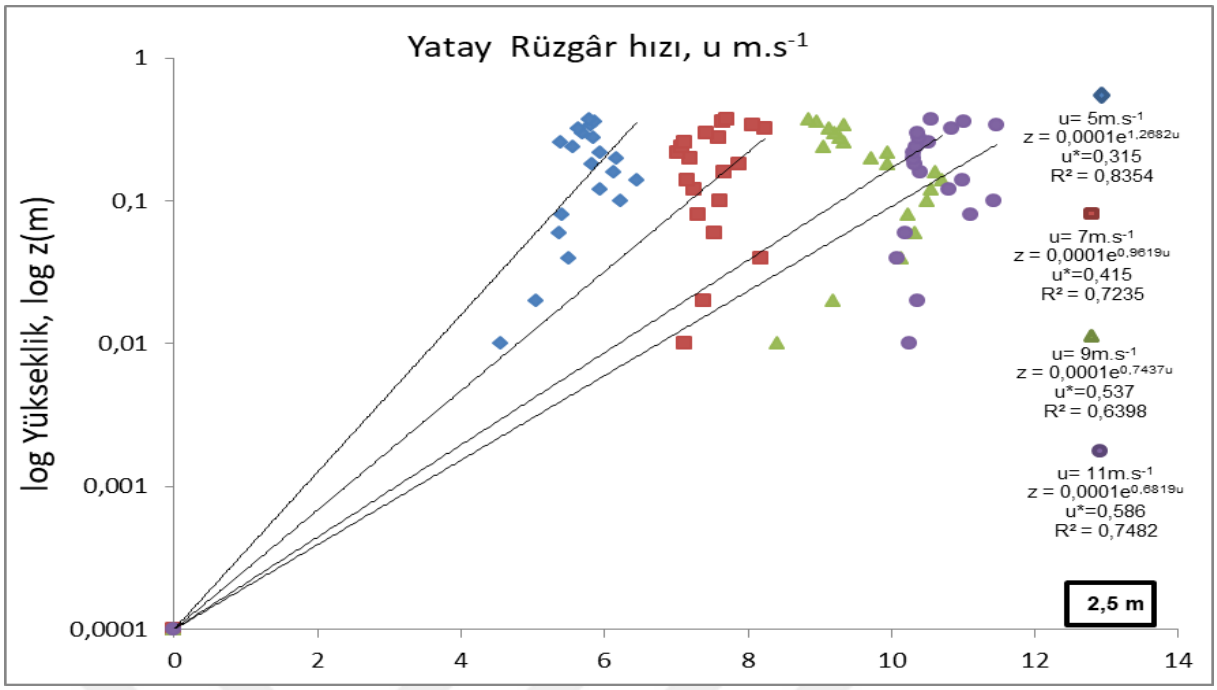
Şekil 4.7. Rüzgâr tünelinde gövde başlangıcına 0.5m uzaklıktaki ölçüm noktasındaki 5, 7, 9 ve 11 m s^{-1} rüzgâr hızlarındaki logaritmik hız profilleri



Şekil 4.8. Rüzgâr tünelinde gövde başlangıcına 1.5m uzaklıktaki ölçüm noktasındaki 5, 7, 9 ve 11 m s^{-1} rüzgâr hızlarındaki logaritmik hız profilleri



Şekil 4.9. Rüzgâr tünelinde gövde başlangıcına 2m uzaklıktaki ölçüm noktasındaki 5, 7, 9 ve 11 m s^{-1} rüzgâr hızlarındaki logaritmik hız profilleri



Şekil 4.10. Rüzgâr tünelinde gövde başlangıcına 2.5m uzaklıktaki ölçüm noktasındaki 5, 7, 9 ve 11 m s^{-1} rüzgâr hızlarındaki logaritmik hız profilleri

Tünelin test bölümü boyunca oluşturulan statik basınç nedeniyle, tünel girişinden uzaklaştıkça kesme hızlarında (u*) az da olsa düşüşler gözlenmiştir ve ilgili kesme hızları Tablo 4.3'de verilmiştir. 5, 7, 9 ve 11 m s^{-1} referans rüzgâr hızlarındaki u* değerleri sırasıyla 0.5 m ölçüm mesafesi için 0.313, 0.397, 0.569 ve 0.656 m s^{-1}; 1.5 m ölçüm mesafesi için 0.329, 0.390, 0.539 ve 0.615 m s^{-1}; 2 m ölçüm mesafesi için 0.330, 0.394, 0.552 ve 0.607 m s^{-1} ve 2.5 m ölçüm mesafesi için de 0.315, 0.415, 0.537 ve 0.586 m s^{-1} olarak ölçülmüştür. Her ölçüm noktasında u* değerleri artan rüzgâr hızlarıyla birlikte artış göstermiştir.

Rüzgâr profilinin ideal logaritmik koşullara yaklaştığı ve bu nedenle kayma hızlarındaki farklılıkların tatmin edici derecede düşük olduğu ve böylece sınır katmanındaki dalgalanmaların ve parçacıkların serbest değiş tokuşuna izin verildiği görülebilir. Artan rüzgâr hızı ile kayma hızları buna göre artar (Maurer ve ark., 2006). Elde edilen sonuçlar literatürdeki rüzgâr tüneli kalibrasyonundan elde edilen sonuçlarla paralellik göstermektedir.

Tablo 4.2. Rüzgâr tünelinde gövde başlangıcına 0.5-1.5-2- 2.5m uzaklıklarlarındaki 5, 7, 9 ve 11 m s^{-1} rüzgâr hızlarında elde edilen u* değerleri (m s^{-1})

U (m s^{-1})	**u^* (m s^{-1})**			
	0.5m	**1.5m**	**2m**	**2.5m**
5	0.313 ± 0.01*	0.329 ± 0.02	0.330 ± 0.01	0.315 ± 0.01
7	0.397 ± 0.01	0.390 ± 0.01	0.394 ± 0.03	0.415 ± 0.02
9	0.569 ± 0.01	0.539 ± 0.00	0.552 ± 0.00	0.537 ± 0.00
11	0.656 ± 0.00	0.615 ± 0.02	0.607 ± 0.01	0.586 ± 0.03

*: Standard sapma

Tünel gövde başlangıcından farklı mesafelerde elde edilen kesme hızları için hesaplanan Reynolds (Re) ve Froude (Fr) sayıları Tablo 4.3'de verilmiştir. Bazı ölçüm noktaları ve rüzgâr hızları için Reynolds sayısı 200.000'den büyük çıkmıştır. Bagnold, (1973)'e göre, Reynolds sayısının >1400'den büyük olması türbülanslı akışları göstermektedir (Bagnold, 1973). Froude sayısı da rüzgâr tünelindeki hava akış özelliklerini tanımlayan başka bir katsayı olup bu ve bunun gibi birçok çalışmada bu belirleyiciliği nedeniyle kullanılmaktadır (Owen, 1985; White ve Mounla, 1991). Fister ve ark., (2012) tarafından küçük bir portatif rüzgâr tüneli ve yapay yağış simülatörü geliştirmiş ve Reynolds sayısı 145706 olarak hesaplanmıştır. Yapılan bu çalışmada akışın türbülanslı olduğunun göstergesi olan Reynold ve Froude sayıları birçok ölçüm noktaları ve rüzgâr hızları için ayrı ayrı hesaplanmış olup referans değerlerinin oldukça üstünde olduğu belirlenmiştir. En düşük reynold sayısı 8495.71 değeri ile 0.5 m'de 5 m s^{-1}'de elde edilmişken, en yüksek reynold sayısı 2.5m'de 5 m s^{-1}'de elde edilmiştir. Froude sayıları ise en düşük 0.03 ile 0.5 m 5 m s^{-1}'de hesaplanmış olup en yüksek de 0.12değeri ile 5 m s^{-1}'de 2.5 m'de ölçülmüştür. İstenilenin aksine yüksek çıkan bu değerler literatürde yer alan birçok rüzgâr tüneli çalışmalarının sonuçları ile paralellik göstermektedir.

Tüneldeki mevcut değerler hava akışının türbülanslı olduğunu göstermiştir. Gabriels ve ark., (1997), akış karakteristiklerini belirlemiş ve türbülanslı bir rüzgâr tünelindeki hava akışını göstermiştir. Çalışma ortamında türbülansın olmaması çıkacak sonuçların doğruluğunu pozitif anlamda etkiliyor olsa da doğada mevcut olan doğal akış için kısmen de olsa türbülans istenilmektedir.

Tablo 4.3. Rüzgâr tünelinde gövde başlangıcına 0.5- 1.5- 2 ve 2.5 m mesafedeki ölçüm noktalarında 5, 7, 9 ve 11 m s^{-1} rüzgâr hızları için Reynold ve Froude sayıları

Mesafe (m)	U (m s^{-1})	Re	Fr
0.5m	**5**	8495.71	0.03
	7	9059.42	0.03
	9	9220.59	0.03
	11	8932.84	0.03
1.5m	**5**	10492.14	0.04
	7	10456.52	0.04
	9	10719.12	0.04
	11	11458.96	0.05
2m	**5**	15444.54	0.09
	7	14842.03	0.08
	9	15423.53	0.08
	11	15228.36	0.08
2.5m	**5**	17805.71	0.12
	7	16934.78	0.10
	9	16960.29	0.10
	11	16617.91	0.09

Rüzgâr hız ölçümleri için jeoistatistik analizler;

Rüzgâr tünelinde 0.5, 1.5, 2 ve 2.5 m ölçüm mesafelerinde 5-7-9 ve 11m s^{-1} rüzgâr hızları için konumsal ve anlık rüzgâr hızlarının dağılımlarını belirlemek için jeoistatistik yöntemler kullanılmıştır.

Variogram modellerinin seçiminde ise çapraz doğrulama yöntemi kullanılmıştır. Rüzgâr erozyonu ölçümleri için variogram modelleri, Şekil 4.11 - 4.26'da ve semivariogram parametreleri ise Tablo 4.4 'te verilmiştir.

Çapraz doğrulama işlemi: mevcut modeller içerisinden en yüksek r^2 ve/veya en düşük kareler toplamını veren model en uygun model olarak seçilmiştir. Daha sonra belirlenen variogram modelleri ile "Kriging" yöntemi kullanılarak inceleme alanı içerisinde bir tahmin yapılmıştır (Turgut ve Öztaş, 2012). Variogramlar'dan elde edilen sonuçlara göre 0.5 m ölçüm mesafesinde belirlenen variogram modeli bütün referans hız değerleri için Gaussian'dır, bu durum 1.5 m ölçüm mesafesinde 5 m s^{-1} için Spherical, 7 m s^{-1}için Exponantial ve diğer referans hızları için ise Gaussian olarak belirlenmiştir. 2 m ölçüm mesafesinde ise 5 ve 9 m s^{-1} referans hızları için Gaussian, 7 m s^{-1} referans hızı için Exponantial ve 11 m s^{-1} referans hızı için de Spherical olarak belirlenmiştir. 2.5 m ölçüm mesafesinde ise 5 m s^{-1} referans hız değeri için Spherical, 7 ve 9 m s^{-1} referans hız değerleri için Gaussian ve son olarak 11 m s^{-1} referans hız değeri için de çapraz doğrulama sonucunda variogram modeli Exponantial olarak belirlenmiştir.

Farklı rüzgâr hızlarında ve mesafelerinde farklı külçe etkileri gözlenmiştir. Hız ölçerlerin oldukça hassas olmalarından dolayı, belirlenen külçe etkilerinin rüzgâr tünelinde açığa çıkan yüksek türbülans ve aksiyal fanlar tarafından üretilen siklon tipi rüzgâr akışının sonucu olarak ortaya çıktığı düşünülmektedir. En düşük külçe etkileri 5 m s^{-1} için 2.5 m'de, 7 m s^{-1} için 1.5 ve 2 m'de, 9 m s^{-1} için 0.5-1.5-2 m'de ve 11 m s^{-1} için 2.5 m mesafelerdeki rüzgâr hızlarında ölçülmüştür (C_0=0.01). En büyük külçe etkisi ise 1.5 m mesafesinde 5 m s^{-1}'de ve 2.5 m mesafesinde 7 m s^{-1} rüzgâr hızında gözlenmiştir (C_0=0.024).

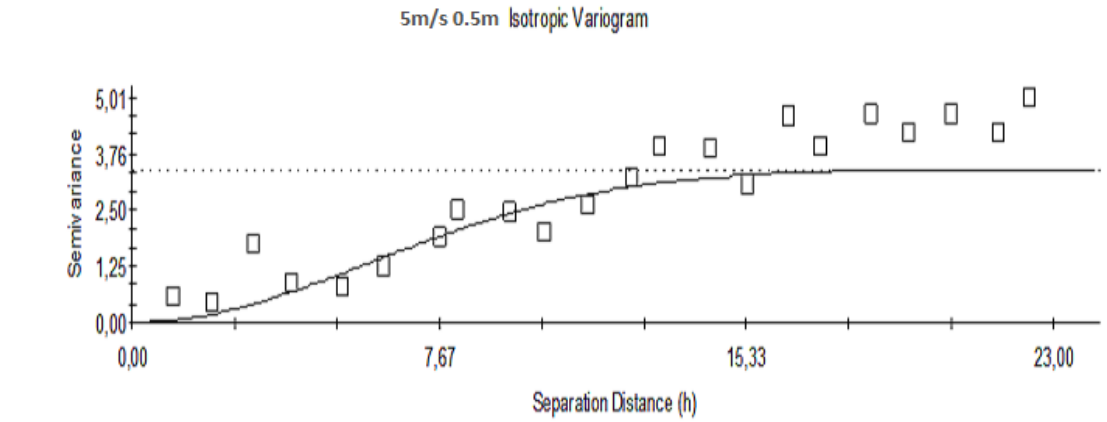
Çalışma da C_0+C değerlerini inceleyecek olursak; eşik değerlerinin varyans değerlerine eşit olduğunu görebiliriz.

Nugget (Co)/Sill (Co+C) oranı mekansal bağımlılığı vermekte olup (Li ve Reynolds, 1995) C0/ (Co+C) değeri %25'in altında ise yüksek, %25-75 değerleri arasında ise orta ve %75'in üzerinde olması durumunda ise zayıf mekansal bağımlılığın varlığından bahsedilebilir (Chen ve ark., 2007); (Cambardella ve ark., 1994). En düşük 7 m s^{-1} için 0.5 ve 1.5 m mesafelerde ölçülmüştür (C_0/(C_0 +C)=0.33). En büyük ise 2.5 m mesafesinde 7 m s^{-1} rüzgâr hızında gözlenmiştir (C_0/(C_0 +C)=2.37).

Variogram, her bir h değeri ile birbirinden ayrılan örnek çiftlerinin varyansı ile mesafe arasındaki ilişkiyi grafiksel olarak ifade etmekte ve mekânsal bağımlılığı tanımladığı bilinmektedir (Journel and Huijbregts, 1978; Ongun, 2008; Warrick et al. 1986; Buchter et al.1991). Elde edilen h değerlerine bakıldığında ise en düşük 11 m s^{-1} için 1.5 m mesafesinde ölçülmüştür (h=10.74). En büyük ise 2.5 m mesafesinde 11 m s^{-1} rüzgâr hızında gözlenmiştir (h=18.79).

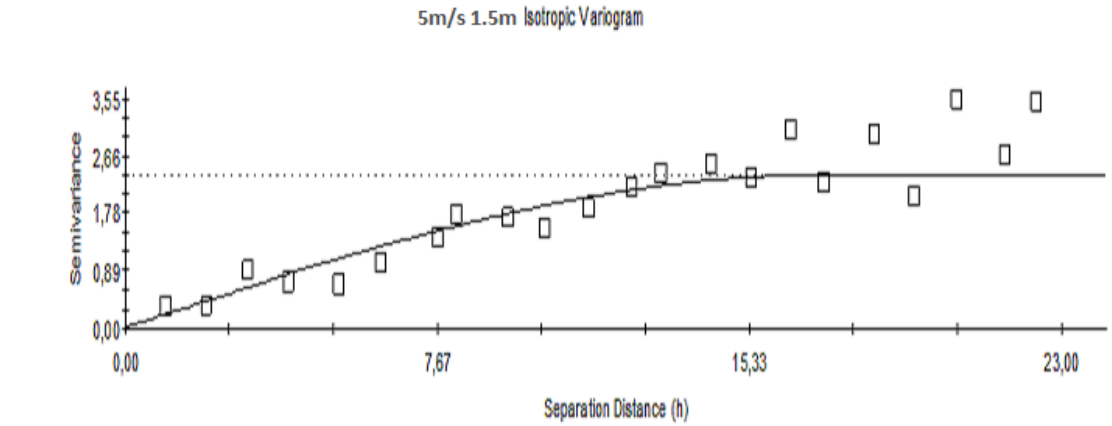
Tablo 4.4. Rüzgâr tünelinde gövde başlangıcına 0.5, 1.5, 2 ve 2.5m uzaklıktaki ölçüm noktalarında 5, 7, 9 ve 11 m s^{-1} rüzgâr hızları için Variogram parametreleri

Mesafe (m)	U (m $s^{-1)}$	Model	Külçe Etkisi (Co)	Eşik (Co+C)	Co/(Co+C) (%)	h (Cm)
0.5m	**5**	Gaussian	0.018	3.41	0.53	14.60
	7	Gaussian	0.019	5.47	0.33	14.52
	9	Gaussian	0.013	2.97	0.48	15.77
	11	Gaussian	0.016	3.27	0.49	11.04
1.5m	**5**	Spherical	0.017	2.37	0.72	15.02
	7	Exponansiyel	0.016	2.49	0.64	17.78
	9	Gaussian	0.012	3.51	0.34	13.87
	11	Gaussian	0.010	1.22	0.82	10.74
2m	**5**	Gaussian	0.019	1.79	1.06	12.44
	7	Exponansiyel	0.013	1.93	0.62	18.40
	9	Gaussian	0.012	1.77	0.67	16.04
	11	Spherical	0.012	1.66	0.72	13.62
2.5m	**5**	Spherical	0.014	1.94	0.72	14.50
	7	Gaussian	0.024	1.01	2.37	11.69
	9	Gaussian	0.017	2.42	0.70	14.55
	11	Exponantial	0.008	0.82	0.97	18.79



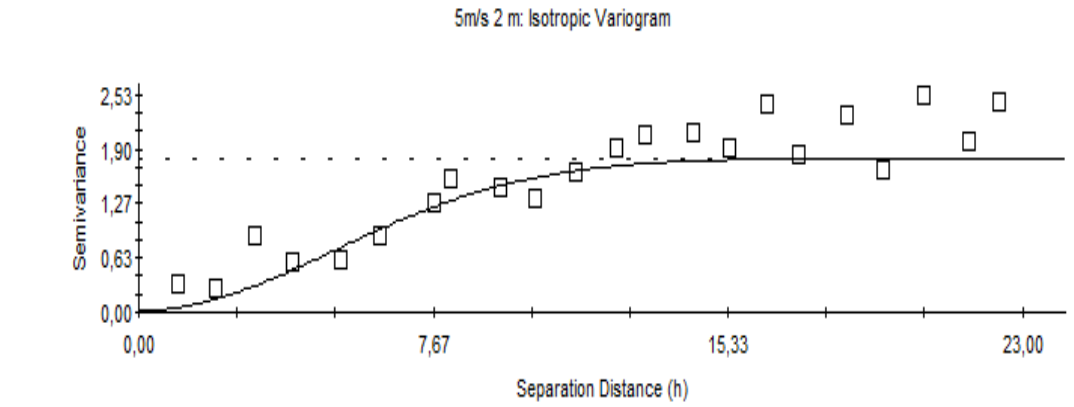
Gaussian model (Co = 0,01800; Co + C = 3,41000; Ao = 8,43; r2 = 0,833;
RSS = 13,4)

Şekil 4.11. Rüzgâr tünelinde gövde başlangıcına 0.5 m uzaklıkta 5 m s^{-1} rüzgâr hızı için variogram modeli



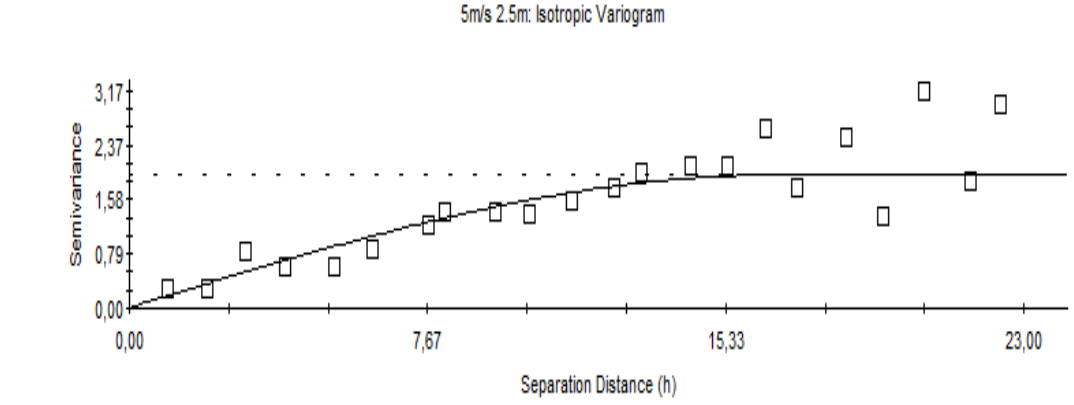
Spherical model (Co = 0,01700; Co + C = 2,37000; Ao = 17,00; r2 = 0,820;
RSS = 4,53)

Şekil 4.12. Rüzgâr tünelinde gövde başlangıcına 1.5 m uzaklıkta 5 m s^{-1} rüzgâr hızı için variogram modeli



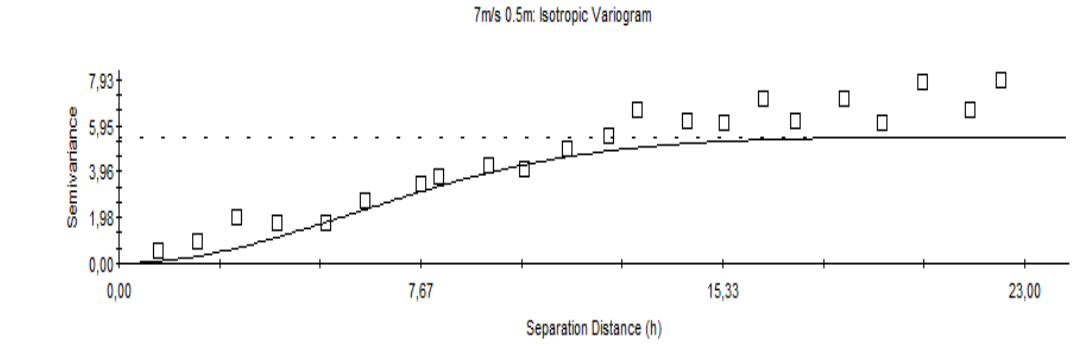
Gaussian model (Co = 0,01900; Co + C = 1,79600; Ao = 7,18; r2 = 0,842;
RSS = 2,58)

Şekil 4.13. Rüzgâr tünelinde gövde başlangıcına 2 m uzaklıkta 5 m s^{-1} rüzgâr hızı için variogram modeli



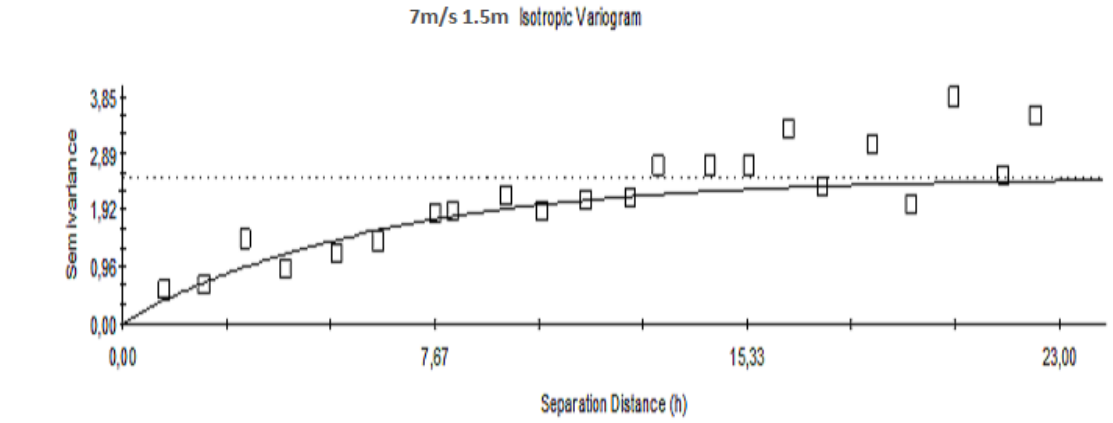
Spherical model (Co = 0,01410; Co + C = 1,94300; Ao = 16,55; r2 = 0,740;
RSS = 4,04)

Şekil 4.14. Rüzgâr tünelinde gövde başlangıcına 2.5 m uzaklıkta 5 m s^{-1} rüzgâr hızı için variogram modeli.



