

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MARMARA DENİZİ RÜZGAR VE DALGA İKLİMİNİN UZUN
DÖNEMLİ ANALİZİ

Hazal IŞIN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Hidrolik Programı

Danışman

Doç. Dr. H. Anıl GÜNER

Eylül, 2022

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MARMARA DENİZİ RÜZGAR VE DALGA İKLİMİNİN UZUN DÖNEMLİ
ANALİZİ**

Hazal IŞIN tarafından hazırlanan tez çalışması 28.09.2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Hidrolik Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. H. Anıl GÜNER
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. H. Anıl GÜNER, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Yalçın YÜKSEL, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Veysel Şadan Özgür KIRCA, Üye
İstanbul Teknik Üniversitesi

Danışmanım Doç. Dr. H. Anıl GÜNER sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Marmara Denizi Rüzgar ve Dalga İkliminin Uzun Dönemli Analizi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Hazal IŞIN

İmza



Helin'e

ve

Can'a

TEŞEKKÜR

Öğrencisi olduğum için kendimi şanslı hissettiğim, çalışmam boyunca değerli bilgilerini, tecrübelerini, bana olan desteğini ve sabrını esirgemeyen, çalışmamın geliştirilmesi sürecinde her aşamayı titizlikle inceleyen tez danışmanım Sayın Doç. Dr. H. Anıl GÜNER'e çok teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim boyunca bilgileriyle ışık tutan öğrencileri olmaktan mutluluk ve gurur duyduğum Yıldız Teknik Üniversitesi Hidrolik ve Kıyı Liman Mühendisliği programındaki hocalarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamda beni sabırla destekleyen ve her zaman yanımda olduklarını bilmekten mutluluk duyduğum sevgili aileme gönülden teşekkür ederim.

Hazal IŞIN

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
TABLO LİSTESİ	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiv
1 GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı	6
1.3 Hipotez	7
2 DALGA TAHMİN YÖNTEMLERİ VE MIKE 21 SW	8
2.1 Giriş	8
2.2 Dalga Tahmin Yöntemleri	8
2.2.1 Ampirik Tahmin Modelleri	9
2.2.2 Sayısal Dalga Modelleri.....	11
2.3 MIKE 21 SW Sayısal Dalga Modeli	16
2.3.1 Temel Denklemler	17
2.3.2 Dalga Hareketi Korunum Denklemleri.....	19
2.3.3 Kaynak Fonksiyonları	21
3 MARMARA DENİZİ DALGA MODELLEMESİ VE KALİBRASYONU	22
3.1 Giriş	22
3.2 Çalışma Alanı (Marmara Denizi)	22
3.3 Sayısal Dalga Modellemesi.....	23
3.3.1 Çalışmada Kullanılan Veriler	26
3.4 Model Kalibrasyonu	31
3.4.1 Model Kalibrasyon Parametreleri	31
3.4.2 Model Kalibrasyonu Sonuçları.....	33
3.5 Sayısal Dalga Modelinin Doğrulanması	48
4 SAYISAL DALGA MODELİ SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME	53
4.1 Giriş	53
4.2 Rüzgar ve Dalga Parametrelerinin Uzun Dönemli Değişimleri.....	55

4.2.1 Rüzgar Hızı ve Belirgin Dalga Yüksekliklerinin Aylık ve Mevsimsel Değişimleri.....	56
4.2.2 Rüzgar Hızlarının ve Belirgin Dalga Yüksekliklerinin Değişim Eğilimleri	58
4.3 Marmara Denizi Uzun Dönem Rüzgar ve Dalga İklimi	62
5 SONUÇ VE ÖNERİLER	75
KAYNAKÇA	79
A MARMARA DENİZİ RÜZGAR GÜLLERİ	81
B MARMARA DENİZİ DALGA GÜLLERİ	98
C MARMARA DENİZİ MEVSİMSEL DALGA GÜLLERİ	115
D MARMARA DENİZİ'NİN BELİRGİN DALGA YÜKSEKLİĞİ-ORTALAMA DALGA PERİYODU GRAFİKLERİ	149
E MARMARA DENİZİ'NİN BELİRGİN DALGA YÜKSEKLİĞİ-EKLENİK AŞILMA OLASILIKLARI VE DENKLEMLERİ	172
F MARMARA DENİZİ'NİN DERİN DENİZ EN BÜYÜK BELİRGİN DALGA YÜKSEKLİĞİ İSTATİSTİĞİ	240
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR	258

SİMGE LİSTESİ

$\vec{U}$	Akıntı hızı vektörü
H_s	Belirgin dalga yüksekliği
λ	Boylam
z_{ch}	Charnock parametresi
θ	Dalga yönü
k	Dalga numarası
c_g	Dalga grup hızı
c	Dalga faz hızı
S_{surf}	Derinlik kaynaklı kırılma nedeniyle enerji harcanımı
$\vec{v}(c_x, c_y, c_\sigma, c_\theta)$	Dört boyutlu faz alanında dalga grubunun x'te yayılma hızı
∇	Dört boyutlu diferansiyel operatör
R	Dünyanın yarıçapı
S	Enerji denge denkleminin kaynak terimi
ϕ	Enlem
f	Frekans
σ	Göreceli açısal frekans
N	Hareket yoğunluğu
$\vec{x}(x, y)$	Kartezyen koordinatları
S_{dis}	Köpüklenme nedeniyle meydana gelen dalga enerji harcanımı
S_{nl}	Lineer olmayan dalga-dalga etkileşimden kaynaklı enerji taşınımı
σ_{maks}	Maksimum frekans
σ_{min}	Minimum frekans
ω	Mutlak açısal frekans
$\bar{\sigma}$	Ortalama göreceli frekans
u_{10}	Ortalama deniz seviyesinden 10 m yukarıdaki rüzgar hızı
T_{ort}	Ortalama dalga periyodu
σ_{PM}	Pierson-Moskowitz pik frekansı
S_{in}	Rüzgar alanında gelen enerji girdisi
d	Su derinliği
S_{bot}	Taban sürtünmesinden kaynaklanan enerji harcanımı

KISALTMA LİSTESİ

CD	Coupled discrete
CFSR	Climate Forecast System Reanalysis
CH	Coupled hybrid
DHI	Danish Hydraulic Institute
DP	Decoupled propagation
E	East
ECMWF	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
ENE	East North East
ESE	East South East
EW	East West
JMA	Japonya Meteorological Agency
JONSWAP	Joint North Sea Wave
MRI	Meteorological Research Institute
N	North
NE	North East
NNE	North North East
NNW	North North West
NS	North South
NW	North West
SMB	Sverdrup-Munk-Bretschneider
SPM	Shore Protection Manual
SSE	South South East
SSW	South South West
SW	Spectral Waves
SWAMP	Sea Wave Modeling Project
TPAO	Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı
N	North
W	West
WAM	Wave Modelling
WNW	West North West
WSW	West South West

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1	Marmara Denizi batimetri haritası	23
Şekil 3.2	Marmara Denizi ve Silivri ölçüm istasyonu	27
Şekil 3.3	Ölçülen belirgin dalga yükseklikleri zaman serisi; a) 1 Şubat 2013-31 Aralık 2013 b) 1 Ocak 2014-31 Aralık 2014 c) 1 Ocak 2015-31 Aralık 2015 d) 1 Ocak 2016-28 Ekim 2016 e) 27 Ocak 2017-28 Aralık 2017 f) 5 Ocak 2018-13 Kasım 2018 tarihleri arasındaki grafikleri temsil etmektedir.	28
Şekil 3.4	Marmara Denizi'nin batimetrisi ve oluşturulan hesap ağı.....	30
Şekil 3.5	Ölçülen belirgin dalga yüksekliklerine karşı hesaplanan belirgin dalga yükseklikleri (1/1/2015-31/1/2015). a, b, c, d, e, f, g, h çizimleri sırasıyla; D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8 kalibrasyonlarını temsil etmektedir.	35
Şekil 3.6	Kalibrasyon sonuçları ve ölçülen veriler (7/16/2015-7/24/2015)	36
Şekil 3.7	Kalibrasyon sonuçları ve ölçülen veriler (1/1/2015-31/1/2015)	41
Şekil 3.8	M2 Hesap ağı ve batimetrisi.....	43
Şekil 3.9	M3 Hesap ağı ve batimetrisi.....	43
Şekil 3.10	M4 Hesap ağı ve batimetrisi.....	43
Şekil 3.11	M5 Hesap ağı ve batimetrisi.....	44
Şekil 3.12	M6 Hesap ağı ve batimetrisi.....	44
Şekil 3.13	M7 Hesap ağı ve batimetrisi.....	44
Şekil 3.14	M8 Hesap ağı ve batimetrisi.....	44
Şekil 3.15	M9 Hesap ağı ve batimetrisi.....	45
Şekil 3.16	Kalibrasyon sonuçları ve ölçülen veriler (1/1/2015-7/1/2015)	46
Şekil 3.17	Ölçülen belirgin dalga yüksekliklerine karşı hesaplanan belirgin dalga yükseklikleri (1/1/2015-31/1/2015). a, b, c, d, e, f, g, h çizimleri sırasıyla; M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9 kalibrasyonlarını temsil etmektedir.	46
Şekil 3.18	Model doğrulaması sonucunda ölçülen belirgin dalga yüksekliklerine karşı hesaplanan belirgin dalga yükseklikleri (10/1/2015-10/3/2015)	49
Şekil 3.19	Model doğrulaması sonucunda elde edilen belirgin dalga yükseklikleri zaman serisi; a) 28/09/2013-25/11/2013 b) 15/04/2014-15/06/2014 c) 10/01/2015-10/03/2015 d) 01/01/2016-29/02/2016 e) 16/10/2017-15/12/2017 f) 01/08/2018-01/10/2018 tarihleri arasındaki grafikleri temsil etmektedir.	50

Şekil 4.1	7 referans noktasının Marmara Denizi'ndeki konumları	53
Şekil 4.2	68 referans noktasının Marmara Denizi'ndeki konumları	55
Şekil 4.3	40 yıllık süre için aylık ortalama rüzgar hızlarının aylara göre değişimi.....	56
Şekil 4.4	40 yıllık süre için aylık ortalama belirgin dalga yüksekliklerinin aylara göre değişimi.....	57
Şekil 4.5	40 yıllık süre için mevsimlik ortalama belirgin dalga yüksekliklerinin aylara göre değişimi.....	58
Şekil 4.6	40 yıllık süre için yıllık ortalama rüzgar hızlarının ve ortalama belirgin dalga yüksekliklerinin yıllara göre değişimi. (a) ortalama rüzgar hızını; (b) ortalama belirgin dalga yüksekliğini; 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7; P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7'yi temsil etmektedir.....	60
Şekil 4.7	40 yıllık süre için 10 yıllık ortalama rüzgar hızlarının referans noktalarındaki değişimi	61
Şekil 4.8	40 yıllık süre için 10 yıllık ortalama belirgin dalga yüksekliklerinin referans noktalarındaki değişimi.....	61
Şekil 4.9	7 referans noktasına ait rüzgar gülleri; a), b), c), d), e), f), g) sırasıyla P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7'yi temsil etmektedir.....	63
Şekil 4.10	7 referans noktasına ait dalga gülleri; a), b), c), d), e), f), g) sırasıyla P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7'yi temsil etmektedir.....	64
Şekil 4.11	7 referans noktasına ait mevsimlik dalga gülleri; Sırasıyla a), b), c), d); kış, ilkbahar, yaz, sonbahar ve 1,2,3,4,5,6,7; P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7'yi temsil etmektedir.	65
Şekil 4.12	7 referans noktasına ait belirgin dalga yüksekliği ve ortalama dalga periyodu grafikleri. Sırasıyla a), b), c), d), e), f), g); P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7'yi temsil etmektedir.	68
Şekil 4.13	7 referans noktasına ait dalga yüksekliklerinin eklenik aşılma olasılıkları. Sırasıyla a), b), c), d), e), f), g); P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7'yi temsil etmektedir.	70
Şekil 4.14	7 referans noktasına ait dalga yüksekliklerinin aşılma olasılıkları. Sırasıyla a), b), c), d), e), f), g); P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7'yi temsil etmektedir.....	71
Şekil 4.15	7 referans noktasına ait belirgin dalga yükseklikleri yinelenme dönemi grafikleri. Sırasıyla a), b), c), d), e), f), g); P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7'yi temsil etmektedir.	73

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1	Normal ve artık yıllara ait simülasyonların zaman parametreleri	24
Tablo 3.2	Modellemede kullanılan temel denklemler ve çözüm tekniği parametreleri	25
Tablo 3.3	Modellemede kullanılan spektrum ayırıklaştırma parametreleri	26
Tablo 3.4	Silivri istasyonu dalga ölçümlerinden elde edilen belirgin dalga yüksekliklerinin istatistiği	27
Tablo 3.5	Köpüklenme parametresi (C_{ds}) kalibrasyon senaryoları istatistiksel hata değerleri	34
Tablo 3.6	52 kalibrasyon senaryosu ve istatistiksel hata değerleri	37
Tablo 3.7	Dokuz hesap ağının kalibrasyon senaryoları	42
Tablo 3.8	Dokuz hesap ağının üçgen eleman sayıları ve istatistiksel hata değerleri	45
Tablo 3.9	Nihai model ve varsayılan model parametreleri	48
Tablo 3.10	Nihai modelin istatistiksel hata değerleri	48
Tablo 4.1	7 referans noktasının koordinatları ve karakteristikleri	54
Tablo 4.2	40 yıllık süre için yıllık ortalama rüzgar hızlarının ve ortalama_ belirgin dalga yüksekliklerinin değişimleri	59
Tablo 4.3	7 referans noktasına ait aşılma olasılıklarına karşılık gelen belirgin dalga yükseklikleri	72
Tablo 4.4	7 referans noktasına ait 5, 10, 20, 50, 100 yıllık dönüş aralıklarına karşılık gelen belirgin dalga yükseklikleri	74

Marmara Denizi Rüzgar ve Dalga İkliminin Uzun Dönemli Analizi

Hazal IŞIN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. H. Anıl GÜNER

Kıyı ve açık denizleri kapsayan faaliyetlerde rüzgar ve dalga parametrelerinin uzun dönemli istatistiklerinin belirlenmesi büyük önem arz etmektedir. Ayrıca, küresel iklim sistemi için rüzgar ve dalga karakteristiklerinin yıllar boyunca değişimlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Uzun dönemli dalga verilerinin bulunmaması durumunda sayısal dalga modelleri kullanılarak dalga tahmini yapılabilmektedir. Bu çalışmada, Marmara Denizi'nin 40 yıllık uzun dönemli dalga parametreleri MIKE 21 SW sayısal dalga modeliyle elde edilmiştir. Çalışma kapsamında, 1979-2018 yılları arasındaki ERA-Interim rüzgar verileri kullanılmıştır. Sayısal model parametrelerinin ve hesap ağı sıklığının dalga tahmin değerleri üzerindeki etkisi bir çok kalibrasyon senaryosuyla irdelenmiştir. Sayısal modelin kalibrasyonu ve doğrulanması Silivri dalga ölçüm istasyonunun 2013-2018 yıllarına ait dalga verileriyle yapılmıştır.

Marmara Denizi'nde farklı dalga özelliklerine sahip 7 referans noktası belirlenmiştir. 7 referans noktasına ait rüzgar hızı ve belirgin dalga yüksekliği değerlerinin aylık, mevsimlik, yıllık ve 10 yıllık ortalamaları ve değişimleri incelenmiştir. Ayrıca, bu referans noktalarındaki belirgin dalga yüksekliklerinin

uzun dönemli eğilimleri oluşturulmuştur. Belirlenen 7 referans noktasına ek olarak, Derin Deniz Dalga Atlas'ındaki (Özhan ve Abdalla, 1999) Marmara Denizi için tanımlanan 68 referans noktasında dalga iklimi çalışması yapılmıştır. Tüm referans noktaları için elde edilen rüzgar ve dalga gülleri, mevsimlik dalga gülleri, belirgin dalga yüksekliği-ortalama dalga periyodu serpilme grafikleri, belirgin dalga yüksekliği eklenik aşılma grafikleri ve yinelenme dönemi grafikleri sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Uzun dönemli dalga iklimi, uzun dönemli rüzgar ve dalga parametrelerinin eğilimleri, MIKE 21 SW, Marmara Denizi.



Long-term Analysis of Wind and Wave Climate over the Sea of Marmara

Hazal IŞIN

Department of Civil Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. H. Anıl GÜNER

It is a principle to determine long-term statistics of wind and wave parameters for the activities involved in the coastal and open sea. In addition, it is necessary to determine the changes in wind and wave characteristics over the years for the global climate system. In the absence of long-term wave data, wave characteristics can be generated using numerical wave models. In this study, the 40-year long-term wave parameters of the Sea of Marmara were achieved using the MIKE 21 SW numerical wave model. Within the scope of this study, ERA-Interim wind data from 1979 to 2018 were used. The effects of numerical wave model parameters and mesh density on wave forecast values were examined with many calibration scenarios. Calibration and verification of the numerical model were done with the wave data of the Silivri buoy station for the years 2013-2018.

The 7 reference locations with different wave characteristics were determined in the Marmara Sea. Monthly, seasonal, annual, and ten-year averages and changes in wind speed and significant wave height values of the 7 reference locations were examined. Moreover, long-term trends of significant wave heights at these

reference locations were established. In addition to the 7 reference locations determined, wave climate studies were carried out at 68 reference locations defined for the Sea of Marmara by the Deep-Sea Wave Atlas (Özhan and Abdalla, 1999). Wind and wave roses, seasonal wave roses, significant wave height-mean wave period scatter graphs, significant wave height cumulative exceedance probability distribution, and recurrent period graphs obtained for all locations were presented.

Keywords: Long-term wave climate, long-term wind and wave parameters trends, MIKE 21 SW, the Sea of Marmara.



1.1 Literatür Özeti

Rüzgar dalgaları ülkemiz için kıyı ve liman projelerinde, ticari gemilerin seyrüseferinde ve kıyı üretim faaliyetlerinde en önemli etken ve aynı zamanda dünya için küresel iklim sisteminin kilit faktörüdür. Fırtına olayları sırasında gerçekleşebilecek dalga yükseklikleri gemi kayıplarına ve kıyı yapılarının hasarına sebep olabilecek potansiyelde bir risk olarak görülmektedir. Kıyı ve açık denizleri kapsayan faaliyetler için rüzgar ve dalgaların uzun dönemli istatistiklerinin belirlenmesi büyük önem arz etmektedir. Uzun dönemli rüzgar ve dalga parametrelerinin bulunmaması durumunda ampirik veya sayısal dalga modelleri kullanılarak bu değerler elde edilebilmektedir. Özellikle günümüzde, dalga tahmini çalışmalarında daha iyi performans göstermesi nedeniyle sayısal dalga modelleri tercih edilmektedir.

Chu vd. (2004), Güney Çin Denizi'nin rüzgar-dalga özelliklerini araştırmak için tam spektrum ve üçüncü nesil sayısal dalga modeli WAVEWATCH-III okyanus rüzgar-dalga modelini uygulamıştır. Model simülasyonunda 2000 yılına ait NASA QuickSCAT verileri kullanılmıştır. WAVEWATCH-III sayısal modelinden elde edilen belirgin dalga yükseklikleri TOPEX/Poseidon dalga verileriyle karşılaştırılmıştır. Sayısal modelden elde edilen dalga parametrelerinin hata değerleri Güney Çin Denizi'nin üç bölgesine göre incelenmiştir. Çin Denizi'nin orta bölgesi için elde edilen dalga tahminleri kuzey ve güney bölgesindeki dalga tahminlerine göre daha iyi sonuçlar vermiştir.

Arı (2009), Karadeniz'in Karaburun kıyı alanında katı madde taşınım modelini geliştirmeyi ve kıyı çizgisi değişimini belirlemeyi amaçlamıştır. Geliştirilen istatistiksel dalga modelinde rüzgar yönü aralığının, rüzgar esme süresinin, rüzgar esme yönünün ve feç parametresinin etkileri incelenmiştir. Yapılan çalışmada, dalga tahmini için parametrik yöntemlerden ve sayısal dalga modelinden yardım alınmıştır. Sayısal model olarak MIKE 21 SW sayısal dalga modelinden yararlanılmıştır. Kullanılan yöntemler arasında MIKE 21 SW sayısal dalga modeli ile elde edilen dalga parametre

değerleri en uyumlu istatistiksel hata değerlerini vermiştir. Sayısal modeldeki en etkin parametrenin köpüklenme parametresi olduğu sonucuna varılmıştır.

Saraçoğlu (2011) çalışmasında MIKE 21 SW sayısal dalga modelini kullanarak Karadeniz'in ve Marmara Denizi'nin rüzgar ve derin deniz dalga iklimini elde etmiştir. Çalışmanın Karadeniz için yapılan bölümünde iki çeşit rüzgar alanına ait veri seti karşılaştırılmıştır. 1976-2002 yılları arasındaki ERA Analiz verilerinin 1989-2008 yılları arasındaki ERA Forecast verilerine göre daha uyumlu sonuçlar verdiği görülmüştür. Sayısal modelin uzun dönemli koşturmalarında rüzgar girdisi olarak ERA Analiz verileri kullanılmıştır. Karadeniz bölgesi için oluşturulan sayısal modelin kalibrasyonu Gelendzhik, Hopa, Sinop, Filyos ve Karaburun ölçüm istasyonlarından alınan dalga verileriyle yapılmıştır. Marmara Denizi'nin sayısal modelinin kalibrasyonu ise Ambarlı ölçüm istasyonuna ait üç aylık dalga verisi kullanılarak yapılmıştır. Sayısal modeller, her iki deniz için de 1996-2008 yılları arasındaki 12 yıl için koşturulmuştur. Çalışma sonucunda elde edilen uzun dönemli veriler kullanılarak; rüzgar ve dalga gülleri, belirgin dalga yüksekliklerinin ortalama dalga periyoduna göre değişim grafikleri, eklenik aşılma olasılıkları dağılım grafikleri ve denklemleri, derin deniz en büyük değer belirgin dalga yükseklikleri istatistikleri elde edilmiştir. Ek olarak, bu sonuçlar Türkiye Kıyıları için Rüzgar ve Derin Deniz Dalga Atlası'yla (Özhan ve Abdalla, 1999) karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçların Karadeniz için uyumlu olsa da Marmara Denizi için uyumlu olmadığı yorumu yapılmıştır.

Alpli (2011), MIKE 21 SW sayısal modeli yardımıyla Ege Denizi'nde ve Akdeniz'de rüzgar ve derin deniz dalga iklimi çalışması yapmıştır. Çalışmada, ECMWF'ten (Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmin Merkezi) alınan 1989-2008 arasındaki 19 yıllık ERA Analiz rüzgar verisi kullanılmıştır. Ege Denizi ve Akdeniz için 4098 düğüm noktası ve 7035 üçgen eleman içeren birleşik bir sayısal model hesaplama ağı oluşturulmuştur. Sayısal modelin kalibrasyonu Bozcada, Dalaman ve Alanya istasyonlarından alınan 1994-1996 yılları arasındaki kesintili dalga ölçüm verileriyle yapılmıştır. Model simülasyonu sonucunda 1994-2008 yılları arasındaki 14 yıllık dönem için dalga parametreleri elde edilmiştir. Sonrasında, rüzgar ve dalga gülleri, belirgin dalga yüksekliklerinin ortalama dalga periyoduna göre saçılım grafikleri, eklenik aşılma olasılıkları dağılım grafikleri ve denklemleri, derin deniz en büyük değer belirgin dalga yükseklikleri istatistikleri hazırlanmıştır. Son olarak, çalışma

sonuçları Türkiye Kıyıları için Rüzgar ve Derin Deniz Dalga Atlası'yla (Özhan ve Abdalla, 1999) karşılaştırılmış ve birbirleriyle uyumlu olduklarını belirtilmiştir.

Remya vd. (2012), MIKE 21 SW sayısal dalga modelini kullanarak Hint Okyanusu'nun uzun dönemli dalga parametrelerini elde etmeye çalışmıştır. Çalışmada, sayısal modelin yapılandırılmamış hesaplama ağı sayesinde denizin sığ ve derin bölgelerindeki dalgaların doğru şekilde temsil edilebilmesi için model çözünürlüğü irdelenmiştir. Hint Okyanusu'ndaki güney soluğan dalgalarının etkisinin değerlendirilmesi için iki farklı sayısal model hesaplama alanıyla çalışılmıştır. Model simülasyonu sonucunda sayısal modelin performansı değerlendirilmiş ve elde edilen dalga parametre değerlerinin Hint Okyanusu için güvenilir sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Bacanlı (2015) Ayvalık, Bozcaada ve Bandırma kıyı bölgelerinde rüzgar ve dalga iklimi çalışması yapmıştır. Çalışmada, uzun dönemli dalga parametrelerinin tahmini için SMB ampirik yönteminden yararlanılmıştır. Bu sebeple, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden alınan 1980-2010 yılları arasındaki 30 yıllık rüzgar verileri kullanılmıştır. Çalışma kapsamında, MIKE 21 SW sayısal modelinden yardım alınarak rüzgar ve dalga gülleri oluşturulmuştur. Sayısal modelde ECMWF'e ait 2007-2009 yılları arasındaki ERA-Interim rüzgar veri seti kullanılmıştır. Oluşturulan sayısal modelin kalibrasyonu Bozcada ölçüm istasyonundan alınan 1994-1995 yılları arasındaki toplam 3.5 aylık dalga verisi kullanılarak yapılmıştır.

Hoque vd. (2017), Beaufort Denizi'nin güney bölgesinde yer alan Mackenzie Deltası'ndaki fırtına kaynaklı dalga koşullarını SWAN ve MIKE 21 SW sayısal dalga modelleriyle incelemiştir. Sayısal modeller dört istasyondaki fırtına ölçümleri kullanılarak karşılaştırılmıştır. Çalışma alanının kıyıya yakın bölgelerinde SWAN ve MIKE 21 SW sayısal modelleri birbirine yakın sonuçlar vermiştir. Ancak, SWAN sayısal modeli belirgin dalga yüksekliğini ve MIKE 21 SW sayısal modeli pik periyodu daha iyi tahmin etmiştir. İki sayısal modelde de, derin bölgelerde elde edilen belirgin dalga yüksekliği ve pik periyot değerlerinin sığ bölgelerde elde edilen değerlere göre daha uyumlu olduğu görülmüştür. MIKE 21 SW ve SWAN sayısal modellerinin dalga parametrelerini tahmin etmedeki doğrulukları yakın olsa da, SWAN sayısal modelinin fırtına piki sırasında daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Yalnızca, 1987

fırtınasında SWAN sayısal modeliyle elde edilen dalga parametreleri MIKE 21 SW sayısal modeliyle elde edilenlere göre ölçülmüş parametre değerlerinden daha fazla sapmıştır.

Umesh vd. (2018), Umman Denizi ve Bengal Körfezi'ndeki Kuzey Hint Okyanusu için üçüncü nesil WAM ve WAVEWATCH III sayısal modellerini kullanarak dalga iklimi çalışması yapmıştır. Çalışmada yapılan değerlendirmede, her iki sayısal modelin de dalga parametrelerini tahmin etmede oldukça iyi olduğu belirlenmiştir. Ancak, WAM sayısal modelinin WAVEWATCH III sayısal modeline göre daha iyi istatistiksel hata değerleri verdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca ortalama dalga periyotları, WAVEWATCH III sayısal modeliyle olduğundan daha yüksek değerlerde; WAM sayısal modeliyle ise olduğundan daha düşük değerlerde elde edilmiştir.

Kutupoğlu vd. (2018), Marmara Denizi için SWAN sayısal modeli yardımıyla 31 yıllık uzun dönemli rüzgar ve dalga analizi yapmıştır. Oluşturulan sayısal modellerde CFSR ve ERA Interim veri setleri kullanılmıştır. İki rüzgar veri setinin doğruluğu, TPAO'nun (Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı) Silivri şamandıra istasyonundan alınan rüzgar ölçümleriyle karşılaştırılmıştır. CFSR rüzgar verilerinin ERA Interim rüzgar verilerine göre daha kaliteli olduğu sonucuna varılmıştır. Sayısal dalga modelinin uzun dönemli koşturmaları 1979-2011 yıllarına ait CFSR rüzgar verileriyle yapılmıştır. Sayısal modelin kalibrasyonu için 2013 yılına ait Silivri konumundaki dalga ölçüm verileri kullanılmıştır. Çalışmanın sonunda, mevsimlik ve yıllık dalga gülleri, belirgin dalga yüksekliklerinin olasılık-yoğunluk fonksiyonları ve en büyük değer analizleri sunulmuştur.