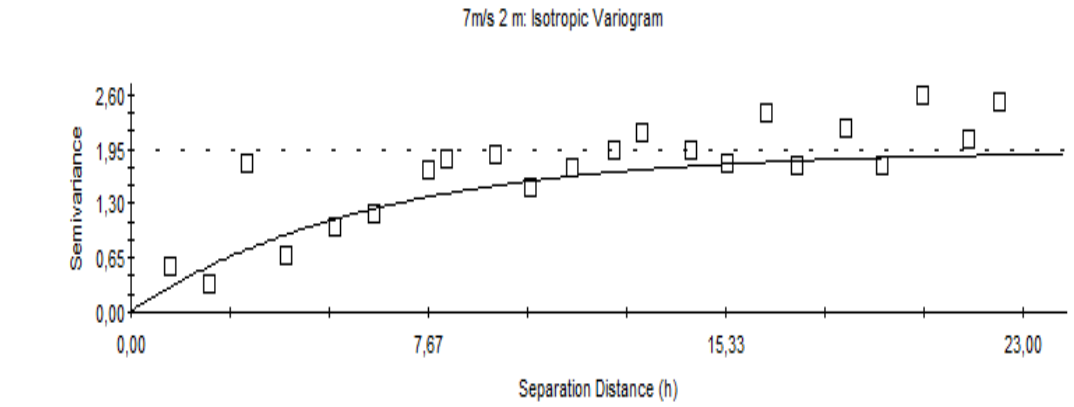
Gaussian model (Co = 0,01870; Co + C = 5,47000; Ao = 8,38; r2 = 0,921; RSS = 28,8)

Şekil 4.15. Rüzgâr tünelinde gövde başlangıcına 0.5 m uzaklıkta 7 m s^{-1} rüzgâr hızı için variogram modeli



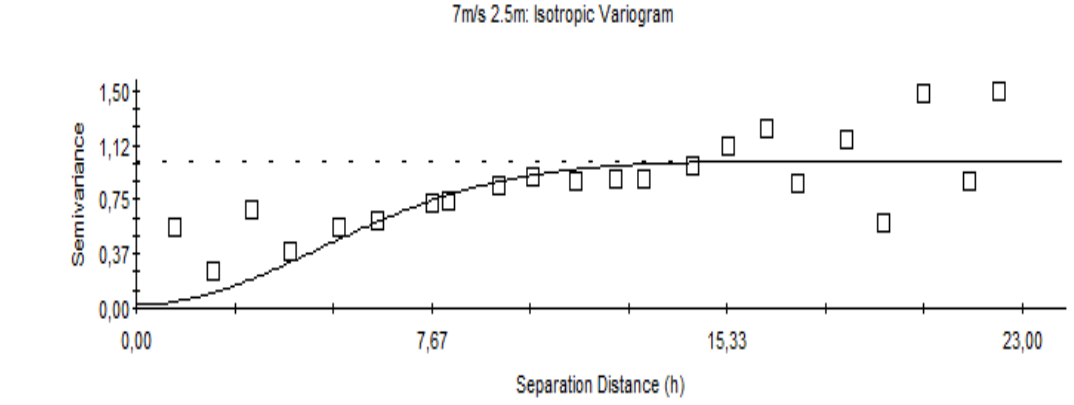
Exponential model (Co = 0,01600; Co + C = 2,49210; Ao = 6,26; r2 = 0,756; RSS = 5,98)

Şekil 4.16. Rüzgâr tünelinde gövde başlangıcına 1.5 m uzaklıkta 7 m s^{-1} rüzgâr hızı için variogram modeli



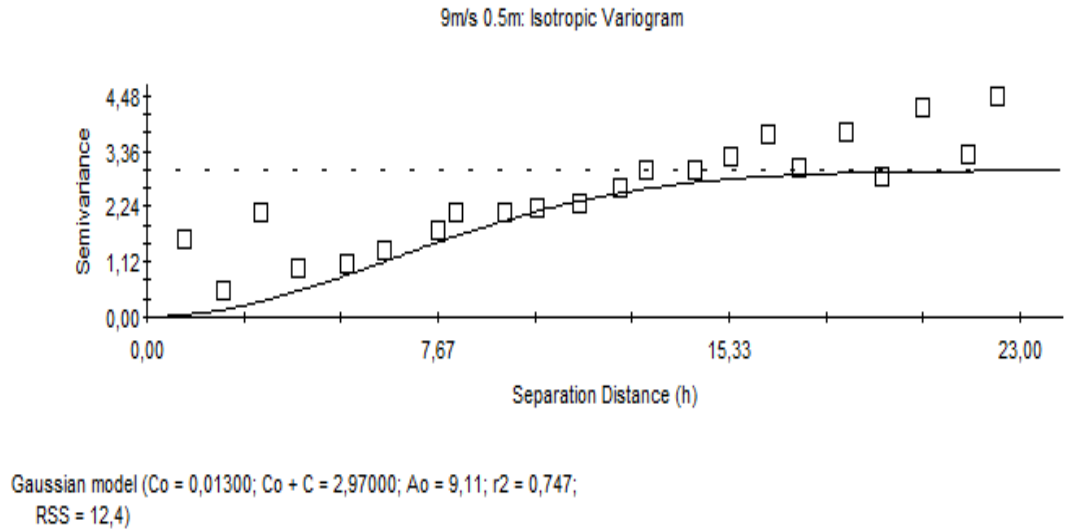
Exponential model (Co = 0,01290; Co + C = 1,93000; Ao = 6,13; r2 = 0,712;
RSS = 3,45)

Şekil 4.17. Rüzgâr tünelinde gövde başlangıcına 2 m uzaklıkta 7 m s^{-1} rüzgâr hızı için variogram modeli

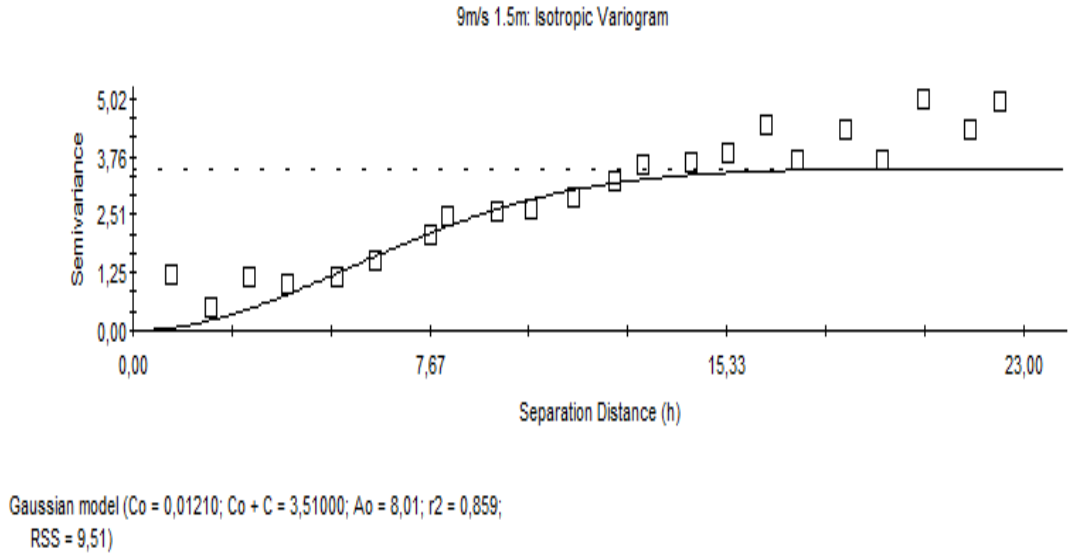


Gaussian model (Co = 0,02446; Co + C = 1,01700; Ao = 6,75; r2 = 0,529;
RSS = 1,32)

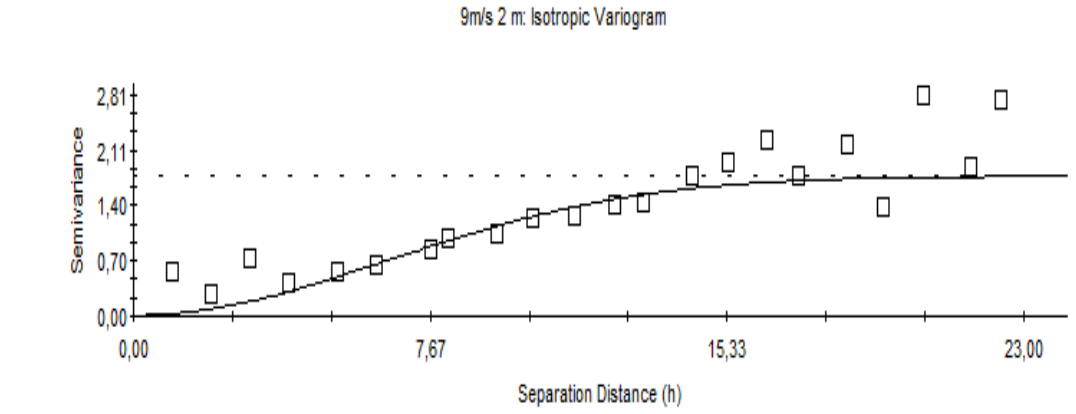
Şekil 4.18. Rüzgâr tünelinde gövde başlangıcına 2.5 m uzaklıkta 7 m s^{-1} rüzgâr hızı için variogram modeli



Şekil 4.19. Rüzgâr tünelinde gövde başlangıcına 0.5 m uzaklıkta 9 m s^{-1} rüzgâr hızı için variogram modeli

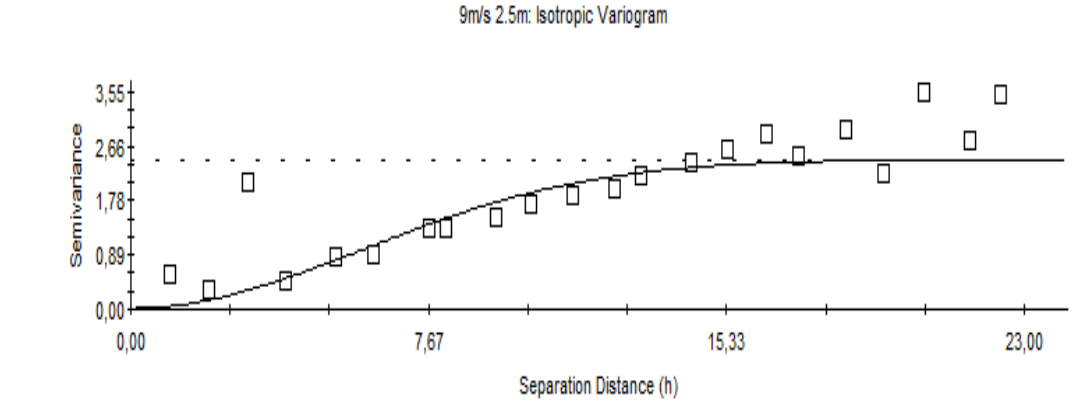


Şekil 4.20. Rüzgâr tünelinde gövde başlangıcına 1.5 m uzaklıkta 9 m s^{-1} rüzgâr hızı için variogram modeli



Gaussian model (Co = 0,01210; Co + C = 1,77900; Ao = 9,26; r2 = 0,767;
RSS = 3,46)

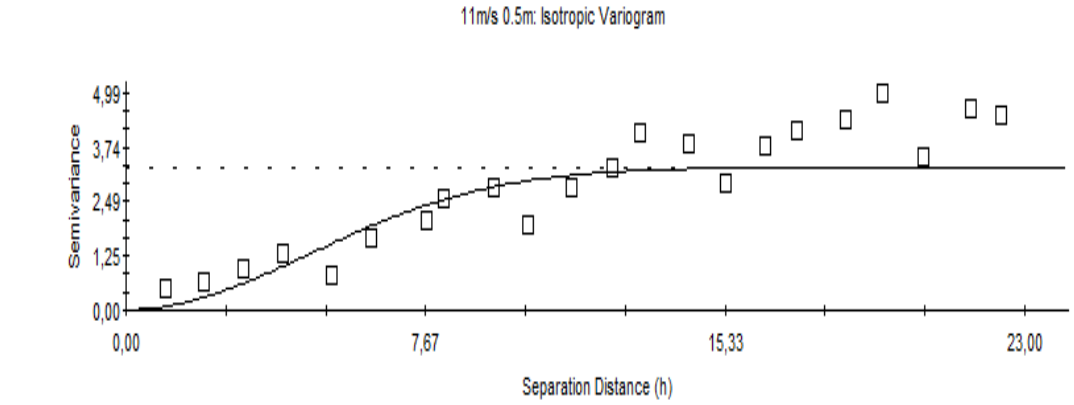
Şekil 4.21. Rüzgâr tünelinde gövde başlangıcına 2 m uzaklıkta 9 m s^{-1} rüzgâr hızı için variogram modeli



Gaussian model (Co = 0,01703; Co + C = 2,44600; Ao = 8,40; r2 = 0,699;
RSS = 6,83)

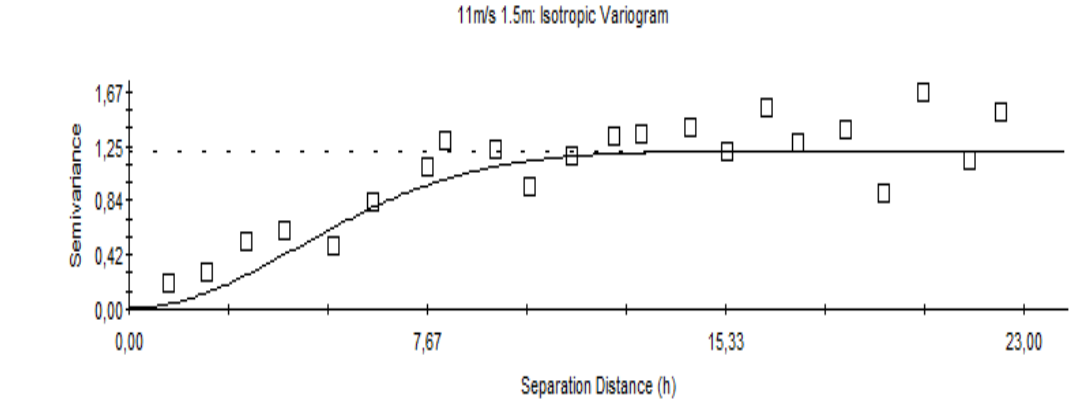
Şekil 4.22. Rüzgâr tünelinde gövde başlangıcına 2.5 m uzaklıkta 9 m s^{-1} rüzgâr hızı için variogram modeli

.



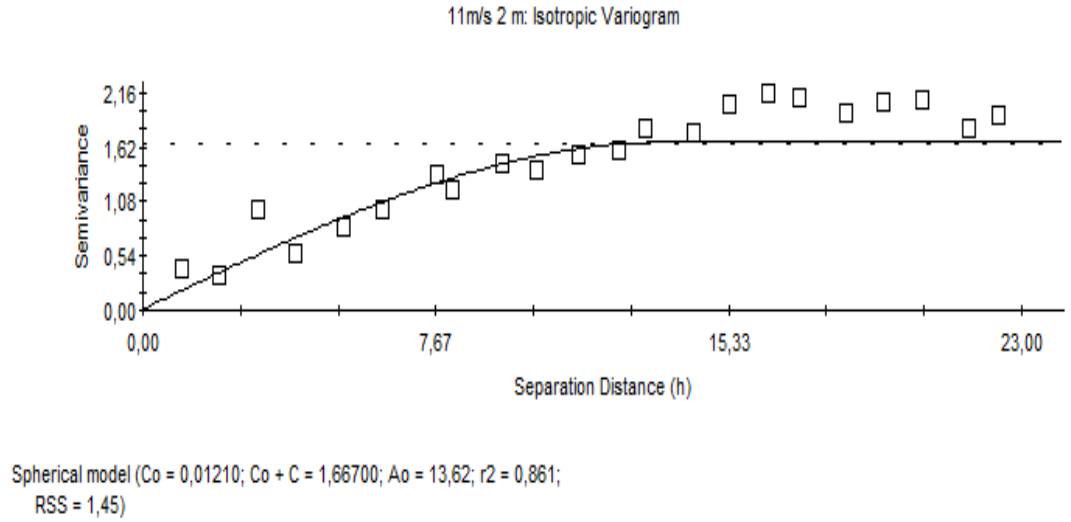
Gaussian model (Co = 0,01630; Co + C = 3,27900; Ao = 6,65; r2 = 0,776;
RSS = 12,0)

Şekil 4.23. Rüzgâr tünelinde gövde başlangıcına 0.5 m uzaklıkta 11 m s^{-1} rüzgâr hızı için variogram modeli

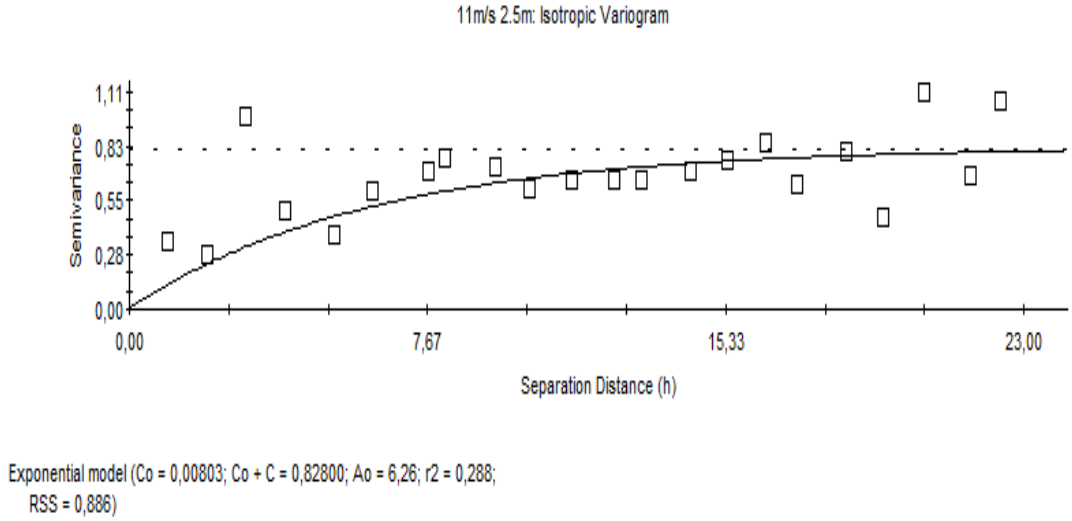


Gaussian model (Co = 0,01040; Co + C = 1,22000; Ao = 6,20; r2 = 0,812;
RSS = 0,961)

Şekil 4.24. Rüzgâr tünelinde gövde başlangıcına 1.5 m uzaklıkta 11 m s^{-1} rüzgâr hızı için variogram modeli



Şekil 4.25. Rüzgâr tünelinde gövde başlangıcına 2 m uzaklıkta 11 m s^{-1} rüzgâr hızı için variogram modeli

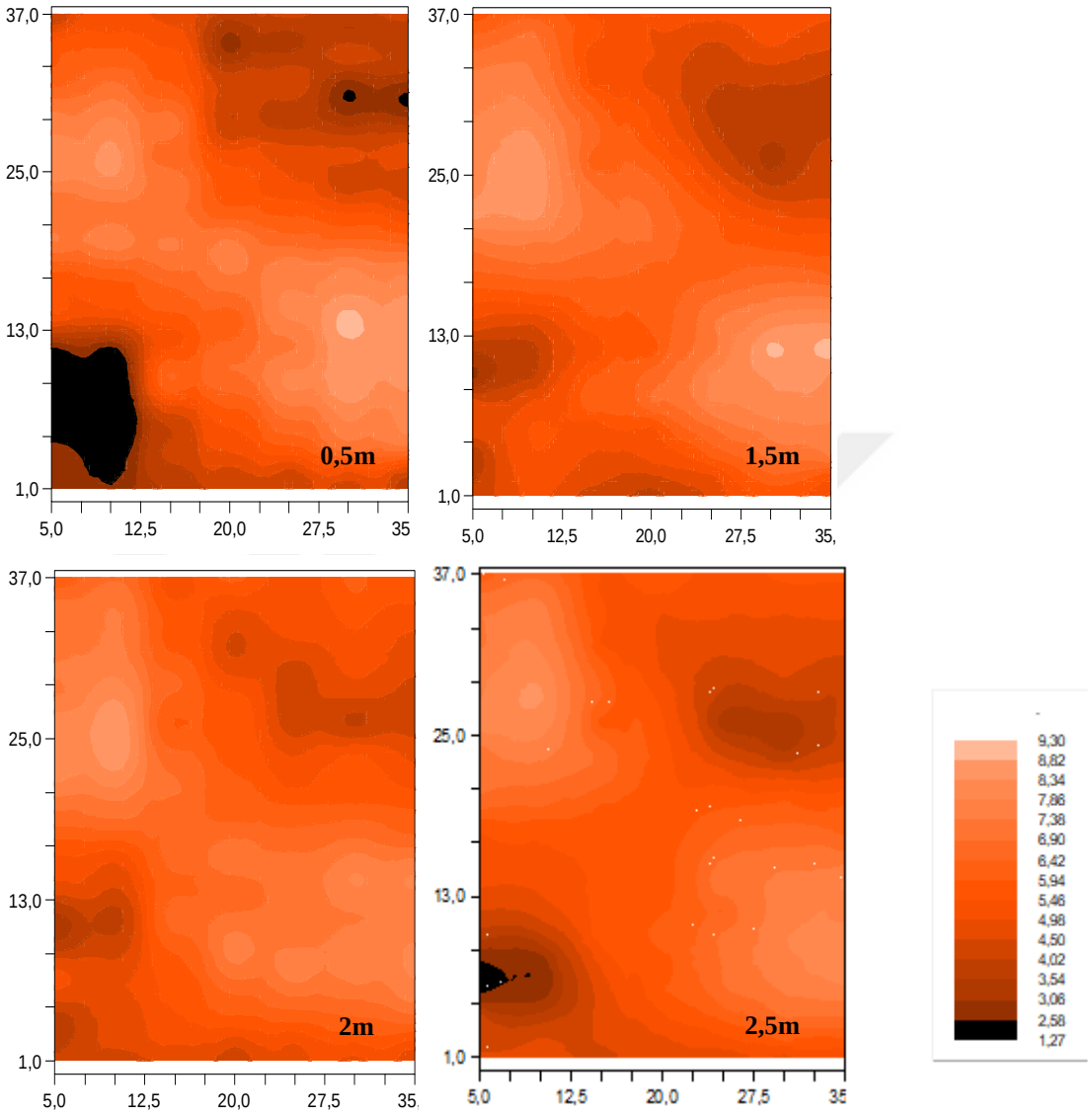


Şekil 4.26. Rüzgâr tünelinde gövde başlangıcına 2.5m uzaklıkta 11 m s^{-1} rüzgâr hızı için variogram modeli

Tünel içerisindeki rüzgâr dağılım modellerini görebilmek için variogram modelleri ile 0.5-1.5-2 ve 2.5 m ölçüm mesafelerinde, 4 farklı rüzgâr hızı için hesaplanan parametreler kullanılarak kriging haritaları oluşturulmuştur. GS^{+5} jeoistatistik yazılımı yardımıyla konumsal analizler yapılmıştır (Şekil 4.27 - 4.30).

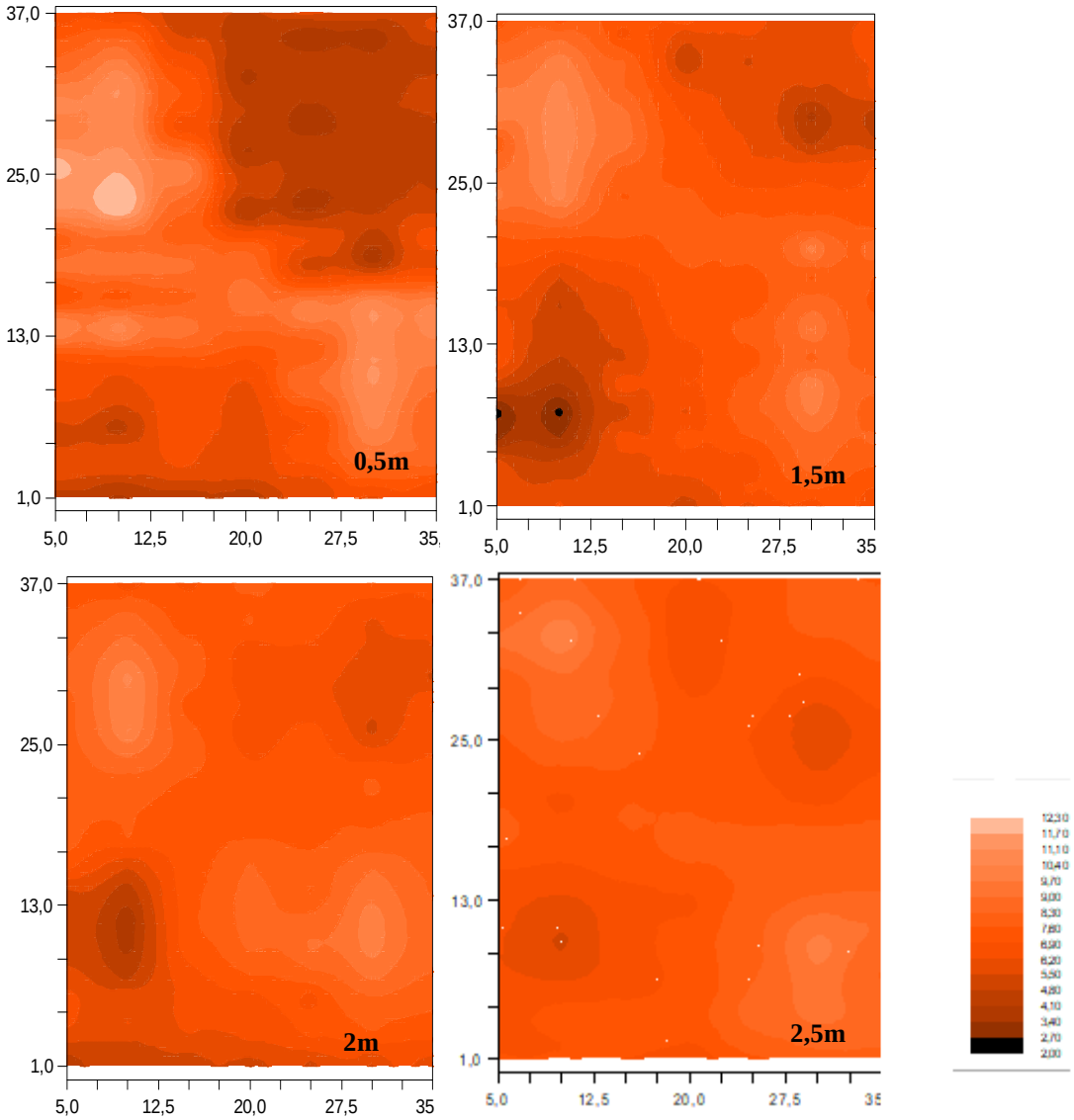
Çalışmada 0.5 m ölçüm noktasının 5, 7, 9 ve 11 m s^{-1} referans rüzgâr hızları için oluşturulan Kriging haritaları göz önüne alındığında, rüzgâr hızına bağlı mekânsal kalıplarda önemli farklılıklar gözlenmemiştir. Maksimum ve minimum rüzgâr hızlarında, dağılım desenleri tünelin girişinden çıkışına doğru değişmiştir. Kriking

haritalarının mesafeye göre değişimini incelendiğinde türbülanslı akış net bir şekilde gözlemlenebilir.



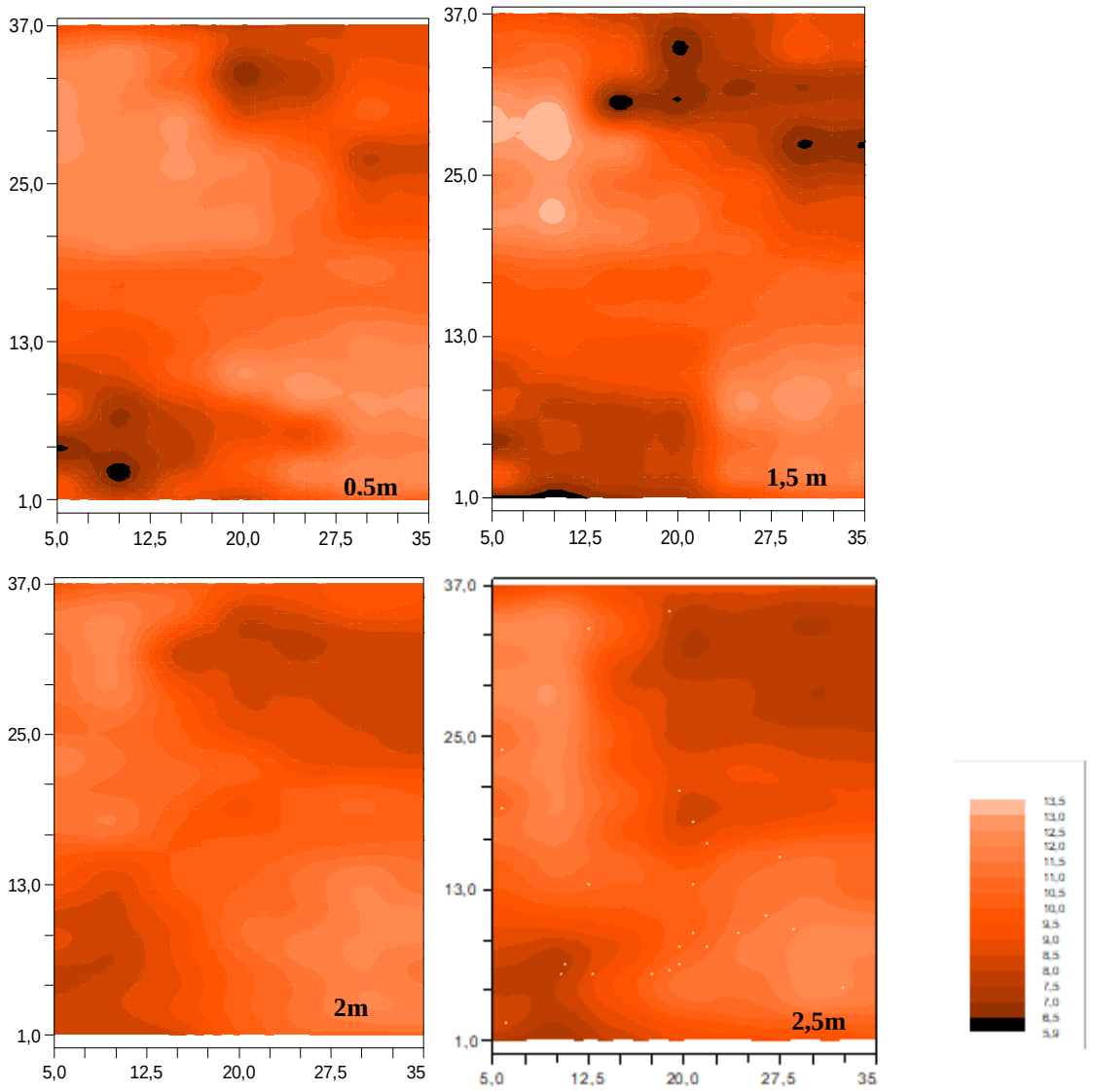
Şekil 4.27. Rüzgâr tünelinde gövde başlangıcına 0.5, 1.5, 2 ve 2.5 m uzaklıktaki ölçüm noktalarının 5 m s^{-1} hız için konumsal rüzgâr dağılım desenleri

Çalışmada 1.5 m ölçüm noktasının 5, 7, 9 ve 11 m s^{-1} referans rüzgâr hızları için oluşturulan Kriging haritaları göz önüne alındığında, rüzgâr hızına bağlı mekânsal kalıplarda önemli farklılıklar gözlenmemiştir. Maksimum ve minimum rüzgâr hızlarında, dağılım desenleri tünelin girişinden çıkışına doğru değişmiştir. Kriking haritalarının mesafeye göre değişimi incelendiğinde akışın 5 m s^{-1} dekine benzer şekilde türbülanslı olduğu buna karşın mekânsal kalıplarda kısmen de olsa azalmalar olduğu görülmektedir.



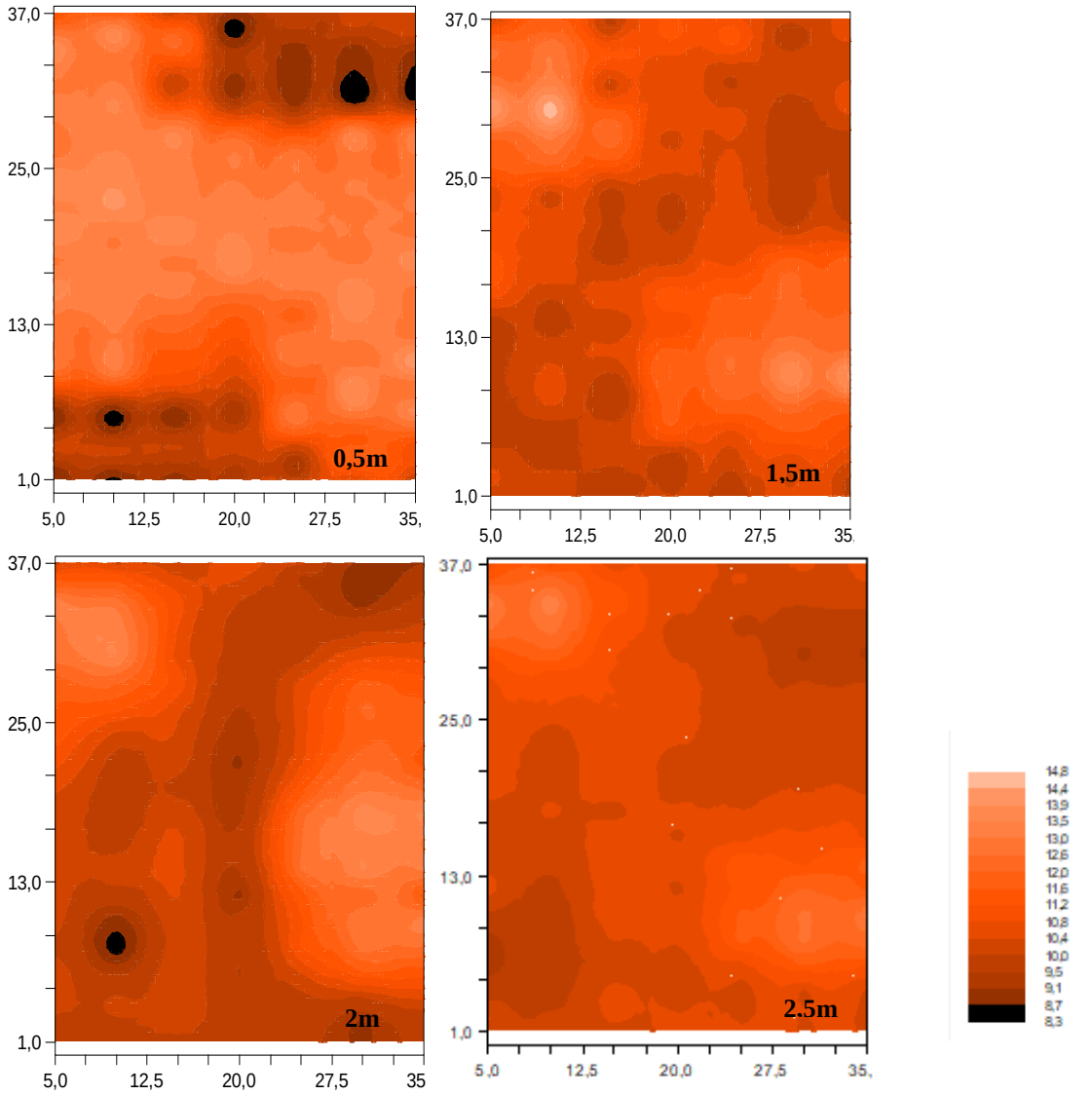
Şekil 4.28. Rüzgâr tünelinde gövde başlangıcına 0.5, 1.5, 2 ve 2.5 m uzaklıktaki ölçüm noktalarının 7 m s^{-1} hız için konumsal rüzgâr dağılım desenleri

Çalışmada 2 m ölçüm noktasının 5, 7, 9 ve 11 m s^{-1} referans rüzgâr hızları için oluşturulan Kriging haritaları göz önüne alındığında, rüzgâr hızına bağlı mekânsal kalıplarda önemli farklılıklar gözlenmemiştir. Maksimum ve minimum rüzgâr hızlarında, dağılım desenleri tünelin girişinden çıkışına doğru değişmiştir. Kriking haritalarının mesafeye göre değişimi incelendiğinde akışın 5 ve 7 m s^{-1} dekine benzer şekilde türbülanslı olduğu görülmektedir.



Şekil 4.29. Rüzgâr tünelinde gövde başlangıcına 0.5, 1.5, 2 ve 2.5 m uzaklıktaki ölçüm noktalarının 9 m s^{-1} hız için konumsal rüzgâr dağılım desenleri

Çalışmada 2.5 m ölçüm noktasının 5, 7, 9 ve 11 m s^{-1} referans rüzgâr hızları için oluşturulan Kriging haritaları göz önüne alındığında, rüzgâr hızına bağlı mekânsal kalıplarda kısmen de olsa farklılıklar gözlenmiştir. Maksimum ve minimum rüzgâr hızlarında, dağılım desenleri tünelin girişinden çıkışına doğru değişmiştir. Kriking haritalarının mesafeye göre değişimi incelendiğinde akışın 5-7-9 m s^{-1} dekine benzer şekilde türbülanslı olduğu görülmektedir.



Şekil 4.30. Rüzgâr tünelinde gövde başlangıcına 0.5, 1.5, 2 ve 2.5 m uzaklıktaki ölçüm noktalarının 11 ms^{-1} hız için konumsal rüzgâr dağılım desenleri

4.3 Çalışmada kullanılan toprakların bazı özellikleri

Sarıcalar ve Karapınar'dan, 0-30 cm derinlikten alınan toprak örneklerinin bazı fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları Tablo 4.5-4.6' da verilmiştir.

Yapılan fiziksel analizlere göre; Sarıcalar toprak örneğinin tekstür sınıfı siltli killi tın (SiCL), Karapınar toprak örneğinin tekstür sınıfı ise kumlu tın (SL) olarak hesaplanmış olup, sırasıyla kil silt ve kum oranları; %38.32 - %14.24; %41.76 - 13.71 ve %19.90 - 72.08 olarak bulunmuştur. Sırasıyla; hacim ağırlığı değerleri 1.04 g cm^{-3} ve 1.38 g cm^{-3}, zerre yoğunluğu değerleri 2.42 g cm^{-3} ve 2.69 g cm^{-3} ve porozite değerleri ise %57 ve %49 olarak belirlenmiştir. Toprak örneklerinin agregat stabilitesi değerleri ise yine sırasıyla; %14.50 ve %39.76 olarak ölçülmüştür. Tarla kapasitesi, solma noktası

ve faydalı su içerikleri değerleri, tekstürleri ile uyumlu olarak sırasıyla; 0.27 g g^{-1}-0.10 g g^{-1}, 0.16-0.07 g g^{-1} ve 0.11-0.03 g g^{-1} bulunmuştur (Tablo 4.5).

Sarıcalar ve Karapınar toprak örneklerinin kimyasal analiz sonuçlarına göre pH, EC, kireç, organik madde toplam azot ve yarayışlı fosfor içerikleri sırasıyla; 7.93 - 8.26, 236 µS cm^{-1} - 403 µS cm^{-1}, %20.70 - %78.47, %1.59 - %0.60, 8.07 mg kg^{-1} - 4.03 mg kg^{-1} ve %0.069 - %0.024 olarak ölçülüştür (Tablo 4.6).

Sarıcalar toprağının kum içeriğinin düşük olmasına karşın agregat stabilitesinin çok düşük olması ve düşük organik madde kapsamı dikkate alındığında rüzgâr erozyonunun, potansiyel bir hassasiyetinin olacağı anlaşılmaktadır. Diğer taraftan, Karapınar örneği analiz verileri değerlendirildiğinde; yüksek kum kapsamı, düşük organik madde içeriği, düşük su tutma kapasitesi ile rüzgâr erozyonun son derece duyarlı olacağı düşünülmektedir. Karapınar toprak örneğinin, Sarıcalar toprak örneğine göre daha yüksek agregat stabilitesine sahip olmasının, onun erozyona duyarlılığını azaltabileceği yönünde değerlendirilebilir. Ancak Karapınar toprak örneğinin son derece yüksek kum içermesi, agregat stabilitesi hesabının kum değeri düşülerek yapılması dikkate alındığında, Karapınar örneğinde stabil agregatların miktarının son derece sınırlı olacağından, rüzgâr erozyonuna duyarlılığı fazla olacaktır.

Tablo 4.5. Çalışma alanından alınan toprak örneklerinde yapılan bazı fiziksel analizler ve sonuçları

Örnek no	Toprak örnekleri	Tekstür	P_b	P_k	P	AS	TK	S	FSK
			(g cm^{-3})	(g cm^{-3})	(%)	(%)	(g g^{-1})	(g g^{-1})	(g g^{-1})
1	**Sarıcalar**	SiCL	1.04	2.42	0.57	14.5	0.27	0.16	0.11
2	**Karapınar**	SL	1.38	2.69	0.49	39.76	0.10	0.07	0.03

Tablo 4.6. Çalışma alanından alınan toprak örneklerinde yapılan bazı kimyasal analizler ve sonuçları

Örnek no	Toprak örnekleri	pH 1:1	EC (1:1)	Kireç	OM	TN	YP
			(µS/cm)	%	(%)	(%)	mg kg^{-1}
1	**Sarıcalar**	7.93	236	20.70	1.59	0.069	8.07
2	**Karapınar**	8.26	403	78.47	0.6	0.024	4.03

Kuru Eleme Yöntemi ile Toprak Kayıp Miktarlarının Belirlenmesi

Topraklarda 0.84 mm'den küçük yani rüzgâr ile kolaylıkla taşınabilen agregat yüzdesi içerisinde; rüzgâr aşınımına karşı en hassas fraksiyonu, 0.42 mm'den küçük agregatlar oluşturur. Kumlu toprağın neredeyse %83 gibi bir miktarı; 0.84 mm'den küçük agregatlardan oluşmaktadır (Tablo 4.8). Buradan da anlaşıldığı üzere kumlu topraklar rüzgâr erozyonuna karşı oldukça dayanıksız durumdadır.

Tablo 4.7. Topraklardaki kuru agregat dağılımı (> 0.84 mm, %) (NRCS, 2002)

Birlik →	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
Onluk ↓	**Mg ha^{-1}.yıl^{-1}**									
0	-	694	560	493	437	403	381	358	336	314
10	300	293	287	280	271	262	253	244	237	228
20	220	213	206	202	197	193	186	181	177	170
30	166	161	159	155	150	146	141	139	134	130
40	125	121	116	114	112	108	105	101	96	92
50	85	81	74	69	65	60	56	54	52	49
60	47	45	43	40	38	36	36	34	31	29
70	27	25	22	18	16	13	9	7	7	4
80	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tablo 4.8. 0.84 mm'den büyük ve 0.42 mm'den küçük agregatların yüzdeleri, Mekaniksel stabilite, Stabilite indeksi ve tahmin edilen yıllık erozyon miktarı

	>0.84 mm kuru agregatlar (%) (1.eleme)	**<0.42mm kuru agregatlar (%) (1. eleme)**	**Mekaniksel stabilite (%)**	**Stabilite İndeksi**	**Toprak kaybı (ton/ha/yıl)**
SiCL	68.18	26.30	96.19	0.92	06.80
SL	17.44	80.31	63.11	0.89	241.60

Toprakların rüzgâr erozyonuna karşı dayanıklılıklarını gösteren mekanik stabilite yüzdesi ne kadar düşük ise topraklar rüzgâr erozyonuna karşı o kadar dayanıksızdır. Aşınabilirlik ve aşınmaya karşı dayanıklılık olarak nitelendirilen stabilite indeksi; toprakların erozyon durumu bakımından 1.5 değeri ile sınırlandırılmış olup bu değerin altındaki topraklar aşınabilir topraklar sınıfına girmektedir. Tablo 4.8'den görüldüğü üzere stabilite indeksi değerleri 1.5 değerinin altındadır. Bu nedenle aşınabilir toprak sınıfına girmektedir. Ayrıca, 0.84 mm'den büyük olan agregat miktarları kullanılarak USDA (United States Department of Agriculture) ve NRCS (Natural Resources Conservation Service) tarafından hazırlanmış olan toprak duyarlılık indeksi yıllık toprak kayıp miktarlarını belirlemek için kullanılmıştır (Tablo 4.7). Belirlenen yıllık toprak kayıp miktarlarına göre killi toprak örneğinin kumlu toprak örneğine göre rüzgâr erozyonuna karşı daha dirençli olduğu belirlenmiştir. Bunun sebebi kumlu topraklarda, taneler arasındaki bağ kuvvetlerinin son derece zayıf, killi topraklarda ise çok yüksek olmasıdır.

4.4 Toprak Düzenleyici Materyallerin Rüzgâr Erozyonuna Olan Etkinliklerinin Belirlenmesi

4.4.1 Uygulanan Toprak Düzenleyicilerin Toprakların Eşik Sürtünme Hızlarına Etkisi

Eşik sürtünme hızı rüzgâr erozyonu açısından önemli bir parametredir. Çünkü rüzgâr erozyonu olaylarının sıklığı ve yoğunluğunu kontrol etmektedir. Eşik sürtünme hızı toprak partiküllerinin ayrılması için gerekli minimum hız olarak tanımlanmıştır. (Richard ve ark., 1980) tarafından yapılan rüzgâr tüneli testi ile arazi koşullarında tozun yerden yükselmesi için minimum rüzgâr hızları hesaplanmıştır. Eşik hızların toprak tiplerine ve malzeme tiplerine bağlı olarak 5.1 m s^{-1} ile 16.0 m s^{-1} arasında değiştiği belirlenmiştir (Goudie ve Middleton, 2006).

Eşik sürtünme hızını etkileyen faktörler arasında yüzey pürüzlülüğü, aşınabilir birimlerin boyutu, kabuk oluşumu ve siyanobakteriyel-liken toprak kabuklarının var oluşu sıralanabilir. Bu çalışmadaki amaçlardan biri de yüzey pürüzlülüğü, kabuk oluşumu gibi faktörlerden yararlanarak erozyonun başladığı eşik sürtünme hız değerini yükseltmektir. Başka bir deyişle uygulanan rüzgâr hızına karşı toprağın gösterdiği direncin artmasını sağlayarak mevcut rüzgâr erozyonunun oluşumunu önlemek veya geciktirmektir.



Şekil 4.31. Hidrojel uygulaması sonrası örnek tavalarındaki topraklarda oluşturduğu sert tabakanın görünümü

SiCL ve SL tekstür sınıfına sahip toprak örneklerine belirlenen toprak düzenleyicileri uygulandıktan sonra toprak örnekleri 9 ve 11 m s^{-1} rüzgâr hızlarına ayrı ayrı maruz bırakılmışlardır. Her bir örnek için bu test 3 tekerrür olacak şekilde yapılmıştır. Bunun sonucunda ise yapılan bu uygulamaların rüzgâr erozyonunun başlangıç zamanına olan etkileri test odasının penceresinden bir kamera yardımı ile tek tek ağır çekimde kayıt altına alınmıştır. Alınan bu görüntüler incelenerek her yapılan uygulama için ilk taneciğin hareket ettiği saniyeler kayıt altına alınmıştır. Hız artışının ve yapılan uygulamaların etkisi elde edilen bu verilerin ortalama değerlerinin TUKEY testine göre karşılaştırma sonuçları Tablo 4.9 ve 4.10'de sunulmuştur.

SiCL tekstüre sahip topraklarda kontrol örneklerinde 11 m s^{-1} rüzgâr hızında meydana gelen toprak partiküllerinin harekete geçme zamanı 9 m s^{-1} rüzgâr hızında meydana gelen toprak partiküllerinin harekete geçme zamanına göre yaklaşık olarak 3 kat daha hızlıdır.

Sadece su uygulaması yapılan kontrol toprağı ile herhangi bir uygulama yapılmayan kontrol toprağı kıyaslandığında, sadece su uygulamasının bile toprak örneklerinde rüzgâr erozyonunun başlangıç anını geciktirdiği görülmektedir. Bu gecikme; yapılan su uygulamasının toprak taneciklerinin birbirini tutma kuvvetini (=kohezyon) arttırması özelliğinden dolayı olup, dolaylı olarak toprağın kendi içerisinde tutunmasını sağlamaktadır. Rüzgâr tüneli denemelerinde toprak nem içeriği açık bir şekilde, parçacıkların harekete başladığı andaki rüzgâr eşik sürtünme hızını etkilemektedir (Belly, 1964; Bisal ve Hsieh, 1966; Chepil, 1956). Gravimetrik nem kapsamının %5 değerinden fazla olduğu kum büyüklüğündeki materyal, çoğu doğal rüzgârların aşındırmasına karşı doğal olarak dirençlidir (Nickling, 1994). Rüzgârla toprağın aşındırılması toprağın nem oranı ile oldukça ilişkilidir, hatta bağıl hava nemindeki farklılıklar bile parçacıkların eşik sürtünme hızlarını değiştirmektedir (McKenna-Neuman ve Nickling, 1989; Ravi ve ark., 2006a; Ravi ve ark., 2006b). Fakat topraklara yapılan bu su uygulamasının etkinlik süresinin kısa vadeli olması, bu soruna çözüm bulunabilmesi için farklı materyallerinde denenmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır.

11 m s^{-1} rüzgâr hızında sadece su uygulaması yapılan toprak örneklerinde toprak partiküllerinin harekete geçme zamanı hiçbir uygulama yapılamayan toprak örneklerine kıyasla 2.5 katı kadar geçtir. 11 m s^{-1} rüzgâr hızında ölçülen toprak partiküllerinin harekete geçme zamanları M, Ç, MÇ ve H'nin uygulama dozlarındaki artış ile doğru orantılı olarak artış göstermiş olup aynı durum 9 m s^{-1} rüzgâr hızı için de geçerlidir.

K_{su}'ya kıyasla 11 m s^{-1} rüzgâr hızında ölçülen toprak partiküllerinin harekete geçme zamanlarını 6.66 g m^{-2} melas (M1) uygulaması yaklaşık olarak 1.2 kat geciktirirken, 53.33 g m^{-2} melas (M4) uygulaması ise yaklaşık olarak 1.33 oranında gecikmeye neden olmuştur. 6.66 g m^{-2} çimento (Ç1) uygulamasında yaklaşık 1.33 kat iken, 53.33 g m^{-2} çimento (Ç4) uygulamasında yaklaşık 3.2 kat olmuş, 6.66 g m^{-2} çimento + melas (ÇM1) uygulamasında yaklaşık 1.6 kat iken, 53.33 g m^{-2} çimento+melas (ÇM4) uygulamasında yaklaşık 3.02 kat ve 6.66 g m^{-2} hidrojel (H1) uygulamasında ise yaklaşık 1.53 kat kadar gecikme mevcutken, 53.33 g m^{-2} hidrojel (H4) uygulamasında yaklaşık 3.8 kat gecikmeye kadar çıkmıştır (Tablo 4.9).

SL tekstüre sahip topraklarda kontrol örneklerinde 11 m s^{-1} rüzgâr hızında meydana gelen toprak partiküllerinin harekete geçme zamanı 9 m s^{-1} rüzgâr hızında meydana gelen toprak partiküllerinin harekete geçme zamanına göre yaklaşık olarak 5 kat daha hızlıdır. 11 m s^{-1} rüzgâr hızında sadece su uygulaması yapılan toprak

örneklerinde toprak partiküllerinin harekete geçme zamanı hiçbir uygulama yapılamayan toprak örneklerine kıyasla 3.5 katı kadar geçtir. 11 m s^{-1} rüzgâr hızında ölçülen toprak partiküllerinin harekete geçme zamanları M, Ç, MÇ ve H'nin uygulama dozlarındaki artış ile doğru orantılı olarak artış göstermiş olup aynı durum 9 m s^{-1} rüzgâr hızı için de geçerlidir.

K_{su}'ya kıyasla 11 m s^{-1} rüzgâr hızında ölçülen toprak partiküllerinin harekete geçme zamanlarını 6.66 g m^{-2} melas (M1) uygulaması yaklaşık olarak 0.85 kat geciktirirken, 53.33 g m^{-2} melas (M4) uygulaması ise yaklaşık olarak 1.71 oranında gecikmeye neden olmuştur. 6.66 g m^{-2} çimento (Ç1) uygulaması yaklaşık 1.42 kat geciktirirken, 53.33 g m^{-2} çimento (Ç4) uygulaması yaklaşık olarak 6.57 kat geciktirmiştir, 6.66 g m^{-2} çimento+melas (ÇM1) uygulaması yaklaşık 2.28 kat geciktirirken, 53.33 g m^{-2} çimento+melas (ÇM4) uygulaması yaklaşık olarak 5.42 ve 6.66 g m^{-2} hidrojel (H1) uygulaması yaklaşık 1.85 iken, 53.33 g m^{-2} hidrojel (H4) uygulaması da yaklaşık olarak 8.14 katı kadar gecikmeye neden olmuştur (Tablo 4.10.). Kumlu topraklar zayıf agregatlara ve daha düşük eşik sürtünme hızı değerlerine sahiptir (Andrew, 2007).

Elde edilen bu sonuçlar doğrultusunda her iki hız ve toprak tekstürü için çimento uygulamalarının yapılan hidrojel uygulamalarına yakın sonuçlar verdiği ölçülmüştür. Çimento uygulanan topraklar içerisinde ise erozyonun geç başlamasına neden olan en iyi doz uygulamasının 53.33 g m^{-2}'(Ç4) olduğu belirlenmiştir. Melas uygulamaları erozyonun başlangıç anına bir miktar geciktirmiş olsa da bu durum diğer toprak düzenleyiciler kadar yüksek olmamıştır. Melasın çimento ile birlikte uygulandığı toprak örneklerinde ölçülen partikül hareket başlangıç anı ise hidrojel uygulaması yapılan topraklara da elde edilen değerlere çok yakın çıkmıştır.

Tablo 4.9. 9 ve 11 m s^{-1} rüzgâr hızlarına maruz bırakılan toprak düzenleyicileri uygulanmış siltli killi tınlı toprak örneklerinin rüzgâr erozyon erozyonun başladığı ilk saniyeler

Uygulamalar	**Melas**		**Çimento**		**Karışım**		**Hidrojel**	
Dozlar	**11 m s^{-1}**	**9 m s^{-1}**	**11 m s^{-1}**	**9 m s^{-1}**	**11 m s^{-1}**	**9 m s^{-1}**	**11 m s^{-1}**	**9 m s^{-1}**
K	06 ±1.63*^{a}	18 ±1,70*^{a}	06 ±1.63*^{a}	18 ±1.70*^{a}	06 ±1.63*^{a}	06 ±1.63*^{a}	06 ± 1.63*^{a}	06 ±1.63*^{a}
K_{su}	15 ± 0.82^{a}	24 ± 1.63^{b}	15 ± 0.82^{b}	24 ± 1.63^{b}	15 ± 0.82^{b}	15 ± 0.82^{ab}	15 ± 0.82^{a}	15 ± 0.82^{b}
6.66 g m^{-2}	18 ± 0.82^{ab}	25 ± 1.63^{ab}	20 ± 0.82^{c}	28 ± 0.82^{b}	24 ± 0.82^{c}	30 ± 0.82^{b}	23 ± 1.63^{ab}	33 ± 0.82^{c}
13.33 g m^{-2}	16 ± 0.82^{bc}	27 ± 1.63^{ab}	29 ± 1.63^{d}	34 ± 0.82^{c}	33 ± 1.63^{d}	40 ± 0.82^{c}	31 ± 0.82^{ab}	42 ± 1.63^{d}
26.66 g m^{-2}	19 ± 0.82^{c}	27 ± 1.63^{ab}	34 ± 0.82^{e}	41 ± 0.82^{d}	39 ± 1.63^{e}	47 ± 1.63^{c}	45 ± 1.63^{bc}	53 ± 0.82^{e}
53.33 g m^{-2}	20 ± 0.82^{d}	31 ± 1.63^{c}	48 ± 1.63^{f}	57 ± 1.63^{e}	46 ± 1.63^{f}	54 ± 3.27^{d}	57 ± 2.45^{c}	66 ± 1.63^{f}
P<	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

*:standart sapma

Tablo 4.10. 9 ve 11 m s^{-1} rüzgâr hızlarına maruz bırakılan toprak düzenleyicileri uygulanmış kumlu tınlı toprak örneklerinin rüzgâr erozyon erozyonun başladığı ilk saniyeler

Uygulamalar	**Melas**		**Çimento**		**Karışım**		**Hidrojel**	
Dozlar	**11 m s^{-1}**	**9 m s^{-1}**	**11 m s^{-1}**	**9 m s^{-1}**	**11 m s^{-1}**	**9 m s^{-1}**	**11 m s^{-1}**	**9 m s^{-1}**
K	02 ± 0.82*^{a}	10 ±0.82*^{a}	02 ± 1.63*^{a}	10 ±1.70*^{a}	02 ±1.63*^{a}	10 ±1.70*^{a}	02 ± 1.63*^{a}	10 ±1.70*^{a}
K_{su}	07 ± 0.82^{b}	14 ± 0.82^{b}	07 ± 0.82^{a}	14 ± 1.63^{ab}	07 ± 0.82^{a}	14 ± 1.63^{ab}	07 ± 0.82^{a}	14 ± 1.63^{ab}
6.66 g m^{-2}	06 ± 0.82^{ab}	15 ± 0.82^{ab}	10 ± 0.82^{ab}	18 ± 0.82^{ab}	16 ± 0.82^{ab}	20 ± 1.63^{ab}	13 ± 0.82^{ab}	25 ± 0.82^{ab}
13.33 g m^{-2}	09 ± 1.63^{bc}	19 ± 0.82^{ab}	17 ± 1.63^{bc}	22 ± 0.82^{ab}	28 ± 1.63^{bc}	28 ± 0.82^{ab}	20 ± 1.63^{bc}	32 ± 1.63^{ab}
26.66 g m^{-2}	11 ± 0.82^{c}	17 ± 0.82^{ab}	24 ± 0.82^{c}	33 ± 1.63^{b}	33 ± 0.82^{c}	37 ± 0.82^{b}	35 ± 0.82^{c}	47 ± 2.45^{b}
53.33 g m^{-2}	12 ± 0.82^{d}	24 ± 2.45^{c}	46 ± 0.82^{d}	52 ± 1.63^{c}	38 ± 1.63^{d}	44 ± 1.63^{c}	52 ± 1.63^{d}	61 ± 0.82^{c}
P<	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

*: Standart sapma

4.4.2 Uygulanan Toprak Düzenleyicilerin Toprak Kayıp Miktarlarına Etkisi

SiCL ve SL tekstür sınıfına sahip toprak örneklerine uygulanan toprak düzenleyicilerin 9 ve 11 m s^{-1} hızlarında oluşan rüzgâr erozyonunu önlemedeki etkinlikleri, rüzgâr tüneli denemeleri ile ölçülmüştür. Bunun sonucunda her örnek için kaybolan toprak miktarları (g $m^{-2}10dk^{-1}$) belirlenmiştir. Kaybolan toprak miktarları belirlenirken zamansal normalleştirme yapılmış olup bütün örneklerin 10 dakikalık kayıpları hesaplanarak değerlendirmeye alınmıştır. Rüzgâr tüneli denemesi sonrasında elde edilen bu verilerin ortalama değerlerinin TUKEY testine göre karşılaştırma sonuçları Tablo 4.11 ve 4.12'de sunulmuştur. Buna göre, SiCL ve SL tektüre sahip topraklara melas (M), çimento (Ç), çimento + melas (ÇM) ve hidrojel (H) uygulamaları, bu maddelerin uygulamam dozları ile ilişkili olarak 11 ve 9 m s^{-1} rüzgâr hızlarında erozyona uğrayan toprak miktarlarını istatistiksel olarak önemli düzeyde ($P<0.000$) etkilemiştir. Topraklarda yapılan bu çalışma sonucunda 11 m s^{-1} rüzgâr hızında örnek tavalarında kalan toprak miktarlarını kıyaslayacak olursak; SiCL tekstüre sahip toprak örneğine sadece su uygulaması yapıldıktan sonraki kaybolan toprak miktarı 2229.55 g $m^{-2}10dk^{-1}$ iken SL tekstüre sahip toprak örneğindeki toprak kayıp miktarı 2163.78 g $m^{-2}10dk^{-1}$ kayıp meydana gelmiştir.