Vieira vd. (2020), yarı kapalı havza olan Basra Körfezi'nde SWAN sayısal modeli yardımıyla dalga iklimi elde etmiştir. Sayısal modelde rüzgar girdisi olarak 1979-2010 yıllarına ait ECMWF'e ait rüzgar verileri kullanılmıştır. Sayısal modelden elde edilen 32 yıllık dalga parametrelerinin analiziyle dalga özelliklerinin uzun dönemli eğilimleri elde edilmiştir. Çalışma sonucunda Basra Körfezi'nde, uzun dönemli belirgin dalga yüksekliği değerlerinin artma eğiliminde olduğu belirlenmiştir. Bu eğilim mevsimlik olarak incelendiğinde; kış, ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde artma ve yaz mevsiminde azalım eğiliminde olduğu gözlemlenmiştir.

İşlek vd. (2020), SWAN sayısal modeli yardımıyla Karadeniz’de uzun dönemli dalga karakterlerinin analizi çalışması yapmıştır. Sayısal modelin kalibrasyonunda Gelendzhik ve Karaburun istasyonlarının; doğrulanmasında ise Gelendzhik, Hopa, Sinop, Filyos, Samsun ve İstanbul Boğazı istasyonlarının ölçüm verileri kullanılmıştır. 1979-2018 tarihleri arasındaki ERA-Interim ve CFSR rüzgar verileri karşılaştırılıp değerlendirilmiştir. İki rüzgar veri setiyle 40 yıllık model simülasyonları yapılmış ve CFSR rüzgarlarının ERA-Interim rüzgarlarına göre belirgin dalga yüksekliklerini daha yüksek değerlerde tahmin ettiği gözlemlenmiştir. Belirgin dalga yüksekliklerinin, ortalama dalga periyodunun, fırtına süresinin ve dalga dikliğinin 40 yıllık ortalama ve en büyük dalga özellikleri alansal olarak incelenmiştir. Ek olarak, Karadeniz’in güneybatı, kuzeydoğu ve doğu bölgesinden seçilen üç referans noktasındaki dalga karakterlerinin uzun dönemli değişimleri incelenmiştir. Bu incelemeler sonucunda, belirgin dalga yüksekliklerinin 40 yıllık ortalama ve maksimum değerlerinin Karadeniz’in güneybatı kesiminde daha yüksek olduğu bulunmuştur. Ayrıca, Karadeniz’in güneybatı bölgesinin daha büyük belirgin dalga yüksekliğine, daha uzun ortalama periyoduna ve fırtına süresine sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Maksimum belirgin dalga yüksekliklerinin 40 yıllık eğilimi incelendiğinde, Karadeniz havzasının kuzeydoğu kesimindeki değerlerin diğer kesimlere oranla daha fazla artma eğiliminde olduğu görülmüştür.

Akpınar vd. (2021), Marmara Denizi’nin 1979-2018 yılları arasındaki 40 yıllık uzun dönemli rüzgar ve dalga özelliklerini alansal olarak incelemiştir. Yapılan çalışmada, varsayılan ayarlı ve kalibre edilmiş SWAN sayısal modelleri ERA-Interim ve CFSR verileriyle koşturulmuştur. Böylelikle, dört farklı model üretilmiş ve bu modellerin performansları değerlendirilmiştir. Oluşturulan dört sayısal modelden elde edilen belirgin dalga yükseklikleri 2015 Silivri şamandıra ölçümleriyle ve uydu verileriyle karşılaştırılmıştır. Oluşturulan modeller arasından, kalibre edilmiş ve CFSR rüzgarları kullanılmış model en yüksek uyumu göstermiştir. En iyi sonucu veren modelden elde edilen rüzgar ve dalga özellikleri Marmara Denizi üzerinde alansal olarak gösterilmiştir. Çalışmada; genel ve mevsimsel ortalama rüzgar hızları ve ortalama dalga yükseklikleri, %95 ve %99 aşılma ihtimali belirgin dalga yükseklikleri, 0.5 m ve 2 m’den büyük belirgin dalga yüksekliklerinin olasılıkları ve 40 yıllık maksimum belirgin dalga yükseklikleri incelenmiştir. Çalışma sonucunda %95 ve %99 aşılma

ihтимalli belirgin dalga yüksekliklerinin en büyük değerleri Kapıdağ Yarımadası ve Marmara Adası yakınlarında, Marmara Denizi'nin merkezinde sırasıyla 1.25 m ve 1.91 m bulunmuştur. 0.5 m ve 2 m'den büyük belirgin dalga yükseklikleri olasılıklarının en büyük değerleri Marmara Denizi'nin orta bölgesinde tahmin edilmiştir. Ek olarak, 40 yıl boyunca belirlenen en yüksek maksimum belirgin dalga yüksekliği 4.7 m ile Marmara Denizi'nin orta bölgesinde tespit edilmiştir.

Yüksel vd. (2021), Marmara Denizi'nin rüzgar ve dalga iklimini SWAN sayısal modeli kullanarak incelemiştir. Çalışmada, ERA-Interim ve CFSR veri setlerinin rüzgar karakterleri yıllık ve mevsimsel olarak analiz edilmiştir. İki rüzgar veri setinin kalitesi 2015-2018 Yeşilköy ve Biga ölçüm istasyonundan alınan verilerle değerlendirilmiştir. Rüzgar hızları için yapılan karşılaştırmalarda, hem ERA-Interim hem de CFSR verilerinin uyumlu olduğu bulunmuştur. Ancak sayısal modelin uzun dönemli koşturmaları biraz daha iyi sonuçlar veren ERA-Interim veri setiyle yapılmıştır. Sayısal modelin kalibrasyonu Silivri istasyonun 2017 yılına; doğrulanması ise Silivri istasyonun 2013, 2014, 2015, 2016, 2018 yıllarına ve Ambarlı istasyonun 2003 yılına ait dalga verileriyle yapılmıştır. Sayısal modelin uzun dönemli koşturmaları sonucunda belirgin dalga yüksekliği, ortalama dalga periyodu, dalga dikliği değerlerinin 40 yıllık ortalamaları ve uzun dönemli değişimleri alansal olarak verilmiştir. Sonrasında, Marmara Denizi'nde farklı dalga özelliklerine sahip 5 referans noktası belirlenmiştir. Bu referans noktalarının dalga karakterlerinin yıllık değişimleri, dalga gülleri, belirgin dalga yükseklikleri aşılma olasılıkları ve en büyük değer belirgin dalga yükseklikleri oluşma olasılıkları hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda, Marmara Denizi'nin kuzey bölgesinin güney bölgesine göre daha güçlü rüzgar ve dalga iklimine sahip olduğu tespit edilmiştir. Ek olarak, Marmara Denizi'nin çoğu bölgesinde yıllık maksimum dalga yüksekliklerinin artma eğiliminde, yıllık ortalama dalga yüksekliklerinin ise azalım eğiliminde olduğu gözlemlenmiştir.

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmada, Marmara Denizi'nin 40 yıllık rüzgar ve dalga parametrelerinin ortalamalarının ve uzun dönemli değişimlerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, Marmara Denizi havzasında belirlenen 7 referans noktasının ve Derin Deniz Dalga Atlası'nda (Özhan ve Abdalla, 1999) tanımlanan 68 referans noktasının

dalga iklimi elde edilmiş ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Marmara Denizi'nde bu konuda yapılan çalışmaların yeterince fazla lokasyonda ve uzun dönemli olmaması nedeniyle bu eksikliğin giderilmesi amaçlanmıştır. Bu sebeple, 40 yıllık dalga parametreleri üçüncü nesil sayısal dalga modeli MIKE 21 SW kullanılarak elde edilmiştir. MIKE 21 SW sayısal modeliyle yapılan yeterli sayıda çalışmanın olmaması nedeniyle literatüre katkı sağlanması amaçlanmıştır.

1.3 Hipotez

Kıyı ve açık denizlerde yapılacak planlamalar ve projeler için uzun dönemli rüzgar ve dalga parametrelerinin genel özelliklerini belirten rüzgar ve dalga iklimi hakkında bilgi sahibi olmak gerekmektedir. Ancak, bir çalışma bölgesinde uzun dönemli ölçülmüş dalga verilerinin bulunması zahmetli ve maliyetli olmaktadır. Bu nedenle, ulaşılması daha kolay olan uzun dönemli rüzgar verilerinden sayısal dalga modelleri yardımıyla uzun dönemli dalga verileri elde edilebilmektedir. Bu çalışmada, MIKE 21 SW sayısal dalga modeli kullanılarak Marmara Denizi havzasında belirlenen lokasyonların rüzgar ve dalga iklimi belirlenmiş ve incelenmiştir. MIKE 21 SW sayısal modelindeki kalibrasyon parametreleri ve hesaplama ağının sıklığı değiştirilerek elde edilecek dalga tahmin sonuçlarının doğruluğu artırılabilir. Bu çalışmada, 40 yıllık rüzgar ve dalga parametrelerinin aylık, mevsimsel, yıllık ve on yıllık ortalamaları ve uzun dönemli değişimleri incelenmiş ve Marmara Denizi boyunca belirlenen referans noktalarındaki belirgin dalga yüksekliklerinin eklenik aşılma ve yinelenme dönemi değerleri karşılaştırılmıştır.

2.1 Giriş

Deniz ortamındaki ekonomik faaliyetlerin sürdürülebilir gelişimi için dalgalar gibi çevresel koşullar hakkında uzun vadeli verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Sürekli olarak rüzgar ve dalga kuvvetlerine maruz kalan kıyı yapılarında ve gemilerde kayıp ve hasarları en aza indirmek için oluşabilecek aşırı deniz durumlarının önceden belirlenmesi gerekmektedir. Dalga enerji potansiyelinin belirlenmesi, katı madde taşınımı, kıyı erozyonu ve kirlilik taşınımı çalışmaları gibi çeşitli uygulamalarda dalga iklimi bilgisi oldukça önemlidir. Denize kıyısı olan ülkeler için planlama ve projelendirme çalışmalarında kullanılacak uzun dönemli dalga verilerinin eksikliği ortak bir problem olmuştur. Günümüze kadar, araştırmacılar bu sorunu ortadan kaldırmak için farklı dalga tahmin yöntemleri geliştirmeye çalışmıştır.

2.2 Dalga Tahmin Yöntemleri

Denizciliğin ilk zamanlarında deniz durumunu tanımlamak için farklı rüzgar ölçekleri kullanılmıştır. 1900'lerin başına kadar dalga yüksekliği değerlerinin belirlenmesinde yararlanılan mevcut tek yöntem, kullanılan rüzgar ölçeklerine dayalı olarak geliştirilmiş Beaufort ölçeği olmuştur. Hem savunma alanı hem de sivil hayat uygulamalarındaki dalga bilgisi ihtiyacının artması nedeniyle basit dalga tahmin yöntemlerinin geliştirilmesine yönelik girişimlerde bulunulmuştur (Swain, 1997). Dalga modellemesi ve tahmini için herkes tarafından kolayca ulaşılabilen basit ampirik modellerden bilgisayar desteğine ihtiyaç duyulan sayısal dalga modellerine kadar bir çok yöntem geliştirilmiştir. Bu bölümde, dalga tahmin yöntemleri ampirik tahmin modelleri ve sayısal dalga tahmin modelleri olarak iki başlık altında anlatılmaya çalışılmıştır.

Dalga koşullarının belirlenmesinde hala kullanılmakta olan ampirik tahmin yöntemleri bilgisayar destekli sayısal modellerde olduğu gibi çok çeşitli veri girdisine ihtiyaç duymamaktadır. Bunun sonucunda, elde edilen tahmin çıktıları da kısıtlı olmaktadır.

Ampirik yöntemlerde rüzgar hızı, feç ve süre bilgileriyle dalga gelişimi elde edilebilmektedir.

Sayısal dalga modelleri, deniz dalgalarının rastgele doğası nedeniyle dalga tahmini sırasında ortaya çıkan zorlukları azaltmaya yardımcı olmaktadır. Dalga parametrelerinin sayısal modellerle tahmin edilmesi daha güvenilir ve kesin sonuçlar vermektedir. Aynı zamanda, sayısal modeller kıyı problemlerinin çözülmesinde zaman kazandırmaktadır.

2.2.1 Ampirik Tahmin Modelleri

Uzun yıllar boyunca, deniz yüzeyinde esmekte olan rüzgarların dalga ürettiği bilinmektedir. Ancak, güvenilir ve faydalı şekilde dalga tahmini yapabilmek için yalnızca son yıllarda yeterli bilgiye sahip olunmuştur. İlk dalga tahmin çalışması, II. Dünya Savaşı sırasında Sverdrup ve Munk (1947) tarafından askeri operasyonlar sırasında bir miktar fayda sağlayacak planlama geliştirmesiyle yapılmıştır. Sonraki dönemlerde, Sverdrup ve Munk (1947) tarafından oluşturulan eğrileri revize ederek farklı yöntemler geliştirilmiştir.

2.2.1.1 SMB Yöntemi

SMB (Sverdrup-Munk-Bretschneider) yöntemi, Sverdrup ve Munk (1947) tarafından verilen ilk dalga tahmin yönteminin Bretschneider (1950, 1958) tarafından ampirik verilerle birlikte tekrar düzenlenmesiyle oluşturulmuştur. Bu yöntemin temeli spektrum analizi yerine görsel gözlemlerin analizine dayanmaktadır. Sonraki dönemlerde, SMB yöntem yerini frekans spektrum analizine dayanan JONSWAP yöntemine bırakmıştır (Kamphius, 2000; Arı, 2009).

SMB yönteminde belirgin dalga yüksekliği ve periyodu değerleri; feç mesafesi, rüzgarın şiddeti ve esme süresi kullanılarak nomogramlar yardımıyla bulunabilmektedir. İlk olarak, kullanılan nomogram üzerinde rüzgarın şiddeti, verilmiş feç mesafesi ve rüzgarın etki süresiyle kesiştirilmektedir. Sonrasında, belirgin dalga yüksekliği ve periyodu değerleri enterpolasyon yapılarak bulunmaktadır. Kesişimin ilk olarak süre hatlarına denk gelmesi durumunda (süre limitli dalgalar), olayı rüzgarın esme süresinin kontrol ettiği ve feçin sonsuz alınabileceği anlaşılmaktadır. Kesişimin ilk olarak feç düşeylerine denk gelmesi durumunda (feç

limitli dalgalar) ise olayı feç mesafesinin kontrol ettiği ve rüzgarın esme süresinin önemsiz olduğu anlaşılmaktadır (Yüksel vd., 1998).

Sverdrup ve Munk (1947) ile Pierson, Neumann ve James (1955) (PNJ) tarafından geliştirilen eğriler sıklıkla kullanılmaktadır. PNJ ve SMB yöntemleri görsel verinin analizi ile çıkarılması açısından birbirlerine benzemektedir. Ancak iki yöntem tanımladıkları dalga alanları açısından temel farklılıklar göstermektedir. SMB yönteminde dalga alanı dalga yüksekliği ve periyoduyla tanımlanmaktadır. PNJ yönteminde ise dalga alanı dalga spektrumu ile tanımlanmaktadır. PNJ yöntemi deniz yüzeyinde çok daha karmaşık tanımlamalara izin vermekten hesaplamalar için daha fazla zaman gerektirmektedir (WMO, 1998; Şahin, 2007).

2.2.1.2 JONSWAP Yöntemi

Hasselmann vd. (1973), uluslararası enstitülerin işbirliği ile JONSWAP (Joint North Sea Wave) projesini yürütmüştür. Proje süresince feç limitli koşullarda dalgaların gelişiminin araştırılması amaçlanmıştır. 160 km boyunca uzanan istasyonlardan alınan eş zamanlı rüzgar ve dalga ölçümleri kullanılarak JONSWAP spektrumu olarak adlandırılan spektrum elde edilmiştir (Frigaard, 2001). JONSWAP yönteminin, gelişmekte olan deniz durumuna ait spektrumu iyi temsil ettiği belirlenmiştir. Dalga özelliklerini tahmin etmek için yaygın olarak kullanılan JONSWAP spektrumunda, rüzgar hızı yerine pik frekans tanımı kullanılmaktadır.

2.2.1.3 SPM Yöntemi

Kıyı mühendisliğinde sıkça kullanılmakta olan SPM (1984) yönteminin temelleri, JONSWAP spektrumuna ait parametrik bir modele dayanmaktadır. SPM (1984) yönteminin dalga gelişim formüllerinde, JONSWAP ve SMB yöntemlerinden farklı olarak rüzgar hızı yerine rüzgar gerilme parametresi bulunmaktadır. Kıyı mühendisliğinde sıklıkla kullanılan SPM (1984) yöntemiyle elde edilen sonuçlar yaklaşık değerleri yansıtmakta ve yapılan iterasyonlar sonuçların doğruluğunu etkilemektedir.

Bishop vd. (1992) çalışmalarında SPM (1984), SMB, JONSWAP ve Donelan yöntemlerini karşılaştırmıştır. SPM (1984) yönteminin dalga yüksekliğini ve periyodunu fazla tahmin etme eğiliminde olduğu ve dört yöntem arasında en zayıf istatistiksel hata değerlerini verdiği belirlenmiştir.

2.2.1.4 Donelan Yöntemi

Donelan vd. (1985) tarafından geliştirilen Donelan tahmin yöntemi derin su bölgelerinde ve feç limitli koşullarda yararlı olabilmektedir. Bishop (1983), Ontario Gölü verileriyle yaptığı çalışmada SMB, JONSWAP ve Donelan tahmin modellerini karşılaştırmıştır. Her üç model için dalga yüksekliğine ve dalga enerji spektrumunun pik periyoduna ait tahmin doğruluklarının karşılaştırılabilir olduğu yorumunu yapmıştır. Ancak, Donelan modelinin diğer iki modele göre biraz daha üstün sonuçlar verdiğini belirtmiştir.

2.2.2 Sayısal Dalga Modelleri

Günümüzde dalga verilerine olan ihtiyaç hızla artmaktadır. Gerekli zaman ve lokasyon özelliklerine göre ölçülen dalga verilerinin bulunmasında zorluklar çıkabilmektedir. Bu nedenle, ihtiyaç duyulan dalga değerlerinin düzenli aralıklarla genellikle günde birçok kez tahmin edilmesi gerekmektedir. Dalga verilerinin ve hesaplamaların yüksek hacmi nedeniyle bilgisayarlardan yardım alınmaktadır.

Sayısal modeller, deniz durumu koşullarının gerekli tahminlerini sağlamak için sürekli olarak geliştirilmektedir. Sayısal bir dalga modelinin uygun şekilde kurulması birçok girdiden oluşan ve fiziksel ayar çözümleri üzerinde dikkatli bir şekilde düşünülmesi gereken zahmetli bir süreçtir. Kullanıcı deneyimi ve uzmanlığı, sayısal model kullanılarak elde edilmiş tahminlerin doğruluğu ve güvenilirliği açısından önemlidir. Ayrıca, dalga modellerinde en önemli girdi parametresi rüzgar tarafından uygulanan yüzey gerilimidir. Bu nedenle, dalga modeli sonuçlarının doğruluğu rüzgar alanlarının kalitesine de bağlı olmaktadır.

Gelci vd. (1957) tarafından geliştirilen modelle birlikte dalga gelişimi, yayılımı ve enerji kaybıyla değişimini açıklayan birçok dalga modeli geliştirilmiştir. Sayısal modellerin temelinde (2.1) eşitliği ile gösterilen dalga hareketi korunum denklemi bulunmaktadır (Massel, 1996; Arı, 2009).

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \nabla(\vec{v}N) = \frac{S}{\sigma} \quad (2.1)$$

Burada; $N(\vec{x}, \sigma, \theta, t)$ hareket yoğunluğu, t zaman, $\vec{x}=(x, y)$ kartezyen koordinatları, $\vec{v}=(c_x, c_y, c_\sigma, c_\theta)$ dört boyutlu faz alanında bir dalga grubunun x 'te yayılma hızı, θ

dalga yönü, S enerji denge denkleminin kaynak terimi ve ∇ ise dört boyutlu diferansiyel operatördür.

Dalga modelleri arasındaki genel farklılıkları, kaynak fonksiyonunun yukarıdaki bileşenlerinin gösterim biçimi belirlemektedir. Geliştirilen sayısal dalga tahmin modelleri mekanizmalarına göre birinci, ikinci ve üçüncü nesil dalga modelleri olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Üçüncü nesil modeller, hesaplama yeteneklerindeki gelişmeler nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır.

2.2.2.1 Birinci Nesil Modeller

Birinci nesil dalga modellerde, her bağımsız dalga bileşeninin diğer bileşenlerden bağımsız olarak oluştuğu ve geliştiği kabul edilmektedir. Bu modellerde, üç kaynak fonksiyonunun (S_{in} , S_{nl} ve S_{dis}) tanımlanmasında belirsizlikler bulunmaktadır. Belirgin bir lineer olmayan enerji transferi terimi (S_{nl}) mevcut değildir. Bu sebeple basit rüzgar alanlarına dayalı olarak, lineer olmayan etkileşimlere ve enerji kaybına hâkim olmadan geliştirilmiştir. Ayrıca lineer olmayan enerji transferi teriminin eksikliği, rüzgar girdisi kaynak teriminin (S_{in}) diğer modellere göre daha yüksek çıkmasına sebep olmaktadır. Bununla birlikte, Phillips (1957) ve Miles (1957) tarafından öne sürülen dalga gelişimi teorileri ve Hasselmann'ın (1963) lineer olmayan enerji transferi analizi birinci nesil dalga modellerinin gelişmesine katkı sağlamıştır (Massel, 1996).

Collins (1972), dalga kırılmasını ve sığlaşmayı hesaba katan bir teknik uygulayarak dalga yayılımını belirleyebilen dalga tahmin modeli geliştirmiştir. Aynı teknik, Cavaleri ve Rizzoli (1981) tarafından Kuzey Adriyatik Denizi'ndeki fırtınaları tahmin etmek için kullanılmıştır. VENICE adını verdikleri model, Venedik'ten 15 km uzaklıkta ve 16 m su derinliğinde bulunan oşinografi kulesindeki gözlemlerle karşılaştırılmıştır. Sayısal model tarafından kırılma ve sığlaşmanın iyi işlendiği görülmüştür.

Chen ve Wang (1983) oluşturdukları sayısal modelde düzensiz taban topografyasına sahip sığ su bölgesindeki rüzgar kaynaklı dalgalar için karesel ağ sistemi kullanmıştır. Modele, dalga kırılması ve sığlaşma etkilerinin yanı sıra lineer olmayan süreçlerin bazı parametreleri de dâhil edilmiştir. Modelin temelinde belirgin dalga yüksekliği cinsinden toplam dalga enerjisine dayanan ampirik bir denklem kullanılmıştır (Massel, 1996).

Meteoroloji Araştırma Enstitüsü (MRI, Meteorological Research Institute) dalga modeli, Japonya Meteoroloji Ajansı'nda (JMA) rutin dalga tahmini için geliştirilmiştir. MRI modelinde rüzgar girdisinin yanında dalga kırılmasına bağlı enerji kaybı da ele alınmıştır (Arı, 2009). Sayısal modelde atmosferik basınç ve sıcaklık dışında deniz yüzeyindeki sıcaklık da gerekmektedir.

2.2.2.2 İkinci Nesil Modeller

İkinci nesil dalga modelleri, değişen rüzgar alanları ve basitleştirilmiş lineer olmayan etkileşimler kullanılarak geliştirilmiştir. Deniz yüzeyi, lineer dalga teorisine göre her biri sabit frekansta yayılan çok sayıda bireysel dalga bileşeninin toplamı olarak tanımlanmaktadır. Dalga bileşenlerinin yolu başlangıçtan tahmin noktasına kadar hesaplanmaktadır. Dalga bileşeni orijinden ayrıldıktan sonra, diğer dalga bileşenleri ile etkileşime girmektedir. Böylece belirli zaman aralıklarındaki süreçte kazanılan veya kaybedilen enerji tahmin noktasına ulaşana kadar değerlendirilmektedir. Bu prosedür, belirli bir zamanda farklı frekans ve yönlerdeki çok sayıda dalga bileşeni için tekrarlanmakta ve böylelikle tahmin noktasında toplam enerji elde edilmektedir (Mandal vd., 2010).

Geniş bir dalga uzmanı grubu, SWAMP (Sea Wave Modeling Project), dalga modellerinin tümünü “decoupled propagation” (DP), “coupled hybrid” (CH) ve “coupled discrete” (CD) olarak gruplandırmaya çalışmıştır. Genel olarak, birinci nesil modellerin DP tipi model sınıfında ve ikinci nesil modellerin çoğunun CD veya CH tipi model sınıfında olduğu belirtilmiştir.

DP sınıfı modeller genellikle dalga spektrumunu, her bileşenin kendi yolu boyunca uygun grup hızında yayıldığı iki boyutlu bağımsız frekans-yön hücreleri dizisi olarak temsil etmektedir. DP sınıfı modellerde, her bileşen diğer tüm bileşenlerden bağımsız olarak hesaplanmakta ve hesaplamalar zaman alıcı olabilmektedir. Bu modeller lineer olmayan enerji transferini basit ve dolaylı bir şekilde parametreleştirmiştir (WMO, 1998).

CH sınıfı modeller, gelişmekte olan deniz spektrumlarının lineer olmayan etkileşimler tarafından şekillendiğini kanıtlamaya çalışmıştır. Modelin spektrum şekli birkaç parametre ile açıklanmış olup enerji dengesi denklemi bu terimlerle yazılabilmektedir.

CH modelleri, çok sayıda bileşenin her biri için bir tane yerine az sayıda parametrenin her biri için bir gelişim denklemi vermektedir.

CD modeller, birkaç bileşen cinsinden formüle edilmekte olan lineer olmayan terim ve ayrık spektrum bileşenlerine dayanmaktadır. Bu tür modellerde, herhangi bir bileşenin gelişimini belirleyebilmek için tüm bileşenlerin tahminlerine gerek duyulmaktadır (WMO, 1998; Şahin, 2007).

SWAMP (SWAMP Group, 1985) üç model sınıfını (DP, CH, CD) temsil eden bir dizi dalga modelini karşılaştırmıştır. Yapılan çalışma, dalga modellemesinin mevcut durumunun kapsamlı bir görünümünü oluşturmuş ve temel sonuçlar özetlenmiştir.

Temelde spektrum enerji denkleminde dayanan birinci nesil DP modelleri ve ikinci nesil CH ve CD modelleri, dalga gelişiminde uzay ve zaman değişkenleri arasında farklı ilişkiler vermektedir. Bu nedenle, her çeşit rüzgar girdisi için DP modelini, CH veya CD modeliyle uyumlu olacak şekilde ayarlamak imkânsızdır (SWAMP, 1985).

DP modellerinde, CH veya CD modellerine göre dalga spektrumunun şekli açısından farklılıklar bulunmaktadır. DP modelleri genellikle, daha karmaşık rüzgar girdileri için daha geniş çeşitlilikte spektrum dağılımları geliştirmektedir. DP modellerinde, farklı dalga bileşenlerinin bağımsız olarak gelişmesinden dolayı bu modellerin spektrum gelişimi ve yayılım yönüne sahip varyasyonları feçe daha duyarlıdır.

DP modelleri, hesaplamalardaki basitlikleri nedeniyle kullanıma daha uygun olmaktadır. Modeller, belirlenen dalga koşulları sınıfına uyarlanarak uygulanırsa daha faydalı olabilmektedir. DP modellerinden MRI modeli, açık denizin süre limitli koşulları için kullanılmaktadır. VENICE modeli ise orijinal olarak Adriyatik'in, tipik olarak feç limitli dalga koşullarına uygun tasarlanmıştır.

Ek olarak, SWAMP (1985) çalışmasında tüm modeller hızla değişen rüzgarların ekstrem koşulları altında test edilmiştir. Ekstrem durumlarda, modellere ait lineer olmayan dalga-dalga etkileşimi parametreleri ortaya çıkabilecek geniş spektrum dağılımlarını açıklamakta yetersiz kalmıştır.

2.2.2.3 Üçüncü Nesil Modeller

Birinci nesil dalga modellerinde tam enerji dengesi açıkça modellenmemiş ve özellikle spektrum denge formuna nasıl ulaşıldığının detayları belirtilmemiştir. Bu modeller,

dalga bileşenlerinin doygunluk düzeyine ulaştıklarında aniden gelişmeyi durdurduğunu varsaymıştır. Birinci nesil dalga modelleri, rüzgar girdisini fazla tahmin etmiş ve lineer olmayan enerji transferini gözden kaçırmıştır. İkinci nesil dalga modelleri söz konusu olduğunda, problemler fiziksel olmanın dışında büyük ölçüde sayısal olmaktadır. Bu problemlerin üstesinden gelebilmek için SWAMP (1985) çalışması sonucunda yeni teknikler önerilmiştir.