SiCL tekstüre sahip topraklarda su uygulaması yapılan kontrol örneklerinde 11 m s^{-1} rüzgâr hızında meydana gelen toprak kaybı 9 m s^{-1} rüzgâr hız meydana gelen toprak kaybına göre yaklaşık 5.18 kat daha fazla olmuş ve rüzgâr hızındaki artış tüm uygulamalarda toprak kaybını da arttırmıştır. M, Ç, MÇ ve H'nin uygulama dozlarındaki artış ile ters orantılı olarak 11 m s^{-1} rüzgâr hızında meydana gelen toprak kayıpları azalmış, bu azalış 6.66 g m^{-2} melas (M1) uygulamasında su uygulaması yapılan kontrole göre yaklaşık %23 iken, 53.33 g m^{-2} melas (M4) uygulamasında yaklaşık %38 olmuş, 6.66 g m^{-2} çimento (Ç1) uygulamasında yaklaşık %45 iken, 53.33 g m^{-2} çimento (Ç4) uygulamasında yaklaşık %85 olmuş, 6.66 g m^{-2} çimento+melas (ÇM1) uygulamasında yaklaşık %52 iken, 53.33 g m^{-2} çimento+melas (ÇM4) uygulamasında yaklaşık %97 olmuş ve 6.66 g m^{-2} hidrojel (H1) uygulamasında ise yaklaşık %65 iken, 53.33 g m^{-2} hidrojel (H4) uygulamasında yaklaşık %99 olmuştur.

Ölçüm şartlarında meydana gelen erozyonu önlemede en etkili materyal H uygulamaları iken, bunu Ç uygulamasından daha etkili olarak ÇM karışımları izlemiş, M uygulamalarının etkisi ise bu çalışmadaki uygulama dozları açısından düşük çıkmıştır. Benzer durum 9 m s^{-1} rüzgâr hızında da ortaya çıkmış, ancak rüzgâr hızı düşük olduğunda doğal olarak toprak kayıpları da 11 m s^{-1} rüzgâr hızlarına göre daha

düşük çıkmıştır. Bu etki kullanılan materyallerin toprak zerrelerini birbirlerine bağlayarak zerre iriliklerinin, dolayısıyla kütlelerinin artışına neden olmaktadır ve buna bağlı olarak da rüzgâr erozyonuna olan dirençlerinin artması kaçınılmazdır (Şeker, 2004; Bal ve ark., 2011).

SL tekstüre sahip topraklarda kontrol örneklerinde 11 m s^{-1} rüzgâr hızında meydana gelen toprak kaybı 9 m s^{-1} rüzgâr hız meydana gelen toprak kaybına göre yaklaşık 4.6 kat daha fazla olmuş ve rüzgâr hızındaki artış tüm uygulamalarda toprak kaybını da arttırmıştır. M, Ç, MÇ ve H'nin uygulama dozlarındaki artış ile ters orantılı olarak 11 m s^{-1} rüzgâr hızında meydana gelen toprak kayıpları azalmış, bu azalış 6.66 g m^{-2} melas (M1) uygulamasında kontrole göre yaklaşık %17 iken, 53.33 g m^{-2} melas (M4) uygulamasında yaklaşık %24 olmuş, 6.66 g m^{-2} çimento (Ç1) uygulamasında yaklaşık %42 iken, 53.33 g m^{-2} çimento (Ç4) uygulamasında yaklaşık %78 olmuş, 6.66 g m^{-2} çimento + melas (ÇM1) uygulamasında yaklaşık %50 iken, 53.33 g m^{-2} çimento + melas (ÇM4) uygulamasında yaklaşık %96 olmuş ve 6.66 g m^{-2} hidrojel (H1) uygulamasında ise yaklaşık %56 iken, 53.33 g m^{-2} hidrojel (H4) uygulamasında yaklaşık %98 olmuştur.

Ölçüm şartlarında meydana gelen erozyonu önlemede en etkili materyal H uygulamaları iken, bunu Ç uygulamasından daha etkili olarak ÇM karışımları izlemiş, M uygulamalarının etkisi ise en düşük çıkmıştır. Benzer durum 9 m s^{-1} rüzgâr hızında da ortaya çıkmış, ancak rüzgâr hızı düşük olduğunda doğal olarak toprak kayıpları da 11 m s^{-1} rüzgâr hızların göre daha düşük çıkmıştır.

Tablo 4.11. Siltli Killi Tın toprak örneklerinde meydana gelen ortalama toprak kayıp miktarları (g $m^{-2}10dk^{-1}$) ve varyans analiz sonuçlarına göre gruplandırması

Uygulamalar	Melas		Çimento		Karışım		Hidrojel	
Dozlar	**11 m s^{-1}**	**9 m s^{-1}**	**11 m s^{-1}**	**9 m s^{-1}**	**11 m s^{-1}**	**9 m s^{-1}**	**11 m s^{-1}**	**9 m s^{-1}**
K	3732.93 ± 10.3*^{a}	994.55 ± 2.9^{a}	3732.96 ± 10.3^{a}	994.55 ± 2.9^{a}	3732.96 ± 10.26^{a}	994.55 ± 2.9^{a}	3732.96 ± 10.3^{a}	994.55 ± 2.9^{a}
K_{su}	2229.55 ± 10.1^{b}	429.73 ± 6.92^{b}	2229.55 ± 10.2^{b}	429.73 ± 6.9^{b}	2229.55 ± 10.14^{b}	429.73 ± 6.9^{b}	2229.55 ± 10.2^{b}	429.73 ± 6.92^{b}
6.66 g m^{-2}	1713.82 ± 44.71^{c}	418.22 ± 3.5^{bc}	1233.10 ± 13.2^{c}	281.42 ± 22.6^{c}	1075.31 ± 61.2^{c}	245.03 ± 34.8^{c}	772.47 ± 32.5^{c}	75.72 ± 10.3^{c}
13.33 g m^{-2}	1566.79 ± 8.1^{cd}	367.24 ± 6.7^{cd}	670.32 ± 27.6^{d}	104.58 ± 3.5^{d}	378.50 ± 18.3^{d}	109.70 ± 18.3^{d}	22.36 ± 0.2^{d}	20.42 ± 6.7^{cd}
26.66 g m^{-2}	1500.39 ± 44.1^{de}	311.58 ± 4.07^{d}	438.91 ± 18.4^{e}	36.32 ± 1.3^{de}	286.65 ± 21.7^{d}	28.32 ± 4.2^{de}	10.59 ± 0.2^{d}	7.35 ± 1.2^{d}
53.33 g m^{-2}	1372.94 ± 45.4^{e}	155.06 ± 4.67^{e}	333.28 ± 10.5^{f}	15.30 ± 1.4^{e}	73.96 ± 4.8^{e}	13.14 ± 1.8^{e}	4.98 ± 1.4^{d}	2.47 ± 0.5^{d}
P<	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

*: Standart sapma

Tablo 4.12. Kumlu tın toprak örneklerinde meydana gelen ortalama toprak kayıp miktarları (g $m^{-2}10$ dk^{-1}) ve varyans analiz sonuçlarına göre gruplandırması

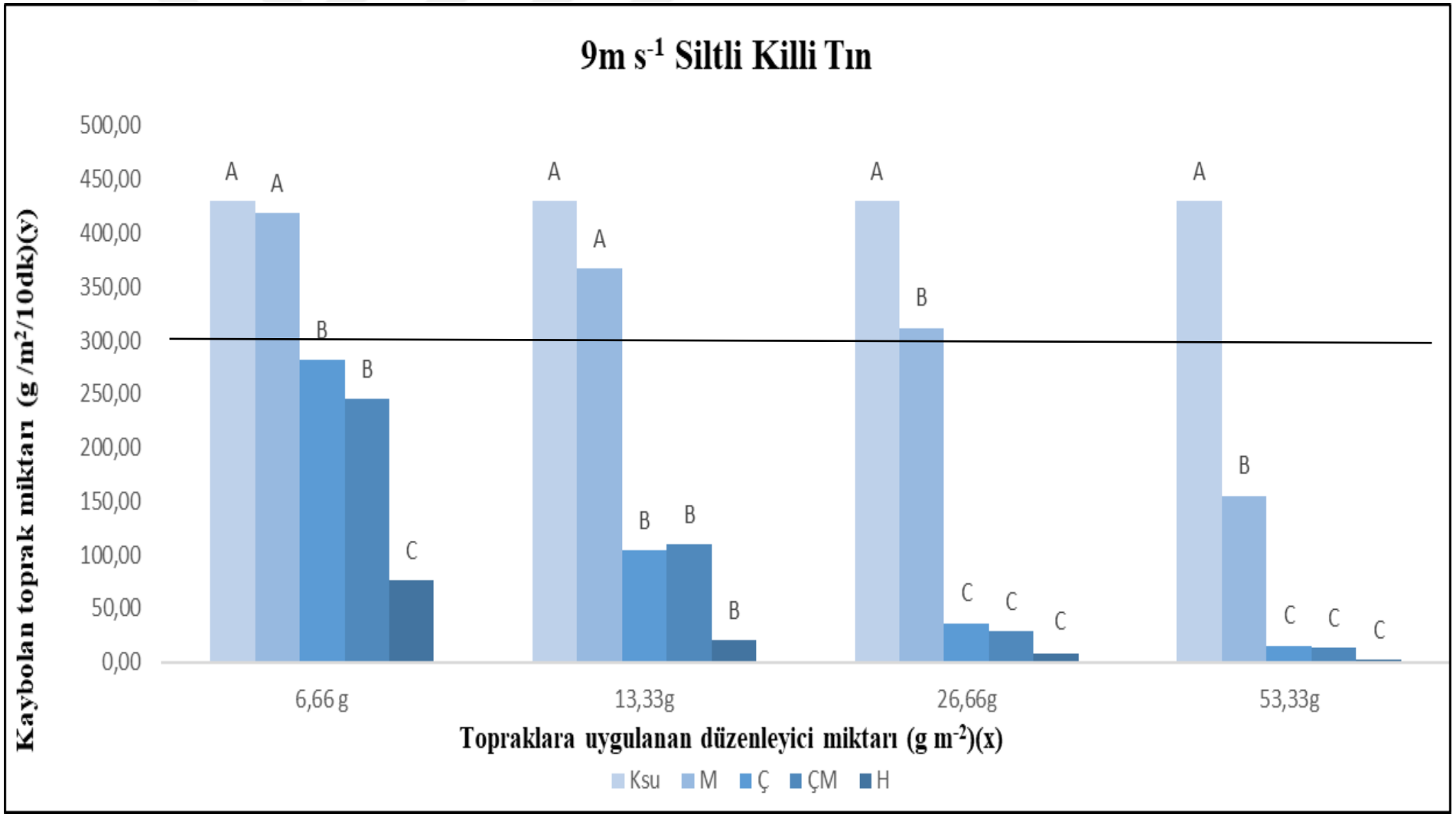
Uygulamalar	Melas		Çimento		Karışım		Hidrojel	
Dozlar	**11 m s^{-1}**	**9 m s^{-1}**	**11 m s^{-1}**	**9 m s^{-1}**	**11 m s^{-1}**	**9 m s^{-1}**	**11 m s^{-1}**	**9 m s^{-1}**
K	3843.72 ± 5.25*^{a}	1081.22 ± 1.5^{a}	3843.72 ± 5.3^{a}	1081.22 ± 1.5^{a}	3843.72 ± 5.3^{a}	1081.22 ± 1.5^{a}	3843.72 ± 5.3^{a}	1081.22 ± 1.5^{a}
K_{su}	2163.78 ± 93.1^{b}	473.75 ± 36.1^{b}	2163.78 ± 93.1^{b}	473.75 ± 36.1^{b}	2163.78 ± 93.1^{b}	473.75 ± 36.1^{b}	2163.78 ± 93.1^{b}	473.75 ± 36.1^{b}
6.66 g m^{-2}	1796.12 ± 34.2^{c}	457.76 ± 23.1^{b}	1264.50 ± 61.7^{c}	385.08 ± 9.4^{c}	1075.48± 101.5^{c}	365.91 ± 19.5^{c}	947.13 ± 17.3^{c}	136.21 ± 5.3^{c}
13.33 g m^{-2}	1777.31 ± 30.1^{c}	412.67 ± 2.6^{bc}	760.52 ± 20.7^{d}	111.20 ± 14.8^{d}	522.41± 27.27^{d}	97.57 ± 27.2^{d}	126.92 ± 19.1^{d}	69.83 ± 27.3^{cd}
26.66 g m^{-2}	1639.75 ± 68.7^{c}	349.34 ± 36.6^{c}	568.20 ± 96.1^{de}	35.6 ± 7.7^{e}	460.38 ± 16.5^{d}	21.45 ± 4.5^{d}	83.47 ± 0.4^{d}	7.13 ± 0.7^{d}
53.33 g m^{-2}	1653.46 ± 17.1^{c}	196.08 ± 17.5^{d}	470.02 ± 26.4^{e}	44.15 ± 3.9^{de}	68.86± 25.0^{e}	25.98 ± 8.2^{d}	35.84 ± 9.4^{d}	12.69 ± 3.1^{d}
P<	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

*:Standart sapma

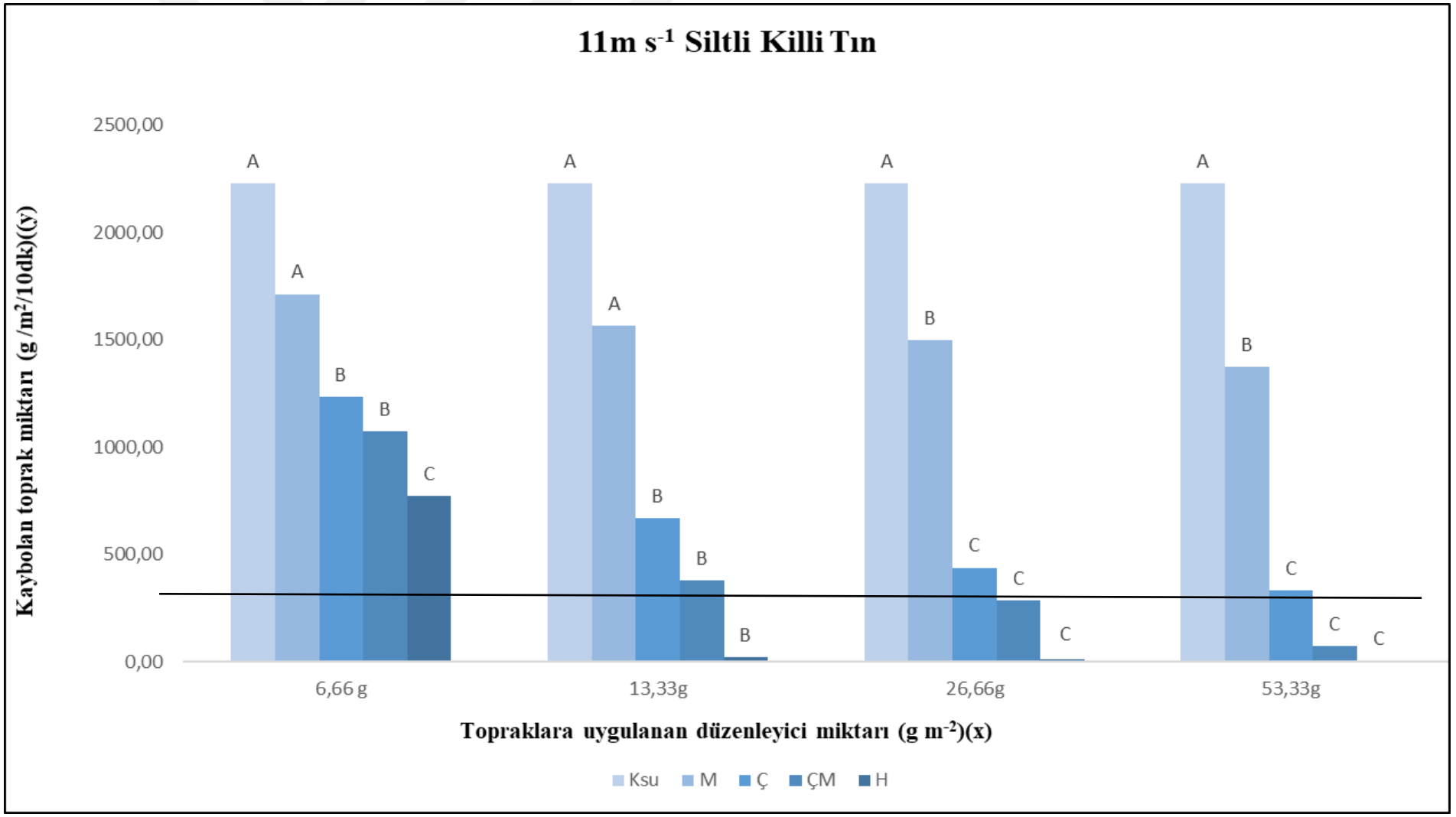
SiCL ve SL tekstür sınıfına sahip toprak örneklerine uygulanan toprak düzenleyicilerinin 9 ve 11 m s^{-1} hızlarında oluşan rüzgâr erozyonunu önlemedeki etkinlikleri, rüzgâr tüneli denemeleri ile ölçülmüştür. Yapılan denemeler sonrasında elde edilen datalar toprak düzenleyicilerinin rüzgâr erozyonunu önlemedeki etkinlikleri açısından uygulama dozları dikkate alınarak TUKEY testine göre değerlendirilmiş olup Grafik 4.2-4.5'te verilmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda her uygulama ve hız için Curve expert versiyon 2.6 paket programı kullanılarak regresyon modelleri belirlenmiştir (Tablo 4.13.). Oluşturulan bu modeller kullanılarak seçilen toprak düzenleyiciler için istenilen farklı dozlar ayrı ayrı olarak hesaplanabilecektir.

SiCL tekstüre sahip topraklarda kontrol örnekleri, uygulanan toprak düzenleyicilerinin dozları açısından ayrı ayrı değerlendirilecek olursa yapılan çalışma sonucunda; 9 m s^{-1} rüzgâr hızı için 6.66, 13.33, 26.66 g m^{-2} uygulama dozlarında rüzgâr erozyonunu önlemede en etkin olan uygulamanın H olduğu, 53.33 g m^{-2} uygulama dozunda ise Ç, ÇM ve H olduğu görülmektedir. Bu durum 11 m s^{-1} rüzgâr hızında yapılan uygulamalar için değerlendirilecek olursa; için 6.66, 13.33, 26.66 g m^{-2} uygulama dozlarında en etkin olan uygulamanın H olduğu, 53.33 g m^{-2} uygulama dozunda ise ÇM ve H olduğu görülmektedir.

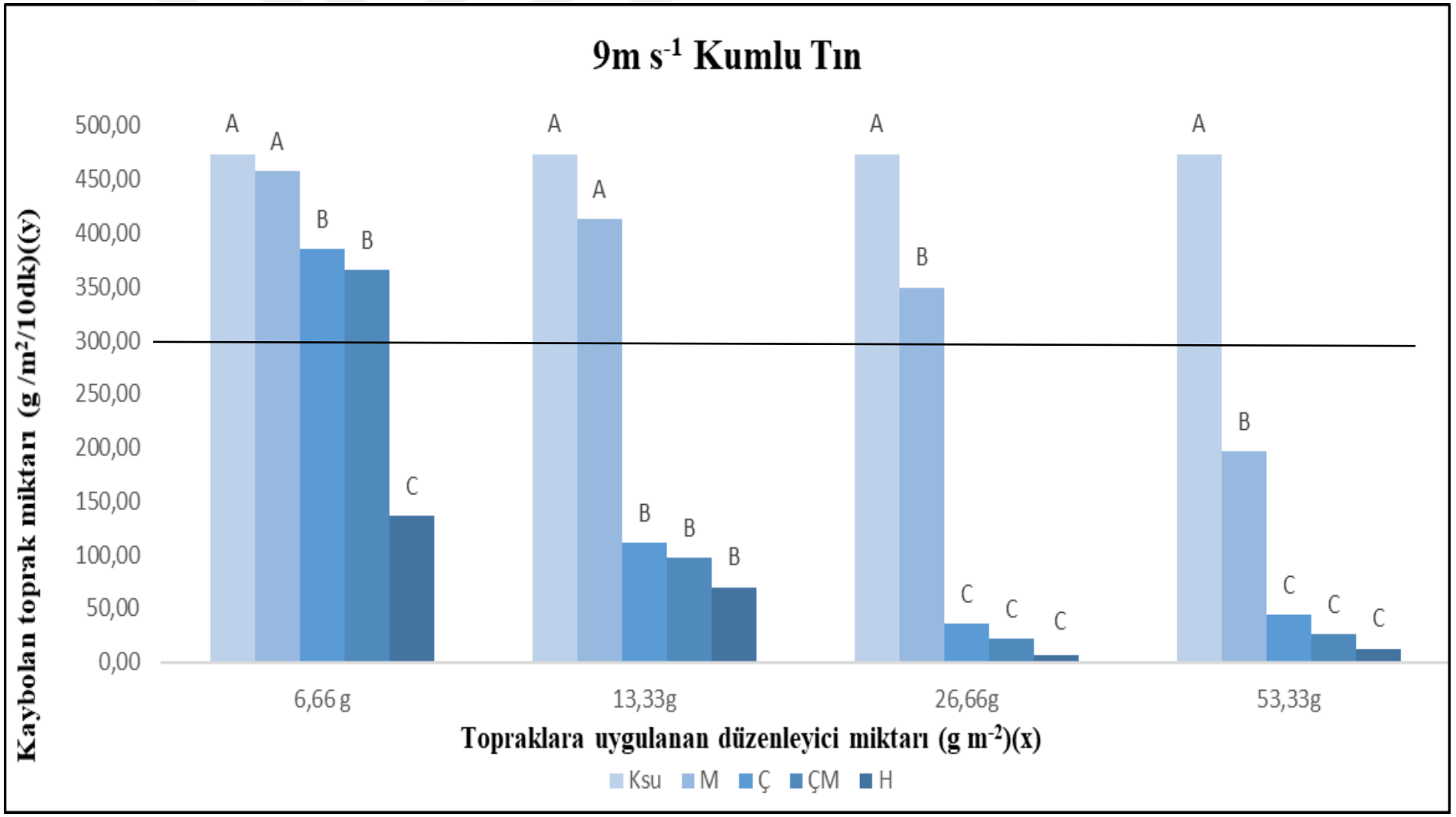
SL tekstüre sahip topraklar örneklerinde ise bu durum; 9 m s^{-1} rüzgâr hızı için 6.66 g m^{-2} uygulama dozunda en etkin olan uygulamanın H olduğu, 13.33, 26.66 ve 53.33 g m^{-2} uygulama dozlarında da ise Ç, ÇM ve H olduğu görülmektedir. Bu durum 11 m s^{-1} rüzgâr hızında yapılan uygulamalar için değerlendirilecek olursa; için 6.66, 13.33 ve 26.66 g m^{-2} uygulama dozlarında en etkin olan uygulamanın H olduğu, 53.33 g m^{-2} uygulama dozunda ise ÇM ve H olduğu görülmektedir.



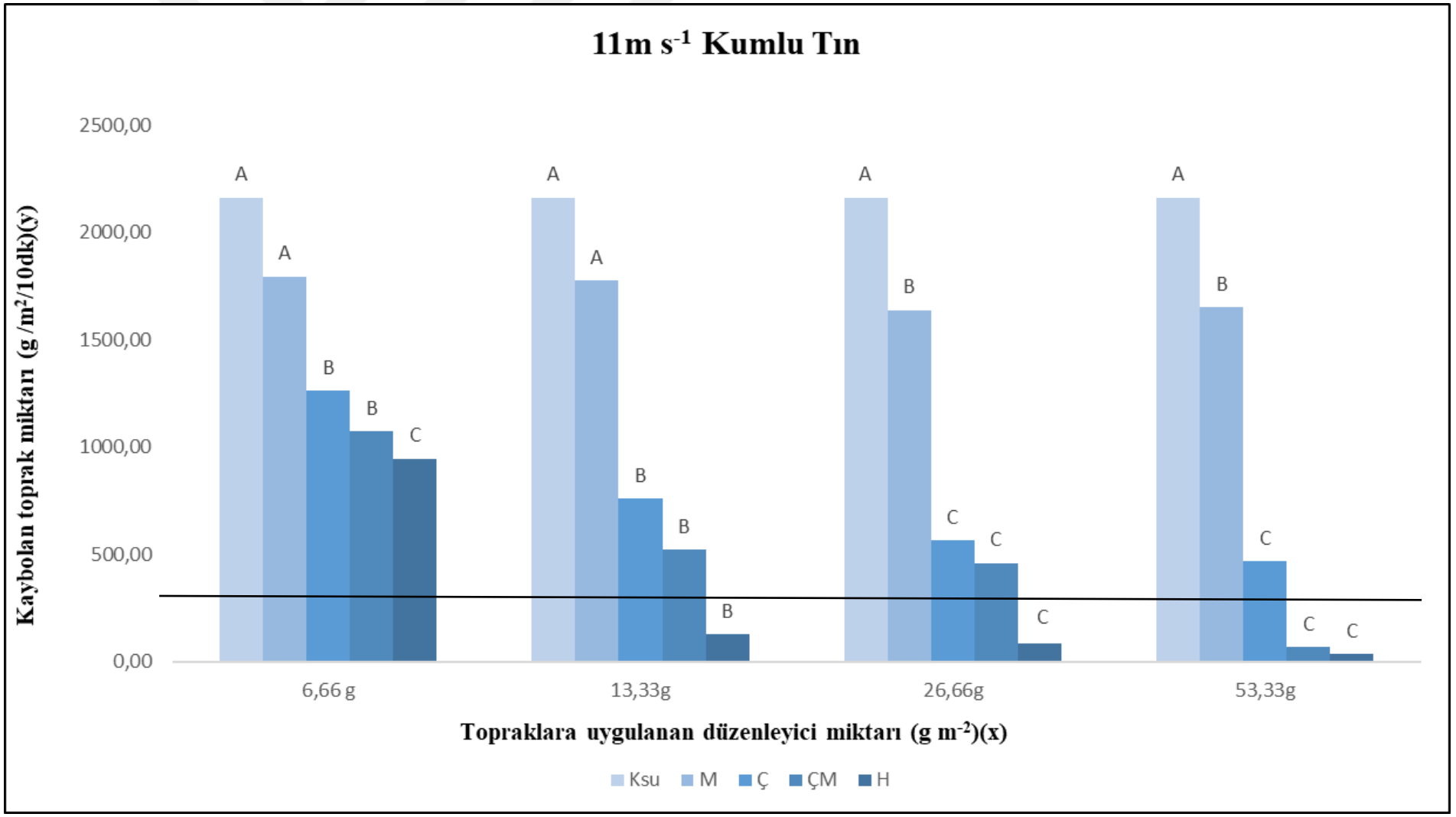
Grafik 4.2 SiCL tekstüre sahip topraklara uygulanan düzenleyici miktarlarının kaybolan toprak miktarına olan etkisinin 9 m s^{-1} rüzgâr hızında gösterimi



Grafik 4.3 SiCL tekstüre sahip topraklara uygulanan düzenleyici miktarlarının kaybolan toprak miktarına olan etkisinin 11 m s^{-1} rüzgâr hızında gösterimi



Grafik 4.4 SL tekstüre sahip topraklara uygulanan düzenleyici miktarlarının kaybolan toprak miktarına olan etkisinin 9 m s^{-1} rüzgâr hızında gösterimi



Grafik 4.5 SL tekstüre sahip topraklara uygulanan düzenleyici miktarlarının kaybolan toprak miktarına olan etkisinin 11 m s^{-1} rüzgâr hızında gösterimi

Tablo 4.13. Elde edilen veriler doğrultusunda her uygulama ve hız için oluşturulan regresyon modelleri

Siltli Killi Tın -11 m s^{-1}	**Denklem**	**R^2**	**Katsayılar**		
Toprak Düzenleyici Materyaller					
Melas	$1/(a+bx^c)$	0.98	a=0.0004484	b=0.0000755	c=0.330127
Çimento	$1/(a+bx)$	0.96	a=0.0004467	b=0.0000634	
Karışım	$1/(a+bx+cx^2)$	0.96	a=0.0004480	b=0.0000259	c=0.0000074
Hidrojel	$1/(a+bx^c)$	0.98	a=0.0004484	b=0.0000755	c=3.3012731
Siltli Killi Tın -9 m s^{-1}	**Denklem**	**R^2**	**Katsayılar**		
Toprak Düzenleyici Materyaller					
Melas	$1/(a+b+cx^2)$	0.96	a=0.0023335	b=0.0000046	c=-0.0000013
Çimento	$1/(a+b+cx^2)$	0.99	a=0.0023262	b=-0.000144	c=0.00004955
Karışım	ae^{bx}	0.98	a=434.00201	b=-0.0954078	
Hidrojel	ae^{bx}	0.99	a=429.50118	b=-0.2558538	
Kumlu Tın -11 m s^{-1}	**Denklem**	**R^2**	**Katsayılar**		
Toprak Düzenleyici Materyaller					
Melas	$1/(a+bx^c)$	0.93	a=0.0004620	b=0.0000611	c=0.2276555
Çimento	$1/(a+b+cx^2)$	0.96	a=0.0004597	b=0.0000615	c=0.0000054
Karışım	$1/(a+b+cx^2)$	0.95	a=0.0004615	b=0.0000692	c=0.0000010
Hidrojel	ae^{bx}	0.95	a=218.67135	b=-0.1471776	
Kumlu Tın -9 m s^{-1}	**Denklem**	**R^2**	**Katsayılar**		
Toprak Düzenleyici Materyaller					
Melas	$1/(a+bx^c)$	0.97	a=0.0004482	b=0.0000755	c=0.3301273
Çimento	$1/(a+bx^c)$	0.95	a=0.0020988	b=0.0000006	c=3.5583869
Karışım	$1/(a+bx^c)$	0.97	a=0.0021067	b=696.56698	c=3.5984372
Hidrojel	$1/(a+bx^c)$	0.96	a=0.0021112	b=0.0002802	c=1.5295138

5 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Laboratuvar ölçekli rüzgâr tüneli çalışmaları ile arazi üzerinde, büyük çapta denemeler kurmadan, çalışılması planlanan konular ve toprak düzenleyici materyallerin etkinliklerini kısa sürede ve çok fazla sayıda uygulamalarla arazinin temel yapısını temsil edecek şekilde taklit edilmesi olabilmektedir.

Bu nedenle yapılan bu çalışmada laboratuvar ölçekli rüzgâr tüneli tasarımı yapılmıştır. İlk planlanan rüzgâr tüneli tasarımında aksiyal fan ile tünel gövdesinin arasına 1.5 m uzunluğunda çapı 0.45 m'den 0.30 m'ye düşecek şekilde bir boru ve bu borunun gövde ile bağlantısının yapılacağı uç kısma ise türbülansı azaltmak için bal peteği yerleştirilmiştir. Rüzgâr tünelinin gövde kısmının hemen üstünde yer alan ve gövde başlangıcına 0.5-1.5-2 ve 2.5 m mesafelerde bulunan rüzgâr hız ölçüm noktalarından anemometreler yardımıyla tünel içerisinde oluşan rüzgâr hızları ölçülmüştür. Rüzgâr tünelinde yapılan bu ilk hız ölçüm denemeleri sonucunda, kullanılan bal petekleri sayesinde tünel içerisindeki rüzgâr hızları oldukça eşit dağılım göstermiştir.

Buna karşın, tünel içerisinde kullanılan bal petekleri bu rüzgâr tüneli için hız dağılımını düzenlerken mevcut rüzgâr hızını da olması gereken değerin oldukça altına düşürmüştür. Rüzgâr tünelinde kullanılan aksiyal fanın tünel boyunca bal petekleri sayesinde kırılan hız değerlerini tolere edecek güce sahip olmaması mevcut rüzgâr tünelinde rüzgâr erozyonu çalışmalarının yapılabilmesi için gerekli hız aralıklarının elde edilemeyeceği anlamına gelmektedir. Bu nedenle rüzgâr tünelinde revizyona gidilerek aksiyal fan sonrasında yer alan giriş kısım yerine bir alçak basınç odacığı planlanmış ve bal petekleri tünelden çıkartılmıştır. Her iki tünel dizaynı için hız dağılımı bal peteği kullanılmaksızın test edilmiştir. Bal petekleri olmaksızın hız dağılımları incelendiğinde, ilk yapılan rüzgâr tüneli dizaynına kıyasla son yapılan rüzgâr tüneli dizaynının daha doğal hız dağılımı sunduğu belirlenmiştir.

İlk yapılan rüzgâr tüneli dizaynında yaşanan vibrasyon sorununa revize edilen son rüzgâr tünelinde yeni bir çözüm üretilmiştir. Giriş kısım ile tünel gövdesi arasına bir elastik materyal yerleştirilerek bağlantı sağlanmış ve bağlantının neden olabileceği en büyük sorun olarak görülen hava kaçaklarının olup olmadığı kontrol edilmiştir. Aksiyal fandan kaynaklanan vibrasyon sorunu bu şekilde önlenerek yapılacak olan rüzgâr tüneli çalışmalarına olan etkisi ortadan kaldırılmıştır.

Rüzgâr tünelinin gövde kısmının hemen üstüne rüzgâr hız ölçümlerinin yapılabilmesi için anemometrenin girebileceği kadar büyüklükte delikler açılmıştır. Bu delikler kullanılmadığı zamanlarda tünel içi hava akımını etkilememesi için vidalı bir tıpa yardımıyla kapatılmıştır. Giriş kısmından sonra yer alan gövde kısmında toplamda 12 adet ölçüm noktası bulunmaktadır. Bu ölçüm noktalarının ilk 3'ü 0.5 m mesafede, diğerleri ise sırasıyla l.5 m, 2 m ve 2.5 m mesafelerde yer almaktadırlar.

Başlangıçta toplamda 12 adet hız ölçüm noktası mevcutken bu sayı jeoistatistiksel analizler için yetersiz görülerek toplamda 28 ölçüm noktasına çıkarılmıştır. Ölçüm noktalarının tünel gövde başlangıcına olan mesafelerinde bir değişiklik yapılmamış olup mevcut bulunan noktalara eşit mesafede olacak şekilde aynı hizada fazladan hız ölçüm delikleri açılmıştır. Rüzgâr dağılımını ve rüzgâr akış özelliklerini belirlemek için, anemometreler ile tünel boyunca her referans hız için ayrı ayrı olacak şekilde 560'ar noktada ölçüm yapılmıştır.

Rüzgâr, gövde başlangıcına 0.5-1.5-2 ve 2.5 m uzaklıktaki ölçüm noktalarından 5, 7, 9 ve 11 m s^{-1} referans rüzgâr hızları için ölçülen hız verileri kullanılarak logaritmik hız profilleri ve tanımlayıcı istatistikler belirlenmiştir. Ölçüm sonuçları baz alınarak rüzgâr tünelinin rüzgâr akış karakterizasyonunun belirlenmesinde ise GS^{+5} paket programı kullanılmış ve ayrı ayrı uygun variogram modelleri belirlenmiştir. Variogram modellerinin seçiminde ise çapraz doğrulama yöntemi kullanılmıştır. Tünel içerisinde rüzgâr dağılım modellerini görebilmek için variogram modelleri ve parametreler yardımı ile kriging haritaları oluşturulmuştur.

Rüzgâr tüneli karakterizasyonu sonrasında çalışmada kullanılmak üzere Konya ovasından SiCL ve SL tekstür sınıfına sahip iki adet toprak örneği seçilmiştir. Rüzgâr tüneli için dizayn edilmiş 0.075 m^2'lik örnek tavalarının her birine 0.5 kg olacak şekilde konulan toprak örneklerine seçilen toprak düzenleyicileri (melas, çimento, çimento + melas ve hidrojel) belirlenen dozlarda (6.66-13.33-26.66-53.33 g m^{-2}) uygulanarak rüzgâr tünelinde 9 ve 11m s^{-1} rüzgâr hızlarına ayrı ayrı maruz bırakılmıştır. Bunun sonucunda ise yapılan bu uygulamaların rüzgâr erozyonunun başlangıç zamanına olan etkileri bir kamera yardımı ile tek tek kayıt altına alınarak görüntüler incelenmiş ve her yapılan uygulama için ilk taneciğin hareket ettiği saniyeler belirlenmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre rüzgâr hız artışının ve yapılan uygulamaların erozyon başlangıç zamanına etki ettiği belirlenmiştir. SiCL ve SL tekstüre sahip topraklarda kontrol örneklerinde 11 m s^{-1} rüzgâr hızında meydana gelen toprak partiküllerinin harekete geçme zamanı 9 m s^{-1} rüzgâr hızında meydana gelen toprak partiküllerinin

harekete geçme zamanına göre sırasıyla yaklaşık olarak 3 ve 5 kat daha daha kısa sürede olmuştur. Sadece su uygulaması yapılan kontrol toprağı ile herhangi bir uygulama yapılmayan kontrol toprağı kıyaslandığında, sadece su uygulamasının bile toprak örneklerinde rüzgâr erozyonunun başlangıç anını geciktirdiği görülmektedir. Bu bağlamda SiCL ve SL tekstüre sahip topraklarda 11 m s^{-1} rüzgâr hızı için sadece su uygulaması yapılmış kontrol örneklerine kıyasla erozyona karşı en iyi şekilde direnç gösteren materyal hidrojel olup en etkin dozu 53.33 g m^{-2} olarak belirlenmiştir. Çimento uygulamalarının ise yapılan hidrojel uygulamalarına yakın sonuçlar verdiği tespit edilmiş olup, erozyonun geç başlamasına neden olan en iyi doz uygulamasının 53.33 g m^{-2} olduğu belirlenmiştir. Melasın çimento ile birlikte uygulandığı toprak örneklerinde ölçülen partikül hareket başlangıç anı hidrojel uygulaması yapılan topraklar da elde edilen değerlere çok yakın çıkmıştır.

SiCL ve SL tekstür sınıfına sahip toprak örneklerine uygulanan toprak düzenleyicilerin 9 ve 11 m s^{-1} hızlarında oluşan rüzgâr erozyonunu önlemedeki etkinlikleri, rüzgâr tüneli denemeleri ile ölçülmüş olup bunun sonucunda her örnek için kaybolan toprak miktarları (g $m^{-2}10dk^{-1}$) belirlenmiştir. Topraklarda yapılan bu çalışma sonucunda 11 m s^{-1} rüzgâr hızında sadece su uygulaması yapılan toprak örnekleri için örnek tavalarında kalan toprak miktarları ile kıyaslandığında; SiCL tekstüre sahip toprak örneğinde kaybolan toprak miktarı 2229.55 g $m^{-2}10dk^{-1}$ iken SL tekstüre sahip toprak örneğinde 2163.78 g $m^{-2}10dk^{-1}$ kayıp meydana gelmiştir.

SiCL ve SL tekstüre sahip topraklarda kontrol örneklerinde 11 m s^{-1} rüzgâr hızında meydana gelen toprak kaybı 9 m s^{-1} rüzgâr hız meydana gelen toprak kaybına göre yaklaşık olarak sırasıyla 5.18 ve 4.56 kat daha fazla olmuş ve rüzgâr hızındaki artış tüm uygulamalarda toprak kaybını da arttırmıştır.

SiCL ve SL tekstüre sahip toprak örneklerinde melas, çimento, çimento + melas ve hidrojel uygulama dozlarındaki artış ile ters orantılı olarak 11 m s^{-1} rüzgâr hızında meydana gelen toprak kayıpları azalmış olup, bu azalışın kontrol örneklerine kıyasla 53.33 g m^{-2} melas uygulamasında sırasıyla; yaklaşık %38 ve %24, 53.33 g m^{-2} çimento uygulamasında yaklaşık %85 ve %78, 53.33 g m^{-2} çimento + melas uygulamasında yaklaşık %97 ve %96 ve 53.33 g m^{-2} hidrojel uygulamasında yaklaşık %99 ve %98 olduğu belirlenmiştir.

Sonuç olarak yapılan bu çalışmada kumlu tın ve siltli killi tın tekstüre sahip toprak örneklerinde yapılan rüzgâr tüneli denemelerinin sonuçlarına bakıldığında yapılan uygulamaların mevcut koşullarda rüzgâr erozyonu sonucu oluşan toprak kaybı

problemini azaltmada etkili olduğu tespit edilmiştir. Rüzgâr erozyon ile gerçekleşen toprak kaybını önlemek için kullanılan toprak düzenleyicilerden hidrojellerin bu çalışmada kullanılan diğer üç düzenleyiciye nazaran rüzgâr erozyonunu engellemede daha etkili olduğu belirlenmiştir. Hidrojel uygulaması, hidrojelin polimerik bir yapıya sahip olması sebebiyle toprak yüzeyinde katman oluşturması ve toprağa bir destek yapısı sağlaması erozyona karşı en iyi şekilde direnç gösteren materyal olmasına neden olmuştur. İçeriğinde şeker bulunan melas ise çalışmada beklenen yapışkanlık özelliğini tam olarak yansıtamamıştır. Bunun nedeni olarak melasın mevcut uygulama dozlarının yetersiz kalmış olabileceğidir.

5.2 Öneriler

Doğal şartlar altındaki arazilerde hava akışının türbülanslı olduğu gerçeği dikkate alınınca, dizaynı yapılan rüzgâr tünelinin içerisindeki hava akışının sınırlı düzeyde türbülanslı olması bu çalışma için engelleyici bir unsur olarak görülmemiştir. Buna rağmen türbülansı mevcut durumda minimuma düşürecek bazı önlemler alınmıştır. Fakat rüzgâr tünelinde farklı çalışmalar yapılması planlanıyor (kanopi vb.) ve yapılacak çalışmalarda türbülans bir sorun teşkil ediyorsa rüzgâr tünelinde türbülans önlenmelidir. Türbülans rüzgâr tüneline uygun akım düzenleyici bal petekleri sayesinde minimum seviyeye indirilebilmektedir. Yapılacak değişiklikler sonucunda da tünel içerisindeki hava akışının laminar düzeye ulaştırılması sağlanmalıdır. Honeycomların kullanımı rüzgâr tünelinde kullanılan fanın meydana getirdiği rüzgâr hızının ciddi oranda düşmesine neden olacağı için meydana gelebilecek hız düşüşleri ön hesaplamalar yapılarak dikkate alınmalı ve bu duruma uygun fan seçilmelidir. Bundan dolayı bir sonraki akademik çalışmada vibrasyonu azaltmak ve tünel içi rüzgâr hızı dağılımının oldukça eşit olduğu bir sistem kurmak ilk hedeflerimiz arasındadır.

Çalışılan bu toprak şartları için eşik hızlar belirlenmiş olup bu eşik hızların arazi testleri ile kalibre edilmesi ve belirlenen eşik hızların üstündeki rüzgâr esiş dönemlerinde erozyon beklenmesi ve önlem alınması gerekmektedir.

Gelecek için, Türkiye'nin kurak bölgelerindeki tüm çevresel yönleri göz önüne alarak, tarla koşullarında en iyi ve en uygun toprak erozyonu kontrol önlemlerini seçmek için daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir. Öngörülemeyen faktörler nedeniyle rüzgâr erozyonu kontrolünün yüksek maliyetlerini ve çalışma koşullarının zorluğunu göz önünde her zaman bulundurmak gerekmektedir. Bu açıdan hidrojellerin temin edilebilirliğinin uygulamada maliyet artışına sebep olacağı ve en önemlisi diğer

üç toprak düzenleyicisine göre hidrojelin sentetik bir yapıya sahip olması (daha az çevre dostu olması) hidrojelin erozyon sonucu oluşan toprak kaybını önleme amacı ile kullanımını sınırlamaktadır. Bu çalışma ile elde edilen çıktıyı ele aldığımızda rüzgâr erozyonunu önlemede maliyet ve uygulanabilirlik açısından hidrojele yakın etki gösteren çimento ve/veya çimento + melas karışımının iyi bir alternatif oluşturacağı ön görülmüştür.

Gelecekteki çalışmalarda rüzgâr erozyonunu önleyebilmek amacı ile belirlenen materyallerin ön çalışmalarının etkin bir şekilde yapılabildiği, bilgisayar ve sensörler vasıtasıyla kontrollü hale getirilerek hata paylarının minimuma düşürüldüğü ve çalışılan arazinin koşullarını en iyi şekilde simüle edebilen rüzgâr tünelleri tasarlanarak rüzgâr erozyonu sonucunda oluşan torak kaybını engelleyici ajanların tespit edilmesi ve ideal uygulama oranlarının belirlenmesi planlanmakta ve önerilmektedir.

6 KAYNAKLAR

Abalı, İ., Taysun, A., Doğan, O., Önmez, O. ve Çanga, M., 1986, Orta Anadolu Bölgesinde Rüzgar Erozyonu Oluşumu ve Alınacak Önlemler Rehberi, *Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Genel Yayın* (54).

Abbasi, N., Movahedan, M. ve Keramati Toroghi, M., 2010, The effects of chemical Polymer on physical and mechanial properties of soils.

Abubaker, H. O., Sulieman, A. M. E. ve Elamin, H. B., 2012, Utilization of Schizosaccharomyces pombe for Production of ethanol from Cane Molasses, *J Microbiol Res*, 2, 36-40.

Acar, R. ve Dursun, S., 2010, Vegetative methods to prevent wind erosion in central Anatolia region, *Int. Journal of Sustainable Water & Environmental Systems*, 1 (1), 25-28.

Akca, E., Kapur, S., Serin, M., Cevik, B. ve Eswaran, H., 2000, Karapinar: a case study of rehabilitation of a wind eroded area in Turkey. 13–17 June, 2000, *Desertification meeting, Konya*, 202-210.

Anderson, D., Lafond, G. ve Head, I., 2010, Global perspective of arable soils and major soil associations, *Prairie Soil Crop J*, 3, 1-8.

Andrew, W., 2007, Sustainability: A view from the wind-eroded field, *Journal of Environmental Sciences*, 19 (4), 470-474.

Anonim, 2017, *Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü Uzun Yıllar İklim Verileri Bülteni,*

.

Armbrust, D. ve Lyles, L., 1975, Soil Stabilizers to Control Wind Erosion 1, *Soil Conditioners* (soilconditioner), 77-82.

Armbrust, D. V. ve Box, J. E., 1967, Design and operation of a portable soilblowing wind tunnel.

Asgari, H. ve Afzali, S., 2018, Assessment Sugar Factories Wastes' Performance on Wind Erosion Control, *Pollution*, 4 (3), 539-546.

Asikin, Y., Takahashi, M., Mishima, T., Mizu, M., Takara, K. ve Wada, K., 2013, Antioxidant activity of sugarcane molasses against 2, 2′-azobis (2-amidinopropane) dihydrochloride-induced peroxyl radicals, *Food chemistry*, 141 (1), 466-472.

Ayeldeen, M., Negm, A., El Sawwaf, M. ve Gädda, T., 2018, Laboratory study of using biopolymer to reduce wind erosion, *International Journal of Geotechnical Engineering*, 12 (3), 228-240.

Bagnold, R., 1941, The physics of blown sand and desert dunes: New York, *William Morrow & Company*.

Bagnold, R. A., 1973, The nature of saltation and of 'bed-load'transport in water, *Proceedings of the Royal Society of London. A. Mathematical and Physical Sciences*, 332 (1591), 473-504.

Bagnold, R. A., 2012, The physics of blown sand and desert dunes, Courier Corporation, p.

Bal, L., Şeker, C. ve Gümüş, İ. E., 2011, Kaymak Tabakası Oluşumuna Fiziko-Kimyasal Faktörlerin Etkileri, *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 25 (3), 96-103.

Başaran, M., Erpul, G., Uzun, O. ve Gabriels, D., 2011, Comparative efficiency testing for a newly designed cyclone type sediment trap for wind erosion measurements, *Geomorphology*, 130 (3-4), 343-351.

Başaran, M., Uzun, O., Cornelis, W., Gabriels, D. ve Erpul, G., 2016, Potential Use of BEST® Sediment Trap in Splash-Saltation Transport Process by Simultaneous Wind and Rain Tests, *PloS one*, 11 (11), e0166924.

Basher, L., 2000, Surface erosion assessment using 137 Cs: examples from New Zealand, *Acta geológica hispánica*, 35 (3), 219-228.

Başaran, M., Uzun, O. ve Erpul, G., 2017, Evaluation of field performance of BEST aeolian sediment catcher in sandy-loam soil of arid zone of Turkey, *Soil and Water Research*, 12 (2), 96-105.

Beinroth, F., Eswaran, H., Reich, P. ve Van Den Berg, E., 1994, Land related stresses in agroecosystems, Oxford and IBH: New Delhi, p.

Belly, P., 1964, Sand movement by wind, Tech. Mem. 1, *US Army Coastal Eng. Res. Cent., Washington, DC*.

Bernard, C. ve Laverdière, M., 2000, Using 137 Cs as a tool for the assessment and the management of erosion/sedimentation risks in view of the restoration of the Rainbow Smelt (Osmerus mordax) fish population in the Boyer River basin (Québec, Canada), *Acta geológica hispánica*, 35 (3), 321-327.

Bisal, F. ve Hsieh, J., 1966, Influence of moisture on erodibility of soil by wind, *Soil Science*, 102 (3), 143-146.

Blake, G. ve Hartge, K., 1986, Particle Density 1, *Methods of soil analysis: Part 1—Physical and mineralogical methods* (methodsofsoilan1), 377-382.

Blanco-Canqui, H. ve Lal, R., 2008, Principles of soil conservation and management, Springer Science & Business Media, p.

Bohling, G., 2005, Introduction to geostatistics and variogram analysis, *Kansas geological survey*, 1, 1-20.

Bujan, A., Santanatoglia, O., Chagas, C., Massobrio, M., Castiglioni, M., Yanez, M., Ciallella, H. ve Fernández, J., 2000, Preliminary study on the use of the 137 Cs method for soil erosion investigation in the pampean region of Argentina, *Acta geológica hispánica*, 35 (3), 271-277.

Buringh, P., 1989, Availability of agricultural land for crop and livestock production, In: Food and natural resources, Eds: Elsevier, p. 69-83.

Burri, K., Gromke, C., Lehning, M. ve Graf, F., 2011, Aeolian sediment transport over vegetation canopies: A wind tunnel study with live plants, *Aeolian Research*, 3 (2), 205-213.

Cambardella, C. A., Moorman, T. B., Parkin, T., Karlen, D., Novak, J., Turco, R. ve Konopka, A., 1994, Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils, *Soil science society of America journal*, 58 (5), 1501-1511.

Carrara, P. E. ve Carroll, T. R., 1979, The determination of erosion rates from exposed tree roots in the Piceance Basin, Colorado, *Earth Surface Processes*, 4 (4), 307-317.

Chappell, A. ve Warren, A., 2003, Spatial scales of 137Cs-derived soil flux by wind in a 25 km2 arable area of eastern England, *Catena*, 52 (3-4), 209-234.

Chen, R., Lee, I. ve Zhang, L., 2014, Biopolymer stabilization of mine tailings for dust control, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 141 (2), 04014100.

Chen, Y., Chen, Y., Li, W., Liu, J. ve Huang, H., 2007, Influence of intermittent water deliveries on the hydrochemistry of soil in the lower Tarim River, *ACTA GEOGRAPHICA SINICA-CHINESE EDITION-*, 62 (9), 970.

Chepil, W., 1945, Dynamics of wind erosion: I. Nature of movement of soil by wind, *Soil Science*, 60 (4), 305-320.

Chepil, W., 1952, Improved Rotary Sieve for Measuring State and Stability of Dry Soil Structure 1, *Soil Science Society of America Journal*, 16 (2), 113-117.

Chepil, W., 1953, Field Structure of Cultivated Soils with Special Reference to Erodibility by Wind 1, *Soil Science Society of America Journal*, 17 (3), 185-190.

Chepil, W., 1954, The Effect of Synthetic Conditioners on Some Phases of Soil Structure and Erodibility by Wind 1, *Soil Science Society of America Journal*, 18 (4), 386-391.

Chepil, W. ve Woodruff, N., 1954, Estimations of wind erodibility of field surfaces, *J. Soil Water Conserv*, 9 (257-265), 285.

Chepil, W., 1956, Influence of Moisture on Erodibility of Soil by Wind 1, *Soil Science Society of America Journal*, 20 (2), 288-292.

Chepil, W., 1957, Sedimentary characteristics of dust storms: III. Composition of suspended dust, *Am. J. Sci*, 255 (3), 206-213.

Chepil, W., 1962, A compact rotary sieve and the importance of dry sieving in physical soil analysis 1, *Soil Science Society of America Journal*, 26 (1), 4-6.

Chepil, W., 1963, Mulches for wind and water erosion control, Dept. of Agriculture, p.

Chepil, W., Woodruff, N., Siddoway, F., Fryrear, D. ve Armbrust, D., 1963, Vegetative and Nonvegetative Materials to Control Wind and Water Erosion 1, *Soil Science Society of America Journal*, 27 (1), 86-89.

Clark, I., 1979, Practical geostatistics, Applied Science Publishers London, p.

Cleasby, T., 1959, Use of molasses on the land, *Proc. S. Afr. Sug. Tecnol. Ass*, 33, 95-102.

Coasts, C. R., 1993, BEAUFORT WIND SCALE, *Journal of Sedimentary Petrology*, 35 (1), 243-273.

Collins, A., Walling, D., Sichingabula, H. ve Leeks, G., 2001, Using 137Cs measurements to quantify soil erosion and redistribution rates for areas under different land use in the Upper Kaleya River basin, southern Zambia, *Geoderma*, 104 (3-4), 299-323.

Copeland, N., Sharratt, B., Wu, J., Foltz, R. ve Dooley, J., 2009, A wood-strand material for wind erosion control: effects on total sediment loss, PM 10 vertical flux, and PM 10 loss, *Journal of Environmental Quality*, 38 (1), 139-148.

ÇEM, 2015, Çölleşme ve Erozyon Mücadele

Çetin, S. C., Karaca, A., Haktanır, K. ve Yildiz, H., 2007, Global attention to Turkey due to desertification, *Environmental monitoring and assessment*, 128 (1-3), 489-493.

ÇMD, 1993, çimento müstahsilleri derneği çimento fabrikası analiz kayıtları.

Danielson, R. ve Sutherland, P., 1986, Porosity, *Methods of Soil Analysis: Part 1—Physical and Mineralogical Methods* (methodsofsoilan1), 443-461.

De Vos, J., 1996, Testing compost as an anti wind erosion agent in a wind tunnel, *Soil Technology*, 9 (4), 209-221.

Deisadze, L., Digeser, D., Dunn, C. ve Shoikat, D., 2013, Vertical Axis Wind Turbine Evaluation and Design, *Worcester Polytechnic Institute*.

Diggle, P. J., Tawn, J. A. ve Moyeed, R. A., 1998, Model- based geostatistics, *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)*, 47 (3), 299-350.

Diouf, B., Skidmore, E., Layton, J. ve Hagen, L., 1990, Stabilizing fine sand by adding clay: laboratory wind tunnel study, *Soil technology*, 3 (1), 21-31.

Doğan, O. ve Kuzucuoğlu, C., 1993, Wind erosion in Anatolia, *Fighting measures and results obtained in the Karapınar (Konya) region. Communication presented at the Jan de Ploey Memorial Symposium, Leuwen*.

DSİ, 2014, Devlet Su İşleri.