SWAMP (1985) çalışmasından hemen sonra WAM (Wave Modelling) programı başlatılmıştır. Çalışma sonucunda, üçüncü nesil dalga modellerinin ilk uygulaması ve birçok üçüncü nesil dalga modelinin kökeni olan WAM dalga modeli (Wamdi, 1988) geliştirilmiştir. WAM modelinden sonra bazı üçüncü nesil dalga modelleri; Schwab vd. (1984), Clancy vd. (1986), HISWA modeli (Holthuysen vd., 1989), WAVEWATCH modeli (Tolman, 1991), SWAN modeli (Booij vd., 1996) ve Komen vd. (1994) geliştirilmiştir (Arı, 2009).

WAM modeli, dalga spektrumu üzerinde herhangi bir varsayım yapmaksızın dalga taşınım denklemini açıkça çözen üçüncü nesil bir dalga modelidir. İki boyutlu dalga spektrumunu açısı sınırlamasız bugünkü bilgimize uygun olarak dalga gelişiminin fiziğini temsil etmektedir. Taşınım denkleminin integrasyonu ile iki boyutlu varyans spektrumu bağıntı (2.2) ile sunulmuştur (Günther vd., 1992).

$$\frac{dF}{dt} = \frac{\partial}{\partial \phi} (\dot{\phi} F) + \frac{\partial}{\partial \lambda} (\dot{\lambda} F) + \frac{\partial}{\partial \theta} (\dot{\theta} F) = S \quad (2.2)$$

Burada, $F(f, \theta, \phi, \lambda)$ 'ya göre enerji yoğunluğunu temsil etmektedir. f frekans, θ yön, ϕ enlem, λ boylam ve $(\dot{\phi}, \dot{\lambda}, \dot{\theta})$ büyük bir dairesel yol boyunca hareket eden bir dalga grubunun konum ve yayılma yönünün değişim oranı yani dalga yayılım hızıdır.

$$S = S_{in} + S_{dis} + S_{nl} \quad (2.3)$$

Kaynak fonksiyonu S ; rüzgar girdisinin (S_{in}), köpüklenme sonucu enerji azalmasının (S_{dis}) ve lineer olmayan transferin kaybının (S_{nl}) toplamı olarak temsil edilmektedir. Kaynak fonksiyonu bağıntı (2.3) ile verilmiştir.

WAM modelinde, rüzgar girdi terimi U_s yerine Snyder vd. (1981) alınan u_* kullanılmıştır. WAM Cycle 4 modelinin rüzgar girdisi ve enerji kaybı terimleri,

Janssen'in (Janssen, 1991) yarı-linear rüzgar dalgası gelişimi teorisi dayanarak geliştirilmiştir. Enerji kaybı kaynak terimi, K. Hasselmanns'ın (1974) köpüklenme teorisine dayanmaktadır. Lineer olmayan kaynak terimi, Hasselmann vd. (1981) tarafından önerildiği gibi lineer olmayan etkileşimlerin parametreleştirilmesidir (Günther vd., 1992).

2.3 MIKE 21 SW Sayısal Dalga Modeli

MIKE 21 SW yazılımı yeni nesil yapılandırılmamış ağ sistemi üzerine kurulu rüzgar-dalga modelidir. Açık deniz ve kıyı alanlarında rüzgar kaynaklı dalga ile soluğan dalgasının gelişimini, ilerlemesini ve enerji kaybederek değişmesini benzeştirmektedir. Sayısal model, yönsel ayrılmış parametrik formülü ve tam spektrum formülü olarak iki formül içermektedir.

Yönsel ayrılmış parametrik formül, dalga hareketi korunum denkleminin parametreleştirilmesine dayanmaktadır. Parametreleştirme, frekans alanında yapılmaktadır. Tam spektrum formülü ise, yönsel dalga yoğunluk spektrumunun bağımlı değişken olduğu dalga hareketi korunum denklemine dayanmaktadır. Temel korunum denklemleri, küçük ölçekli uygulamalar için kartezyen koordinatlarında ve büyük ölçekli uygulamalar için kutupsal küresel koordinatlarda formüle edilmiştir (DHI, 2017).

MIKE 21 SW aşağıdaki fiziksel olayları içermektedir:

- Rüzgar etkisiyle dalga büyümesi,
- Lineer olmayan dalga-dalga etkileşimi,
- Köpüklenme nedeniyle enerji kaybı,
- Taban sürtünmesi sebebiyle enerji kaybı,
- Derinlik kaynaklı dalga kırılması nedeniyle enerji kaybı,
- Derinlik değişimleri nedeniyle kırılma ve sapma,
- Dalga-akıntı etkileşimi,
- Zamanla değişen su derinliğinin etkisi.

Temel denklemin coğrafi ve spektral alanda ayrıklaştırılması merkezi sonlu hacim yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Coğrafi alanda, yapılandırılmamış ağ tekniği kullanılmaktadır. Zaman integrasyonunda, dalga yayılımı için çok serili açık

yöntemin uygulandığı kısmi adım yaklaşımı kullanılarak gerçekleştirilmektedir (DHI, 2017).

MIKE 21 SW, açık deniz ve kıyı bölgelerindeki dalga iklimlerinin tahmininin değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Başlıca uygulama alanı, güvenli ve ekonomik tasarımın önemli olduğu açık deniz ve kıyı yapılarının dalga yüklerinin doğru değerlendirilmesidir. Ölçülen veriler, deniz durumlarının yeterince doğru tahminlerinin oluşturulmasına izin verecek kadar uzun dönemlerde genellikle mevcut değildir. Bu durumda, tarihi fırtınalar sırasında ölçülen veriler MIKE 21 SW kullanılarak dalga koşullarının simülasyonu sayesinde tahmin verileri ile desteklenmektedir.

MIKE 21 SW bölgesel ölçekte ve yerel ölçekte özellikle dalga tahmini ve analizi için uygulanmaktadır. Hesaplama ağının bölgesel kısmı için kaba, uzaysal ve zamansal çözünürlük kullanılmaktadır. Kıyı şeridindeki sığ su ortamı için hesaplama ağını yüksek çözünürlüklü, sınır ve derinlik uyarlamalı olarak tanımlamaktadır.

MIKE 21 SW, büyük bir kısmının dalga koşulları ve dalga kaynaklı akıntılar tarafından oluşturulan sediment taşımının hesaplanması için kullanılmaktadır. Dalga kaynaklı akıntılar, sörf bölgesinde meydana gelen gerilme akısındaki değişimler tarafından üretilmektedir. Aynı zamanda, MIKE 21 SW dalga koşullarını ve ilgili gerilme akısını hesaplamak için de kullanılmaktadır (DHI, 2017).

2.3.1 Temel Denklemler

Ağırlık dalgalarının dinamiği, dalga hareket yoğunluğunun taşınım denklemi ile tanımlanmaktadır. Küçük ölçekli uygulamalar için temel taşınım denklemi genellikle kartezyen koordinatlarda formüle edilirken, büyük ölçekli uygulamalar için küresel polar koordinatlarda formüle edilmektedir. Dalga yoğunluk spektrumu zamanda ve konumda değişiklik göstermekte ve iki dalga fazı parametresinin bir fonksiyonudur. Bu iki dalga fazı parametresi, dalga numarası (k) ve yönü (θ) olabilmektedir. Alternatif olarak, bu iki dalga yönü (θ) ve göreceli açısal frekans ($\sigma=2\pi f_r$) veya mutlak açısal frekans ($\omega=2\pi f_a$) olabilmektedir. Hareket yoğunluğu $N(\sigma, \theta)$ ile enerji yoğunluğu $E(\sigma, \theta)$ arasındaki bağıntı (2.4) verilmiştir (DHI, 2017).

$$N = \frac{E}{\sigma} \quad (2.4)$$

Yavaşça değişen derinlik ve akıntılar üzerindeki dalga yayılımı için göreceli açısal frekans ve mutlak açısal frekans arasındaki ilişkisi dispersiyon bağıntısıyla (2.5) verilmiştir.

$$\sigma = \sqrt{gk \tanh(kd)} = \omega - \vec{k}\vec{U} \quad (2.5)$$

Burada; g yerçekimi ivmesi, d su derinliği ve U akıntı hızı vektörüdür. Akıntıya göre dalga grup hızı (c_g) (2.6) eşitliğinde verilmiştir.

$$c_g = \frac{\partial \sigma}{\partial k} = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2kd}{\sinh(2kd)} \right) \frac{\sigma}{k} \quad (2.6)$$

Faz hızı (c) ise akıntıya bağlı olarak (2.7) eşitliği ile verilmektedir.

$$c = \frac{\sigma}{k} \quad (2.7)$$

Frekans spektrumu, minimum frekans ($\sigma_{\min}$) ve maksimum frekans ($\sigma_{\max}$) arasındaki bir aralık ile sınırlandırılmaktadır. Frekans spektrumu, kesme frekansından daha düşük frekansları deterministik prognostik bölgeye ve kesme frekansından daha yüksek frekansları ise analitik diagnostik bölgeye ayırmaktadır. Kesme frekansı WAM 4 modelinde kullanıldığı gibi yerel rüzgar hızına ve ortalama frekansa bağlı olmaktadır. Spektrumun deterministik bölümü, dalga yoğunluğu için taşınım denkleminin sayısal yöntemler kullanılarak çözülmesiyle belirlenmektedir. Kesme frekans sınırının üzerinde yani prognostik bölgenin limitinin dışında (2.8) eşitliğindeki parametrik koşul uygulanmaktadır (DHI, 2017).

$$E(\sigma, \theta) = E(\sigma_{maks}, \theta) \left(\frac{\sigma}{\sigma_{maks}} \right)^{-m} \quad (2.8)$$

Burada; m sabittir ve mevcut modelde m için 5 değeri uygulanmaktadır. Maksimum prognostik frekans (2.9) eşitliğindeki gibi belirlenmektedir.

$$\sigma_{kesme} = \min[\sigma_{maks}, \max(2.5\bar{\sigma}, 4\sigma_{PM})] \quad (2.9)$$

Burada; σ_{maks} deterministik dalga modelinde kullanılan maksimum ayırık frekans, $\bar{\sigma}$ ortalama göreceli frekans ve $\sigma_{PM}=g/(28u_{10})$ tamamen gelişmiş deniz durumu için Pierson-Moskowitz pik frekansdır (u_{10} , ortalama deniz seviyesinin 10 m üstündeki ölçülen rüzgar hızıdır). Diagnostik koşul, lineer olmayan taşınım hesaplarında ve kaynak terimlerde kullanılan integral parametrelerin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Minimum frekansın altında spektral yoğunluğun sıfır olduğu varsayılmaktadır (DHI, 2017).

2.3.2 Dalga Hareketi Korunum Denklemleri

Dalga hareket korunum denklemi kartezyen veya küresel koordinatlarda formüle edilmiştir. Yatay kartezyen koordinatlarda dalga hareketi için korunum denklemi (2.10) eşitliği ile verilmiştir (DHI, 2017).

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \nabla(\vec{v}N) = \frac{S}{\sigma} \quad (2.10)$$

Burada; $N(\vec{x}, \sigma, \theta, t)$ hareket yoğunluğunu, t zamanı, $\vec{x}=(x, y)$ kartezyen koordinatlarını, $\vec{v}=(c_x, c_y, c_\sigma, c_\theta)$ dört boyutlu faz alanında bir dalga grubunun x 'te yayılma hızını, θ dalga yönünü, S enerji denge denkleminin kaynak terimini temsil etmektedir. ∇ ise dört boyutlu diferansiyel operatördür. Denklemden (2.10) kullanılan dört karakteristik yayılım hızları (2.11), (2.12), (2.13) eşitliklerinde verilmiştir.

$$(c_x, c_y) = \frac{d\vec{x}}{dt} = \vec{c}_g + \vec{U} \quad (2.11)$$

$$c_\sigma = \frac{d\sigma}{dt} = \frac{\partial \sigma}{\partial d} \left[\frac{\partial d}{\partial t} + \vec{U} \nabla_{\vec{x}} d \right] - c_g \vec{k} \frac{\partial \vec{U}}{\partial s} \quad (2.12)$$

$$c_\theta = \frac{d\theta}{dt} = -\frac{1}{k} \left[\frac{\partial \sigma}{\partial d} \frac{\partial d}{\partial m} + \vec{k} \frac{\partial \vec{U}}{\partial m} \right] \quad (2.13)$$

Burada; s (θ) dalga yönünde alan koordinatı ve m , s 'ye dik olan koordinattır. $\nabla_{\vec{x}}$, $\vec{x}$ alanında iki boyutlu diferansiyel operatördür.

Küresel koordinatlarda korunan özellik $\hat{N}(\vec{x}, \sigma, \theta, t)$ hareket yoğunluğudur. Burada, $\vec{x}=(\phi, \lambda)$ küresel koordinatlardır, ϕ enlem ve λ boylamdır. Hareket yoğunluğu ($\hat{N}$),

normal hareket yoğunluğu (N) ile (2.14) veya (2.15) eşitliği ile ilişkilendirilmektedir (DHI, 2017).

$$\hat{N}d\sigma d\theta d\phi d\lambda = Nd\sigma d\theta dxdy \quad (2.14)$$

$$\hat{N} = NR^2 \cos\phi = \frac{ER^2 \cos\phi}{\sigma} \quad (2.15)$$

Burada; R dünyanın yarıçapıdır. Küresel koordinatlarda dalga hareketi korunum denklemi (2.16) bağıntısında şöyle yazılmaktadır:

$$\frac{\partial \hat{N}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial \phi} c_\phi \hat{N} + \frac{\partial}{\partial \lambda} c_\lambda \hat{N} + \frac{\partial}{\partial \sigma} c_\sigma \hat{N} + \frac{\partial}{\partial \theta} c_\theta \hat{N} = \frac{\hat{S}}{\sigma} \quad (2.16)$$

Burada; $\hat{S}(\vec{x}, \sigma, \theta, t) = SR^2 \cos\phi$ toplam kaynak ve kuyu fonksiyonudur. Dört karakteristik dalga yayılım hızları ($c_\phi, c_\lambda, c_\sigma, c_\theta$) (sırasıyla 2.17, 2.18, 2.19, 2.20) aşağıdaki denklemlerle verilmektedir (DHI, 2017).

$$c_\phi = \frac{d\phi}{dt} = \frac{c_g \cos\theta + u_\phi}{R} \quad (2.17)$$

$$c_\lambda = \frac{d\lambda}{dt} = \frac{c_g \sin\theta + u_\lambda}{R \cos\phi} \quad (2.18)$$

$$\begin{aligned} c_\sigma = \frac{d\sigma}{dt} = \frac{\partial \sigma}{\partial d} \left[\frac{\partial d}{\partial t} - \frac{d}{R} \left(\frac{1}{\cos\phi} \frac{du_\lambda}{d\lambda} + \frac{du_\phi}{d\phi} - u_\phi \tan\phi \right) \right] \\ - \frac{kc_g}{R} \left[\cos\theta \left(\sin\theta \frac{du_\lambda}{d\phi} + \cos\theta \frac{du_\phi}{d\phi} \right) \right. \\ \left. + \frac{\sin\theta}{\cos\phi} \left(\sin\theta \frac{du_\lambda}{d\lambda} + \cos\theta \frac{du_\phi}{d\lambda} \right) - \cos\theta \tan\phi (u_\lambda \sin\phi + u_\phi \cos\theta) \right] \end{aligned} \quad (2.19)$$

$$c_\theta = \frac{d\theta}{dt} = \frac{c_g \sin\theta \tan\phi}{R} + \frac{1}{Rk} \frac{\partial \sigma}{\partial d} \left(\sin\theta \frac{\partial d}{\partial \phi} - \frac{\cos\theta}{\cos\phi} \frac{\partial d}{\partial \lambda} \right) \quad (2.20)$$

$$+ \frac{\sin\theta}{R} \left(\sin\theta \frac{\partial u_\lambda}{\partial \phi} + \cos\theta \frac{\partial u_\phi}{\partial \phi} \right) - \frac{\cos\theta}{R \cos\phi} \left(\sin\theta \frac{\partial u_\lambda}{\partial \lambda} + \cos\theta \frac{\partial u_\phi}{\partial \lambda} \right)$$

Burada; (u_ϕ, u_λ) , coğrafi alandaki derinlik ortalama akıntının $(\vec{U})$ bileşenleridir.

2.3.3 Kaynak Fonksiyonları

Enerji kaynak terimi (S) değişken fiziksel olayları tanımlayan birçok kaynak fonksiyonunun birleşimini temsil eder.

$$S = S_{in} + S_{nl} + S_{dis} + S_{bot} + S_{surf} \quad (2.21)$$

Burada; S_{in} rüzgardan enerji üretimini, S_{nl} lineer olmayan dalga-dalga etkileşimi nedeniyle dalga enerji transferini, S_{dis} köpüklenmeden dolayı enerji kaybını, S_{bot} taban sürtünmesinden kaynaklanan enerji kaybını ve S_{surf} derinlik kaynaklı kırılma nedeniyle enerji kaybını temsil etmektedir.

MARMARA DENİZİ DALGA MODELLEMESİ VE KALİBRASYONU

3.1 Giriş

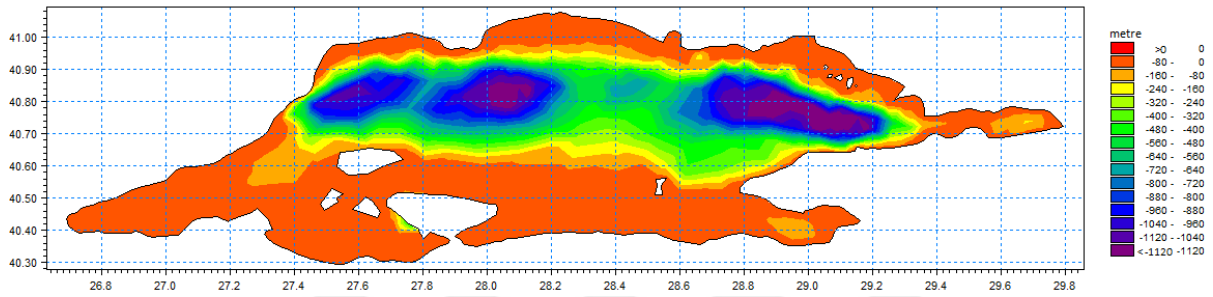
Kıyı ve açık denizde yapılacak çalışmalar ve karşılaşılabilecek problemler için deniz durumunun veya dalga ikliminin tanımlanması gerekmektedir. Deniz yapılarının tasarımında, kıyı denge sistemlerinin analizinde ve dalga enerji kaynaklarının değerlendirilmesinde belirgin dalga yüksekliği yineleme dönemi, ortalama dalga yönü ve ortalama dalga gücü gibi parametrelerin uzun dönemli zaman serilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Genellikle uzun dönemli dalga ölçüm verilerini elde etmek maliyetli ve zahmetli olmaktadır. Bu sebeple, ulaşma imkânı ve ölçülmesi daha kolay olan uzun dönemli rüzgar verilerinden dalga tahmini yapılmaktadır.

Çalışmanın bu bölümünde, Marmara Denizi'nin 40 yıllık uzun dönemli dalga parametrelerinin elde edilmesi hedeflenmiştir. MIKE 21 SW sayısal dalga modeli kullanılarak dalga koşullarının simülasyonu yapılmış ve rüzgar verilerinden dalga tahmini sağlanmıştır. Öncelikle, MIKE 21 SW sayısal modelinin ölçüm şartlarına en yakın şekilde ayarlanabilmesi için sayısal modelin kalibrasyonu ve hassasiyet analizi yapılmıştır. Model kalibrasyon parametrelerinin dalga yükseklikleri üzerindeki etkisi incelenmiş ve model parametrelerinin en uygun değerleri kabul edilmiştir. Daha sonra, sayısal modelin yapılandırılabilir ağ sistemi sayesinde Marmara Denizi için çeşitli yoğunluklara sahip hesap ağları oluşturulmuştur. Farklı hesap ağlarının, model performansına ve koşturma sürelerine olan etkisi irdelenmiştir. Son olarak, en iyi uyumu sağlayan kalibrasyon parametre değerleri ve hesap ağı ile oluşturulmuş nihai modelin doğrulaması yapılmıştır. Model doğrulamasında Silivri istasyonuna ait 6 yıllık dalga ölçüm verileri kullanılmıştır.

3.2 Çalışma Alanı (Marmara Denizi)

Marmara Denizi, Türkiye'nin Asya ve Avrupa kıtalarını birbirinden ayıran bir iç denizdir. Kuzeydoğuda İstanbul Boğazı ile Karadeniz'e, güneybatıda Çanakkale Boğazı

ile Ege Denizi'ne bağlanmaktadır. Marmara Denizi küçük bir deniz olmasına rağmen, denizin konumu ve boğazları nedeniyle trafiği oldukça yoğundur. Marmara Denizi kıyısında İstanbul, Kocaeli, Yalova, Bursa, Balıkesir, Çanakkale, Tekirdağ illeri bulunmaktadır. Havzasında; İmralı Adası, Marmara Adaları ve Prens Adaları olarak gruplandırılan adalar yer almaktadır. Marmara Denizi 26°-30° doğu boylamları ve 40°-41.5° kuzey enlemleri arasındadır. Yaklaşık olarak kuzeydoğudan güneybatıya 240 km uzunluğunda, 70 km genişliğinde ve 11500 km² yüz ölçümüne sahiptir. Ortalama derinliği yaklaşık -494 m ve bu değer merkezde maksimum -1260 m'ye ulaşmaktadır (Erturaç, 2002).



Şekil 3.1 Marmara Denizi batimetri haritası

Marmara Denizi'nde, denizin yüzey alanının küçüklüğüne karşılık büyük derinliklere rastlanmaktadır. İzmit Körfezi'nden başlayarak, Marmara Denizi'nin batısına doğru elips şeklinde 3 adet çukur bulunmaktadır (Artüz, 2007). Çukurların derinlikleri ve konumları Şekil 3.1'de Marmara Denizi batimetri haritasında görülmektedir.

3.3 Sayısal Dalga Modellemesi

Marmara Denizi'nde dalga tahmini yapılırken üçüncü nesil spektral dalga modeli olan MIKE 21 SW sayısal modeli kullanılmıştır. MIKE 21 SW haliçlerde, kıyılarda ve derin denizlerde hidrolik ve hidrolikle ilgili olayların simülasyonu için kullanılan kapsamlı bir modelleme sistemidir. Sistem; kıyı hidroliği, oşinografi, dalga dinamiği, limanlar, nehirler ve katı madde süreçleri alanlarında çok çeşitli mühendislik ve çevre uygulamalarına sahiptir. Geniş işlem modülü, basit bir veri tabanında depolanan verilerin ve model sonuçlarının analizine aynı zamanda grafiksel sunumuna izin vermektedir. Esnek ve interaktif menü sistemi sayesinde veri işleme, model veri girişi ve program yürütmesi kolaylaşmıştır (DHI, 2017).

Zaman

Sayısal modelin simülasyon süresi çalışmada kullanılan ERA-Interim rüzgar verilerinin süresine eşit ve toplamda 40 yıldır. Modelleme her yıl için ayrı olarak yapılmış ve simülasyon zaman adımı aralığı 600 s olarak belirlenmiştir. Bu nedenle, zaman adımı sayısı normal yıllar için 56988’iken artık yıllar için 57132’dir. Tablo 3.1’de simülasyondaki zaman parametre girdilerinin normal ve artık yıllara ait birer örneği verilmiştir.

Tablo 3.1 Normal ve artık yıllara ait simülasyonların zaman parametreleri

Zaman Parametreleri	Normal Yıl	Artık Yıl
Zaman Adımı Sayısı	56988	57132
Zaman Adımı Aralığı	600	600
Simülasyon Başlangıç Tarihi	1.12.2016 0:0	1.12.2015 0:0
Simülasyon Bitiş Tarihi	31.12.2017 18:00	31.12.2016 18:0

Temel Denklemler ve Çözüm Yöntemleri

MIKE 21 SW sayısal modeli Bölüm 2.3’te bahsedildiği gibi yönsel ayrılmış parametrik formül ve tam spektrum formülü olarak iki formül içermektedir. Tam spektrum formülüyle dalga gelişimi, dalga ilerlemesi, rüzgar kaynaklı dalga transferi ve soluğan olayları incelenebilmektedir. Yönsel ayrılmış parametrik formül küçük ölçekteki dalga taşınımı uygulamalarında, tam gelişmiş deniz durumunun baskın olduğu ve soluğanın ihmal edilebildiği durumlarda kullanılmaktadır. Tam spektrum formülü, yönlü frekans dalga hareketi spektrumunun gelişimini simüle ettiği için yönsel ayrılmış parametrik formülden birkaç kat daha yavaştır. Ancak, tam spektrum formülü doğruluğu açısından yönsel ayrılmış parametrik formüle göre daha fazla tercih edilmektedir (DHI, 2017). Sayısal modelin temel denklemleri, rüzgar-dalga üretimini gerçekleştirebilen tam spektrum formülünde ayarlanmıştır (Tablo 3.2).

MIKE 21 SW sayısal modeli zaman yarı kararlı formül ve kararlı olmayan formül olarak iki farklı zaman formülü içermektedir. Yarı kararlı formülde, zaman bağımsız bir değişken olarak alınmakta ve kararlı durum çözümü tüm zaman adımlarında hesaplanmaktadır. Kararlı olmayan formülde, zaman içindeki entegrasyon kesirli zaman adımı yaklaşımına dayanmaktadır. İlk olarak, temel korunum denklemlerini

kaynak terimleri olmadan çözerek yeni zaman adımıyla yaklaşık sonuç hesaplayan bir yayılım adımı oluşturmaktadır. İkinci olarak, sadece kaynak terimlerinin etkisi dikkate alınarak tahmin edilmiş çözümden yeni sonuç hesaplayarak kaynak terim adımı gerçekleştirmektedir (DHI, 2017). Marmara Denizi için oluşturulan sayısal modelde kararlı olmayan formül seçilmiştir (Tablo 3.2).

Simülasyon süresi ve doğruluğu, hesaplamalarda kullanılan sayısal şemaların sırası belirtilerek kontrol edilebilmekte ve spektrum alanında ayırıklaştırma şemaları belirlenebilmektedir. Sayısal modelde daha düşük dereceli veya daha yüksek dereceli bir şema seçebilmektedir. Düşük dereceli şema hız açısından daha iyiyken doğruluk açısından daha kötü olmaktadır. Yayılım hesabında kullanılan maksimum zaman adımı sayısı 32'dir. Kaynak hesabında zaman adımı sayısının 1 olarak ayarlanması tavsiye edilmektedir (DHI, 2017). Marmara Denizi için oluşturulan modelde kullanılan çözüm tekniği ile ilgili parametre değerler Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2 Modellemede kullanılan temel denklemler ve çözüm tekniği parametreleri

Temel Denklemler	Spektrum formülü	Tam spektrum formülü
	Zaman formülü	Kararlı olmayan formül
Çözüm Tekniği	Spektrum alanında ayırıklaştırma	Düşük dereceli, Hızlı algoritma
	Maksimum zaman adım sayısı	32
	Kaynak hesabındaki zaman adım sayısı	1
	Minimum zaman adımı	0.01
	Maksimum zaman adımı	600

Frekans ayırıklaştırması, sadece tam spektrum formülünde kullanılan logaritmik ve eş aralıklı ayırıklaştırma olarak iki türlü yapılmaktadır. Genellikle, logaritmik frekans ayırıklaştırma kullanılması tavsiye edilmektedir. Frekans aralığı, hesaplama alanında oluşması beklenen dalga frekanslarını kapsamaktadır. Tipik açık deniz uygulamalarında dalga periyotları 4s ve 25 s (0.25 Hz-0.04 Hz) arasında bulunmaktadır. Frekans faktörünün varsayılan değeri ise 1.1'dir (DHI, 2017). Modellemede frekans ayırıklaştırması, minimum frekans 0.055 ve frekans sayısı 25 olacak şekilde ayarlanmıştır. Sayısal modelde, 360°'lik gül ve yönsel daire dilimi olarak iki çeşit yönsel ayırıklaştırma mevcuttur. Genelde değişken

rüzgar/dalga/soluğan yönleri için 360°'lik güller seçilmektedir. Sayısal modelde yönsel ayırıklaştırma ayarı 360° gül ve 16 yön olarak yapılmıştır (Tablo 3.3).

Tablo 3.3 Modellemede kullanılan spektrum ayırıklaştırma parametreleri

Frekans Ayırıklaştırması			
Ayrıklaştırma Tipi	Frekans Sayısı	Minimum Frekans	Frekans Faktörü
Logaritmik	25	0.055	1.1
Yönsel Ayırıklaştırma			
Ayrıklaştırma Tipi		Yön Sayısı	
360°'lik gül		16	

3.3.1 Çalışmada Kullanılan Veriler

Rüzgar Verileri

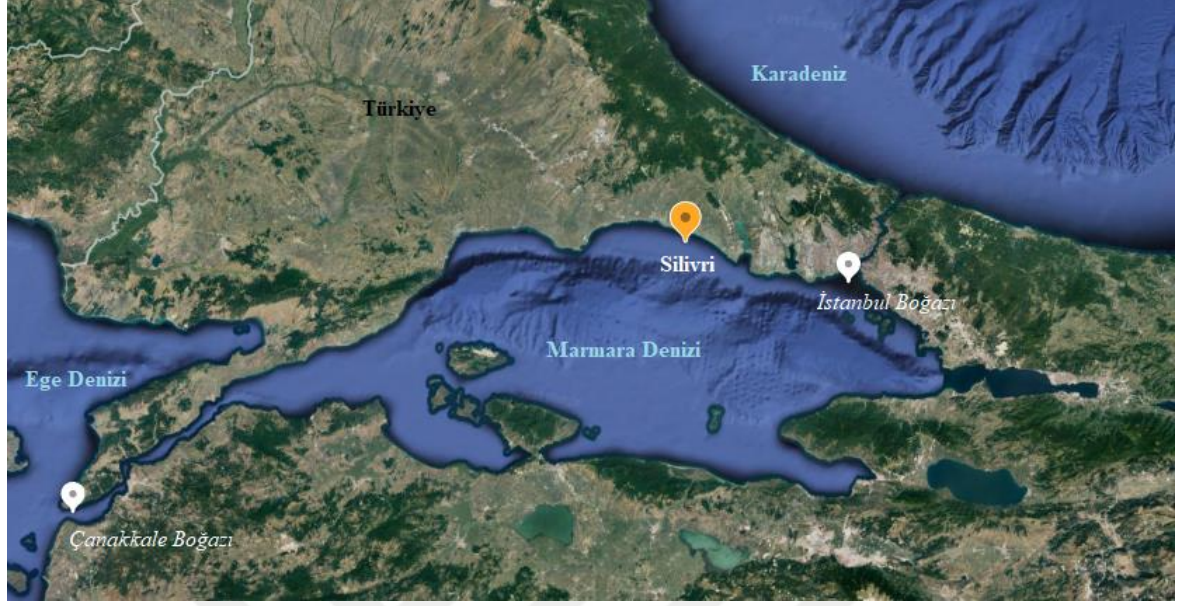
Bu çalışmada, Avrupa ülkelerinin çoğu tarafından desteklenen, dünyanın en büyük hava durumu tahmin verileri arşivini işleten ECMWF'e (Avrupa Orta Vadeli Hava Tahminleri Merkezi) ait ERA-Interim rüzgar verilerinden yararlanılmıştır. Sayısal modelde, 1979 ile 2018 yılları arasındaki 40 yıllık süreyi kapsayan deniz seviyesinden 10 m yükseklikte bulunan rüzgar hızları kullanılmıştır. Rüzgar verileri, 6 saat aralıklı olup her gün için 4 rüzgar hızı değeri (eş güdümlü evrensel saate göre 00.00, 06.00, 12.00, 18.00 saatlerinde) bulundurmaktadır. Rüzgar hızlarının bileşenleri iki boyutlu (U, V) ve alansal çözünürlüğü 0,25° x 0,25°'dir.

Bir dalga modelinin tahmin doğruluğu büyük ölçüde rüzgar alanlarının kalitesine bağlı olmaktadır. Rüzgar ve dalga iklimi çalışmalarında çoğunlukla ERA-Interim ve CFSR (Climate Forecast System Reanalysis) rüzgar verileri kullanılmaktadır. Daha önce Marmara Denizi için yapılan dalga iklimi çalışmasında (Yüksel vd., 2021) ERA-Interim ve CFSR rüzgar verileri karşılaştırılmıştır. Sayısal modellemede ölçüm verileriyle daha iyi uyum yakalamasından dolayı ERA-Interim rüzgar veri seti kullanılmıştır.

Dalga Ölçüm Verileri

Bu çalışmada, TPAO'nun (Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı) Silivri dalga şamandırasına ait ölçümlerden yararlanılmıştır. Dalga verileri, denizin 70 m

derinliğinde yönsel olarak ölçülmüştür. Silivri ölçüm istasyonunun Marmara Denizi'ndeki konumu Şekil 3.2'de görülmektedir.

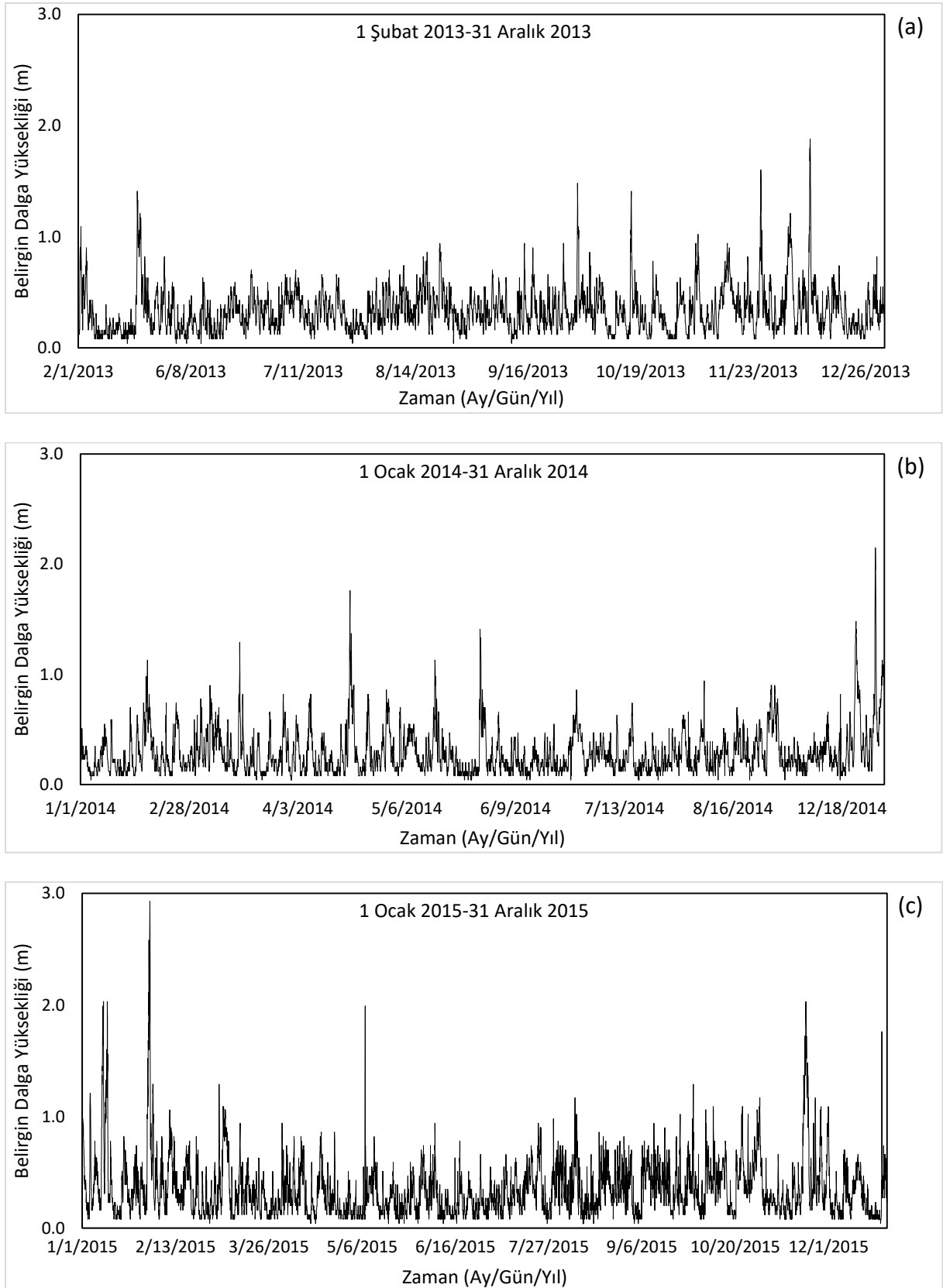


Şekil 3.2 Marmara Denizi ve Silivri ölçüm istasyonu

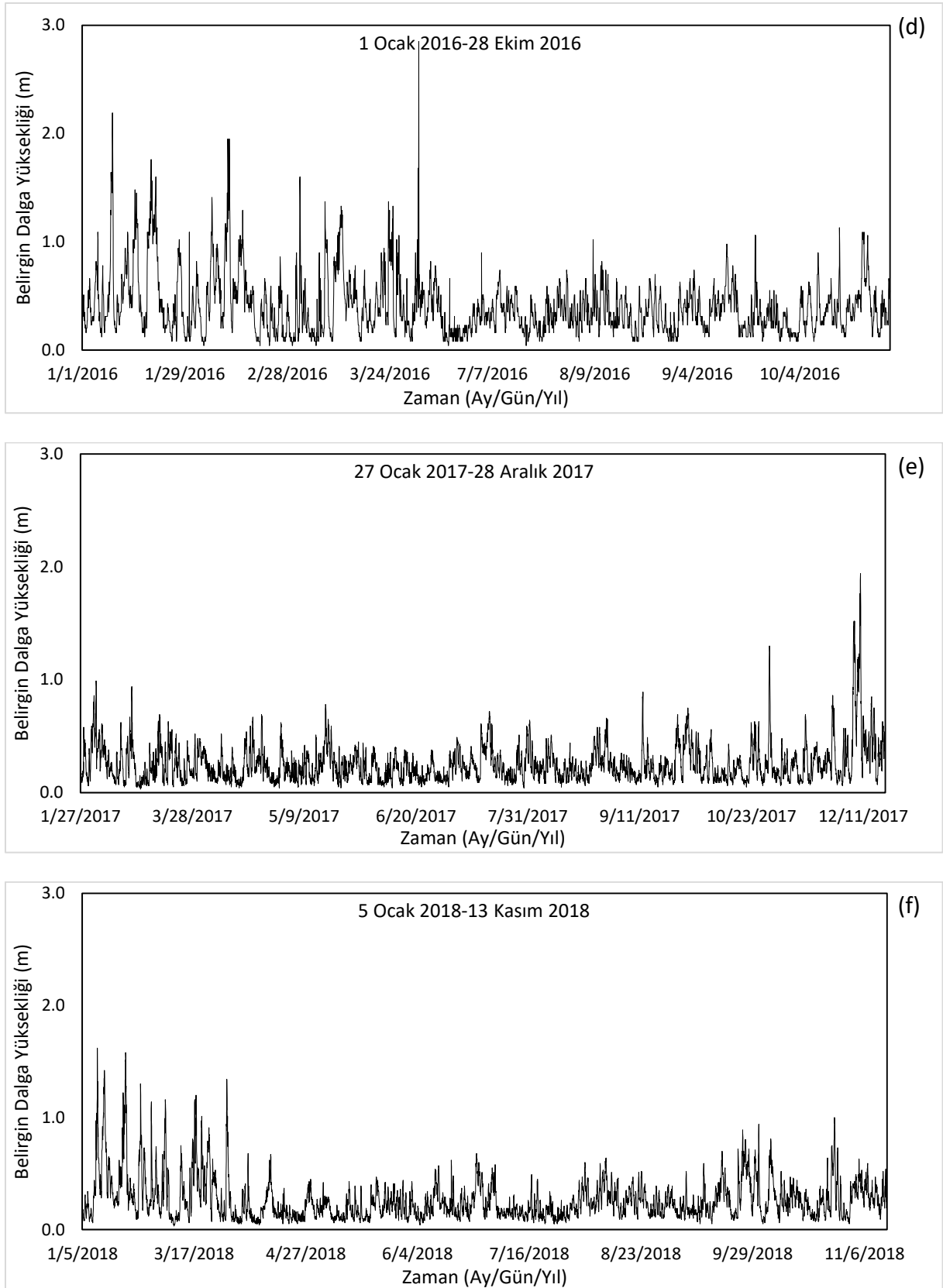
MIKE 21 SW sayısal modelinin kalibrasyon ve doğrulama koşturmaları, ölçülmüş dalga verileriyle karşılaştırılarak sayısal model parametrelerinin en uygun değerleri belirlenmiştir. Kalibrasyon aşamasında 2015 yılına ait dalga ölçümleri kullanılmıştır. Doğrulama aşamasında kullanılan veriler ise 2013-2018 yılları arasındaki 6 yılı kapsamaktadır. Yıllara ait ölçüm verilerinin zaman aralıkları ve istatistikleri Tablo 3.4'te sunulmuştur. Tüm yıllar içinden ölçülmüş dalga veri âdetinin en fazla olduğu yıl 2015'tir. Ölçülmüş en büyük belirgin dalga yüksekliği de 2015 yılına aittir.

Tablo 3.4 Silivri istasyonu dalga ölçümlerinden elde edilen belirgin dalga yüksekliklerinin istatistiği

Zaman Aralığı (ay.gün.yıl)	Veri Sayısı(n)	Minimum (m)	Maksimum (m)	Ortalama (m)
2.1.2013-12.31.2013	5736	0.0400	1.8800	0.3305
1.1.2014-12.31.2014	5914	0.0400	2.1500	0.2883
1.1.2015-12.31.2015	8198	0.0400	2.9300	0.3465
1.1.2016 -10.28.2016	3941	0.0400	2.8500	0.3994
1.27.2017-12.28.2017	7199	0.0300	1.9400	0.2520
1.5.2018-11.13.2018	6484	0.0300	1.6200	0.2659



Şekil 3.3 Ölçülen belirgin dalga yükseklikleri zaman serisi; a) 1 Şubat 2013-31 Aralık 2013 b) 1 Ocak 2014-31 Aralık 2014 c) 1 Ocak 2015-31 Aralık 2015 d) 1 Ocak 2016-28 Ekim 2016 e) 27 Ocak 2017-28 Aralık 2017 f) 5 Ocak 2018-13 Kasım 2018 tarihleri arasındaki grafikleri temsil etmektedir.

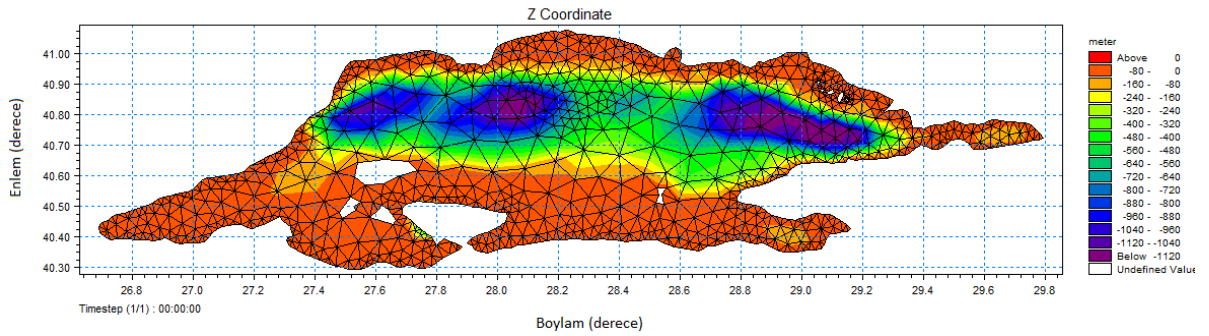


Şekil 3.3 Ölçülen belirgin dalga yükseklikleri zaman serisi; a) 1 Şubat 2013-31 Aralık 2013 b) 1 Ocak 2014-31 Aralık 2014 c) 1 Ocak 2015-31 Aralık 2015 d) 1 Ocak 2016-28 Ekim 2016 e) 27 Ocak 2017-28 Aralık 2017 f) 5 Ocak 2018-13 Kasım 2018 tarihleri arasındaki grafikleri temsil etmektedir. (devamı)

2013-2018 yıllarına ait belirgin dalga yüksekliklerinin zaman serileri Şekil 3.3'te grafik olarak çizdirilmiştir. Tüm yıllar içinde, belirgin dalga yüksekliğinin en yüksek pik değeri 2015 yılında ölçülmüştür. Buna karşılık, dalga ölçümlerinin en fazla sayıda pik yaptığı yıl 2016'dır. 2016 yılında ölçülen belirgin dalga yükseklikleri, diğer yıllara göre daha yüksek değerlerdedir. Belirgin dalga yüksekliklerinin en düşük değerlerde gerçekleştiği yıl ise 2017 yılı olmuştur.

3.3.2 Hesaplama Alanı ve Batimetrisi

MIKE 21 SW sayısal modelinde, Deniz Kuvvetleri Komutanlığı Seyir, Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığından alınan haritaların sayısallaştırılmasıyla üretilen batimetrik harita kullanılmıştır. Marmara Denizi hesaplama alanının İstanbul Boğazı'na ve Çanakkale Boğazı'na olan girişleri kapatılmıştır. Oluşturulan hesaplama ağının boylamı minimum 26.69°, maksimum 29.80°; enlemi minimum 40.29°, maksimum 41.08°'dir.



Şekil 3.4 Marmara Denizi'nin batimetrisi ve oluşturulan hesap ağı

MIKE 21 SW sayısal modelinin ağ sistemi, yapılandırılmamış üçgen elemanlardan oluşmaktadır. Bu sayede, ağ sisteminin eleman sıklığı istenilen bölgelerde değiştirilebilmektedir. Marmara Denizi için oluşturulan hesaplama ağının 1624 üçgen elemanı ve 1048 düğüm noktası bulunmaktadır. Hesaplama alanının ağ sıklığı, açık denizden kıyı bölgelere doğru yoğunlaşmaktadır. Marmara Denizi kıyılarında ve Marmara Denizi'nin kuzey bölgesinde (Silivri ölçüm istasyonunun bulunduğu alan) daha sık ağ sistemi kullanılmıştır. Marmara Denizi hesaplama alanı ve batimetrisi Şekil 3.4'te sunulmuştur. Sayısal modelin parametre değerlerinin belirlenmesi için yapılan kalibrasyon koşturmalarında bu hesap ağı kullanılmıştır. Ancak, model parametreleri belirlendikten sonra bu hesap ağına (Şekil 3.4) göre daha ince ağ

yapısına sahip olan bir hesap ağı belirlenmiştir. Sayısal modelin doğrulanmasına ve uzun dönemli koşturmalarına belirlenen bu hesap ağıyla devam edilmiştir.

Şekil 3.4'te, Marmara Denizi'nin kuzeybatı ve kuzeydoğu bölgelerinde üç büyük derinlik olduğu görülmektedir. En büyük derinlik -1260 m olarak ölçülmüştür. Marmara Denizi'nin orta bölgelerinden kıyılara doğru derinlik azalmaktadır.

3.4 Model Kalibrasyonu

MIKE 21 SW sayısal modeline, Marmara Denizine ait hesap ağı ve batimetri eklendikten sonra rüzgar verisi girilmiştir. Devamında, model kalibrasyon parametrelerinin en iyi değerlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Sayısal modeli ölçüm şartlarına en yakın şekilde ayarlayabilmek için model kalibrasyonu yapılmıştır. Sayısal model parametrelerinin değerleri değiştirilerek bir çok kalibrasyon senaryosu oluşturulmuştur. Böylelikle, model kalibrasyon parametrelerinin sayısal model üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu bölümde, MIKE 21 SW sayısal modelinin içerdiği kalibrasyon parametreleri açıklanmaya çalışılmıştır.

3.4.1 Model Kalibrasyon Parametreleri

Köpüklenme Parametreleri

Köpüklenme parametresi dalga dikliği tarafından kontrol edilmektedir. Bu parametre sadece tam spektrum formülünde geçerli olmaktadır. Genel olarak, köpüklenme nedeniyle enerji kaybını C_{ds} ve DELTAdis (δ) parametreleri kontrol etmektedir. Bu parametrelerin sırasıyla 4.5 ve 0.5 değerleri önerilmektedir. DELTAdis (δ) parametresi 0-1 arasındaki değerleri alabilmektedir (DHI, 2017). C_{ds} katsayısının azalması köpüklenme sebebiyle oluşan enerji kaybını azaltmaktadır. Böylelikle, daha büyük dalgaların oluşmasına yol açmaktadır.

Dalga Kırılma Parametreleri

Dalgaların su derinliği tarafından desteklenemeyecek kadar yüksek olması durumunda derinlik kaynaklı dalga kırılması gerçekleşmekte ve bu süreçte dalga enerjisi yayılmaktadır. Dalga kırılmasını α ve γ parametreleri kontrol etmektedir. α parametresinin artırılması enerji kaybı miktarını arttırmakta ve γ parametresinin artırılması derinliğe bağlı dalga kırılma miktarını azaltmaktadır. α ve γ parametrelerinin varsayılan değerleri 0.8 ve 1'dir (DHI, 2017).

Taban Sürtünmesi

Sığ suya doğru ilerleyen dalgaların yörünge dalga hızları su derinliğine nüfuz etmektedir. Bu süreçte, dalga-taban etkileşiminden kaynaklanan enerji kaybı görülmektedir. Bu yüzden, taban sürtünmesinin artması dalga yüksekliğinin azalmasına sebep olmaktadır. Derin sularda, taban sürtünmesinin etkisi ihmal edilmektedir. Taban sürtünmesinin varsayılan değeri 0.0212'dir (DHI, 2017).

Charnock Parametresi

Rüzgar-dalga üretimi, rüzgarın dalga oluşturmak için enerjisini su kütesine aktardığı süreçtir. Rüzgar girdisindeki birleştirilmiş formülasyon, rüzgardan dalgalara veya engele momentum aktarımının yalnızca rüzgara değil dalgalara da bağlı olduğu anlamına gelmektedir. Dolayısıyla, deniz durumuna bağlı pürüzlülük parametresi Charnock (z_{ch}) ve z_{ch} parametresinin varsayılan değeri 0.01'dir.

Kalibrasyon ve doğrulama koşullarının hemen ardından model sonuçlarının değerlendirilmesi yapılmaktadır. Genellikle, sayısal model kalibrasyonunda ve doğrulanmasında belirgin dalga yüksekliği ve pik periyodu gibi parametrelerin karşılaştırmaları incelenmektedir. Bu çalışma kapsamında, ölçülmüş belirgin dalga yükseklikleri ve dalga periyotları incelenmiştir. Dalga periyodu verilerinin, zaman serisi boyunca kesintili ve birbirinden uyumsuz büyüklüklerde gerçekleştiği görülmüştür. Buna karşılık, belirgin dalga yüksekliği verilerinin zaman serisi boyunca devamlı ve birbiriyle uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Bu sebeple, sayısal modelin kalibrasyonu ve doğrulanması yalnızca belirgin dalga yüksekliği verileriyle yapılmıştır. Simülasyon sonucunda elde edilen dalga tahminleri dalga ölçüm verileriyle istatistiksel hata parametreleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Sayısal model performansının değerlendirilmesinde kullanılan istatistiksel hata değerleri; hata kareleri ortalamasının karekökü (RMSE), ortalamaların farkı (Bias), saçılım indeksi (SI), korelasyon katsayısıdır (R). Hata parametrelerinin hesaplamaları (3.1) ve (3.4) arası eşitliklerde sunulmuştur.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2} \quad (3.1)$$

Burada; n veri sayısı, X_i ölçüm değerleri ve Y_i tahmin sonuçlarıdır. RMSE değerinin 0'a yaklaştığı durumlarda X ve Y arasındaki ilişki güçlenmektedir.

$$Bias = \bar{X} - \bar{Y} \quad (3.2)$$

Burada, $\bar{X}$ ölçümlerin ortalaması ve $\bar{Y}$ dalga tahminlerinin ortalamasıdır.

$$SI = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}}{\bar{X}_i} \quad (3.3)$$

Burada; n veri sayısı, X_i ölçüm değerleri ve Y_i tahmin sonuçlarıdır. Diğer bir ifadeyle saçılım indeksi, RMSE hata değerinin ortalamaya olan oranıdır. SI değerinin 0.30'dan küçük değerlerinde tahmin sonuçları iyi uyum yakalamaktadır.

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n [(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n [(X_i - \bar{X})^2 (Y_i - \bar{Y})^2]}} \quad (3.4)$$

Burada; n veri sayısı, X_i ölçüm değerleri, Y_i tahmin sonuçları, $\bar{X}$ ölçümlerin ortalaması ve $\bar{Y}$ dalga tahminlerinin ortalamasıdır. R değerinin 0 olduğu durumlarda ölçümler ve tahmin sonuçları arasında uyum söz konusu olmazken; R değerinin 1'e eşit olduğu durumlarda ölçümler ve tahminler birbirleriyle tam uyum yakalamaktadır.

3.4.2 Model Kalibrasyonu Sonuçları

Dalga tahminlerinin ölçümlere en yakın şekilde hesaplanabilmesi için kalibrasyon parametreleri değerlerinin tek başlarına ve diğer parametrelerle birlikte değiştirildiği kalibrasyon senaryoları oluşturulmuştur. Kalibrasyon koşturmaları sonucunda Marmara Denizi'ne ait en uygun sayısal model parametre değerleri ve hesaplama ağı belirlenmiştir.

Arı (2009) çalışmasında dalga tahmini için MIKE 21 SW sayısal modeli kullanılmış ve sayısal modeldeki en etkili parametrenin köpüklenme parametresi (C_{ds}) olduğunu yorumlanmıştır. Bu çalışmanın kalibrasyon bölümünde ilk olarak, tek başına köpüklenme parametresinin (C_{ds}) etkisi incelenmiştir. Köpüklenme parametresi, 0.5

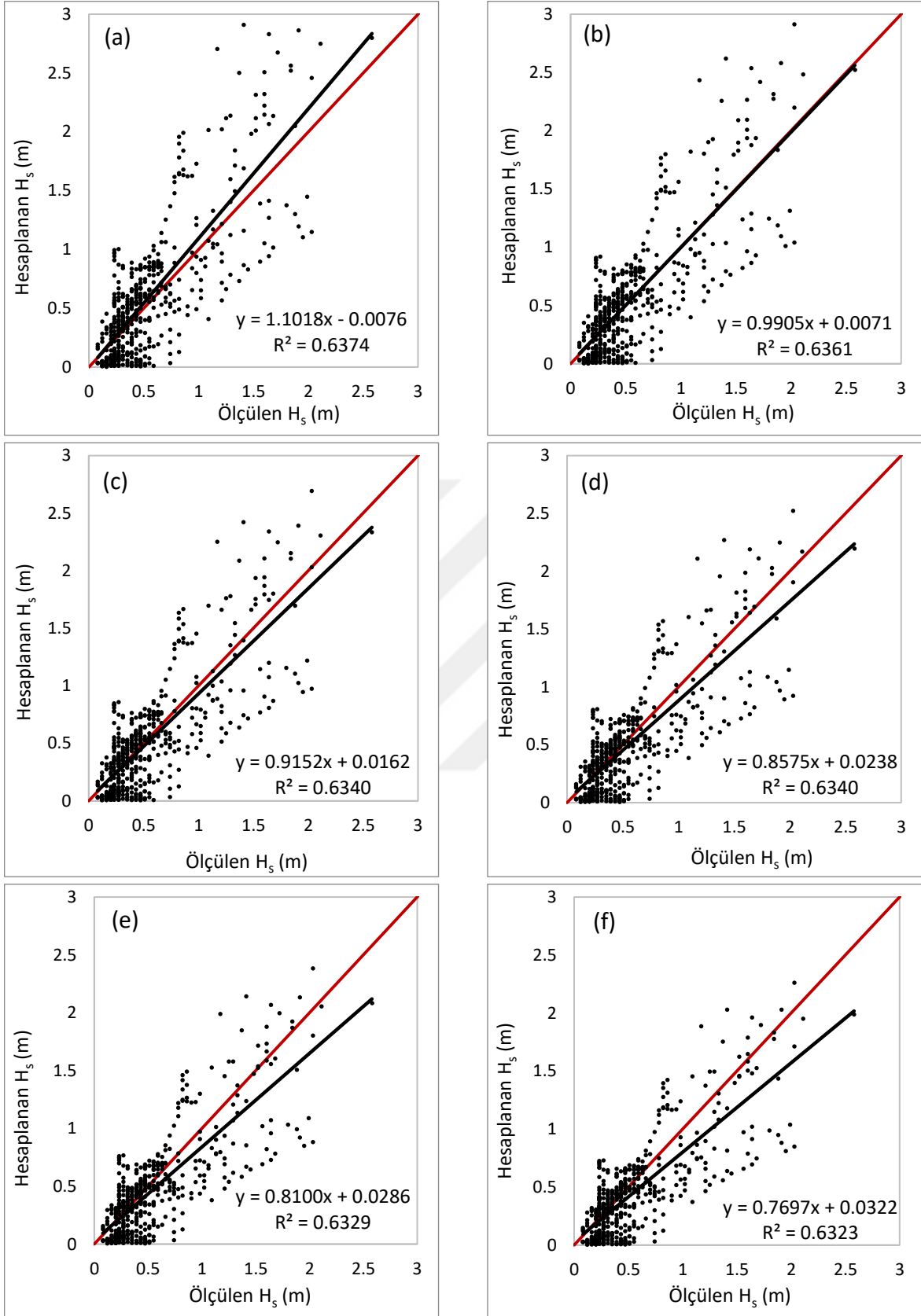
değerinden 4.0 değerine kadar artırılarak 8 adet kalibrasyon denemesi yapılmıştır. Sayısal model, en çok dalga ölçüm verisini içeren 2015 yılı için bir yıllık koşturulmuştur. Simülasyon sonucunda, dalga ölçüm koordinatına (28.25° D ve 40.99° K) ait dalga parametreleri elde edilmiştir. Modelden hesaplanan belirgin dalga yükseklikleri, ölçülmüş belirgin dalga yükseklikleri ile karşılaştırılarak istatistiksel hata parametreleriyle değerlendirilmiştir. Sekiz kalibrasyon denemesinin (D1-D8) istatistiksel hata değerleri Tablo 3.5'te sunulmuştur.