Ekhtesasi, M., AHMADI, H., Feyznia, S. ve Busche, D., 2005, Wind erosion, facies and damages in Yazd-Ardakan plain.

El-Hady, O. ve Abo-Sedera, S., 2006, Conditioning effect of composts and acrylamide hydrogels on a sandy calcareous soil. II-Physico-bio-chemical properties of the soil, *International Journal of Agriculture and Biology (Pakistan)*.

El-Hady, O. A., Basta, A. H., El-Saied, H. ve Shaaban, S. M., 2015, Hydro-Physical Properties of Soil Treated with Rice Straw-Based Hydrogels, *Journal of Composites and Biodegradable Polymers*, 3, 26-32.

Erpul, G., Gabriels, D. ve Norton, L., 2004, Wind effects on sediment transport by raindrop- impacted shallow flow: a wind- tunnel study, *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 29 (8), 955-967.

Eswaran, H., Reich, P. ve Beinroth, F., 1997, Global distribution of soils with acidity, *Plant-Soil interactions at low pH*, 159-164.

Etyemezian, V., Nikolich, G., Ahonen, S., Pitchford, M., Sweeney, M., Purcell, R., Gillies, J. ve Kuhns, H., 2007, The Portable In Situ Wind Erosion Laboratory (PI-SWERL): A new method to measure PM10 windblown dust properties and potential for emissions, *Atmospheric Environment*, 41 (18), 3789-3796.

Feizi, Z., Ayoubi, S., Mosaddeghi, M. R., Besalatpour, A. A., Zeraatpisheh, M. ve Rodrigo-Comino, J., 2019, A wind tunnel experiment to investigate the effect of

polyvinyl acetate, biochar, and bentonite on wind erosion control, *Archives of Agronomy and Soil Science*, 65 (8), 1049-1062.

Fister, W. ve Ries, J. B., 2009, Wind erosion in the central Ebro Basin under changing land use management. Field experiments with a portable wind tunnel, *Journal of Arid Environments*, 73 (11), 996-1004.

Fister, W., Iserloh, T., Ries, J. B. ve Schmidt, R.-G., 2012, A portable wind and rainfall simulator for in situ soil erosion measurements, *Catena*, 91, 72-84.

Fryrear, D., 1984, Soil ridges-clods and wind erosion, *Transactions of the ASAE*, 27 (2), 445-0448.

Fryrear, D. W., 1985, Soil cover and wind erosion, *Transactions of the ASAE*, 28 (3), 781-0784.

Gabriels, D., Cornelis, W., Pollet, I., Van Coillie, T. ve Ouessar, M., 1997, The ICE wind tunnel for wind and water erosion studies, *Soil Technology*, 10 (1), 1-8.

Gee, G., Bauder, J. ve Klute, A., 1986, Particle-Size Analysis, Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods, Soil Since Society of America, *Inc., Madison, WIS, USA*.

Genis, A., Vulfson, L. ve Ben-Asher, J., 2013, Combating wind erosion of sandy soils and crop damage in the coastal deserts: Wind tunnel experiments, *Aeolian Research*, 9, 69-73.

Ghosh, B., Dogra, P., Sharma, N., Bhattacharyya, R. ve Mishra, P., 2015, Conservation agriculture impact for soil conservation in maize–wheat cropping system in the Indian sub-Himalayas, *International Soil and Water Conservation Research*, 3 (2), 112-118.

Gillette, D., 1978, Tests with a portable wind tunnel for determining wind erosion threshold velocities, *Atmos. Environ*, 12 (12), 2309-2313.

Gillette, D. A., 1977, Fine particulate emissions due to wind erosion, *Transactions of the ASAE*, 20 (5), 890-0897.

Gillette, D. A. ve Walker, T. R., 1977, Characteristics of airborne particles produced by wind erosion of sandy soil, high plains of west Texas, *Soil Science*, 123 (2), 97-110.

Gomes, L., Arrue, J., Lopez, M., Sterk, G., Richard, D., Gracia, R., Sabre, M., Gaudichet, A. ve Frangi, J., 2003, Wind erosion in a semiarid agricultural area of Spain: the WELSONS project, *Catena*, 52 (3-4), 235-256.

Goossens, D. ve Offer, Z. Y., 2000, Wind tunnel and field calibration of six aeolian dust samplers, *Atmospheric Environment*, 34 (7), 1043-1057.

Goudie, A., Livingstone, I. ve Stokes, S., 1999, Aeolian environments, sediments, and landforms, p.

Goudie, A. S. ve Middleton, N. J., 2006, Desert dust in the global system, Springer Science & Business Media, p.

Goudie, A. S., 2014, Desert dust and human health disorders, *Environment international*, 63, 101-113.

Grantz, D., Vaughn, D., Farber, R., Kim, B., VanCuren, T. ve Campbell, R., 1998, Wind barriers offer short-term solution to fugitive dust, *California Agriculture*, 52 (4), 14-18.

Grini, A., Myhre, G., Zender, C. S. ve Isaksen, I. S., 2005, Model simulations of dust sources and transport in the global atmosphere: Effects of soil erodibility and wind speed variability, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 110 (D2).

Groneman, A., 1968, The soils of the wind erosion control camp area Karapinar, Turkey, *Wageningen Agricultural University*.

Gugino, B. K., Abawi, G. S., Idowu, O. J., Schindelbeck, R. R., Smith, L. L., Thies, J. E., Wolfe, D. W. ve Van Es, H. M., 2009, Cornell soil health assessment training manual, Cornell University College of Agriculture and Life Sciences, p.

Guilherme, M. R., Aouada, F. A., Fajardo, A. R., Martins, A. F., Paulino, A. T., Davi, M. F., Rubira, A. F. ve Muniz, E. C., 2015, Superabsorbent hydrogels based on polysaccharides for application in agriculture as soil conditioner and nutrient carrier: A review, *European Polymer Journal*, 72, 365-385.

Gümüş, İ., Şeker, C., Negiş, H., Özaytekin, H. H., Karaaslan, E. ve Çetin, Ü., 2016, Buğday Ekili Alanlarda Agregat Stabilitesine Etki Eden Faktörlerin Belirlenmesi, *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5, 236-242.

Haciyakupoglu, S., Ertek, T. A., Walling, D. E., Ozturk, Z. F., Karahan, G., Erginal, A. E. ve Celebi, N., 2005, Using caesium-137 measurements to investigate soil erosion rates in western Istanbul (NW Turkey), *Catena*, 64 (2-3), 222-231.

Hadjiev, A. ve Hadjiev, P., 2003, On some methods for surface erosion control on tailings ponds and waste fly-ash piles, *Mining and mineral processing. Sofia (46)*, 185-187.

Hagen, L. ve Woodruff, N., 1973, Air pollution from duststorms in the Great Plains, *Atmospheric Environment (1967)*, 7 (3), 323-332.

Hagen, L., 2010, Erosion by Wind: Modeling☆, *Encyclopedia of Soil Science, Second Edition, London: Taylor and Francis publishers*.

Haigh, M. J., 1977, The use of erosion pins in the study of slope evolution, *British Geomorphological Research Group Technical Bulletin*, 18, 31-49.

He, J.-J., Cai, Q.-G. ve Tang, Z.-J., 2008, Wind tunnel experimental study on the effect of PAM on soil wind erosion control, *Environmental monitoring and assessment*, 145 (1-3), 185-193.

Hoekstra, A. Y. ve Mekonnen, M. M., 2012, The water footprint of humanity, *Proceedings of the national academy of sciences*, 109 (9), 3232-3237.

Hoover, J., 1986, Dust control on construction sites, *Final Report Prepared for the Arizona Department of Transportation Project HPR-PL-1-31 (807), Iowa State University, Ames, Iowa*.

Horikawa, K. ve Shen, H. W., 1960, Sand movement by wind action (on the characteristics of sand traps), *COASTAL ENGINEERING RESEARCH CENTER VICKSBURG MS*.

Howitt, D. ve Cramer, D., 2011, Introduction to SPSS statistics in psychology: for version 19 and earlier, Pearson, p.

Ionita, I., Margineanu, R. ve Hurjui, C., 2000, Assessment of the reservoir sedimentation rates from 137 Cs measurements in the Moldavian Plateau, *Acta geológica hispánica*, 35 (3), 357-367.

Joo, H., Yoo, Y. J. ve Dordick, J. S., 1998, Polymers from biocatalysts, *Korean Journal of Chemical Engineering*, 15 (4), 362-374.

Kacar, B., 2009, Toprak Analizleri, Nobel Yayın Dağıtım Ltd, *Şti., Ankara*, 2.

Kantarcı, M., Özel, H., Ertekin, M. ve Kırdar, E., 2011, An assessment on the adaptation of 6 tree species to steppe habitat during Konya-Karapinar sand-dune afforestations, *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 13 (19), 107-127.

Kavazanjian Jr, E., Iglesias, E. ve Karatas, I., 2009, Biopolymer soil stabilization for wind erosion control, *Proc. 17th Int. Conf. Soil Mech. Geotech. Engng, Alexandria*, 881-884.

Keeney, D. R. ve Nelson, D. W., 1982, Nitrogen—Inorganic Forms 1, *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties* (methodsofsoilan2), 643-698.

Keesstra, S., Rodrigo-Comino, J., Novara, A., Giménez-Morera, A., Pulido, M., Di Prima, S. ve Cerdà, A., 2019, Straw mulch as a sustainable solution to decrease runoff and erosion in glyphosate-treated clementine plantations in Eastern Spain. An assessment using rainfall simulation experiments, *Catena*, 174, 95-103.

Keesstra, S. D., Bouma, J., Wallinga, J., Tittonell, P., Smith, P., Cerdà, A., Montanarella, L., Quinton, J. N., Pachepsky, Y. ve Van Der Putten, W. H., 2016, The significance of soils and soil science towards realization of the United Nations Sustainable Development Goals, *Soil*.

Khalili Moghadam, B., Jamili, T., Nadian, H. ve Shahbazi, E., 2016, The influence of sugarcane mulch on sand dune stabilization in Khuzestan, the southwest of Iran, *Iran Agricultural Research*, 34 (2), 71-80.

Klute, A., 1986, Water retention: laboratory methods, *Methods of soil analysis: part 1—physical and mineralogical methods* (methodsofsoilan1), 635-662.

Koopaeenia, M. A. ve Afzali, S. F., 2015, Examining some desert conditions on some non alive waste industrial mulches for controlling wind erosion, *Ecology, Environment and Conservation*, 21 (1), 15-23.

Krige, D., 1966, Two-dimensional weighted moving average trend surfaces for ore-evaluation, *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*, 66, 13-38.

Kuzucuoglu, C., Pastre, J.-F., Black, S., Ercan, T., Fontugne, M., Guillou, H., Hatté, C., Karabiyikoglu, M., Orth, P. ve Türkecan, A., 1998, Identification and dating of tephra layers from Quaternary sedimentary sequences of Inner Anatolia, Turkey, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85 (1-4), 153-172.

Lal, R., 1989, Land degradation and its impact on food and other resources, Academic Press, San Diego, p.

Lal, R., 2007, Anthropogenic influences on world soils and implications to global food security, *Advances in agronomy*, 93, 69-93.

Larney, F. J., Bullock, M. S., Janzen, H. H., Ellert, B. H. ve Olson, E. C., 1998, Wind erosion effects on nutrient redistribution and soil productivity, *Journal of Soil and Water Conservation*, 53 (2), 133-140.

Leys, J., Strong, C., McTainsh, G., Heidenreich, S., Pitts, O. ve French, P., 2002, Relative dust emission estimated from a mini- wind tunnel, *Proc. ICAR5/GCTE- SEN Joint Conf*, 117-121.

Li, H. ve Reynolds, J., 1995, On definition and quantification of heterogeneity, *Oikos*, 280-284.

Li, Y. ve Wang, Z., 2017, Wind tunnel experiment on polypeptide derivatives in controlling wind erosion, *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 33 (5), 149-155.

Liu, L.-Y., Shi, P.-J., Zou, X.-Y., Gao, S.-Y., Erdon, H., Yan, P., Li, X.-Y., Dong, Z.-B. ve Wang, J.-H., 2003, Short-term dynamics of wind erosion of three newly cultivated grassland soils in Northern China, *Geoderma*, 115 (1-2), 55-64.

Loughran, R. J., 1989, The measurement of soil erosion, *Progress in physical geography*, 13 (2), 216-233.

Lu, J., Wu, L. ve Letey, J., 2002, Effects of soil and water properties on anionic polyacrylamide sorption, *Soil Science Society of America Journal*, 66 (2), 578-584.

Lyles, L., 1988, 4. Basic wind erosion processes, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 22, 91-101.

Maurer, T., Herrmann, L., Gaiser, T., Mounkaila, M. ve Stahr, K., 2006, A mobile wind tunnel for wind erosion field measurements, *Journal of arid environments*, 66 (2), 257-271.

McGrath, D., Zhang, C. ve Carton, O. T., 2004, Geostatistical analyses and hazard assessment on soil lead in Silvermines area, Ireland, *Environmental Pollution*, 127 (2), 239-248.

McKenna-Neuman, C. ve Nickling, W., 1989, A theoretical and wind tunnel investigation of the effect of capillary water on the entrainment of sediment by wind, *Canadian journal of soil science*, 69 (1), 79-96.

Mohamed, K. M., 2011, Water management in sandy soil using neutron scattering method.

Movahedan, M., Abbasi, N. ve Keramati, M., 2011, Experimental investigation of polyvinyl acetate polymer application for wind erosion control of soils.

Movahedan, M., Abbasi, N. ve Keramati, M., 2012, Wind erosion control of soils using polymeric materials, *Eurasian Journal of Soil Science*, 1 (2), 81-86.

Nagle, G. N., Lassoie, J. P., Fahey, T. J. ve McIntyre, S. C., 2000, The use of caesium- 137 to estimate agricultural erosion on steep slopes in a tropical watershed, *Hydrological Processes*, 14 (5), 957-969.

Nelson, D. ve Sommers, L. E., 1982, Total carbon, organic carbon, and organic matter 1, *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties* (methodsofsoilan2), 539-579.

Nelson, D. W. ve Sommers, L. E., 1996, Total carbon, organic carbon, and organic matter, *Methods of soil analysis part 3—chemical methods* (methodsofsoilan3), 961-1010.

Nelson, R., 1982, Carbonate and gypsum.--p. 181-197, *En: Methods of soil analysis: part 2; chemical and microbiological …*.

Nickling, W. ve Gillies, J., 1989, Emission of fine-grained particulates from desert soils, In: Paleoclimatology and Paleometeorology: modern and past patterns of global atmospheric transport, Eds: Springer, p. 133-165.

Nickling, W., 1994, Aeolian sediment transport and deposition, *Sediment transport and depositional processes*, 293-350.

Nickling, W. ve Neuman, C. M., 1997, Wind tunnel evaluation of a wedge-shaped aeolian sediment trap, *Geomorphology*, 18 (3-4), 333-345.

Nordstrom, K. F. ve Hotta, S., 2004, Wind erosion from cropland in the USA: a review of problems, solutions and prospects, *Geoderma*, 121 (3-4), 157-167.

Norton, M. R. ve Gunter, M. E., 1999, Relationships between respiratory diseases and quartz-rich dust in Idaho, US A, *American Mineralogist*, 84, 1009-1019.

NRCS, U., 2002, Soil conditioning index for cropland management systems, *NRCS National Agronomy Manual, Directive* (190).

Oldeman, L., Hakkeling, R. ve Sombroek, W., 1991, Glasod world map of the status of human-induced soil degradation, *ISRIC, Wageningen UNEP, Nairobi*.

Orts, W. J., Sojka, R. E. ve Glenn, G. M., 2000, Biopolymer additives to reduce erosion-induced soil losses during irrigation, *Industrial Crops and Products*, 11 (1), 19-29.

Owen, P., 1985, Wind tunnel constraint on saltation, *Proceedings on International Workshop on the Physics of Blown Sand, University of Aarhus, Aarhus, Denmark, 1985*, 253-269.

Özdemir, N., Gülser, C., Ekberli, İ. ve Özkaptan, S., 2005, Toprak düzenleyicilerinin asit toprakta strüktürel dayanıklılığa etkisi, *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 36 (2), 151-156.

Özdoğan, N., 1976, Rüzgâr erozyonu ve rüzgâr erozyonu sahalarında alınacak başlıca tedbirler, *Topraksu Genel Müdürlüğü Yayınları*, 306.

Pi, H. ve Sharratt, B., 2017, Evaluation of the RWEQ and SWEEP in simulating soil and PM10 loss from a portable wind tunnel, *Soil and Tillage Research*, 170, 94-103.

Pietersma, D., Stetler, L. ve Saxton, K., 1996, Design and aerodynamics of a portable wind tunnel for soil erosion and fugitive dust research, *Transactions of the ASAE*, 39 (6), 2075-2083.

Pimentel, D., Harvey, C., Resosudarmo, P., Sinclair, K., Kurz, D., McNair, M., Crist, S., Shpritz, L., Fitton, L. ve Saffouri, R., 1995, Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits, *Science*, 267 (5201), 1117-1123.

Pimentel, D., 2006, Soil erosion: a food and environmental threat, *Environment, development and sustainability*, 8 (1), 119-137.

Porto, P., Walling, D. E. ve Ferro, V., 2001, Validating the use of caesium-137 measurements to estimate soil erosion rates in a small drainage basin in Calabria, Southern Italy, *Journal of Hydrology*, 248 (1-4), 93-108.

Prospero, J., Charlson, R., Mohnen, V., Jaenicke, R., Delany, A., Moyers, J., Zoller, W. ve Rahn, K., 1983, The atmospheric aerosol system: an overview, *Reviews of Geophysics*, 21 (7), 1607-1629.

Raupach, M. ve Leys, J., 1990, Aerodynamics of a portable wind erosion tunnel for measuring soil erodibility by wind, *Soil Research*, 28 (2), 177-191.

Ravi, S., D'Odorico, P., Herbert, B., Zobeck, T. ve Over, T. M., 2006a, Enhancement of wind erosion by fire- induced water repellency, *Water Resources Research*, 42 (11).

Ravi, S., Zobeck, T. M., Over, T. M., Okin, G. S. ve D'ODORICO, P., 2006b, On the effect of moisture bonding forces in air- dry soils on threshold friction velocity of wind erosion, *Sedimentology*, 53 (3), 597-609.

Refahi, H., 2004, Wind erosion and its control, *Tehran University, Iran, 320p*.

Refahi, H., 2006, Wind erosion and its control, University of Tehran. 320 pp, Farsi.

Rezaie, S., 2009, Comparison between polylatice polymer and petroleum mulch on seed germination and plant establishment in sand dune fixation, *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 16 (1), 124-136.

Richard, R. M., Gillett, P. E., Kriegh, J. D. ve Lewis, B. A., 1980, The analysis and design of single plate framing connections, *Engineering Journal*, 17 (2).

Ritchie, J. C. ve McHenry, J. R., 1990, Application of radioactive fallout cesium-137 for measuring soil erosion and sediment accumulation rates and patterns: a review, *Journal of environmental quality*, 19 (2), 215-233.

Sannino, A., Demitri, C. ve Madaghiele, M., 2009, Biodegradable cellulose-based hydrogels: design and applications, *Materials*, 2 (2), 353-373.

Sarka, E., Bubnik, Z., Hinkova, A., Gebler, J. ve Kadlec, P., 2012, Molasses as a by-product of sugar crystallization and a perspective raw material, *Procedia Engineering*, 42, 1219-1228.

Schuller, P., Sepúlveda, A., Trumper, R. ve Castillo, A., 2000, Application of the 137 Cs technique to quantify soil redistribution rates in paleohumults from Central-South Chile, *Acta geológica hispánica*, 35 (3), 285-290.

Seker, C., 2003, Effects of selected amendments on soil properties and emergence of wheat seedlings, *Canadian journal of soil science*, 83 (5), 615-621.

Shahnavaz, M., Nourzadeh Haddad, M., Gholami, A. ve Panahpour, E., 2019, Investigation the Efficiency of Soil Stabilizers against Soil Loss and their Effects on Chemical Properties of Soil, *Arid Land Research and Management*, 33 (2), 119-135.

Shao, Y., McTainsh, G., Leys, J. ve Raupach, M., 1993a, Efficiencies of sediment samplers for wind erosion measurement, *Soil Research*, 31 (4), 519-532.

Shao, Y., Raupach, M. ve Findlater, P., 1993b, Effect of saltation bombardment on the entrainment of dust by wind, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 98 (D7), 12719-12726.

Shao, Y., 2008, Physics and modelling of wind erosion, Springer Science & Business Media, p.

Shojaei, S., Ardakani, M. A. H. ve Sodaiezadeh, H., 2019, Optimization of parameters affecting organic mulch test to control erosion, *Journal of environmental management*, 249, 109414.

Sirjani, E., Sameni, A., Moosavi, A. A., Mahmoodabadi, M. ve Laurent, B., 2019, Portable wind tunnel experiments to study soil erosion by wind and its link to soil properties in the Fars province, Iran, *Geoderma*, 333, 69-80.

Skidmore, E., 1994, Wind erosion, *Soil erosion research methods*, 2.

Smil, V., 1987, Energy, food, environment, Clarendon Press Oxford, p.

Song, Z., Wang, J. ve Wang, S., 2007, Quantitative classification of northeast Asian dust events, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 112 (D4).

Sprigg, W. A., Nickovic, S., Galgiani, J. N., Pejanovic, G., Petkovic, S., Vujadinovic, M., Vukovic, A., Dacic, M., DiBiase, S. ve Prasad, A., 2014, Regional dust storm modeling for health services: the case of valley fever, *Aeolian Research*, 14, 53-73.

Stetler, L. D., 1999, Design and construction of a portable wind tunnel for soil erosion research, *Proc. SD Acad of Sci*, 78, 23-33.

Strong, C. L., Leys, J. F., Raupach, M. R., Bullard, J. E., Aubault, H. A., Butler, H. J. ve McTainsh, G. H., 2016, Development and testing of a micro wind tunnel for on-site wind erosion simulations, *Environmental Fluid Mechanics*, 16 (5), 1065-1083.

Şeker, C., 2004, PORTLAND ÇİMENTOSUNUN OLUŞTURDUĞU TOPRAK AGREGAT STABİLİTESİNE DONMA-ÇÖZÜLME VE SICAKLIĞIN ETKİSİ, *Selçuk Tarım Bilimleri Dergisi*, 18 (34), 51-55.

Theocharopoulos, S., Florou, H., Kritidis, P., Belis, D., Tsouloucha, F., Christou, M., Kouloumbis, P. ve Nikolaou, T., 2000, Use of 137 Cs isotopic technique in soil erosion studies in Central Greece, *Acta geológica hispánica*, 35 (3), 301-310.

Theocharopoulos, S., Florou, H., Walling, D., Kalantzakos, H., Christou, M., Tountas, P. ve Nikolaou, T., 2003, Soil erosion and deposition rates in a cultivated catchment area in central Greece, estimated using the 137Cs technique, *Soil and Tillage Research*, 69 (1-2), 153-162.

TUİK, 2015, TUİK internet verileri.

Turgut, B. ve Öztaş, T., 2012, Bazı Toprak Özelliklerine Ait Yersel Degisimin Jeoistatistiksel Yöntemlerle Belirlenmesi, *SDÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 7 (2), 10-22.

Valérie Heuzé, G. T., Harry Archimède, David Renaudeau, Michel Lessire, François Lebas, 2015, Sugarcane molasses. Feedipedia, a programme by INRA, CIRAD, AFZ and FAO, https://www.feedipedia.org/node/561 [28.09.2019].

van den Boogaart, K. G. ve Schaeben, H., 2002, Kriging of regionalized directions, axes, and orientations I. Directions and axes, *Mathematical Geology*, 34 (5), 479-503.

Van Pelt, R., Zobeck, T., Baddock, M. ve Cox, J., 2010, Design, construction, and calibration of a portable boundary layer wind tunnel for field use, *Transactions of the ASABE*, 53 (5), 1413-1422.

Walling, D. ve He, Q., 1999a, Using fallout lead-210 measurements to estimate soil erosion on cultivated land, *Soil Science Society of America Journal*, 63 (5), 1404-1412.

Walling, D. ve He, Q., 1999b, Improved models for estimating soil erosion rates from cesium-137 measurements, *Journal of Environmental Quality*, 28 (2), 611-622.

Warren, A., Chappell, A., Todd, M. C., Bristow, C., Drake, N., Engelstaedter, S., Martins, V., M'bainayel, S. ve Washington, R., 2007, Dust-raising in the dustiest place on earth, *Geomorphology*, 92 (1-2), 25-37.

Webb, N. P. ve McGowan, H. A., 2009, Approaches to modelling land erodibility by wind, *Progress in Physical Geography*, 33 (5), 587-613.

Webb, N. P. ve Strong, C. L., 2011, Soil erodibility dynamics and its representation for wind erosion and dust emission models, *Aeolian Research*, 3 (2), 165-179.

Webb, N. P., Van Zee, J. W., Karl, J. W., Herrick, J. E., Courtright, E. M., Billings, B. J., Boyd, R., Chappell, A., Duniway, M. C. ve Derner, J. D., 2017, Enhancing wind erosion monitoring and assessment for US rangelands, *Rangelands*, 39 (3-4), 85-96.

Webster, R. ve Oliver, M. A., 2007, Geostatistics for environmental scientists, John Wiley & Sons, p.

Weinan, C. ve Fryrear, D. W., 1996, Grain-size distributions of wind-eroded material above a flat bare soil, *Physical Geography*, 17 (6), 554-584.

White, B. ve Mounla, H., 1991, An experimental study of Froude number effect on wind-tunnel saltation, In: Aeolian grain transport 1, Eds: Springer, p. 145-157.

White, R. E., 2013, Principles and practice of soil science: the soil as a natural resource, John Wiley & Sons, p.

Wilding, L., 1985, Spatial variability: its documentation, accommodation and implication to soil surveys, *Soil spatial variability. Workshop*, 166-194.

Wright, A. F. ve Bailey, J. S., 2001, Organic carbon, total carbon, and total nitrogen determinations in soils of variable calcium carbonate contents using a Leco CN-2000 dry combustion analyzer, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 32 (19-20), 3243-3258.

Wynne, A. ve Meyer, J., 2002, An Economic assessment of using molasses and condensed molasses solids as a fertilizer in the South African sugar industry, *Proceedings South African Sugar Technologists Association*, 71-78.

Yang, J., Wang, F. ve Tan, T., 2008, Synthesis and characterization of a novel soil stabilizer based on biodegradable poly (aspartic acid) hydrogel, *Korean Journal of Chemical Engineering*, 25 (5), 1076-1081.

Yang, K. ve Tang, Z., 2012, Effectiveness of fly ash and polyacrylamide as a sand-fixing agent for wind erosion control, *Water, Air, & Soil Pollution*, 223 (7), 4065-4074.

Yildirim, A. I. ve Akay, A., 2010, The greening desert of Karapinar: an example from Turkey, *Second International symposium on sustainable development, International Burch University-IBU Campus, Sarajevo*, 546-551.

Youssef, F., Saskia, V., Karssenberg, D. ve Erpul, G., 2010, THE SPATIAL VARIATION IN WIND-BLOWN SEDIMENT TRANSPORT IN SMALL SCALES IN KARAPINAR-TURKEY, *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 25 (2), 80-88.

Zengin, M., Tolay, İ., Ocakoğlu, F., Açıkalın, S. ve Kır, O., 2012, İç Anadolu'da Rüzgâr Erozyonundan Etkilenen Tarım ve Mera Topraklarının Verimlilik Durumları, *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 26 (1), 60-69.

Zhang, Y. ve Yu, C., 1990, Sorption and retardation of radioactive strontium and cesium on the granite, *Chinese Journal of Nuclear Science and Engineering*, 10 (3), 265-272.

Zhang, Y., Wang, H., Wang, X., Yang, W. ve Zhang, D., 2006, The microstructure of microbiotic crust and its influence on wind erosion for a sandy soil surface in the Gurbantunggut Desert of Northwestern China, *Geoderma*, 132 (3-4), 441-449.

Zingg, A., 1951a, Evaluation of the Erodibility of Field Surfaces with a Portable Wind Tunnel 1, *Soil Science Society of America Journal*, 15 (C), 11-17.

Zingg, A., 1951b, A Portable Wind Tunnel and Dust Collector Developed to Evaluate the Erodibility of Field Surfaces 1, *Agronomy Journal*, 43 (4), 189-191.