Tablo 3.5 Köpüklenme parametresi (C_{ds}) kalibrasyon senaryoları istatistiksel hata değerleri

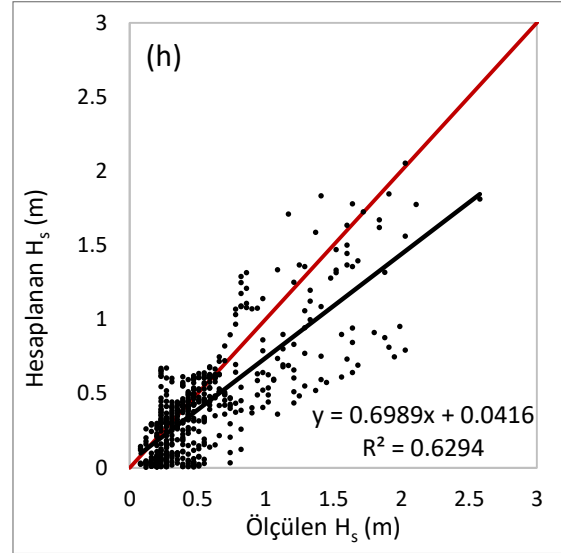
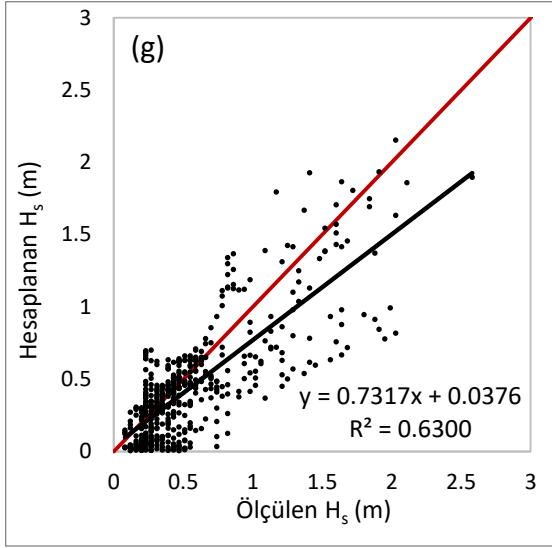
Kalibrasyon	C_{ds}	RMSE	Bias	SI	R
D1	0.5	0.281	0.013	0.681	0.772
D2	1.0	0.251	-0.017	0.608	0.771
D3	1.5	0.235	-0.037	0.569	0.769
D4	2.0	0.225	-0.053	0.545	0.768
D5	2.5	0.222	-0.070	0.539	0.766
D6	3.0	0.216	-0.078	0.521	0.765
D7	3.5	0.214	-0.087	0.516	0.764
D8	4.0	0.214	-0.096	0.515	0.762

Köpüklenme parametresinin (C_{ds}) artırılması RMSE ve SI hata değerlerini iyileştirmiş ancak R hata değerlerini kötüleştirmiştir. Bias hata değerleri D1'den D8'e doğru yükselmiştir. Tüm senaryolar içinden, köpüklenme parametresinin $C_{ds}=1.5$, 2 ve 2.5 olduğu senaryolar (sırasıyla; D3, D4 ve D5) daha uyumlu sonuçlar vermiştir. En iyi uyumu sağlayan köpüklenme parametresi değerine (C_{ds}) karar verebilmek için bu parametrenin diğer parametrelerle birlikte değişimine bakılmıştır.

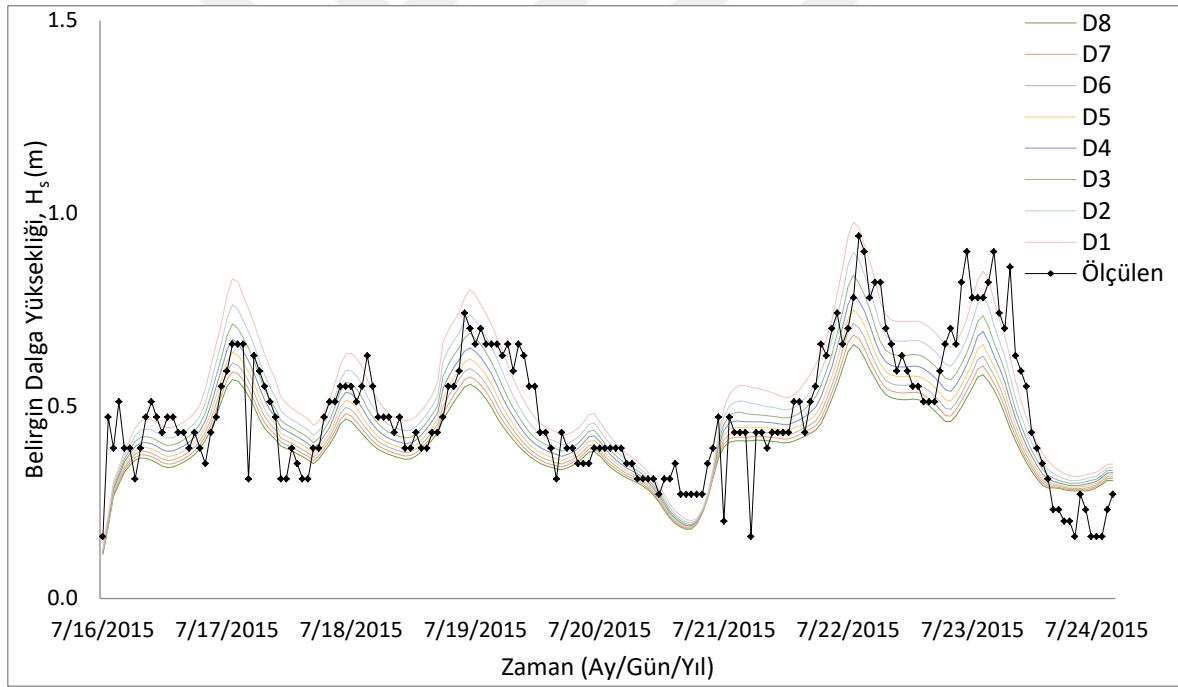
Sekiz kalibrasyonun 2015 yılı Ocak ayındaki değerlerine ait ölçülen belirgin dalga yüksekliklerine karşı hesaplanan belirgin dalga yükseklikleri grafiklerinde (Şekil 3.5) eğilim çizgileri ve determinasyon katsayıları sunulmuştur. Bu grafikler incelendiğinde, sekiz kalibrasyon denemesinin determinasyon katsayılarının birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. En iyi determinasyon katsayısı sonucunu köpüklenme parametresinin (C_{ds}) en düşük değeri vermiştir.



Şekil 3.5 Ölçülen belirgin dalga yüksekliklerine karşı hesaplanan belirgin dalga yükseklikleri (1/1/2015-31/1/2015). a, b, c, d, e, f, g, h çizimleri sırasıyla; D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8 kalibrasyonlarını temsil etmektedir.



Şekil 3.5 Ölçülen belirgin dalga yüksekliklerine karşı hesaplanan belirgin dalga yükseklikleri (1/1/2015-31/1/2015). a, b, c, d, e, f, g, h çizimleri sırasıyla; D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8 kalibrasyonlarını temsil etmektedir. (devamı)



Şekil 3.6 Kalibrasyon sonuçları ve ölçülen veriler (7/16/2015-7/24/2015)

Sekiz kalibrasyon denemesinin hesaplanan ve ölçülen belirgin dalga yüksekliği değerleri bir haftalık süre boyunca grafik olarak Şekil 3.6'da sunulmuştur. Şekil incelendiğinde, tüm kalibrasyonlar içinden D1 kalibrasyonunun ($C_{ds}=0.5$) en yüksek belirgin dalga yüksekliği değerlerini ve D8 kalibrasyonunun ($C_{ds}=4$) en düşük belirgin dalga yüksekliği değerlerini verdiği görülmektedir. Belirgin dalga yüksekliğinin pik yaptığı tarihte (7/22/2015), bu yüksekliğe en yakın tahmin

sonucunu en düşük köpüklenme katsayısını ($C_{ds}=0.5$) içeren D1 kalibrasyonu vermiştir. Bunun dışındaki durumlardaki en uyumlu belirgin dalga yüksekliği tahminlerini ara senaryo denemeleri D4 ($C_{ds}=2$) ve D5 ($C_{ds}=2.5$) vermiştir.

Tablo 3.6 52 kalibrasyon senaryosu ve istatistiksel hata değerleri

K	Köpüklenme Par.		Kırılma Par.		Taban Sür.	z_{ch}	RMSE	Bias	SI	R
	C_{ds}	δ	α	γ						
K1	2	0.5	0.8	1	0.0212	0.01	0.292	-0.057	0.526	0.791
K2	2	0.5	0.8	1	0.0000025	0.01	0.292	-0.057	0.526	0.791
K3	2	0.5	0.8	1	0.000212	0.01	0.292	-0.057	0.526	0.791
K4	2	0.5	0.8	1	0.00025	0.01	0.292	-0.057	0.526	0.791
K5	2	0.5	0.8	1	0.0004	0.01	0.292	-0.057	0.526	0.791
K6	2	0.5	0.8	1	0.000775	0.01	0.292	-0.057	0.526	0.791
K7	2	0.5	0.8	1	0.0775	0.01	0.292	-0.057	0.526	0.791
K8	2	0.5	0.8	1	0.01	0.01	0.292	-0.057	0.526	0.791
K9	2	0.5	0.8	1	0.04	0.01	0.292	-0.057	0.526	0.791
K10	2	0.5	0.008	1	0.0212	0.01	0.504	-0.334	0.915	0.519
K11	2	0.5	0.8	0.01	0.0212	0.01	0.292	-0.057	0.526	0.791
K12	2	0.5	2	1.5	0.0212	0.01	0.292	-0.057	0.526	0.791
K13	2	0.005	0.8	1	0.0212	0.01	0.292	-0.055	0.528	0.790
K14	2	0.2	0.8	1	0.0212	0.01	0.292	-0.054	0.527	0.791
K15	2	0.8	0.8	1	0.0212	0.01	0.291	-0.061	0.523	0.791
K16	2	0.9	0.8	1	0.0212	0.01	0.289	-0.065	0.520	0.791
K17	2.5	0.9	0.8	1	0.0212	0.01	0.287	-0.087	0.516	0.789
K18	2.5	0.9	0.8	1	0.0212	0.007	0.281	-0.097	0.521	0.795
K19	2	0.5	0.8	1	0.0212	0.0185	0.303	-0.058	0.536	0.783
K20	2	0.5	0.8	1	0.0212	0.08	0.328	-0.076	0.568	0.761
K21	2.5	0.9	0.8	1	0.0212	0.005	0.285	-0.077	0.533	0.771
K22	2.5	0.9	0.8	1	0.0212	0.0052	0.272	-0.084	0.509	0.792
K23	2.5	0.9	0.8	1	0.0212	0.0053	0.272	-0.084	0.508	0.793
K24	2.5	0.9	0.8	1	0.0212	0.00525	0.272	-0.083	0.508	0.792
K25	2.5	0.8	0.8	1	0.0212	0.00525	0.295	-0.065	0.552	0.762

Tablo 3.6 52 kalibrasyon senaryosu ve istatistiksel hata değerleri (devamı)

K26	2	0.9	0.8	1	0.0212	0.00525	0.333	-0.053	0.623	0.731
K27	1.5	0.8	0.8	1	0.0212	0.00525	0.406	0.052	0.795	0.709
K28	1.5	0.9	0.8	1	0.0212	0.00525	0.396	0.021	0.744	0.696
K29	2.5	0.8	0.8	1	0.0212	0.00505	0.383	-0.039	0.716	0.670
K30	2.5	0.9	0.8	1	0.0212	0.00505	0.279	-0.083	0.521	0.782
K31	2	0.5	0.8	1	0.0212	0.0053	0.398	0.034	0.767	0.696
K32	2	0.5	0.8	1	0.0212	0.0054	0.376	0.023	0.721	0.696
K33	2	0.5	0.8	1	0.0212	0.0055	0.384	0.009	0.729	0.694
K34	2	0.5	0.8	1	0.0212	0.0056	0.389	0.003	0.739	0.689
K35	2	0.5	0.8	1	0.0212	0.0057	0.382	-0.007	0.716	0.698
K36	2	0.5	0.8	1	0.0212	0.0058	0.353	-0.018	0.660	0.722
K37	2	0.5	0.8	1	0.0212	0.0059	0.319	-0.037	0.596	0.757
K38	2	0.5	0.8	1	0.0212	0.006	0.295	-0.047	0.551	0.781
K39	1.5	0.5	0.8	1	0.0212	0.007	0.291	-0.029	0.542	0.796
K40	1.5	0.5	0.8	1	0.0212	0.008	0.297	-0.037	0.548	0.794
K41	1.5	0.5	0.8	1	0.0212	0.009	0.299	-0.030	0.543	0.793
K42	2	0.5	0.8	1	0.212	0.007	0.281	-0.053	0.523	0.796
K43	2	0.5	0.8	1	0.0212	0.007	0.281	-0.053	0.523	0.796
K44	2	0.5	0.8	1	0.0212	0.008	0.288	-0.061	0.530	0.794
K45	2	0.5	0.8	1	0.0212	0.009	0.290	-0.057	0.526	0.792
K46	2.5	0.5	0.8	1	0.0212	0.007	0.282	-0.082	0.523	0.796
K47	2.5	0.5	0.8	1	0.0212	0.008	0.284	-0.082	0.522	0.794
K48	2.5	0.5	0.8	1	0.0212	0.009	0.287	-0.077	0.517	0.792
K49	3	0.5	0.8	1	0.0212	0.007	0.282	-0.102	0.524	0.795
K50	3	0.5	0.8	1	0.0212	0.008	0.284	-0.099	0.520	0.794
K51	3	0.5	0.8	1	0.0212	0.009	0.286	-0.096	0.517	0.791
K52	2	0.9	0.8	1	0.0212	0.007	0.279	-0.068	0.518	0.796

Bölüm 3.4.1’de açıklanan dört sayısal model kalibrasyon parametresinin dalga tahminleri üzerindeki etkisini anlayabilmek için 52 kalibrasyon senaryosu yapılmıştır.

Çalışmanın bu bölümündeki kalibrasyon koşturmaları, 2015 yılı Ocak ayına ait bir aylık rüzgar verileriyle yapılmıştır. Model performansının incelenmesinde Ocak ayına ait belirgin dalga yükseklikleri kullanılmıştır. 52 kalibrasyon senaryosu ve istatistiksel hata değerleri Tablo 3.6'da sunulmuştur. K1 kalibrasyon senaryosu, sayısal modelin varsayılan ayarlı değerleriyle yapılmıştır.

İlk olarak, taban sürtünme parametresi artırılıp azaltılmış ve istatistiksel hata değerleri hesaplanmıştır. Taban sürtünme parametresine, varsayılan değerinden (0.0212) küçük ve büyük değer verilmiştir. Kalibrasyon senaryolarında (K2-K9) görüldüğü üzere, taban sürtünmesinin değiştirilmesi istatistiksel hata değerlerinde bir değişime sebep olmamıştır. Taban sürtünme parametresinin dalga tahminlerinde etkisi gözlemlenmediği için uzun dönemli koşturmalarla varsayılan değerinin kullanılmasına karar verilmiştir.

İkinci olarak, kırılma parametresi değişiminin dalga tahmin değerleri üzerindeki etkisi gözlemlenmiştir. K10 senaryosunda, kırılma parametresi varsayılan değerden ($\gamma=0.8$) 0.008'e düşürülmüştür. Bu durumda, istatistiksel hata değerlerinin tümü kötüleşmiştir. K11 ve K12 senaryolarında α ve γ katsayılarının yükseltilmesi istatistiksel hata değerlerini etkilemediği görülmüştür. Bu sebepten dolayı, modelde kırılma parametrelerinin varsayılan değerleri ($\alpha=0.8$ ve $\gamma=1$) kullanılmıştır.

Daha önce, Tablo 3.5'te, köpüklenme parametresinin (C_{ds}) değişiminin dalga tahminleri üzerindeki etkisi incelenmişti. O bölümdeki analizlere ek olarak bu kısımda, köpüklenme parametrelerinin (C_{ds} ve DELTAdis) hem tek başlarına hem de diğer parametrelerle birlikte model performansına olan etkisi incelenmiştir.

Köpüklenme parametresi DELTAdis (δ) değerinin dalga tahminleri üzerindeki etkisi K13-K16 arasındaki senaryolarda görülmektedir. İlk olarak, K13-K14 senaryolarında, DELTAdis'e varsayılan değerinden ($\delta=0.5$) daha küçük değerler verilmiş ancak RMSE hata değerleri değişmemiştir. Sonrasında, K15-K16 senaryolarında, DELTAdis'e varsayılan değerinden ($\delta=0.5$) daha yüksek bir değerin verilmesi RMSE ve SI hata değerlerini iyileştirmiş ve R hata değerlerini değiştirmemiştir. K16 senaryosunda DELTAdis $\delta=0.9$ değerindeyken hata payları en iyi sonuçları vermiştir. Bu nedenle, DELTAdis için en uyumlu olarak 0.9 değeri kabul edilmiştir. K17 senaryosunda, DELTAdis (δ) sabit tutularak C_{ds} artırılmıştır ($C_{ds}=2.5$ ve $\delta=0.9$). Bu kalibrasyon

sonucunda, RMSE ve SI iyileşirken Bias ve R hata değerleri kötüleşmiştir. C_{ds} 'in en uyumlu değerine karar vermek için diğer parametrelerle birlikte değişimi incelenmiştir.

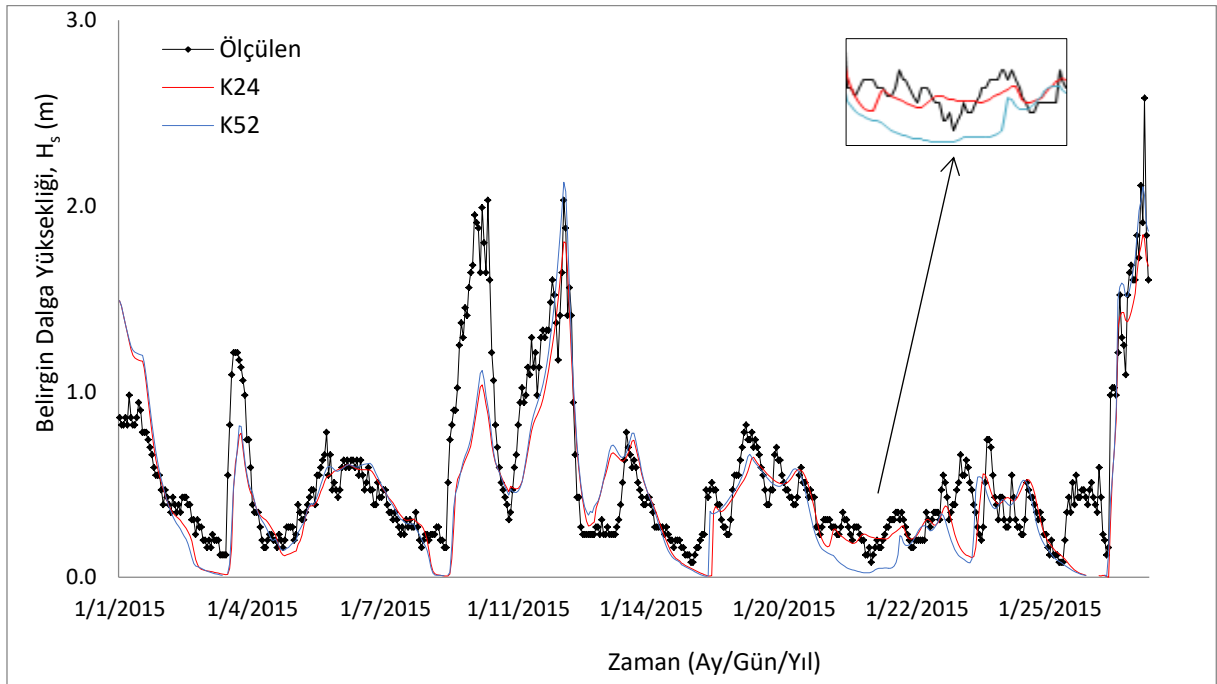
Köpüklenme parametrelerinden sonra Charnock parametresinin (z_{ch}) incelenmesine geçilmiştir. İlk olarak, K18 senaryosunda, Charnock katsayısı varsayılan değerden ($z_{ch}=0.01$) daha küçük bir sayıya düşürülmüştür. K17 ve K18 senaryolarındaki hata değerlerinin değişimi incelenecek olursa, RMSE ve R değerleri iyileşmiştir. Charnock katsayısı değerlerinin artırıldığı senaryolarda (K19 ve K20) tüm istatistiksel hata değerleri kötüleşmiştir. Bu sebepten dolayı, sonraki senaryolarda Charnock katsayısı varsayılan değerden ($z_{ch}=0.01$) daha küçük bir sayıya düşürülmüştür.

Bu aşamaya kadar, istatistiksel hata değerleri en iyi çıkan K18 senaryosunun Charnock katsayısı; $z_{ch}=0.005$, 0.0052, 0.0053 değerlerine (K21, K22, K23 senaryoları) düşürülmüştür. Charnock katsayısının 0.0052 ve 0.0053 olduğu senaryolarda (K22, K23) Bias değeri hariç tüm hata değerlerinde iyileşme görülmüştür. İki senaryonun da istatistiksel hata değerleri uyumludur. K22 ve K23 senaryolarının tahmin değerleri birbirine çok yakındır. Bu nedenle, iki senaryodaki Charnock parametresi değerlerinin ortalaması olan $z_{ch}=0.00525$ değeri verilmiş ve K24 kalibrasyonu yapılmıştır. K24 senaryosu, K22 ve K23 senaryolarıyla neredeyse aynı sonuçları vermiştir. Dalga ölçümleriyle en uyumlu dalga tahminlerini veren senaryo K24 senaryosu olmuştur. Ancak, farklı senaryolarla kalibrasyona devam edilmiştir.

K25-K28 senaryolarında, Charnock değeri sabit tutularak ($z_{ch}=0.00525$) C_{ds} ve DELTAdis katsayılarının farklı kombinasyonları ($C_{ds}=1.5, 2, 2.5$; DELTAdis =0.9, 0.8) denenmiştir. Bu senaryolar sonucunda istatistiksel hata değerlerinde iyileşme olmamıştır. Daha sonra, K24ve K25 senaryolarının sadece Charnock değerleri değiştirilerek ($z_{ch}=0.00505$) yeni kombinasyonlar (K29 ve K30 senaryoların) yapılmıştır. Senaryoların ikisinde de (K29 senaryosunun Bias değeri hariç) istatistiksel hata değerleri kötüleşmiştir. K31-K38 senaryoları arasında, Charnock parametresi azaltılmış ve diğer parametreler varsayılan olarak ayarlanmıştır. Charnock parametresi K31-K38 arası kademeli olarak $z_{ch}=0.0053$ 'ten $z_{ch}=0.006$ değerine kadar artırılmıştır. Bias değeri hariç tüm istatistiksel hata değerleri kötüleşmiştir.

Son olarak, K39-K52 senaryolarında, Charnock katsayısının $z_{ch}=0.007-0.009$ arasındaki değerleriyle ve köpüklenme parametresinin farklı değerleriyle ($C_{ds}= 1.5, 2, 2.5, 3$) denemeler yapılmıştır. Tüm senaryolarda, RMSE ve SI hata değerleri kötüleşmiştir. Ancak, bu tablodaki en düşük RMSE değerine sahip K52 senaryosunun R hata değeri, K24 senaryosuna göre daha iyi sonuç vermiştir. K52 senaryosunun diğer hata değerlerinin de K24 senaryosu hata değerleri kadar uyumlu olduğu görülmüştür.

52 kalibrasyon senaryosu arasından en iyi istatistiksel hata değerlerini veren K24 ve K52 kalibrasyon senaryolarının dalga tahmin değerleri ölçülen verilerle birlikte bir aylık grafik olarak (Şekil 3.7) sunulmuştur. Şekil incelendiğinde, her iki senaryonun birbirine yakın değerler verdiği görülmektedir. Ancak, K52 senaryosu belirgin dalga yüksekliklerinin küçük değerlerinde (1/21/2015) dalga tahminlerini sıfıra yakın hesaplamıştır. K24 senaryosu ise ölçülen belirgin dalga yüksekliklerine daha yakın değerler hesaplamıştır. Daha önce Tablo 3.4'te incelendiği üzere, Marmara Denizi'nin 6 yıl için ölçülmüş belirgin dalga yüksekliklerinin her yıl için ortalama 0.25-0.4 m arasında olduğu belirlenmişti. Bu aralıktaki belirgin dalga yükseklikleri için K24 senaryosu K52'ye göre daha yakın dalga tahmin değerleri hesaplamıştır. Bu sebeple, K24 senaryosunun kabul edilmesi daha uygun bulunmuştur.



Şekil 3.7 Kalibrasyon sonuçları ve ölçülen veriler (1/1/2015-31/1/2015)

Sonuç olarak, bundan sonraki hesap ağı kalibrasyonlarında ve uzun dönemli koşturmalarda K24 kalibrasyon senaryosunun parametre değerleri kullanılacaktır. Bu değerler: $C_{ds} = 2.5$, $\delta = 0.9$, $\alpha = 0.8$, $\gamma = 1$, taban sür. = 0.0212, $z_{ch} = 0.00525$.

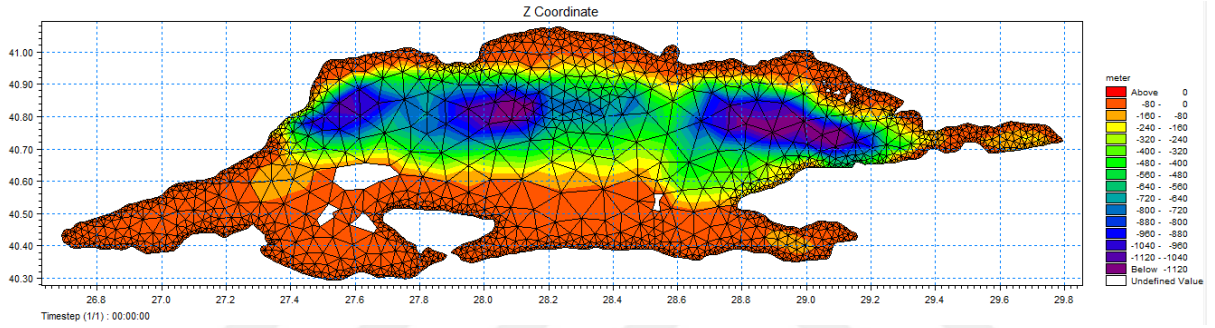
Sayısal modelin uzun dönemli koşturmalarında kullanılacak parametre değerleri belirlendikten sonra, Bölüm 3.3.2’de anlatılan M1 hesap ağının (Şekil 3.4) sıklığı değiştirilerek hesap ağı kalibrasyonları yapılmıştır. Sığ ve derin bölgelerdeki üçgen eleman ve düğüm noktası sayısı farklı oranlarda artırılarak M1 hesap ağından daha ince sekiz hesap ağı oluşturulmuştur. Her bir hesap ağına karşılık gelen üçgen eleman ve düğüm noktası sayısı Tablo 3.7’de verilmiştir. M1 hesap ağı Şekil 3.4’te ve M2-M9 hesap ağları Şekil 3.8 ve Şekil 3.15 arasında sunulmuştur.

Tablo 3.7 Dokuz hesap ağının kalibrasyon senaryoları

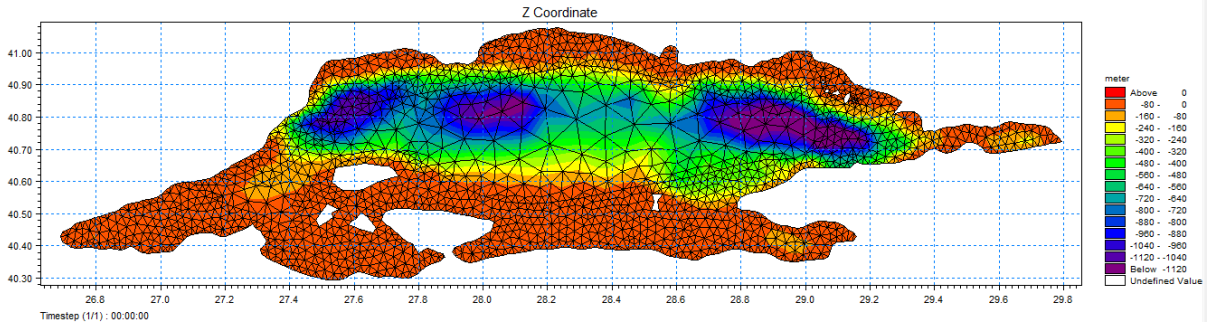
Ağ Adı	Eleman Sayısı	Düğüm Noktası
M1	1624	1048
M2	3407	2185
M3	3535	2061
M4	3372	2141
M5	4821	2981
M6	4861	3104
M7	3585	2295
M8	3853	2399
M9	1793	1163

İlk olarak, sadece sığ bölgelerde hesap ağının sıklık değişimi incelenmiştir. M2, M3 ve M8 hesap ağlarının sığ bölgelerindeki üçgen eleman sayısı artırılmıştır. Bu üç hesap ağında (Şekil 3.8-3.9-3.14), turuncu ile resmedilen kıyıya yakın bölgelerdeki düğüm noktalarının yoğunlaştığı ve üçgen elemanların küçüldüğü görülmektedir. Daha sonra, hem sığ hem de derin bölgelerin sıklığı değiştirilerek yeni hesap ağları oluşturulmuştur. M4, M6, M7 ve M9 hesap ağlarında (sırasıyla; Şekil 3.10-3.12-3.13-3.15), denizin orta bölgelerine doğru ağ sıklığı artırılmıştır. Aynı zamanda, bu hesap ağlarının üçgen eleman yoğunluğu kıyı bölgelerinde de artırılmıştır. Tüm hesap ağları arasında üçgen eleman sayısı en fazla olan M6’dır. M6 hesap ağ sisteminin (Şekil

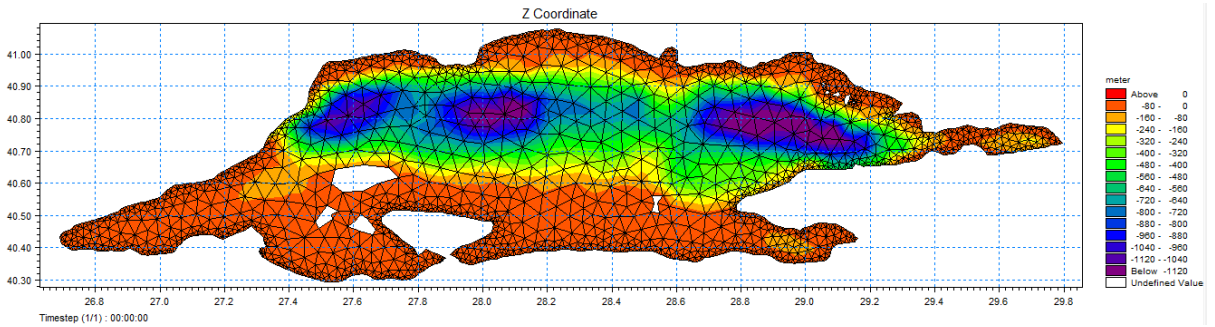
3.12) sığ bölgelerindeki ağ sıklığı, birbirine çok yakın üçgen elemanların oluşturduğu siyah görünümünden fark edilmektedir. M5 hesap ağı da (Şekil 3.11) M6 hesap ağı kadar üçgen eleman sayısına ve düğüm noktasına sahiptir. Ancak, M6 hesap ağının üçgen elemanları sığ bölgelerde yoğunlaşırken, M5 hesap ağının üçgen eleman yoğunluğu tüm bölgelere yayılmıştır. Denizin orta bölgesine ait en ince ağ yapısına sahip olan hesap ağı Şekil 3.11'den de anlaşılacağı üzere M5 hesap ağıdır. M5 ve M6 hesap ağlarının üçgen eleman ve düğüm noktası sayısının fazla olması sebebiyle bir yıllık program koşturması 30-40 saat sürmektedir. Bu iki hesap ağının eleman sayısının üçte birine sahip olan M1 hesap ağının bir yıllık program koşturması ise yaklaşık olarak 10 saat sürmektedir.



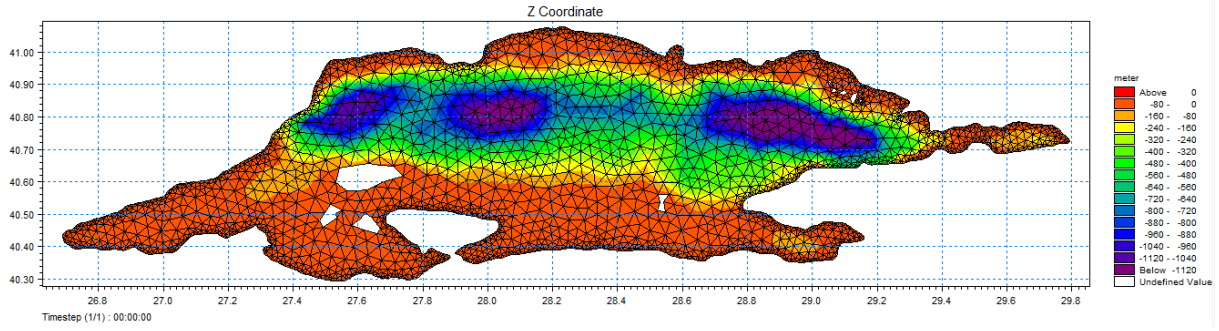
Şekil 3.8 M2 Hesap ağı ve batimetrisi



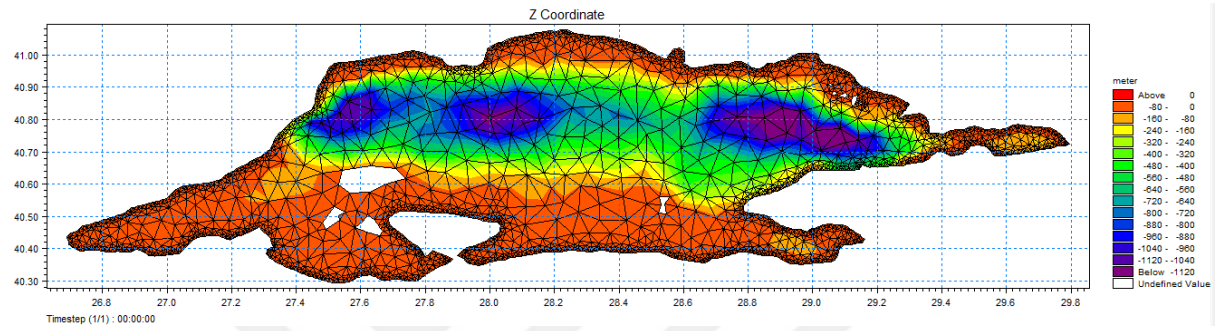
Şekil 3.9 M3 Hesap ağı ve batimetrisi



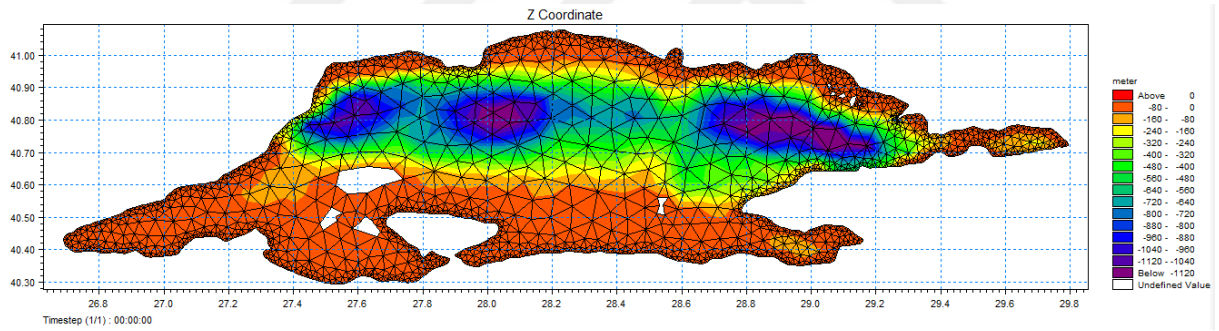
Şekil 3.10 M4 Hesap ağı ve batimetrisi



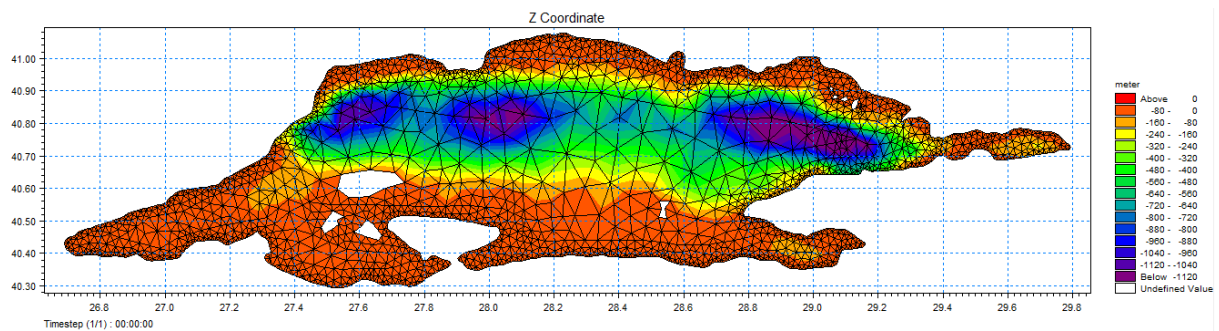
Şekil 3.11 M5 Hesap ağı ve batimetrisi



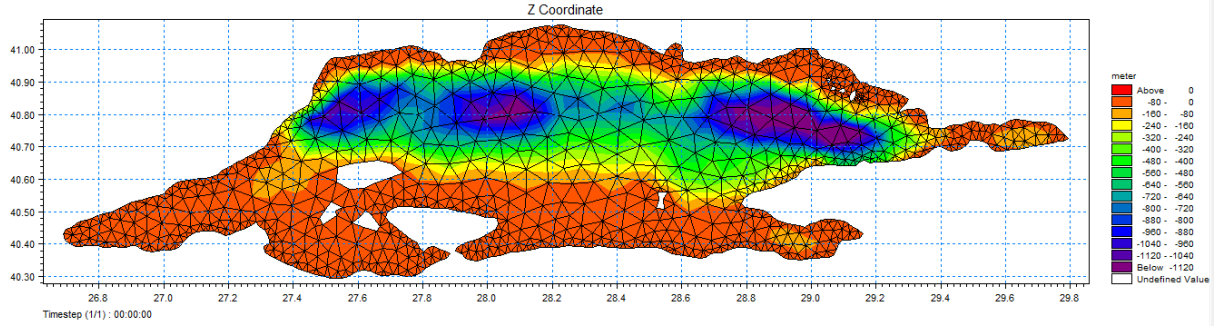
Şekil 3.12 M6 Hesap ağı ve batimetrisi



Şekil 3.13 M7 Hesap ağı ve batimetrisi



Şekil 3.14 M8 Hesap ağı ve batimetrisi

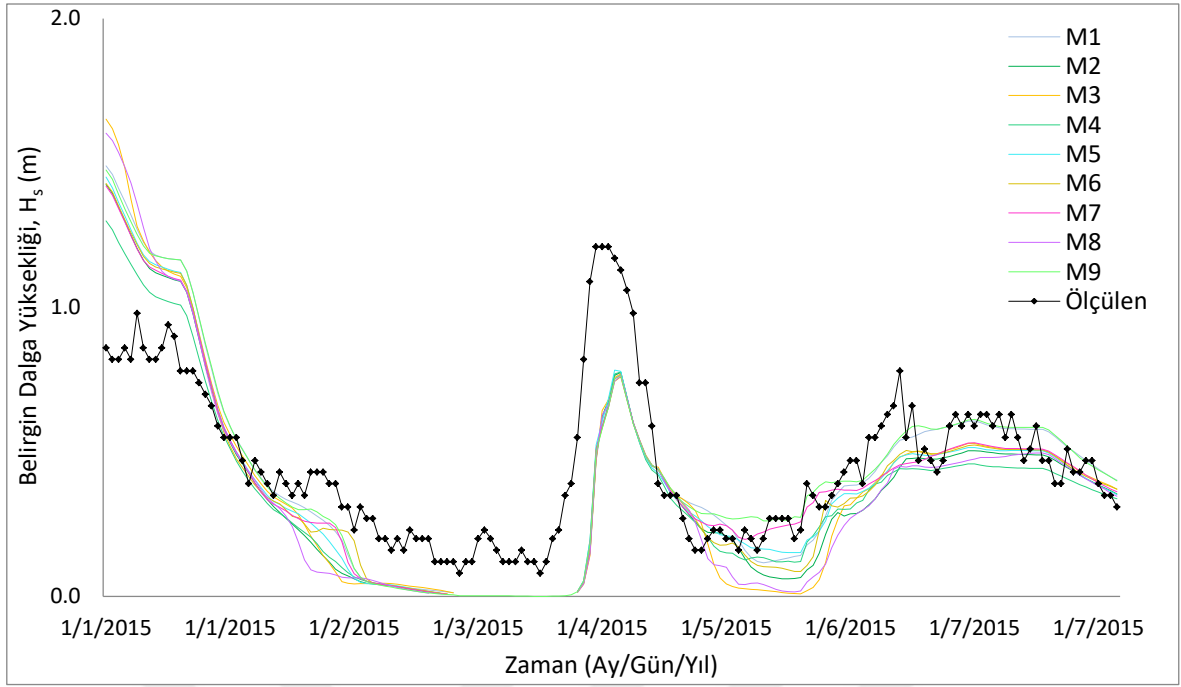


Şekil 3.15 M9 Hesap ağı ve batimetrisi

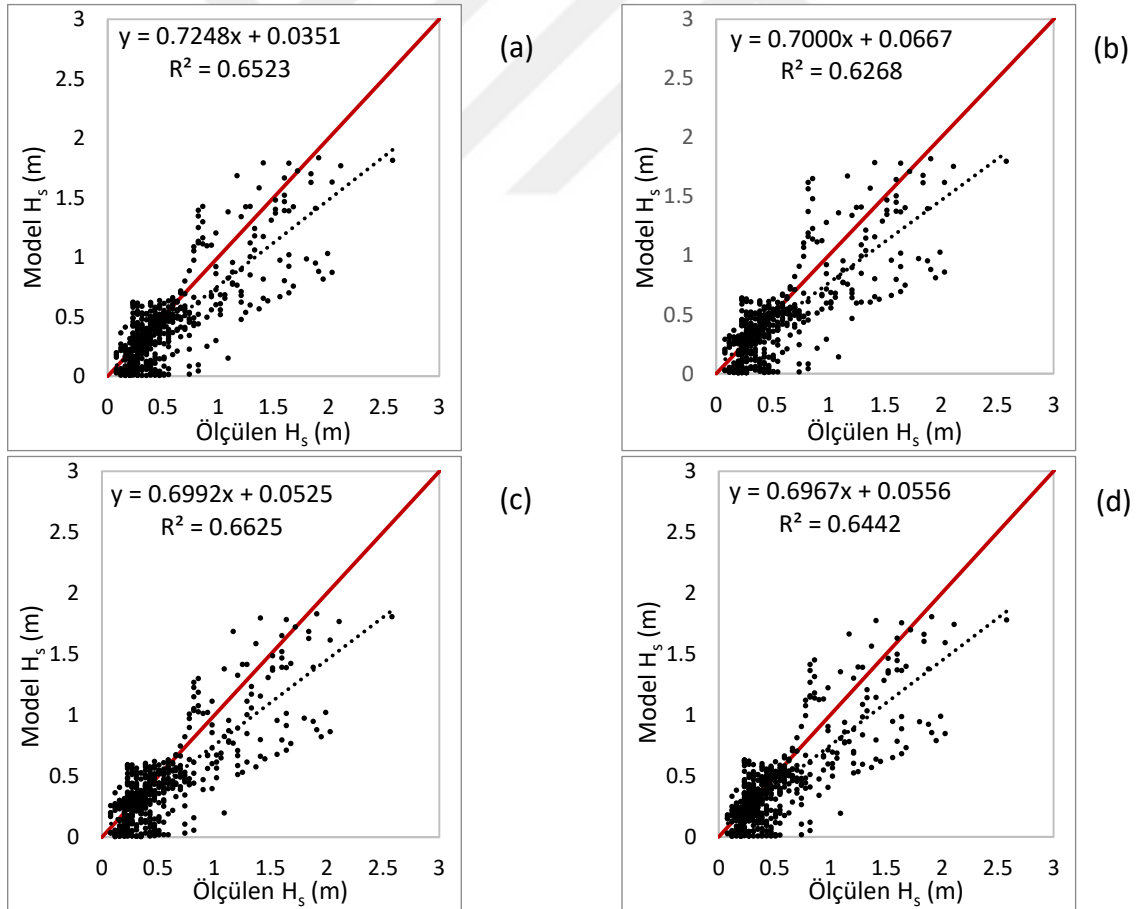
MIKE 21 SW sayısal modeli, dokuz hesap ağıyla 2015 yılı Ocak ayı için bir aylık koşturulmuştur. Sayısal modelden elde edilen belirgin dalga yüksekliklerinin ve aynı tarihlerde ölçülen belirgin dalga yüksekliklerinin istatistiksel hata değerleri hesaplanmıştır. Hesap ağlarının üçgen eleman sayıları ve istatistiksel hata değerleri Tablo 3.8’de sunulmuştur. Eleman sayısı M1’in yaklaşık üç katı olan M5 ağının R değeri iyileşirken diğer hata değerleri neredeyse aynı kalmıştır. Aynı şekilde, en çok elemana sahip M6 hesap ağının R hata değeri iyileşme gösterirken diğer hata değerleri aynı kalmıştır. M4 ve M7 hesap ağlarının RMSE ve SI hata payları azalmıştır. M3 ve M9 hesap ağları dışındaki tüm ağların R hata değerleri iyileşme göstermiştir. Tüm hesap ağları arasından M4 hesap ağı en uyumlu RMSE, SI ve R hata değerlerini vermiştir.

Tablo 3.8 Dokuz hesap ağının üçgen eleman sayıları ve istatistiksel hata değerleri

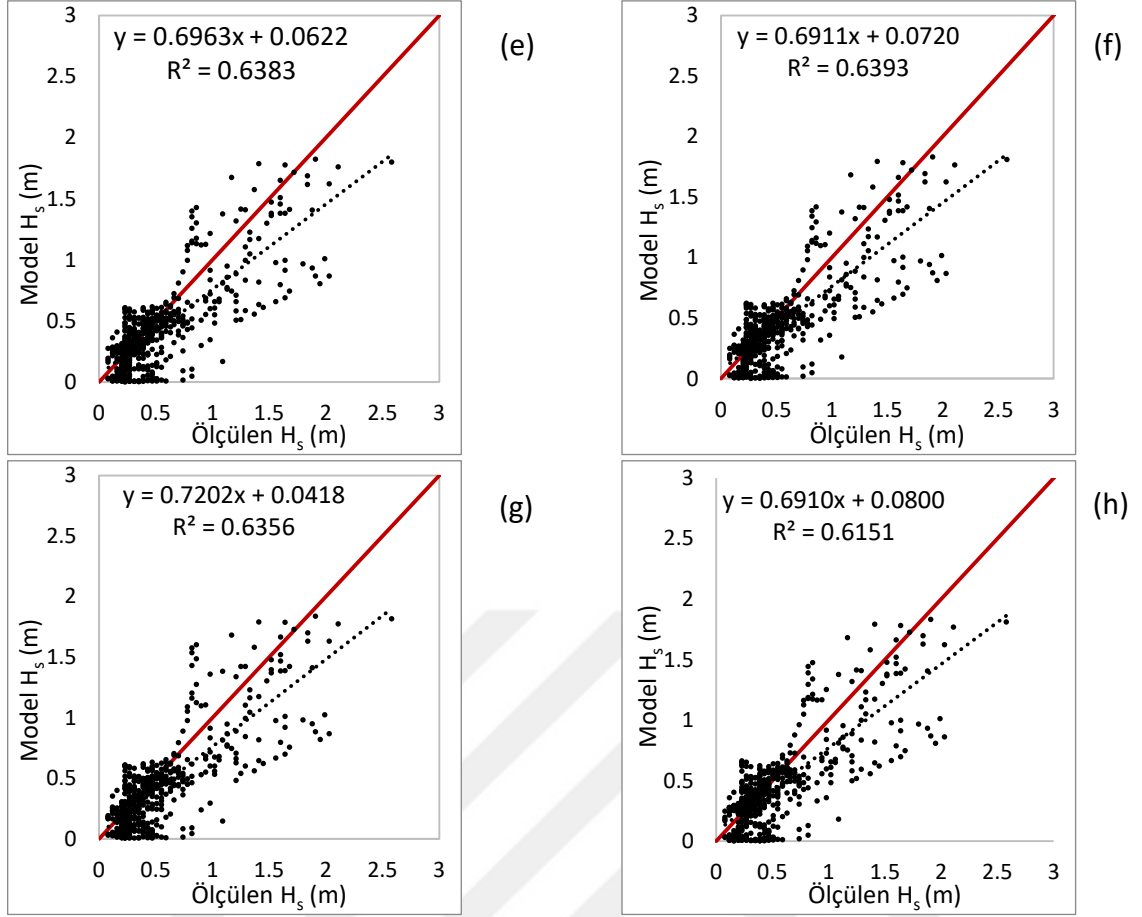
Ağ Adı	Eleman Sayısı	RMSE	Bias	SI	R
M1	1624	0.272	-0.083	0.508	0.792
M2	3407	0.275	-0.113	0.511	0.807
M3	3535	0.278	-0.096	0.513	0.792
M4	3372	0.266	-0.108	0.498	0.814
M5	4821	0.274	-0.108	0.509	0.802
M6	4861	0.272	-0.100	0.509	0.799
M7	3585	0.269	-0.093	0.502	0.799
M8	3853	0.281	-0.110	0.516	0.797
M9	1793	0.273	-0.084	0.515	0.784



Şekil 3.16 Kalibrasyon sonuçları ve ölçülen veriler (1/1/2015-7/1/2015)



Şekil 3.17 Ölçülen belirgin dalga yüksekliklerine karşı hesaplanan belirgin dalga yükseklikleri (1/1/2015-31/1/2015). a, b, c, d, e, f, g, h çizimleri sırasıyla; M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9 kalibrasyonlarını temsil etmektedir.



Şekil 3.17 Ölçülen belirgin dalga yüksekliklerine karşı hesaplanan belirgin dalga yükseklikleri (1/1/2015-31/1/2015). a, b, c, d, e, f, g, h çizimleri sırasıyla; M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9 kalibrasyonlarını temsil etmektedir. (devamı)

Dokuz hesaplama ağıyla hesaplanan belirgin dalga yüksekliği değerleri ve ölçülen belirgin dalga yükseklikleri Şekil 3.16'da bir haftalık süre boyunca grafik olarak sunulmuştur. Şekil incelendiğinde, 1/1/2015 tarihinde, ölçüm değerlerine en uzak tahmin değerlerini M3, M8 ve M9 hesap ağlarının verdiği görülmektedir. Aynı tarihte, ölçüm değerlerine en yakın tahmin değerlerini M4 hesap ağı vermiştir. Bir haftalık süre boyunca, ölçüm değerleriyle en uyumlu dalga yükseklikleri de M4 hesap ağına aittir. Dokuz hesap ağıyla hesaplanan belirgin dalga yüksekliklerine karşı ölçülen belirgin dalga yüksekliklerinin grafikleri Şekil 3.17'de sunulmuştur. Dokuz kalibrasyon senaryosu içinde en iyi determinasyon katsayısını veren hesap ağının M4 hesap ağı olduğu görülmektedir. Sonuç olarak, uzun dönemli model koşturmalarında 2141 düğüm noktasına ve 3372 üçgen elemanına sahip olan Şekil 3.10'daki M4 hesap ağı kullanılmıştır.

3.5 Sayısal Dalga Modelinin Doğrulanması

Uzun dönemli dalga parametrelerindeki değişimlerin incelenmesinden önce, modelin ölçülen dalga verilerine doğrulanması gerekmektedir. Doğrulama, sayısal modelin performansının iyileştirilebilmesi, güçlü ve zayıf yönlerinin belirlenebilmesi için yapılmaktadır. Ayrıca, model sonuçlarının güvenilirliği de değerlendirilmektedir. Model doğrulamasında mümkün olduğu kadar büyük veri örneği kullanılır (WMO, 1998).