Zingg, A. ve Woodruff, N., 1951, Calibration of a Portable Wind Tunnel for the Simple Determination of Roughness and Drag on Field Surfaces 1, *Agronomy Journal*, 43 (4), 191-193.

Zingg, A., 1953, Wind tunnel studies of the movement of sedimentary material, *Proceedings of the 5th Hydraulic Conference Bulletin*, 111-135.

Zobeck, T. M., Sterk, G., Funk, R., Rajot, J. L., Stout, J. E. ve Van Pelt, R. S., 2003, Measurement and data analysis methods for field- scale wind erosion studies

and model validation, *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 28 (11), 1163-1188.

Zomorodian, S. M. A., Ghaffari, H. ve O'Kelly, B. C., 2019, Stabilisation of crustal sand layer using biocementation technique for wind erosion control, *Aeolian Research*, 40, 34-41.

7 EKLER

EK-1 Dizaynı yapılan rüzgâr tüneli ve yapım aşamalarından bazı görüntüler














Biyolojik Malzemeler
Test Laboratuvarı





EK-2 Rüzgâr tünelinde 0,5-1,5-2-2,5 m uzaklıklardaki 5 m/s rüzgâr hızı için elde edilen ilk ölçüm sonuçları (örnekleme noktası sayı toplamı 12)

A	b	5m/s-50cm	5m/s-150cm	5m/s-200cm	5m/s-250cm
10.0	**1**	0.6	2.3	3.8	3.8
19.0	**1**	1.9	3.7	3.1	4.7
29.0	**1**	2.6	3.5	2.3	4.3
10.0	**2**	2.2	3.1	2.0	3.8
19.0	**2**	3.2	4.2	3.4	4.7
29.0	**2**	3.8	6.2	2.5	2.1
10.0	**4**	2.0	5.5	2.4	3.8
19.0	**4**	4.1	5.4	5.9	5.4
29.0	**4**	7.2	7.1	6.2	5.0
10.0	**6**	1.1	5.6	5.2	2.5
19.0	**6**	6.5	5.0	6.4	6.1
29.0	**6**	8.8	6.6	7.2	5.5
10.0	**8**	5.3	5.1	3.5	2.5
19.0	**8**	6.4	7.2	7.5	5.4
29.0	**8**	8.7	8.3	7.8	7.7
10.0	**10**	2.7	3.8	4.2	3.9
19.0	**10**	7.0	6.7	7.6	6.4
29.0	**10**	8.8	8.3	7.7	8.0
10.0	**12**	1.5	3.8	2.5	4.8
19.0	**12**	5.5	5.5	7.0	5.8
29.0	**12**	8.7	9.2	7.2	7.4
10.0	**14**	5.4	4.5	4.7	5.1
19.0	**14**	6.1	6.2	6.5	5.6
29.0	**14**	9.2	8.1	8.1	7.8
10.0	**16**	5.6	5.9	4.7	5.4
19.0	**16**	7.0	7.1	7.5	5.8
29.0	**16**	8.2	7.2	7.6	7.0
10.0	**18**	6.7	6.9	6.6	5.4
19.0	**18**	7.6	6.2	6.7	5.6
29.0	**18**	8.0	6.5	6.8	6.6
10.0	**20**	7.9	7.3	7.2	6.8
19.0	**20**	7.5	7.0	6.1	5.5
29.0	**20**	6.1	8.7	6.0	6.1
10.0	**22**	8.0	8.7	8.3	7.0
19.0	**22**	6.0	6.9	6.0	5.6
29.0	**22**	5.6	5.2	5.6	4.8
10.0	**24**	8.2	8.8	8.8	7.7
19.0	**24**	5.7	6.7	5.8	5.7
29.0	**24**	3.8	8.0	5.7	3.2
10.0	**26**	8.6	8.8	8.9	5.2
19.0	**26**	5.3	6.2	5.9	5.6
29.0	**26**	4.8	3.1	3.5	2.8
10.0	**28**	8.3	8.4	8.4	6.6
19.0	**28**	4.1	5.5	5.7	5.4
29.0	**28**	3.8	3.7	4.7	4.5
10.0	**30**	8.6	7.9	7.8	5.1
19.0	**30**	4.0	5.4	2.8	4.8
29.0	**30**	2.6	3.6	5.0	4.6
10.0	**32**	6.9	7.5	7.5	7.8
19.0	**32**	4.4	4.7	4.2	4.9
29.0	**32**	2.7	4.0	5.4	4.8
10.0	**34**	6.0	7.3	7.5	5.7
19.0	**34**	2.8	5.1	4.8	4.8

29.0	**34**	4.8	4.9	5.6	4.9
10.0	**36**	5.4	7.1	4.3	7.4
19.0	**36**	3.1	4.7	5.4	5.7
29.0	**36**	2.8	5.4	6.0	5.3
10.0	**37**	2.8	2.1	5.7	6.7
19.0	**37**	2.9	2.9	6.5	6.0
29.0	**37**	2.4	2.3	3.2	5.8

EK-3 Rüzgâr tünelinde 0,5-1,5-2-2,5 m uzaklıklardaki 7 m/s rüzgâr hızı için elde edilen ilk ölçüm sonuçları (örnekleme noktası sayı toplamı 12)

a	b	7m/s-50cm	7m/s-150cm	7m/s-200cm	7m/s-250cm
10.0	**1**	3.0	6.5	3.0	7.8
19.0	**1**	4.1	4.7	4.5	5.9
29.0	**1**	4.0	6.2	5.1	7.7
10.0	**2**	4.7	5.8	4.9	2.9
19.0	**2**	5.3	5.9	4.0	7.1
29.0	**2**	8.1	7.6	6.3	8.5
10.0	**4**	7.2	5.2	6.3	7.7
19.0	**4**	5.7	6.4	6.6	7.5
29.0	**4**	9.7	8.8	9.0	10.4
10.0	**6**	2.6	3.3	6.2	3.5
19.0	**6**	5.9	7.4	6.5	7.3
29.0	**6**	10.4	8.9	8.2	9.2
10.0	**8**	5.6	2.1	4.2	5.7
19.0	**8**	5.9	6.0	8.8	6.8
29.0	**8**	10.8	10.0	9.5	9.9
10.0	**10**	6.1	4.1	3.7	5.1
19.0	**10**	6.3	7.0	8.5	7.9
29.0	**10**	11.2	10.7	11.2	10.2
10.0	**12**	10.5	4.8	3.5	3.7
19.0	**12**	6.4	6.4	8.7	6.3
29.0	**12**	11.0	7.9	10.2	9.1
10.0	**14**	10.5	4.8	4.2	6.4
19.0	**14**	8.7	7.2	8.6	7.1
29.0	**14**	11.1	10.0	10.6	7.8
10.0	**16**	7.2	4.6	5.5	6.8
19.0	**16**	9.5	7.4	8.4	7.7
29.0	**16**	9.9	8.9	9.0	8.5
10.0	**18**	9.6	5.4	7.8	7.5
19.0	**18**	8.7	7.5	7.6	7.9
29.0	**18**	4.6	7.3	7.7	8.1
10.0	**20**	8.5	6.8	7.6	6.3
19.0	**20**	7.6	7.9	7.0	7.5
29.0	**20**	4.3	10.4	7.3	6.7
10.0	**22**	12.0	8.7	7.9	7.1
19.0	**22**	4.3	8.0	6.9	7.3
29.0	**22**	2.8	7.7	7.9	6.2
10.0	**24**	12.3	11.0	9.0	8.1
19.0	**24**	5.3	7.9	6.9	7.2
29.0	**24**	1.5	7.3	6.8	5.9
10.0	**26**	11.5	10.7	10.6	8.8
19.0	**26**	3.4	6.9	6.4	7.1
29.0	**26**	2.7	6.7	3.1	3.2
10.0	**28**	10.9	11.1	10.5	9.1
19.0	**28**	3.3	7.3	6.9	6.9
29.0	**28**	3.1	4.4	3.6	6.3
10.0	**30**	11.0	11.0	10.8	8.5
19.0	**30**	3.8	6.8	6.5	6.5
29.0	**30**	2.8	3.6	4.5	7.0
10.0	**32**	10.9	11.7	9.4	11.6
19.0	**32**	4.0	6.3	6.3	6.1
29.0	**32**	3.3	3.6	6.2	7.2
10.0	**34**	9.3	12.3	8.9	12.0

19.0	**34**	4.4	4.5	7.8	6.2
29.0	**34**	2.2	5.7	6.0	8.3
10.0	**36**	7.4	8.8	7.8	8.8
19.0	**36**	3.3	5.6	7.4	5.9
29.0	**36**	3.1	3.0	6.9	7.9
10.0	**37**	5.9	4.1	5.9	8.3
19.0	**37**	4.7	3.6	5.3	7.3
29.0	**37**	5.6	3.9	5.8	8.2

EK-4 Rüzgâr tünelinde 0,5-1,5-2-2,5 m uzaklıklardaki 9 m/s rüzgâr hızı için elde edilen ilk ölçüm sonuçları (örnekleme noktası sayı toplamı 12)

a	b	9m/s-50cm	9m/s-150cm	9m/s-200cm	9m/s-250cm
10.0	**1**	5.0	3.0	3.50	4.0
19.0	**1**	7.8	7.0	11.1	9.0
29.0	**1**	10.3	10.1	11.3	9.0
10.0	**2**	6.3	7.2	8.2	4.4
19.0	**2**	9.5	7.9	10.0	9.3
29.0	**2**	12.4	11.7	12.1	9.9
10.0	**4**	3.7	8.0	8.5	7.9
19.0	**4**	9.8	8.1	10.5	11.0
29.0	**4**	13.0	12.0	11.8	12.1
10.0	**6**	7.0	8.3	8.1	8.0
19.0	**6**	8.9	8.0	10.1	11.3
29.0	**6**	13.0	12.1	12.1	12.3
10.0	**8**	6.8	7.9	8.0	7.6
19.0	**8**	9.4	8.3	10.9	10.5
29.0	**8**	13.6	13.0	12.8	12.4
10.0	**10**	8.4	9.0	8.4	9.2
19.0	**10**	12.6	9.7	10.9	10.3
29.0	**10**	13.3	12.5	12.9	13.0
10.0	**12**	9.0	9.7	8.3	10.1
19.0	**12**	11.7	9.0	10.6	10.2
29.0	**12**	12.1	12.7	12.1	11.8
10.0	**14**	9.4	9.8	9.0	11.2
19.0	**14**	10.9	10.2	10.3	10.5
29.0	**14**	11.9	10.9	11.8	11.0
10.0	**16**	10.2	10.0	10.1	11.3
19.0	**16**	10.7	9.9	10.0	9.0
29.0	**16**	10.8	10.6	10.7	11.2
10.0	**18**	10.0	10.5	11.9	12.1
19.0	**18**	10.2	10.0	9.9	6.6
29.0	**18**	11.2	10.6	10.2	9.2
10.0	**20**	12.1	12.1	10.7	12.0
19.0	**20**	11.5	11.0	9.0	8.2
29.0	**20**	10.7	9.3	10.8	9.0
10.0	**22**	13.3	13.2	12.2	12.2
19.0	**22**	12.5	11.5	10.9	8.9
29.0	**22**	9.2	8.9	9.0	8.9
10.0	**24**	13.1	12.8	12.0	12. 1
19.0	**24**	12.0	10.8	9.2	8.4
29.0	**24**	9.0	8.0	8.7	8.3
10.0	**26**	13.2	13.0	11.0	12.3
19.0	**26**	12.1	10.0	9.0	8.0
29.0	**26**	8.1	7.0	8.4	8.0
10.0	**28**	14.3	13.5	14.0	12.5
19.0	**28**	11.3	9.2	8.2	8.5
29.0	**28**	8.3	6.6	8.1	7.4
10.0	**30**	14.0	13.3	12.6	12.4
19.0	**30**	8.6	3.6	8.6	7.8
29.0	**30**	10.3	7.8	8.4	7.7
10.0	**32**	13.1	11.7	13.1	13.0
19.0	**32**	7.4	7.0	8.0	7.4
29.0	**32**	9.7	7.0	8.1	7.8

10.0	**34**	13.3	10.9	12.2	14.4
19.0	**34**	6.4	3.5	8.2	7.7
29.0	**34**	9.3	9.6	8.9	7.3
10.0	**36**	13.4	9.8	12.3	12.0
19.0	**36**	8.8	5.1	8.6	8.1
29.0	**36**	8.5	9.0	13.2	8.1
10.0	**37**	3.7	2.9	10.4	3.3
19.0	**37**	4.3	3.7	5.3	2.0
29.0	**37**	4.6	3.3	4.8	3.8

EK-5 Rüzgâr tünelinde 0,5-1,5-2-2,5 m uzaklıklardaki 11 m/s rüzgâr hızı için elde edilen ilk ölçüm sonuçları (örnekleme noktası sayı toplamı 12)

a	b	11m/s-50cm	11m/s-150cm	11m/s-200cm	11m/s-250cm
10.0	**1**	5.4	4.4	5.1	8.0
19.0	**1**	9.4	9.3	9.5	7.2
29.0	**1**	10.3	10.8	8.4	9.0
10.0	**2**	9.5	8.5	9.3	8.2
19.0	**2**	9.5	9.1	5.8	7.4
29.0	**2**	13.8	13.6	8.0	9.4
10.0	**4**	9.8	9.0	9.6	6.5
19.0	**4**	11.3	10.0	10.4	4.8
29.0	**4**	11.5	11.0	9.0	11.0
10.0	**6**	8.3	10.0	8.0	3.5
19.0	**6**	5.2	12.9	7.6	2.2
29.0	**6**	14.0	12.0	13.0	12.5
10.0	**8**	11.4	8.8	6.4	6.7
19.0	**8**	10.1	12.0	9.8	8.4
29.0	**8**	13.9	12.8	13.0	13.2
10.0	**10**	14.0	6.9	8.0	6.5
19.0	**10**	10.7	12.5	10.1	8.8
29.0	**10**	14.0	14.0	13.4	13.0
10.0	**12**	13.1	8.5	8.3	7.2
19.0	**12**	11.3	12.0	9.0	9.0
29.0	**12**	14.2	13.2	12.1	12.1
10.0	**14**	13.5	9.1	8.8	7.0
19.0	**14**	11.8	11.2	9.8	5.8
29.0	**14**	13.7	12.6	14.0	11.0
10.0	**16**	14.3	10.3	5.0	7.9
19.0	**16**	13.1	11.8	9.0	9.2
29.0	**16**	14.7	12.5	13.2	10.8
10.0	**18**	14.2	9.0	8.2	7.7
19.0	**18**	13.9	10.8	9.4	9.6
29.0	**18**	15.0	12.5	14.1	9.5
10.0	**20**	15.1	6.8	6.2	7.9
19.0	**20**	14.5	10.4	8.6	8.0
29.0	**20**	15.1	11.1	13.0	9.4
10.0	**22**	16.0	10.9	10.1	7.9
19.0	**22**	13.5	5.1	8.2	8.2
29.0	**22**	15.0	10.0	12.8	9.0
10.0	**24**	15.8	10.5	10.5	8.0
19.0	**24**	13.1	9.3	8.5	8.6
29.0	**24**	15.2	9.8	12.1	9.2
10.0	**26**	15.6	12.6	11.8	8.9
19.0	**26**	13.2	9.8	8.7	8.8
29.0	**26**	15.0	9.0	12.6	9.3
10.0	**28**	15.3	13.2	12.4	9.7
19.0	**28**	12.1	9.6	8.9	8.7
29.0	**28**	14.3	9.0	12.2	9.1
10.0	**30**	14.6	14.8	13.9	13.0
19.0	**30**	9.4	11.0	9.3	10.3
29.0	**30**	8.5	7.0	8.0	8.1
10.0	**32**	14.0	13.5	13.5	13.1
19.0	**32**	9.0	9.0	9.0	9.0
29.0	**32**	8.5	6.5	7.4	8.7
10.0	**34**	14.1	13.3	13.2	14.0
19.0	**34**	9.4	8.0	9.3	8.7

29.0	**34**	8.9	6.5	6.0	9.0
10.0	**36**	13.5	12.5	12.0	12.6
19.0	**36**	8.3	8.7	9.9	9.3
29.0	**36**	10.1	6.0	6.0	8.3
10.0	**37**	11.7	9.8	10.2	9.5
19.0	**37**	9.1	10.6	11.3	10.9
29.0	**37**	10.4	7.5	8.4	9.8

EK-6 Rüzgâr tünelinde 0,5-1,5-2-2,5 m uzaklıklardaki 5m/s rüzgâr hızı için elde edilen ölçüm sonuçları

a	b	5m/s-50cm	5m/s-150cm	5m/s-200cm	5m/s-250cm
5.0	**1**	2.00	3.20	4.0	4.7
10.0	**1**	3.60	5.30	3.8	4.8
15.0	**1**	3.50	3.90	4.2	4.2
20.0	**1**	3.90	3.70	3.9	4.7
25.0	**1**	3.80	4.80	4.8	4.5
30.0	**1**	3.60	5.50	4.3	4.3
35.0	**1**	3.40	4.90	4.1	4.7
5.0	**2**	2.60	3.00	4.1	4.1
10.0	**2**	3.50	5.10	5.0	4.8
15.0	**2**	3.80	4.90	5.2	4.6
20.0	**2**	4.20	4.20	4.4	4.7
25.0	**2**	4.00	4.20	4.6	5.2
30.0	**2**	4.80	6.20	5.5	6.1
35.0	**2**	3.70	4.80	5.2	5.8
5.0	**4**	2.40	3.20	3.5	4.7
10.0	**4**	3.00	5.50	4.4	3.8
15.0	**4**	4.20	5.00	5.4	4.7
20.0	**4**	5.10	5.40	5.9	5.4
25.0	**4**	5.90	6.30	6.1	6.1
30.0	**4**	7.20	7.10	6.2	7.0
35.0	**4**	7.40	7.80	6.5	6.8
5.0	**6**	3.50	5.10	5.0	1.9
10.0	**6**	3.10	5.60	5.2	2.5
15.0	**6**	4.00	4.80	5.6	4.7
20.0	**6**	5.50	5.00	6.4	6.1
25.0	**6**	6.80	6.70	7.0	7.0
30.0	**6**	7.80	7.60	7.2	7.5
35.0	**6**	7.90	7.70	7.8	7.9
5.0	**8**	3.20	5.00	5.1	2.2
10.0	**8**	3.30	5.10	4.5	2.5
15.0	**8**	5.90	6.70	5.8	5.1
20.0	**8**	6.40	7.20	7.5	5.4
25.0	**8**	7.80	8.00	7.9	6.9
30.0	**8**	8.70	8.30	7.8	7.7
35.0	**8**	8.30	8.20	8.0	8.1
5.0	**10**	3.00	3.30	3.2	3.9
10.0	**10**	3.70	3.80	4.2	3.9
15.0	**10**	6.70	6.00	6.2	5.9
20.0	**10**	7.00	6.70	7.6	6.4
25.0	**10**	8.00	8.10	7.1	7.2
30.0	**10**	8.80	8.30	7.7	8.0
35.0	**10**	8.80	8.10	8.0	8.2
5.0	**12**	3.50	3.70	3.2	4.5
10.0	**12**	3.50	3.80	3.5	4.8
15.0	**12**	5.10	4.80	6.9	5.7
20.0	**12**	6.50	5.50	7.0	5.8
25.0	**12**	7.10	6.90	7.0	6.0
30.0	**12**	8.70	8.20	7.2	7.4
35.0	**12**	8.90	8.30	7.4	7.4
5.0	**14**	5.80	5.00	5.0	5.1
10.0	**14**	5.40	4.50	4.7	5.1
15.0	**14**	5.90	6.00	6.1	5.5
20.0	**14**	6.10	6.20	6.5	5.6
25.0	**14**	8.10	7.50	7.2	7.8

30.0	**14**	8.20	8.10	8.1	7.8
35.0	**14**	8.80	8.30	8.1	8.2
5.0	**16**	5.50	5.70	5.1	5.2
10.0	**16**	5.60	5.90	4.7	5.4
15.0	**16**	6.30	6.20	6.8	5.7
20.0	**16**	7.00	6.10	7.5	5.8
25.0	**16**	7.80	6.80	7.1	6.8
30.0	**16**	8.20	7.20	7.6	7.0
35.0	**16**	8.30	7.30	7.5	7.0
5.0	**18**	6.30	6.50	6.4	5.3
10.0	**18**	6.70	6.90	6.6	5.4
15.0	**18**	7.10	6.50	6.3	5.5
20.0	**18**	7.60	6.20	6.7	5.6
25.0	**18**	7.80	6.00	6.5	6.3
30.0	**18**	8.00	6.50	6.8	6.6
35.0	**18**	7.60	6.00	6.2	6.1
5.0	**20**	7.70	7.00	7.0	7.0
10.0	**20**	7.90	7.30	7.2	6.8
15.0	**20**	7.60	7.10	6.9	5.9
20.0	**20**	7.50	7.00	6.1	5.5
25.0	**20**	6.50	6.00	6.0	5.9
30.0	**20**	6.10	5.70	6.0	6.1
35.0	**20**	6.00	5.80	6.0	6.0
5.0	**22**	6.80	8.80	8.2	7.2
10.0	**22**	7.00	8.70	8.3	7.0
15.0	**22**	6.80	7.30	6.9	6.9
20.0	**22**	6.00	6.90	6.0	5.6
25.0	**22**	5.90	6.20	5.1	5.2
30.0	**22**	5.60	5.20	5.6	4.8
35.0	**22**	4.90	4.80	5.0	4.9
5.0	**24**	7.80	8.00	8.0	7.0
10.0	**24**	8.20	8.80	8.8	7.7
15.0	**24**	7.50	7.00	6.5	7.0
20.0	**24**	5.70	6.70	5.8	5.7
25.0	**24**	4.90	5.20	5.0	4.3
30.0	**24**	3.80	4.00	5.7	3.2
35.0	**24**	4.00	4.20	4.9	4.0
5.0	**26**	8.50	8.20	8.5	8.4
10.0	**26**	8.60	9.30	8.9	8.2
15.0	**26**	6.50	6.00	5.7	5.4
20.0	**26**	5.30	6.20	5.9	5.6
25.0	**26**	5.00	4.60	4.0	3.0
30.0	**26**	4.80	3.10	3.5	2.8
35.0	**26**	4.80	4.70	4.0	4.3
5.0	**28**	7.80	7.90	7.1	7.7
10.0	**28**	8.30	8.40	8.4	8.6
15.0	**28**	7.20	6.80	6.3	6.7
20.0	**28**	4.10	5.50	5.7	5.4
25.0	**28**	4.00	4.10	4.2	4.0
30.0	**28**	3.80	3.70	4.7	4.5
35.0	**28**	4.00	3.90	4.1	4.0
5.0	**30**	7.40	7.80	7.6	7.8
10.0	**30**	7.60	7.90	7.8	8.1
15.0	**30**	6.80	6.40	6.5	6.3
20.0	**30**	4.00	5.40	4.8	4.8
25.0	**30**	3.80	3.80	4.1	4.1
30.0	**30**	3.60	3.60	5.0	4.6
35.0	**30**	3.30	3.80	4.5	4.1

5.0	**32**	6.00	7.70	7.0	7.1
10.0	**32**	6.90	7.50	7.5	7.8
15.0	**32**	5.80	5.20	5.6	5.2
20.0	**32**	4.40	4.70	4.2	4.9
25.0	**32**	4.50	4.20	5.0	4.9
30.0	**32**	3.70	4.00	5.4	4.8
35.0	**32**	3.00	3.80	4.9	4.8
5.0	**34**	5.80	7.00	7.1	7.5
10.0	**34**	6.00	7.30	7.5	7.7
15.0	**34**	5.70	5.10	5.9	5.7
20.0	**34**	2.80	5.10	4.8	4.8
25.0	**34**	3.50	4.00	5.1	5.0
30.0	**34**	4.80	4.90	5.6	4.9
35.0	**34**	3.30	3.50	5.1	5.0
5.0	**36**	5.00	6.40	7.0	7.0
10.0	**36**	5.40	7.10	7.3	7.4
15.0	**36**	4.90	5.10	5.1	5.3
20.0	**36**	3.10	3.70	5.4	5.7
25.0	**36**	3.50	5.00	5.1	5.2
30.0	**36**	3.80	4.40	6.0	5.3
35.0	**36**	2.00	3.50	5.8	5.1
5.0	**37**	3.20	5.10	5.4	5.7
10.0	**37**	4.80	6.10	6.7	6.7
15.0	**37**	4.90	5.10	5.2	5.4
20.0	**37**	3.90	5.90	6.5	6.0
25.0	**37**	4.40	5.00	5.2	5.1
30.0	**37**	4.40	4.30	6.2	5.8
35.0	**37**	5.10	4.40	5.9	5.8

EK-7 Rüzgâr tünelinde 0,5-1,5-2-2,5 m uzaklıklardaki 7m/s rüzgâr hızı için elde edilen ölçüm sonuçları

a	b	7m/s-50cm	7m/s-150cm	7m/s-200cm	7m/s-250cm
5.0	**1**	4.3	6.20	4,8	7.5
10.0	**1**	4.0	6.50	5.0	7.8
15.0	**1**	4.2	6.00	4.7	6.9
20.0	**1**	4.1	4.70	4.5	5.9
25.0	**1**	5.8	5.70	5.0	6.8
30.0	**1**	6.0	6.20	5.1	7.7
35.0	**1**	6.2	6.30	5.2	7.2
5.0	**2**	5.3	6.00	5.0	6.2
10.0	**2**	4.7	5.80	4.9	5.9
15.0	**2**	5.4	6.10	5.6	7.0
20.0	**2**	5.3	5.90	6.0	7.1
25.0	**2**	5.7	7.20	6.2	8.4
30.0	**2**	7.1	7.60	6.3	8.5
35.0	**2**	6.7	6.70	6.5	8.6
5.0	**4**	5.8	6.20	6.4	7.3
10.0	**4**	6.2	5.20	6.3	7.7
15.0	**4**	6.4	5.90	6.5	7.6
20.0	**4**	5.7	6.40	6.6	7.5
25.0	**4**	7.3	6.20	7.6	8.6
30.0	**4**	9.1	8.80	8.0	9.4
35.0	**4**	8.9	7.60	7.3	9.2
5.0	**6**	5.2	5.10	6.7	6.2
10.0	**6**	4.6	3.30	6.2	6.5
15.0	**6**	6.8	6.80	6.3	6.7
20.0	**6**	5.9	7.40	6.5	7.3
25.0	**6**	6.9	7.60	6.4	8.5
30.0	**6**	10.4	8.90	8.2	9.2
35.0	**6**	8.5	8.50	7.8	8.3
5.0	**8**	6.2	5.00	5.6	6.3
10.0	**8**	5.6	5.10	4.2	5.7
15.0	**8**	6.4	5.00	6.7	6.2
20.0	**8**	5.9	6.00	7.8	6.8
25.0	**8**	7.9	8.30	8.3	8.1
30.0	**8**	10.8	10.00	9.5	9.9
35.0	**8**	8.6	7.60	8.3	8.1
5.0	**10**	6.2	5.30	5.3	6.1
10.0	**10**	6.1	5.10	3.7	5.1
15.0	**10**	6.4	6.90	7.6	6.9
20.0	**10**	6.3	7.00	8.5	7.9
25.0	**10**	8.9	7.90	9.2	8.2
30.0	**10**	11.2	10.70	10.2	10.2
35.0	**10**	9.4	8.60	8.6	8.9
5.0	**12**	8.2	7.30	5.2	6.3
10.0	**12**	8.5	4.80	3.5	5.7
15.0	**12**	8.2	5.30	7.5	6.2
20.0	**12**	7.4	6.40	8.7	6.3
25.0	**12**	7.8	6.90	8.5	8.1
30.0	**12**	11.0	7.90	10.2	9.1
35.0	**12**	10.1	7.50	8.5	9.1
5.0	**14**	10.3	6.90	5.2	6.3
10.0	**14**	10.5	4.80	4.2	6.4
15.0	**14**	9.3	5.90	7.5	6.9
20.0	**14**	8.7	7.20	8.6	7.1
25.0	**14**	9.7	8.30	7.4	7.7