Tablo 3.9 Nihai model ve varsayılan model parametreleri

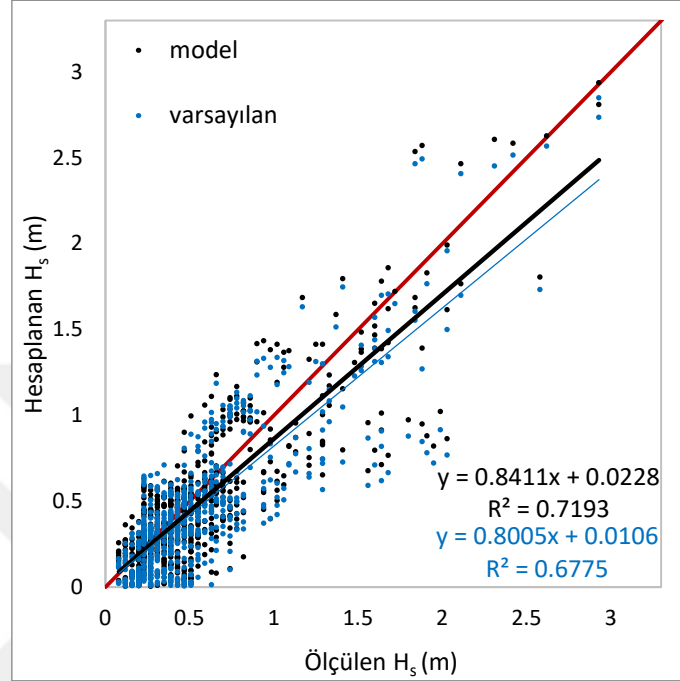
Model Adı	Hesap Ağı	Köpüklenme Par.		Kırılma Par.		Taban Sür.	z_{ch}
		C_{ds}	δ	α	γ		
Model	M4	2.5	0.9	0.8	1	0.0212	0.00525
Varsayılan	M4	2	0.5	0.8	1	0.0212	0.01

Tablo 3.10 Nihai modelin istatistiksel hata değerleri

Yıllar	RMSE	Bias	SI	R
2013	0.200	-0.124	0.545	0.682
2014	0.204	-0.073	0.614	0.657
2015	0.218	-0.109	0.540	0.759
2016	0.232	-0.078	0.544	0.731
2017	0.163	-0.038	0.564	0.701
2018	0.165	-0.009	0.544	0.740
2013-2018	0.197	-0.072	0.561	0.712

Uzun dönemli model koşturmalarında kullanılacak sayısal model parametre değerleri ve hesap ağı belirlendikten sonra model doğrulamasına geçilmiştir. Doğrulama işlemine ait nihai model ve varsayılan model parametre değerleri Tablo 3.9’da verilmiştir. MIKE 21 SW sayısal modeli nihai model ve varsayılan model parametre

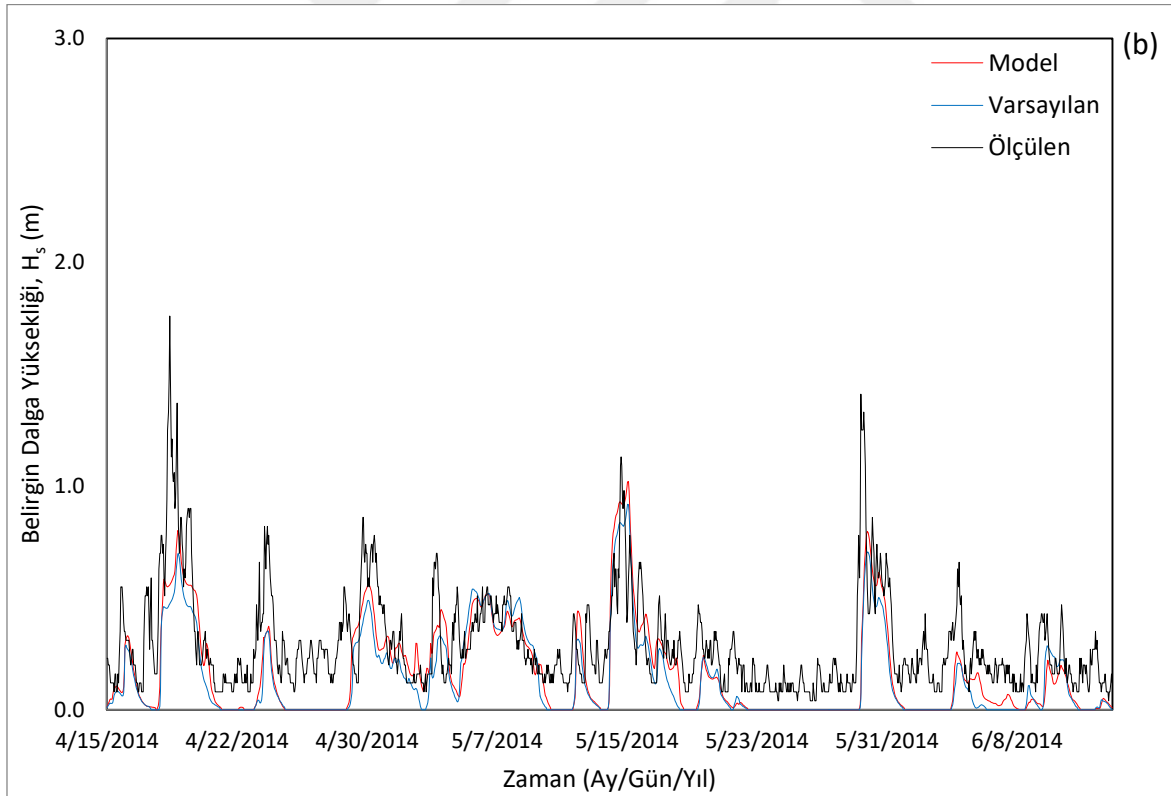
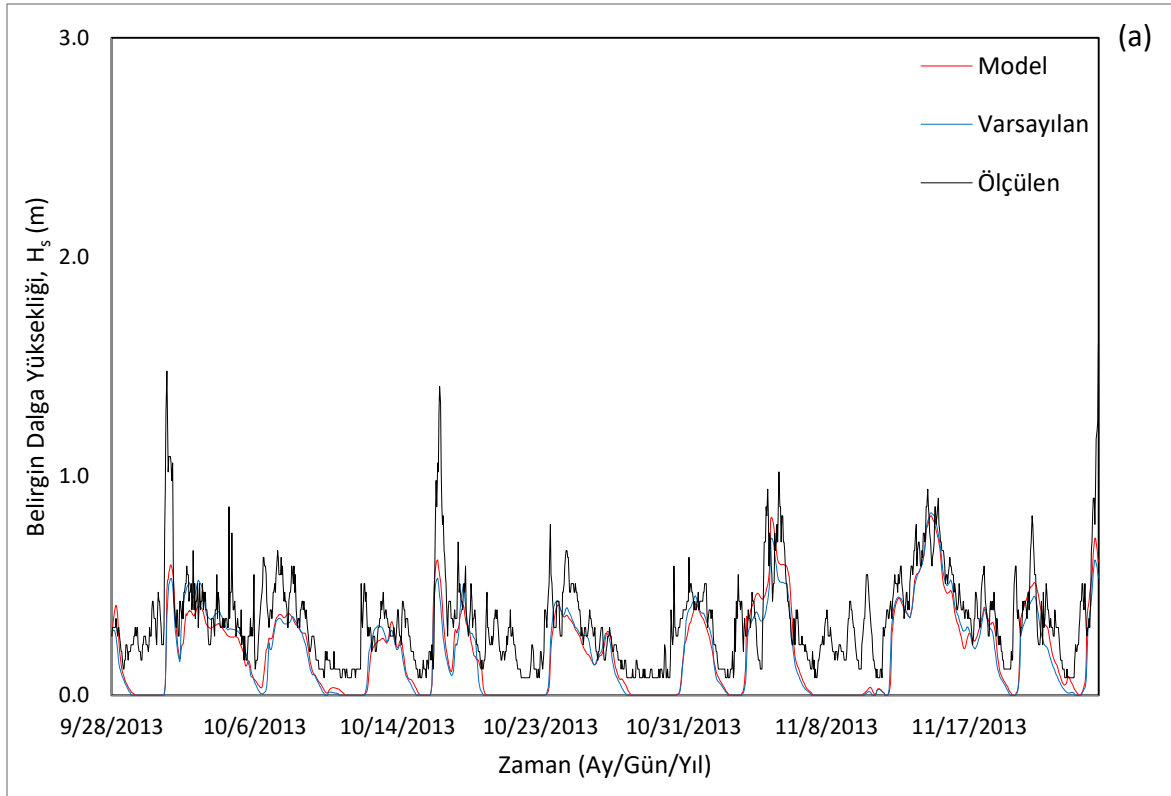
değerleriyle ayarlanmış ve 2013-2018 yılları arasında koşturulmuştur. Nihai modelle hesaplanan belirgin dalga yüksekliklerinin altı yıl için yıllık ve ortalama istatistiksel hata değerleri Tablo 3.10'da sunulmuştur. Nihai model, ölçülen belirgin dalga yükseklikleriyle uyumlu sonuçlar vermiştir.



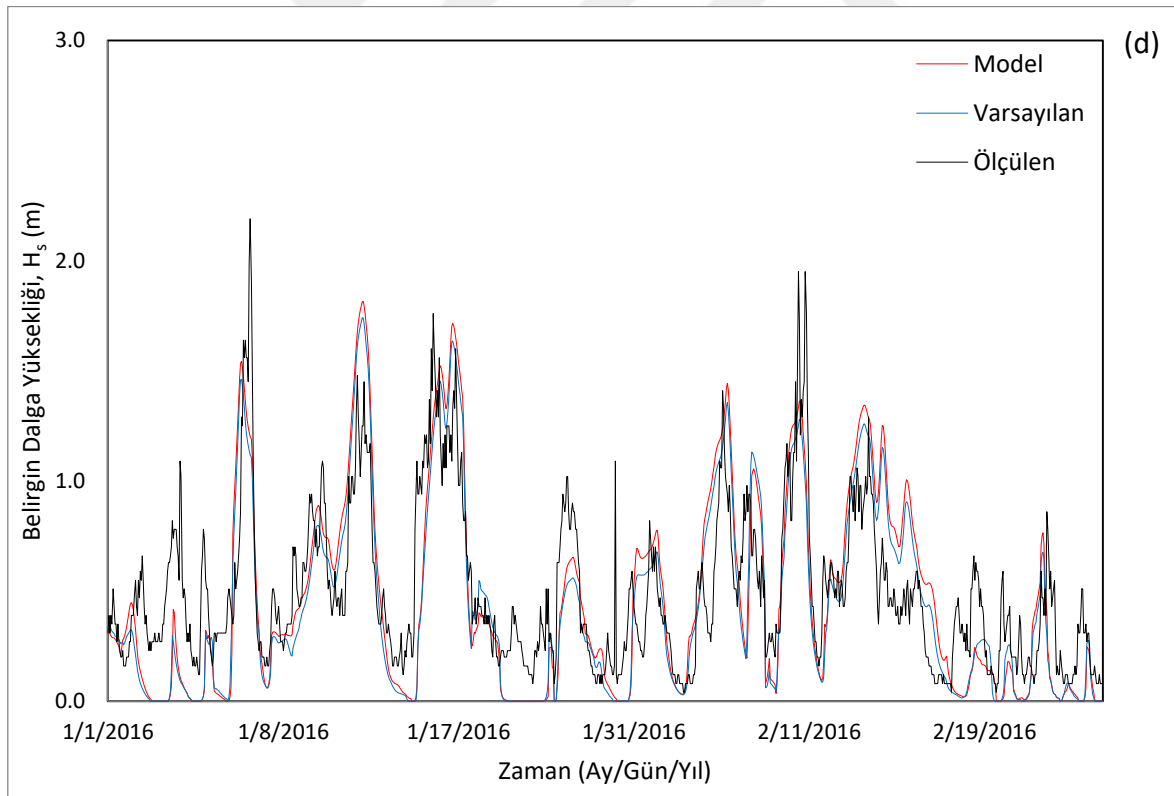
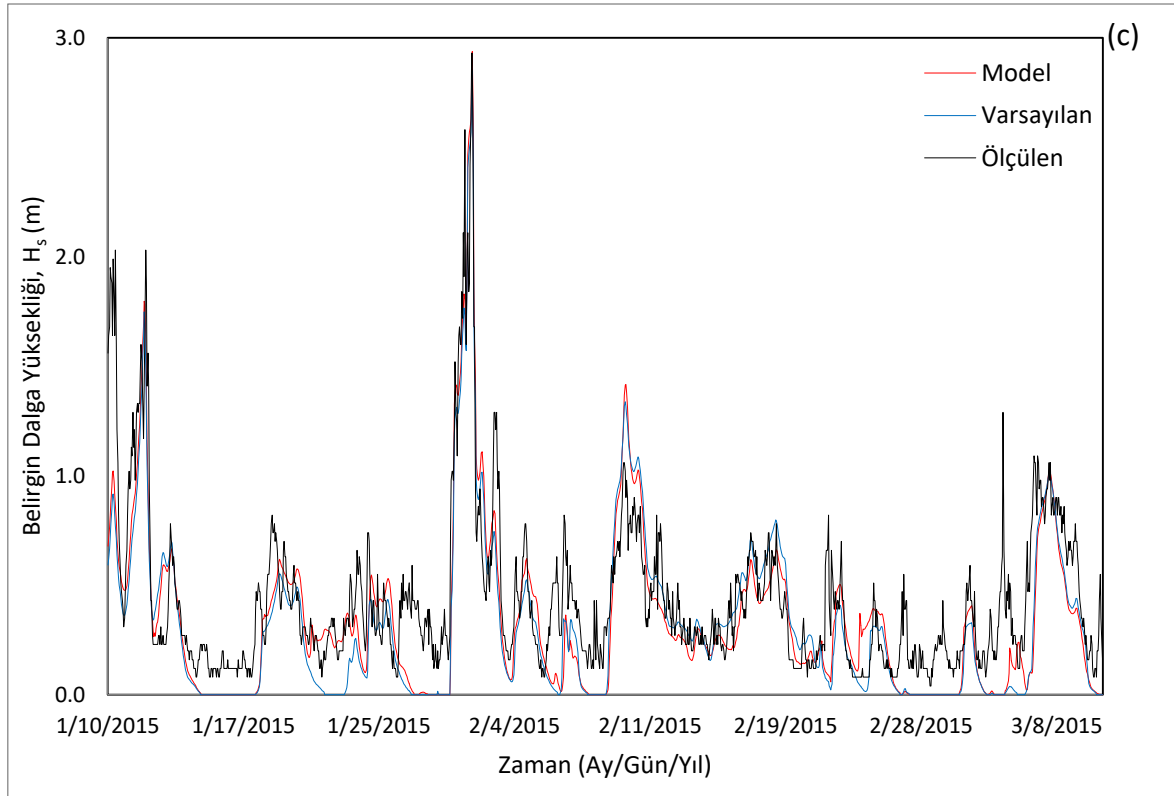
Şekil 3.18 Model doğrulaması sonucunda ölçülen belirgin dalga yüksekliklerine karşı hesaplanan belirgin dalga yükseklikleri (10/1/2015-10/3/2015)

2015 yılına ait ölçülen belirgin dalga yüksekliklerine karşı nihai model ve varsayılan model ile hesaplanan belirgin dalga yüksekliklerinin grafiği Şekil 3.18'de sunulmuştur. Şekil incelendiğinde, nihai modelin determinasyon katsayısının varsayılan modele göre iyileştiği görülmektedir.

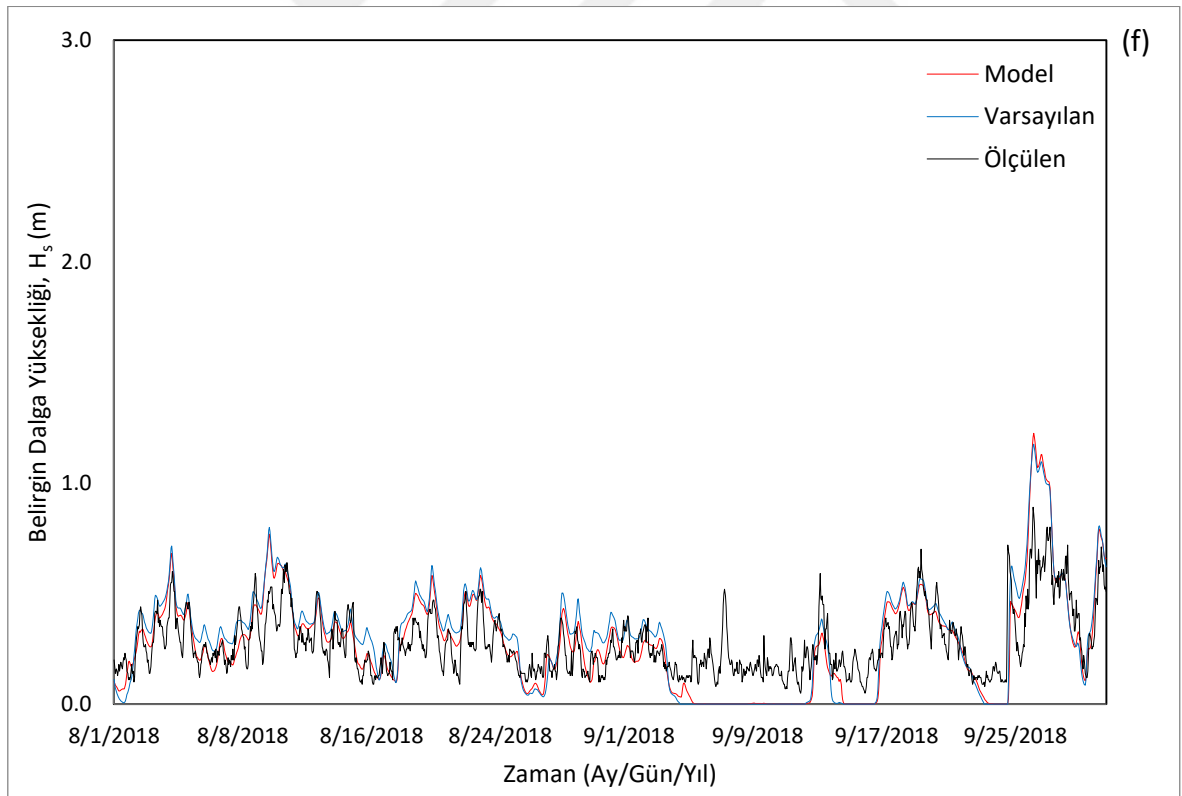
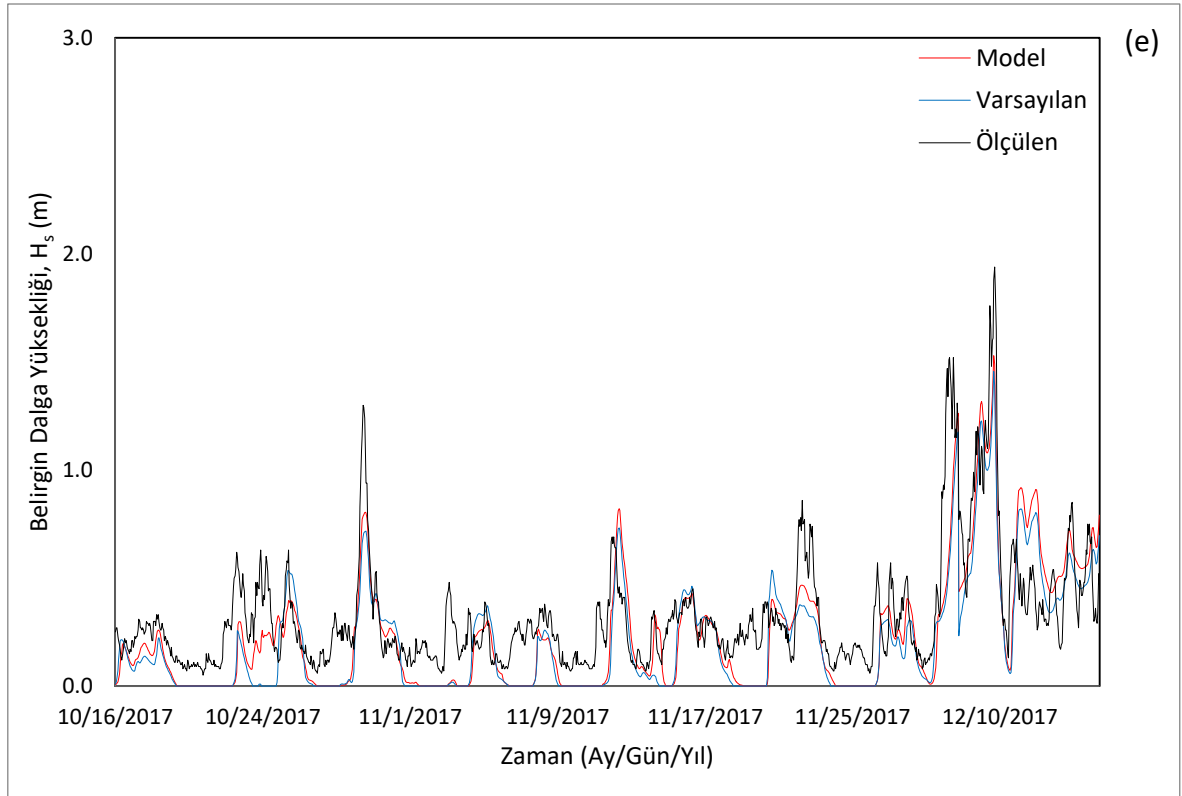
Nihai model ve varsayılan model ile hesaplanan belirgin dalga yükseklikleri, ölçülen belirgin dalga yükseklikleriyle birlikte Şekil 3.19'da grafik olarak sunulmuştur. Grafiklerde, belirgin dalga yüksekliği değerleri her yıl için iki aylık zaman dilimi boyunca çizdirilmiştir. Grafikler incelendiğinde, varsayılan modelin sıfıra yakın tahmin ettiği belirgin dalga yüksekliklerinin nihai modele göre daha fazla olduğu görülmektedir. Bu değerlerde, nihai model dalga yüksekliklerini daha iyi hesaplamıştır. Ek olarak, nihai modelle hesaplanan belirgin dalga yüksekliklerinin ölçülen belirgin dalga yükseklikleriyle daha uyumlu olduğu görülmektedir.



Şekil 3.19 Model doğrulaması sonucunda elde edilen belirgin dalga yükseklikleri zaman serisi; a) 28/09/2013-25/11/2013 b) 15/04/2014-15/06/2014 c) 10/01/2015-10/03/2015 d) 01/01/2016-29/02/2016 e) 16/10/2017-15/12/2017 f) 01/08/2018-01/10/2018 tarihleri arasındaki grafikleri temsil etmektedir.



Şekil 3.19 Model doğrulaması sonucunda elde edilen belirgin dalga yükseklikleri zaman serisi; a) 28/09/2013-25/11/2013 b) 15/04/2014-15/06/2014 c) 10/01/2015-10/03/2015 d) 01/01/2016-29/02/2016 e) 16/10/2017-15/12/2017 f) 01/08/2018-01/10/2018 tarihleri arasındaki grafikleri temsil etmektedir. (devamı)



Şekil 3.19 Model doğrulaması sonucunda elde edilen belirgin dalga yükseklikleri zaman serisi; a) 28/09/2013-25/11/2013 b) 15/04/2014-15/06/2014 c) 10/01/2015-10/03/2015 d) 01/01/2016-29/02/2016 e) 16/10/2017-15/12/2017 f) 01/08/2018-01/10/2018 tarihleri arasındaki grafikleri temsil etmektedir. (devamı)

4.1 Giriş

Çalışmanın bu bölümünde Marmara Denizi'nin uzun dönemli rüzgar ve dalga parametrelerinin analizinin yapılması amaçlanmıştır. Çalışma bölgesinde uzun dönemli dalga ölçüm verilerinin bulunmaması sebebiyle MIKE 21 SW sayısal modeli kullanılarak dalga tahmini yapılmıştır. Marmara Denizi şartlarına en uyumlu sayısal model parametre değerleri ve hesap ağı sistemi kalibrasyon aşamasında belirlenmiştir. Sayısal modelin kalibrasyon ve doğrulama aşamasında Silivri dalga ölçüm istasyonuna ait 2013-2018 yılları arasındaki 6 yıllık dalga verisi kullanılmıştır. En uyumlu kalibrasyon parametre değerleri ve hesap ağı kullanılarak oluşturulmuş sayısal model, nihai model, 1979 ile 2018 yılları arasındaki 40 yıllık ECMWF'e ait ERA-Interim rüzgar verisiyle uzun dönemli koşturulmuştur. Sonuç olarak, Marmara Denizi'nin rüzgar ve dalga parametreleri 40 yıl boyunca saatlik olarak elde edilmiştir. Bu bölümde ise rüzgar ve dalga parametrelerinin uzun dönemli özellikleri ve değişimleri incelenecektir.



Şekil 4.1 7 referans noktasının Marmara Denizi'ndeki konumları

Marmara Denizi'nin uzun dönemli rüzgar ve dalga özelliklerinin değişimlerini inceleyebilmek için 7 referans noktası belirlenmiştir. Bu noktalar seçilirken, noktaların Marmara Denizi'ndeki lokasyonları ve dalga özellikleri incelenmiştir. 7 referans noktası (Şekil 4.1), Marmara Denizi'nin farklı lokasyonlarında bulunmakta ve bu noktaların dalga parametreleri birbirinden farklı özelliklere sahiptir. Dikkate alınan dalga özellikleri; belirgin dalga yüksekliği, ortalama dalga periyodu ve belirgin dalga yüksekliğinin varyasyon katsayısıdır. Varyasyon katsayısı (CV), verilerin ortalama etrafındaki dağılımını ölçmeye yardımcı olan ve (4.1) eşitliğinde verildiği üzere standart sapmanın (σ) ; ortalamaya (X_m) oranıyla hesaplanan istatistiksel ölçüdür. Belirlenen referans noktalarının koordinatları ve dalga parametreleri Tablo 4.1'de verilmiştir.

$$CV = \frac{\sigma}{X_m} \quad (4.1)$$

Burada, x analiz edilen parametreyi belirtmekte ve bu çalışmadaki parametre belirgin dalga yüksekliğidir.

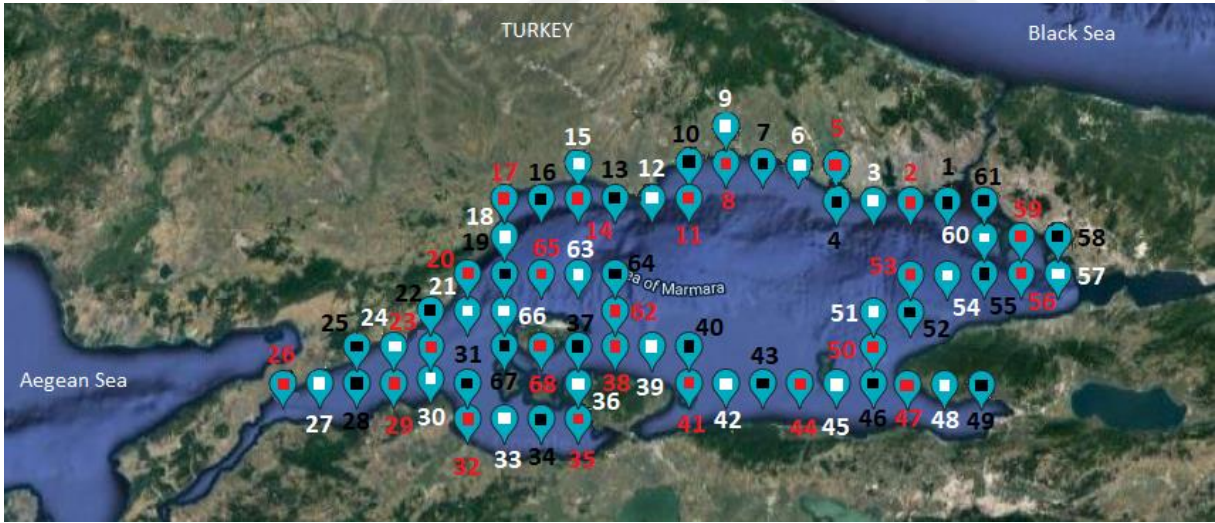
Tablo 4.1 7 referans noktasının koordinatları ve karakteristikleri

Noktalar	Enlem (°)	Boylam (°)	Derinlik	H _s (m)	T _m (s)	CV
P1	40.76° K	28.28° D	-571	En yüksek	Yüksek	En düşük
P2	40.57° K	27.29° D	-86	Orta	Orta	Yüksek
P3	40.47° K	28.26° D	-54	Yüksek	En yüksek	Orta
P4	40.52° K	28.72° D	-101	Düşük	Orta	Düşük
P5	40.75° K	29.27° D	-412	En düşük	En düşük	En yüksek
P6	40.94° K	28.50° D	-118	Orta	Düşük	Yüksek
P7	40.89° K	27.71° D	-792	Orta	Orta	Orta

Marmara Denizi'nin merkezinde bulunan P1 referans noktası; en yüksek belirgin dalga yüksekliğine, yüksek ortalama dalga periyoduna ve en düşük varyasyon katsayısına sahiptir. Güneybatı yönünde yer alan P2 referans noktasının, belirgin dalga yüksekliği ve ortalama dalga periyodu orta derece; varyasyon katsayısı ise yüksek derece ile tanımlanmıştır. Güneyde bulunan P3 referans noktası; yüksek belirgin dalga

yüksekliğine, en yüksek ortalama dalga periyoduna ve ortalama bir varyasyon katsayısına sahiptir. Marmara Denizi'nin güneydoğusundaki P4 referans noktasının; düşük derecede belirgin dalga yüksekliği, orta derecede ortalama dalga periyodu ve düşük varyasyon katsayısı vardır. En düşük belirgin dalga yüksekliğini ve ortalama dalga periyodunu içeren P5 referans noktasının varyasyon katsayısı en yüksek derecededir. Aynı zamanda, P5 referans noktası Marmara Denizi'nin doğusunda yer almaktadır. Kuzeydoğu yönünde bulunan P6 referans noktası; ortalama belirgin dalga yüksekliğine, düşük derecede ortalama dalga periyoduna ve yüksek varyasyon katsayısına sahiptir. Kuzeybatı yönündeki P7 referans noktasının belirgin dalga yüksekliği, ortalama dalga periyodu ve varyasyon katsayısı ortalama niteliktedir.

Yukarda açıklanan 7 referans noktasından sonra, uzun dönemli rüzgar ve dalga özelliklerinin analizine Rüzgar ve Derin Deniz Dalga Atlası'ndaki (Özhan ve Abdalla, 1999) 68 referans noktasıyla devam edilmiştir. Marmara Denizi kıyısı boyunca belirlenen referans noktalarının konumları Şekil 4.2'de sunulmuş ve analiz sonuçları Ek-A ve Ek-F arasında verilmiştir.



Şekil 4.2 68 referans noktasının Marmara Denizi'ndeki konumları

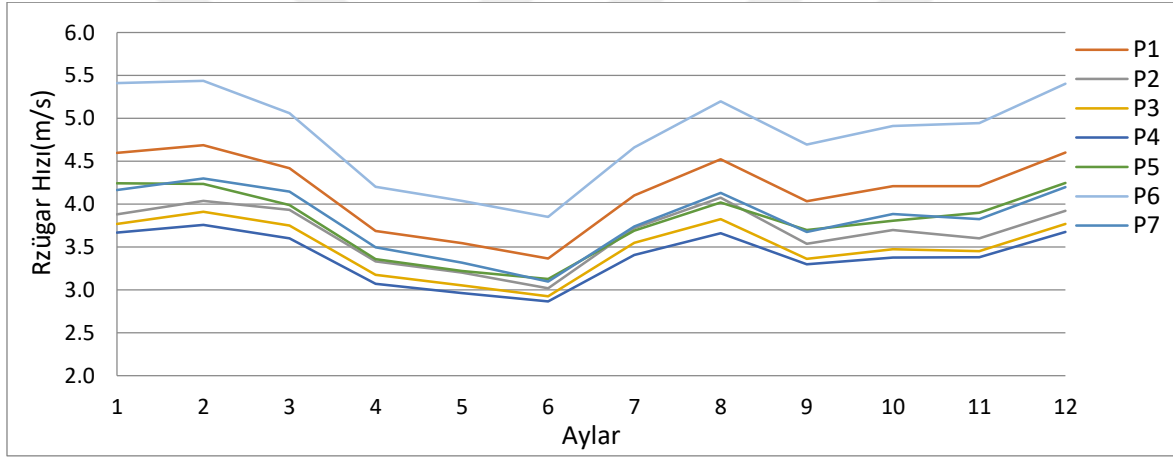
4.2 Rüzgar ve Dalga Parametrelerinin Uzun Dönemli Değişimleri

Marmara Denizi'ndeki rüzgar hızları ve belirgin dalga yükseklikleri 40 yıllık süre boyunca incelenmiştir. 7 referans noktasındaki rüzgar hızlarının ve belirgin dalga yüksekliklerinin aylık, mevsimlik, yıllık ve 10 yıllık ortalamalarına göre değişimleri irdelenmiştir. Tüm referans noktalarındaki 40 yıllık eğilimler belirlenmiştir.