30.0	**14**	11.1	10.00	9.6	7.8
35.0	**14**	10.8	7.80	8.2	7.9
5.0	**16**	6.8	6.10	7.4	7.3
10.0	**16**	7.2	4.60	5.5	6.8
15.0	**16**	8.1	5.80	7.3	7.4
20.0	**16**	9.5	7.40	8.4	7.7
25.0	**16**	9.1	6.80	8.1	7.8
30.0	**16**	9.9	8.90	9.0	8.5
35.0	**16**	9.5	7.30	8.1	8.2
5.0	**18**	9.3	6.80	8.2	8.2
10.0	**18**	9.6	5.40	7.8	7.5
15.0	**18**	9.2	6.40	7.2	7.6
20.0	**18**	8.7	7.50	7.6	7.9
25.0	**18**	5.2	7.10	7.1	7.9
30.0	**18**	4.6	7.30	7.7	8.1
35.0	**18**	6.1	7.50	7.8	8.0
5.0	**20**	7.8	7.00	7.7	7.6
10.0	**20**	8.5	6.80	7.6	6.3
15.0	**20**	8.1	7.30	7.1	7.8
20.0	**20**	7.6	7.90	7.0	7.5
25.0	**20**	6.3	8.20	7.1	7.2
30.0	**20**	4.3	10.40	7.3	6.7
35.0	**20**	6.5	8.90	7.6	7.2
5.0	**22**	10.7	8.10	7.6	7.1
10.0	**22**	12.0	8.70	7.9	7.1
15.0	**22**	8.3	8.00	7.3	7.3
20.0	**22**	4.3	8.00	6.9	7.3
25.0	**22**	4.2	7.90	7.6	6.9
30.0	**22**	4.8	7.70	7.9	6.2
35.0	**22**	5.5	7.30	7.2	7.3
5.0	**24**	11.5	10.10	7.9	7.2
10.0	**24**	12.3	11.00	9.0	8.1
15.0	**24**	9.5	7.40	8.2	7.9
20.0	**24**	5.3	7.90	6.9	7.2
25.0	**24**	4.1	7.10	7.1	7.0
30.0	**24**	4.5	7.30	6.8	5.9
35.0	**24**	4.8	7.00	7.0	6.2
5.0	**26**	12.0	8.90	8.1	7.5
10.0	**26**	11.5	10.70	10.6	8.8
15.0	**26**	9.8	8.10	7.8	7.9
20.0	**26**	4.4	6.90	6.4	7.1
25.0	**26**	4.7	6.20	7.4	6.8
30.0	**26**	4.7	6.70	5.1	5.2
35.0	**26**	4.6	7.10	6.2	6.5
5.0	**28**	10.0	7.50	7.9	7.9
10.0	**28**	10.9	11.10	10.5	9.1
15.0	**28**	6.9	9.50	7.0	8.5
20.0	**28**	4.3	7.30	6.9	6.9
25.0	**28**	4.0	6.20	6.2	7.3
30.0	**28**	4.1	4.40	5.6	6.3
35.0	**28**	4.8	4.70	7.2	7.2
5.0	**30**	10.6	10.30	8.4	7.5
10.0	**30**	11.0	11.00	10.8	8.5
15.0	**30**	7.3	9.40	8.1	7.9
20.0	**30**	4.8	6.80	6.5	6.5
25.0	**30**	4.0	5.90	6.3	7.3
30.0	**30**	4.8	5.60	5.5	7.0
35.0	**30**	4.9	5.20	5.1	7.2

5.0	**32**	9.3	9.70	8.2	9.8
10.0	**32**	10.9	10.70	9.4	10.6
15.0	**32**	7.3	8.30	8.1	8.3
20.0	**32**	4.0	6.30	6.3	6.1
25.0	**32**	4.5	6.00	6.8	7.4
30.0	**32**	4.3	5.60	6.2	7.2
35.0	**32**	5.0	6.50	6.2	8.2
5.0	**34**	8.2	8.90	7.9	8.4
10.0	**34**	9.3	10.30	8.9	10.0
15.0	**34**	6.2	8.50	6.9	8.2
20.0	**34**	4.4	4.50	7.8	6.2
25.0	**34**	4.2	5.30	7.3	7.2
30.0	**34**	4.2	5.70	6.0	8.3
35.0	**34**	4.5	6.20	6.2	8.1
5.0	**36**	6.9	7.90	7.3	8.4
10.0	**36**	7.4	8.80	7.8	8.8
15.0	**36**	5.2	6.40	7.5	7.6
20.0	**36**	4.3	5.60	7.4	5.9
25.0	**36**	4.0	6.30	7.2	6.8
30.0	**36**	4.1	6.00	6.9	7.9
35.0	**36**	5.7	7.20	7.0	8.1
5.0	**37**	6.3	7.00	6.8	7.8
10.0	**37**	5.9	7.10	5.9	8.3
15.0	**37**	5.0	7.20	6.3	7.6
20.0	**37**	4.7	7.60	8.3	7.3
25.0	**37**	5.9	6.70	7.6	7.5
30.0	**37**	5.6	5.90	7.8	8.2
35.0	**37**	5.3	6.20	7.2	7.2

EK-8 Rüzgâr tünelinde 0,5-1,5-2-2,5 m uzaklıklardaki 9m/s rüzgâr hızı için elde edilen ölçüm sonuçları

a	b	9m/s-50cm	9m/s-150cm	9m/s-200cm	9m/s-250cm
5.0	**1**	8.9	5.9	8.1	6.9
10.0	**1**	9.0	6.0	8.0	7.0
15.0	**1**	8.7	6.7	7.9	7.8
20.0	**1**	7.8	7.0	10.1	9.0
25.0	**1**	9.4	8.7	10.7	9.1
30.0	**1**	10.3	10.1	10.3	9.0
35.0	**1**	10.0	10.1	10.4	10.0
5.0	**2**	9.8	9.8	8.1	8.7
10.0	**2**	6.3	7.2	8.2	7.4
15.0	**2**	9.4	7.8	9.5	9.0
20.0	**2**	9.5	7.9	10.0	9.3
25.0	**2**	11.1	11.0	11.3	10.0
30.0	**2**	12.4	11.7	12.1	9.9
35.0	**2**	12.2	11.8	12.0	10.0
5.0	**4**	6.8	7.8	8.4	8.0
10.0	**4**	6.7	8.0	8.5	7.9
15.0	**4**	7.5	8.0	8.7	9.1
20.0	**4**	9.8	8.1	10.5	11.0
25.0	**4**	11.5	11.1	11.1	11.1
30.0	**4**	12.0	12.0	11.8	12.1
35.0	**4**	12.1	11.8	11.7	11.7
5.0	**6**	7.1	7.3	7.4	7.8
10.0	**6**	7.0	8.3	8.1	8.0
15.0	**6**	8.1	8.0	9.1	10.0
20.0	**6**	8.9	8.0	10.1	11.3
25.0	**6**	8.5	11.4	11.2	11.1
30.0	**6**	12.0	12.1	12.1	12.3
35.0	**6**	12.1	11.7	11.4	11.8
5.0	**8**	9.8	9.1	9.0	8.4
10.0	**8**	6.8	7.9	8.0	7.6
15.0	**8**	8.1	8.0	9.1	8.7
20.0	**8**	9.4	8.3	10.9	10.5
25.0	**8**	11.9	12.7	11.9	12.0
30.0	**8**	12.6	13.0	12.1	12.4
35.0	**8**	12.7	11.9	11.7	12.0
5.0	**10**	8.0	8.1	8.1	9.0
10.0	**10**	8.4	9.0	8.4	9.2
15.0	**10**	10.2	9.5	9.2	9.7
20.0	**10**	12.6	9.7	10.9	10.3
25.0	**10**	12.7	11.8	11.1	11.2
30.0	**10**	12.3	12.5	12.0	12.0
35.0	**10**	12.4	12.7	12.6	12.1
5.0	**12**	9.1	9.2	9.0	9.5
10.0	**12**	9.0	9.7	8.3	10.1
15.0	**12**	10.1	9.4	9.9	10.0
20.0	**12**	11.7	9.0	10.6	10.2
25.0	**12**	11.9	11.2	11.1	11.4
30.0	**12**	12.1	11.7	12.1	11.8
35.0	**12**	12.0	11.6	11.4	10.9
5.0	**14**	9.8	9.7	9.8	10.4
10.0	**14**	9.4	9.8	9.0	11.2
15.0	**14**	10.2	10.0	10.1	10.7
20.0	**14**	10.9	10.2	10.3	10.5
25.0	**14**	11.2	10.4	11.1	10.8

30.0	**14**	11.9	10.9	11.8	11.0
35.0	**14**	11.7	11.0	11.1	10.4
5.0	**16**	10.0	9.8	10.0	10.4
10.0	**16**	10.2	10.0	10.1	11.3
15.0	**16**	10.4	10.0	10.0	10.7
20.0	**16**	10.7	9.9	10.0	9.0
25.0	**16**	10.8	10.5	10.4	10.8
30.0	**16**	10.8	10.6	10.7	11.2
35.0	**16**	10.5	10.4	10.8	10.9
5.0	**18**	10.3	10.2	11.8	11.7
10.0	**18**	10.0	10.5	11.9	12.1
15.0	**18**	10.1	10.0	10.0	9.7
20.0	**18**	10.2	10.0	9.9	8.6
25.0	**18**	10.8	10.1	10.0	8.8
30.0	**18**	11.2	10.6	10.2	9.2
35.0	**18**	10.9	10.5	10.0	9.5
5.0	**20**	11.4	11.7	10.5	10.1
10.0	**20**	12.1	12.1	10.7	12.0
15.0	**20**	11.7	11.7	10.5	10.9
20.0	**20**	11.5	11.0	9.0	8.2
25.0	**20**	11.0	10.7	10.5	8.7
30.0	**20**	10.7	9.3	10.8	9.0
35.0	**20**	10.4	9.0	10.2	9.1
5.0	**22**	12.3	12.7	12.0	12.0
10.0	**22**	12.3	13.2	11.2	12.2
15.0	**22**	12.3	11.8	10.7	9.7
20.0	**22**	12.5	11.5	10.9	8.9
25.0	**22**	10.7	9.8	9.2	9.1
30.0	**22**	9.2	8.9	9.0	8.9
35.0	**22**	9.4	9.0	9.0	8.8
5.0	**24**	12.2	11.8	11.4	11.0
10.0	**24**	12.1	12.8	11.0	12. 1
15.0	**24**	12.0	11.0	10.2	9.8
20.0	**24**	11.8	10.8	9.2	8.4
25.0	**24**	11.4	10.1	8.8	8.7
30.0	**24**	9.0	8.0	8.7	8.3
35.0	**24**	9.0	8.2	8.4	8.1
5.0	**26**	12.4	12.4	10.8	11.4
10.0	**26**	12.2	13.0	11.0	12.3
15.0	**26**	12.8	11.7	10.1	9.7
20.0	**26**	12.1	10.0	9.0	8.0
25.0	**26**	11.1	8.7	8.6	8.0
30.0	**26**	8.1	7.0	8.4	8.0
35.0	**26**	8.4	7.0	8.1	8.0
5.0	**28**	12.7	13.1	11.1	12.1
10.0	**28**	12.3	13.5	12.0	12.5
15.0	**28**	12.4	11.3	9.7	8.9
20.0	**28**	11.3	9.2	8.2	8.5
25.0	**28**	10.1	8.4	8.6	8.1
30.0	**28**	8.3	6.6	8.1	7.4
35.0	**28**	8.4	6.7	8.0	7.5
5.0	**30**	12.7	13.0	11.4	12.1
10.0	**30**	12.0	13.3	12.0	12.4
15.0	**30**	12.7	6.2	8.9	8.7
20.0	**30**	8.6	6.6	8.6	7.8
25.0	**30**	9.0	7.5	8.0	7.9
30.0	**30**	10.3	7.8	8.4	7.7
35.0	**30**	9.7	7.9	8.2	7.9

5.0	**32**	12.8	12.0	11.3	11.8
10.0	**32**	12.1	11.7	12.1	12.0
15.0	**32**	10.8	8.4	8.1	9.4
20.0	**32**	7.4	7.0	8.0	7.4
25.0	**32**	7.8	7.0	8.0	7.6
30.0	**32**	9.7	7.0	8.1	7.8
35.0	**32**	9.5	7.1	8.0	7.9
5.0	**34**	12.1	10.1	11.7	12.1
10.0	**34**	12.3	10.9	12.2	12.4
15.0	**34**	10.7	9.7	10.4	10.4
20.0	**34**	6.4	6.5	8.2	7.7
25.0	**34**	7.8	7.9	8.0	7.8
30.0	**34**	9.3	9.6	8.9	7.3
35.0	**34**	9.0	9.1	9.0	7.7
5.0	**36**	10.8	10.1	10.9	10.1
10.0	**36**	11.4	9.8	11.3	11.0
15.0	**36**	10.4	8.9	11.1	9.0
20.0	**36**	8.8	7.1	8.6	8.1
25.0	**36**	8.7	7.9	9.5	8.2
30.0	**36**	8.5	9.0	10.2	8.1
35.0	**36**	8.6	8.7	9.4	8.2
5.0	**37**	8.7	8.6	9.5	8.0
10.0	**37**	8.7	8.9	10.4	9.3
15.0	**37**	8.0	8.1	10.0	9.1
20.0	**37**	7.3	7.7	10.3	9.0
25.0	**37**	7.9	8.2	9.2	9.0
30.0	**37**	8.6	9.3	9.8	8.8
35.0	**37**	8.7	9.0	9.7	8.7

EK-9 Rüzgâr tünelinde 0,5-1,5-2-2,5 m uzaklıklardaki 11m/s rüzgâr hızı için elde edilen ölçüm sonuçları

a	b	11m/s-50cm	11m/s-150cm	11m/s-200cm	11m/s-250cm
5.0	**1**	8.6	10.5	10.0	10.1
10.0	**1**	8.4	10.4	10.1	10.0
15.0	**1**	9.0	10.1	10.2	10.0
20.0	**1**	9.4	10.3	10.5	10.7
25.0	**1**	9.8	9.7	10.0	10.9
30.0	**1**	10.3	10.8	9.4	10.0
35.0	**1**	10.0	10.2	10.5	10.0
5.0	**2**	9.2	10.8	10.1	10.7
10.0	**2**	9.5	10.5	10.3	10.2
15.0	**2**	9.4	10.0	10.5	10.7
20.0	**2**	9.5	10.1	9.8	10.4
25.0	**2**	9.0	10.0	10.2	10.0
30.0	**2**	11.8	10.6	9.0	10.4
35.0	**2**	11.0	10.1	9.5	10.1
5.0	**4**	10.0	10.5	10.7	9.8
10.0	**4**	9.8	10.0	10.6	9.7
15.0	**4**	10.0	10.5	10.8	10.9
20.0	**4**	10.3	10.0	10.4	10.2
25.0	**4**	11.0	10.5	10.1	10.0
30.0	**4**	11.5	11.0	10.0	10.0
35.0	**4**	11.2	10.8	10.7	10.0
5.0	**6**	8.7	10.0	10.9	9.1
10.0	**6**	8.3	10.0	10.0	9.6
15.0	**6**	8.7	10.5	10.7	9.8
20.0	**6**	9.2	11.9	9.6	10.0
25.0	**6**	13.1	11.1	10.7	10.4
30.0	**6**	13.0	12.0	12.0	11.5
35.0	**6**	13.7	11.4	11.7	11.0
5.0	**8**	11.0	10.1	10.2	9.1
10.0	**8**	11.4	10.8	8.4	9.7
15.0	**8**	10.8	9.8	10.7	10.5
20.0	**8**	10.1	12.0	9.8	10.4
25.0	**8**	12.1	12.4	11.8	12.0
30.0	**8**	13.9	12.8	13.0	13.2
35.0	**8**	12.8	12.4	12.7	12.8
5.0	**10**	13.1	10.2	10.7	10.0
10.0	**10**	13.5	10.9	9.0	9.5
15.0	**10**	11.4	10.1	10.7	10.9
20.0	**10**	10.7	12.5	10.1	10.8
25.0	**10**	12.8	12.8	11.5	11.8
30.0	**10**	13.0	14.0	13.4	13.0
35.0	**10**	14.2	14.3	14.1	13.8
5.0	**12**	13.0	10.0	10.7	10.8
10.0	**12**	13.1	10.5	10.3	9.8
15.0	**12**	12.1	10.8	10.9	10.7
20.0	**12**	11.3	12.0	9.0	10.0
25.0	**12**	12.8	12.8	11.7	11.1
30.0	**12**	13.2	13.2	12.1	12.1
35.0	**12**	13.0	12.7	11.0	11.1
5.0	**14**	13.2	10.0	10.3	10.4
10.0	**14**	13.5	10.1	10.8	10.0
15.0	**14**	12.7	10.4	10.9	10.7
20.0	**14**	11.8	11.2	9.8	10.8

25.0	**14**	12.0	12.1	13.1	12.0
30.0	**14**	13.7	12.6	14.0	11.0
35.0	**14**	13.0	12.7	13.8	12.0
5.0	**16**	13.7	11.2	10.8	10.2
10.0	**16**	13.3	10.3	10.0	9.9
15.0	**16**	13.4	11.0	10.9	10.9
20.0	**16**	13.1	11.8	10.0	10.2
25.0	**16**	13.4	12.0	12.7	10.4
30.0	**16**	13.7	12.5	13.2	10.8
35.0	**16**	13.1	12.0	12.9	10.4
5.0	**18**	13.0	11.8	10.7	10.2
10.0	**18**	13.2	11.0	10.2	10.7
15.0	**18**	13.0	10.4	10.9	10.1
20.0	**18**	13.9	10.8	9.4	10.6
25.0	**18**	13.2	11.2	12.8	10.4
30.0	**18**	13.0	12.5	14.1	10.5
35.0	**18**	13.7	12.4	14.0	10.8
5.0	**20**	13.9	11.4	10.8	10.7
10.0	**20**	13.1	10.8	10.2	9.9
15.0	**20**	13.9	10.0	10.1	10.9
20.0	**20**	13.5	10.4	9.6	10.0
25.0	**20**	13.0	10.8	11.8	10.2
30.0	**20**	13.1	11.1	13.0	10.4
35.0	**20**	13.0	11.2	12.7	10.0
5.0	**22**	13.4	11.2	11.4	10.9
10.0	**22**	14.0	10.9	10.1	9.9
15.0	**22**	13.2	10.2	10.7	10.9
20.0	**22**	13.5	10.1	9.2	10.2
25.0	**22**	13.3	10.8	11.0	9.9
30.0	**22**	13.0	10.0	12.8	10.0
35.0	**22**	13.2	10.1	11.5	10.4
5.0	**24**	13.9	10.8	11.9	10.7
10.0	**24**	13.8	10.5	10.5	10.0
15.0	**24**	13.4	10.1	10.8	10.4
20.0	**24**	13.1	10.3	9.5	10.6
25.0	**24**	13.1	10.8	11.0	10.1
30.0	**24**	13.2	9.8	12.1	10.2
35.0	**24**	13.0	10.0	12.2	10.4
5.0	**26**	13.0	12.1	12.0	10.2
10.0	**26**	13.6	12.6	11.8	10.9
15.0	**26**	13.4	11.7	10.8	10.9
20.0	**26**	13.2	10.8	9.7	10.8
25.0	**26**	13.0	10.8	11.0	10.0
30.0	**26**	13.0	10.0	12.6	10.3
35.0	**26**	13.1	10.0	12.1	10.5
5.0	**28**	13.0	12.4	12.0	10.5
10.0	**28**	13.3	13.2	12.4	10.7
15.0	**28**	13.5	12.7	11.7	10.7
20.0	**28**	12.1	10.6	9.9	10.7
25.0	**28**	11.0	10.7	11.1	10.0
30.0	**28**	13.3	10.0	12.2	10.1
35.0	**28**	13.0	10.1	11.8	10.0
5.0	**30**	13.2	14.5	13.1	11.0
10.0	**30**	13.6	14.8	13.9	12.0
15.0	**30**	11.0	12.1	10.8	10.7
20.0	**30**	9.4	11.0	10.3	10.3
25.0	**30**	9.0	10.8	10.0	10.4
30.0	**30**	8.5	10.0	11.0	9.1

35.0	**30**	8.7	10.8	11.0	9.1
5.0	**32**	13.1	13.2	12.8	13.0
10.0	**32**	13.0	13.5	13.5	13.1
15.0	**32**	10.2	10.4	11.1	10.8
20.0	**32**	9.0	11.0	10.0	10.0
25.0	**32**	8.7	10.2	10.2	9.8
30.0	**32**	8.5	10.5	10.4	9.7
35.0	**32**	8.4	10.8	10.6	9.5
5.0	**34**	13.8	12.8	13.8	13.8
10.0	**34**	13.1	13.3	13.2	14.0
15.0	**34**	12.1	11.6	11.5	11.7
20.0	**34**	9.4	11.0	10.3	10.7
25.0	**34**	9.0	10.9	10.1	10.0
30.0	**34**	8.9	10.5	9.0	10.0
35.0	**34**	9.0	10.4	9.9	10.1
5.0	**36**	12.4	12.0	11.9	11.4
10.0	**36**	13.5	12.5	12.0	12.6
15.0	**36**	11.7	10.5	10.9	11.2
20.0	**36**	8.3	11.7	10.9	10.3
25.0	**36**	9.7	11.8	9.4	10.8
30.0	**36**	10.1	10.0	9.0	10.3
35.0	**36**	10.4	10.9	9.8	10.5
5.0	**37**	11.2	10.0	10.1	10.8
10.0	**37**	11.7	11.8	10.2	10.5
15.0	**37**	10.1	10.0	10.2	10.0
20.0	**37**	9.1	11.6	11.3	10.9
25.0	**37**	10.0	11.1	10.8	10.0
30.0	**37**	10.4	10.5	9.4	10.8
35.0	**37**	10.0	10.8	9.2	10.9

8 ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	**:**	Vildan ERCİ
Uyruğu	**:**	T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi	**:**	SAMSUN-1984
Telefon	**:**	0(553) 497 02 01
Faks	**:**	
e-mail	**:**	vildanerci@selcuk.edu.tr

EĞİTİM

Derece		**Adı, İlçe, İl**	**Bitirme Yılı**
Lise	:	**Namık Kemal Lisesi**	**2003**
Üniversite	:	**Ondokuz Mayıs Üniversitesi**	**2008**
Yüksek Lisans	:	**Ondokuz Mayıs Üniversitesi**	**2012**
Doktora	:	**Selçuk Üniversitesi**	**2020**

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görevi**
2009-2010	Dizayn Grup	ARGE Personeli
2014-Devam Ediyor	S.Ü. Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü	Arş. Gör.

UZMANLIK ALANI

Toprak ve Su Muhafazası

YABANCI DİLLER

İngilizce

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR

Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler:

Isildak, I., Cubuk, O., Altikatoglu, M., Yolcu, M., **Erci, V.** ve Tinkilic, N., 2012, A novel conductometric creatinine biosensor based on solid-state contact ammonium sensitive PVC–NH2 membrane, Biochemical Engineering Journal, 62, 34-38.

Cubuk, O., Altikatoglu, M., **Erci, V.,** Isildak, I. ve Tinkilic, N., 2013, An all solid-state creatinine biosensor based on ammonium-selective PVC-NH_2 membrane electrode, Sensor Letters, 11 (3), 585-590.

Asan, A., Aydin, R., Semiz, D. K., **Erci, V.** ve Isildak, I., 2013, A very sensitive flow-injection spectrophotometric determination method for iron (II) and total iron using 2′, 3, 4′, 5, 7-pentahydroxyflavone, Environmental monitoring and assessment, 185 (3), 2115-2121.

Altikatoglu, M., Karakus, E., **Erci, V.**, Pekyardımcı, S. ve Isildak, I., 2013, Novel creatine biosensors based on all solid-state contact ammonium-selective membrane electrodes, Artificial cells, nanomedicine, and biotechnology, 41 (2), 131-136.

Dumanli, R., Attar, A., **Erci, V.** ve Isildak, I., 2016, Simultaneous analysis of monovalent anions and cations with a sub-microliter dead-volume flow-through potentiometric detector for ion chromatography, Journal of chromatographic science, 54 (4), 598-603.

Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında (Proceedings) basılan bildiriler:

Erci, V., Eren, E., ve Andaç, M. 2009. Ion selective electrodes for simultaneous real time extraction and analysis of soil macronutrients nitrate potassium and calcium. 8th International Electrochemistry Meeting October 8-12, 2009, Antalya- Turkey

Çepniler, F., Topçu, C., **Erci**, **V.,** Işıldak, İ. 2010. "Characteristics of a Cobalt-Based Potentiometric Phosphate Electrode and Applications for Phosphate Detection in Different Soil Extractants", 3rd International Congress on Information and Communication Technologies in Agriculture, Food, Forestry And Environment, June 14-18, 2010, Samsun, Turkey

Kızılkaya, R., Dengiz, O., Alparslan, T., Durmuş, M., **Erci**, **V.,** Aksu, S. 2010. "Changes of soil microbial biomass C and basal soil respiration in different land use and land cover", International Soil Science Congress on Management of Natural Resources to Sustain Soil Health and Quality, May 26-28, 2010. Ondokuz Mayis University, Samsun, Turkey. pp. 1039-1046

Yıldırım, R., Ağır, İ., Altikatoğlu, M., Attar, A., **Erci**, **V.,** Işıldak, İ. 2013. "Development of A Potassium- Selective Sensor for Hydroponic Nutrient Solution Monitoring", 10th Inrternational Electrochemistry Meeting, Konya, Turkey. P 162

Erci, **V.,** Tavukçuoğlu, Ö., Güner, D., Ağır, İ., Işıldak, İ. 2014. "Ion-selective electrodes for simultaneous real-time extraction and analysis of soil nitrate, potassium and phosphate", Bio Eng'14/International Bioengineering Conference. İstanbul, Turkey

Güner, D., Topuzoğulları, M., **Erci**, **V.,** Işıldak, İ. 2014. "Superabsorbent hydrogels based on carboxymethylcellulose and graphenoxide for high salt resistance", Bio Eng'14/International Bioengineering Conference. İstanbul, Turkey

V. Erci, F. Erci, E. Torlak, İ. Işıldak, R. Kızılkaya, 2015. "Comparison of potentiometric and spectrophotometric methods for the measurement of extracellular alkaline phosphatase activities in soil", 2nd International Conference on Sustainable Agriculture and Environment (2nd ICSAE). Konya, Turkey**. (Yüksek Lisans tezinden yayınlanmıştır)**

Erci, **V**., Erci, F., Kızılkaya, R., Işıldak, İ. 2015. "Potentiometric determination of extracellular urease activities in extracts of soil samples", 2nd International Conference on Sustainable Agriculture and Environment (2nd ICSAE). Konya, Turkey. **(Yüksek Lisans tezinden yayınlanmıştır).**

Erci, F., Torlak, E., **Erci, V.**, Attar, A., ve Işıldak, İ. 2016. Development and formulation of new solid bio fertilizer macrocapsules. 2nd International Conference on Pure & Applied Science, İstanbul.

Erci, V. ve Şeker, C. 2017. Wind Erosion Control Using Bioplymers as Soil Stabilizers. VI. InternationalMolecular Biology and Biotechnology Congress., Afyon,Turkey. **(Doktora çalışmasından yayınlanmıştır).**

Erci, V., ve Şeker, C. 2019. "Effects of humic acid applications on wind erosion in laboratory scale wind tunnel", 3rd International Congress on Advances in Bioscience and Biotechnology (ICABB),July 10-14, 2019 Kiev, Ukraine. **(Doktora çalışmasından yayınlanmıştır).**

Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler:

Erci V., Çepniler F., Eren E., Topcu C., Işıldak İ. 2010. Potansiyometrik Katyon-Seçici Sensörlerin ve Ekstraksiyon Çözeltilerin Toprak Numunelerine Uygulanması, 5. Ulusal Analitik Kimya Kongresi, Atatürk Üniversitesi (Erzurum)

Erci, V., Tavukçuoğlu, Ö., Yıldırım, R., Erci, F., ve Şeker, C. 2015. Toprak Ekstraktlarında Fosfat Tayini İçin Seçici Katı Hal Membran Fosfat Sensörlerinin Geliştirilmesi. İç Anadolu Bölgesi 2. Tarım ve Gıda Kongresi, Nevşehir.