Çalışmanın bu bölümünde, 7 referans noktasının rüzgar ve dalga parametrelerinin incelenmesi yöne bağlı olarak yapılmamıştır. Ancak, Bölüm 4.3'teki rüzgar ve dalga iklimi çalışmasında referans noktaları yönse olarak analiz edilmiştir.

4.2.1 Rüzgar Hızı ve Belirgin Dalga Yüksekliklerinin Aylık ve Mevsimsel Değişimleri

7 referans noktasındaki, aylık ortalama rüzgar hızlarının ve belirgin dalga yüksekliklerinin değişimi incelenmiştir. Şekil 4.3'te, referans noktalarındaki 40 yıllık ortalama rüzgar hızlarının aylar boyunca değişimi verilmiştir. Tüm referans noktalarında, ortalama rüzgar hızlarının en yüksek olduğu ay Şubat ve en düşük olduğu ay Haziran'dır. Aylar boyunca, ortalama rüzgar hızının en yüksek olduğu değer (5.44 m/s) P6 konumunda ve en düşük olduğu değer (2.86 m/s) P4 konumunda gerçekleşmiştir.



Şekil 4.3 40 yıllık süre için aylık ortalama rüzgar hızlarının aylara göre değişimi

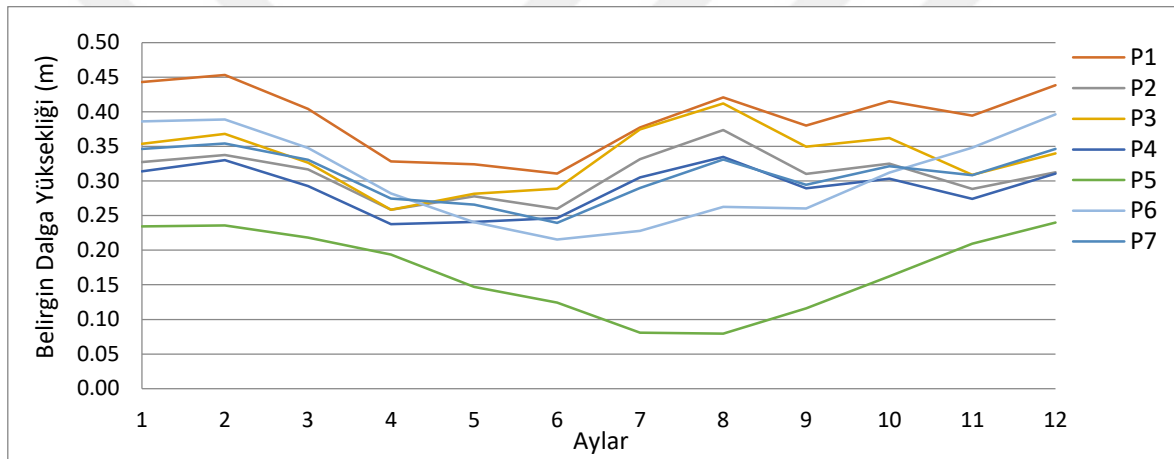
7 referans noktasındaki, 40 yıllık aylık ortalama belirgin dalga yüksekliklerinin değişimi Şekil 4.4'te sunulmuştur. Tüm referans noktaları arasında, ortalama belirgin dalga yüksekliğinin en yüksek olduğu değer (0.45 m) Şubat ayında P1 noktasında ve en düşük olduğu değer (0.08 m) Ağustos ayında P5 noktasındadır.

Genel olarak, daha yüksek rüzgar hızlarının daha büyük dalgalar üretmesi beklenmektedir. Ancak, Marmara Denizi'nin merkezindeki P1 referans noktasında üretilen dalgaların; en yüksek rüzgar hızlarına sahip kuzey yönünde yer alan P6 referans noktasına göre daha büyük olduğu görülmektedir. Bunun sebebi, bu noktaların konumlarından kaynaklanmaktadır. Marmara Denizi'nin kuzey yakasından

orta kısımlarına doğru dalgalar büyümekte ve böylece en büyük dalgalar denizin orta bölgesinde gerçekleşmektedir.

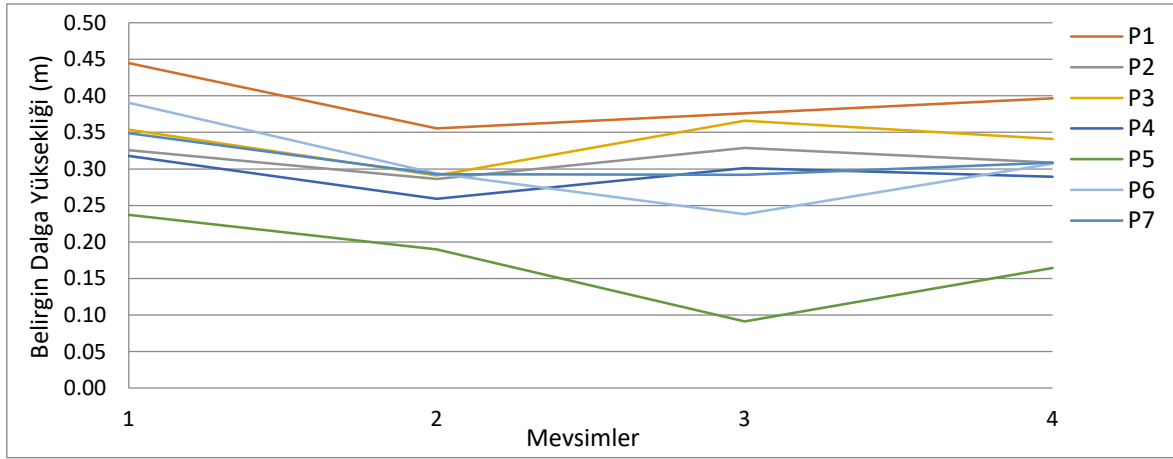
Marmara Denizi'nin kuzey bölgesi, kuzey kısmındaki büyük rüzgar hızları sebebiyle daha büyük dalga yüksekliklerine sahiptir. Marmara havzasının güneyindeki adalar ve dağlar, Marmara Denizi'nin güney kesimindeki rüzgarlar için topografik bir bariyer oluşturmaktadır. Kuzeyden güneye doğru esen rüzgar hızının azalması Marmara Denizi'nin güney kısmındaki büyüyen dalgaları engellemektedir. Bu coğrafi faktörler nedeniyle kuzey kesimde daha enerjik dalga iklimi görülmektedir (Yüksel vd., 2021).

On iki ay boyunca ortalama belirgin dalga yüksekliğinin en yüksek değerleri P1'de ve en düşük değerleri P5'te olduğu görülmektedir.



Şekil 4.4 40 yıllık süre için aylık ortalama belirgin dalga yüksekliklerinin aylara göre değişimi

7 referans noktasındaki 40 yıllık ortalama belirgin dalga yüksekliklerinin mevsimlere göre değişimi Şekil 4.5'te verilmiştir. Grafiğin yatay ekseninde 1,2,3,4 olarak belirtilen mevsimler sırasıyla kış, ilkbahar, yaz ve sonbaharı temsil etmektedir. Grafik incelendiğinde, en yüksek ortalama belirgin dalga yüksekliğinin kış mevsiminde (P1) ve en düşük ortalama belirgin dalga yüksekliğinin yaz mevsiminde (P5) olduğu görülmektedir. Tüm referans noktalarında ortalama belirgin dalga yükseklikleri kış mevsiminden ilkbahar mevsimine doğru azalmaktadır. Ayrıca, tüm referans noktalarının ortalama belirgin dalga yükseklikleri sonbahardan kışa doğru artmaktadır. P2 ve P3 referans noktaları hariç, tüm referans noktalarında en yüksek ortalama belirgin dalga yükseklikleri kış mevsiminde gerçekleşmiştir. Buna karşılık, P2 ve P3 referans noktalarındaki en yüksek değerler ise yaz mevsiminde oluşmuştur.



Şekil 4.5 40 yıllık süre için mevsimlik ortalama belirgin dalga yüksekliklerinin mevsimlere göre değişimi

4.2.2 Rüzgar Hızlarının ve Belirgin Dalga Yüksekliklerinin Değişim Eğilimleri

7 referans noktasındaki, yıllık ortalama rüzgar hızlarının ve ortalama belirgin dalga yüksekliklerinin değişimleri incelenmiştir. Bu parametrelerin 40 yıllık eğilim yönlerinin artım veya azalım gösterip göstermediği analiz edilmiştir. Tüm referans noktalarının uzun dönemli eğilimi, veri değerlerine çizilen en uygun düz çizgiyle belirlenmiştir. Doğrusal regresyon, en uygun düz çizgi (regresyon çizgisi) kullanarak bağımlı değişken (Y) ile bağımsız değişken (X) arasında bir ilişki ($Y=aX+b$) kurmaktadır. Regresyon çizgisini uydurmak için en yaygın yöntem en küçük kareler yöntemidir. Bu yöntemde, her bir veri noktasından çizgiye olan dikey sapmaların karelerinin toplamı en aza indirgenerek dikkate alınan veriler için en uygun çizgi hesaplanmaktadır (İşlek vd., 2020).

Ortalama rüzgar hızlarının ve ortalama belirgin dalga yüksekliklerinin 40 yıl içindeki değişim değerleri Tablo 4.2’de sunulmuştur. Ek olarak, Şekil 4.6’da, yıllık ortalama rüzgar ve dalga özelliklerinin 40 yıl boyunca değişimleri verilmiştir.

Tüm referans noktalarındaki ortalama rüzgar hızlarının ve ortalama belirgin dalga yükseklik eğilimlerinin azalım yönünde olduğu (Şekil 4.6) görülmektedir. 40 yıllık sürede ortalama rüzgar hızına ait minimum değişimi (-0.113 m/s), Marmara Denizi’nin güney batısında yer alan P2 referans noktası göstermiştir. Ortalama rüzgar hızlarındaki maksimum değişim, en yüksek ortalama rüzgar hızı değerlerine sahip olan P6 referans noktasında (-0.347 m/s) olmuştur.

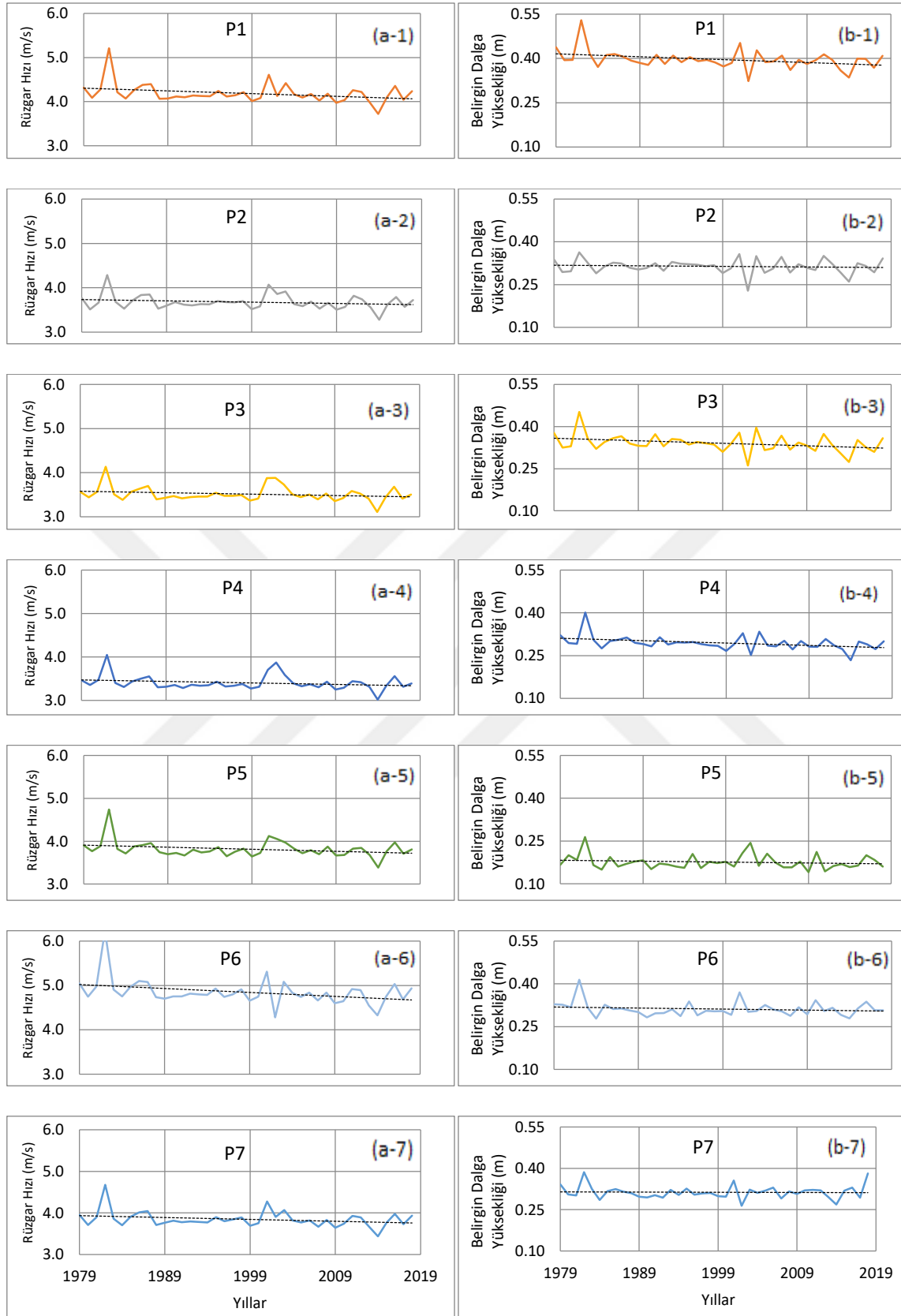
40 yıllık süre içinde ortalama belirgin dalga yüksekliklerindeki maksimum değişim, en yüksek ortalama belirgin dalga yüksekliği değerlerine sahip P1 referans noktasında (-0.039 m) gözlemlenmiştir. Dalga yüksekliklerinin uzun dönemli eğilimlerinde gözlenen minimum değişimler, P7 (-0.002 m) ve P2 (-0.008 m) referans noktalarında gerçekleşmiştir.

Tablo 4.2 40 yıllık süre için yıllık ortalama rüzgar hızlarının ve ortalama belirgin dalga yüksekliklerinin değişimleri

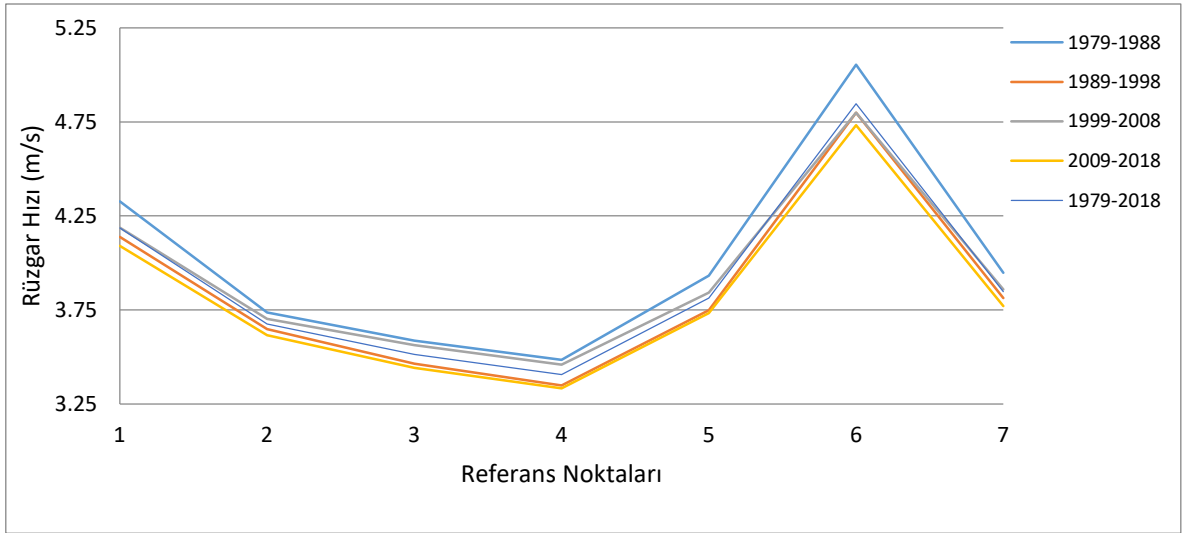
Noktalar	WS _{ortalama}		H _{s, ortalama}	
	(m/s)	%	(m)	%
P1	-0.242	-5.693	-0.039	-10.788
P2	-0.113	-3.005	-0.008	-2.337
P3	-0.129	-3.660	-0.035	-9.761
P4	-0.133	-3.843	-0.031	-8.710
P5	-0.187	-4.888	-0.012	-5.804
P6	-0.347	-6.960	-0.016	-6.273
P7	-0.179	-4.655	-0.002	-0.794

Tüm referans noktalarındaki hem rüzgar hızı hem de belirgin dalga yüksekliklerinin aynı yıllardaki değişimleri benzer şekilde olmuştur. Örneğin, rüzgar ve dalga parametrelerinin değişimi incelendiğinde, tüm lokasyonların 1982 yılında pik yaptığı 2014 yılında ise düşüş gerçekleştirdiği görülmektedir. 40 yıllık sürede P1, P3, P4, P5 referans noktalarının belirgin dalga yükseklikleri rüzgar hızlarına göre daha fazla azalmıştır. Bu lokasyonlar arasındaki en fazla düşüş P3 noktasında gerçekleşmiştir. P2, P6, P7 referans noktalarında ise rüzgar hızlarının düşüşü belirgin dalga yüksekliklerinkine göre daha fazladır. Tüm lokasyonlar içinde, iki parametrenin değişimleri arasındaki en az fark P6 noktasında gözlemlenmiştir.

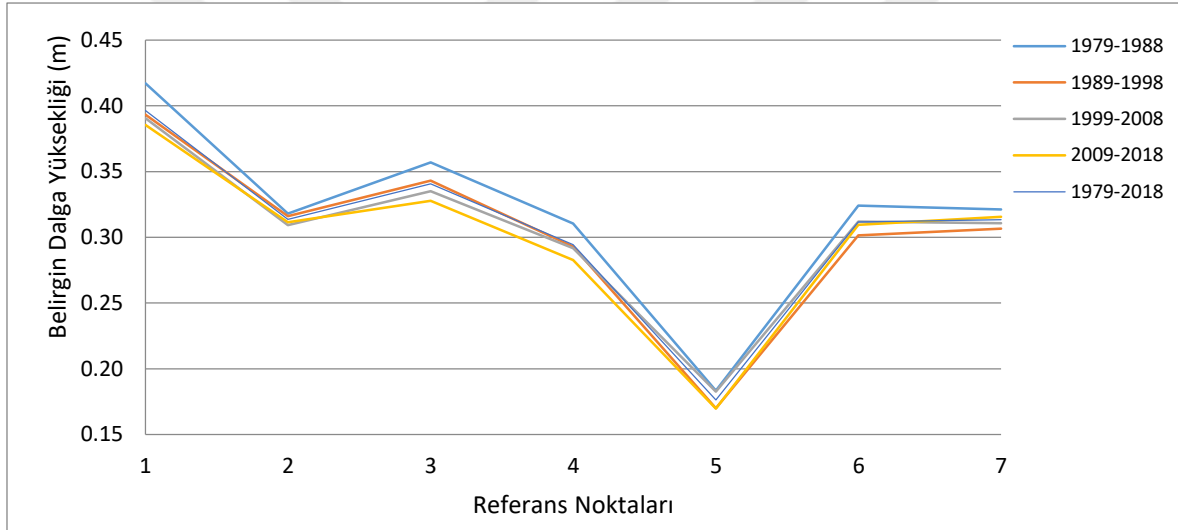
7 referans noktasındaki, ortalama rüzgar hızlarının ve ortalama belirgin dalga yüksekliklerinin 10 yıllık değişimleri incelenmiştir. 1979-1988, 1989-1998, 1999-2008, 2009-2018 ve 1979-2018 yıllarına ait ortalama değerler referans noktalarına göre Şekil 4.7’de ve Şekil 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.6 40 yıllık süre için yıllık ortalama rüzgar hızlarının ve ortalama belirgin dalga yüksekliklerinin yıllara göre değişimi. (a) ortalama rüzgar hızını; (b) ortalama belirgin dalga yüksekliğini; 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7; P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7'yi temsil etmektedir.



Şekil 4.7 40 yıllık süre için 10 yıllık ortalama rüzgar hızlarının referans noktalarındaki değişimi



Şekil 4.8 40 yıllık süre için 10 yıllık ortalama belirgin dalga yüksekliklerinin referans noktalarındaki değişimi

Ortalama rüzgar hızlarının 10 yıllık değişimleri arasındaki maksimum fark 0.3 m/s (P6 referans noktasında) gözlemlenmiştir. Ortalama belirgin dalga yükseklerinin 10 yıllık değişimleri arasındaki maksimum fark ise 0.03 m (P1 referans noktasında) gerçekleşmiştir. Tüm referans noktalarında, hem ortalama rüzgar hızları hem de ortalama belirgin dalga yükseklikleri ilk on yılda (1979-1988) daha yüksek değerler gösterirken son on yılda bu değerlerde (2009-2018) düşüş gözlemlenmiştir. Ek olarak, ortalama rüzgar hızlarının en yüksek değerleri P6 noktasındayken ortalama belirgin dalga yüksekliklerinin en yüksek değerleri P1 noktasında gerçekleşmiştir. Buna karşılık,

ortalama rüzgar hızlarının en düşük değerleri P4 noktasındayken ortalama belirgin dalga yüksekliklerinin en düşük değerleri P5 noktasında gözlemlenmiştir.

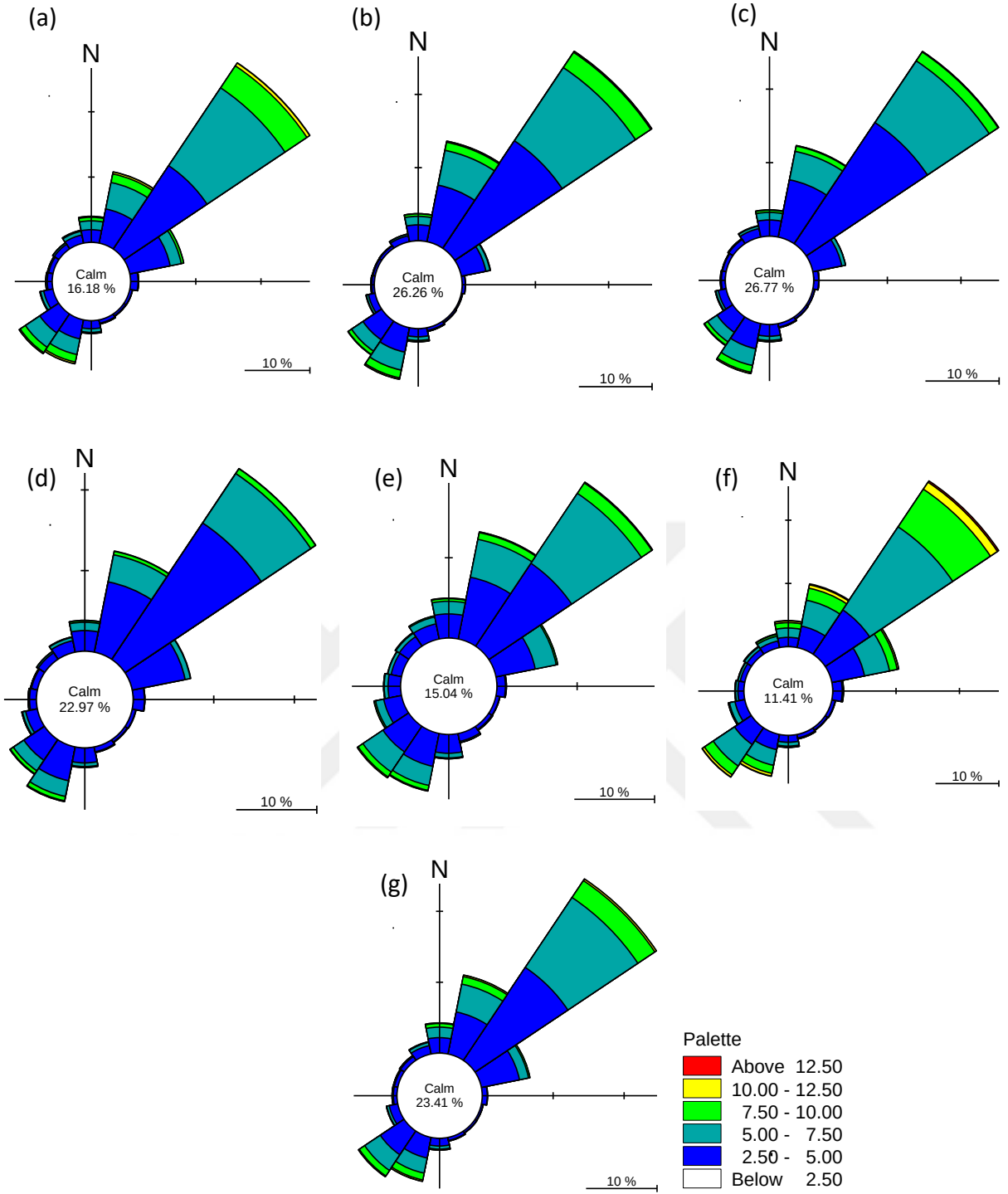
4.3 Marmara Denizi Uzun Dönem Rüzgar ve Dalga İklimi

Marmara Denizi'ndeki uzun dönem dalga istatistiği çalışması yapılmıştır. İlk olarak, rüzgar ve dalga ikliminin belirlenmesi amacıyla rüzgar ve dalga gülleri oluşturulmuştur. Sonrasında, belirgin dalga yüksekliği ve ortalama dalga periyodu arasındaki ilişki incelenmiştir. Tüm referans noktaları için uzun dönem eklenik aşılma olasılıkları belirlenmiştir. Son olarak, en büyük değer belirgin dalga yüksekliği istatistiği yapılmıştır.

Çalışmanın bu bölümündeki analizler Bölüm 4.1'de açıklanan 7 referans noktası ve Rüzgar ve Derin Deniz Dalga Atlası'ndaki (Özhan ve Abdalla, 1999) 68 referans noktası için yapılmıştır. 7 referans noktasına ait şekiller ve grafikler bu bölümde sunulurken 68 referans noktası ile ilgili olanlar Ek-A ve Ek-F arasında verilmiştir.

Referans noktalarına ait 40 yıllık rüzgar hızları ve yönleri kullanılarak rüzgar gülleri oluşturulmuştur. Rüzgar güllerinin yönleri, on altı yön dilimi şeklinde çizilmiştir. Rüzgar güllerinde, rüzgar hızının 2.5 m/s'den küçük değerleri durgun durum olarak kabul edilmiş ve durgun durumun oluşma yüzdesi belirtilmiştir. Durgun durum haricindeki rüzgar hızları; 2.5-5, 5-7.5, 7.5-10, 10-12.5 ve >12.5 m/s şeklinde beş sınıfa ayrılmıştır. 7 referans noktasına ait rüzgar gülleri ve rüzgar gülü ölçeklerinin rüzgar hızı sınıflandırılması Şekil 4.9'da verilmiştir. 68 referans noktasına ait rüzgar gülleri, Rüzgar ve Derin Deniz Dalga Atlası'nda (Özhan ve Abdalla, 1999) verilen rüzgar gülleriyle birlikte Ek-A'da sunulmuştur.

7 referans noktasının rüzgar gülleri (Şekil 4.9) incelendiğinde hakim rüzgar yönünün kuzeydoğulu yönler olduğu görülmektedir. Aynı zamanda, ikinci etkin rüzgar yönü tüm referans noktalarında güneybatılı yönler olmuştur. Durgun dönem oluşma olasılığı en az olarak (%11) kuzeyde yer alan P6 referans noktasında gerçekleşmiştir. Durgun dönemin en fazla oluşma ihtimali ise (%27) P3 konumunda görülmüştür.

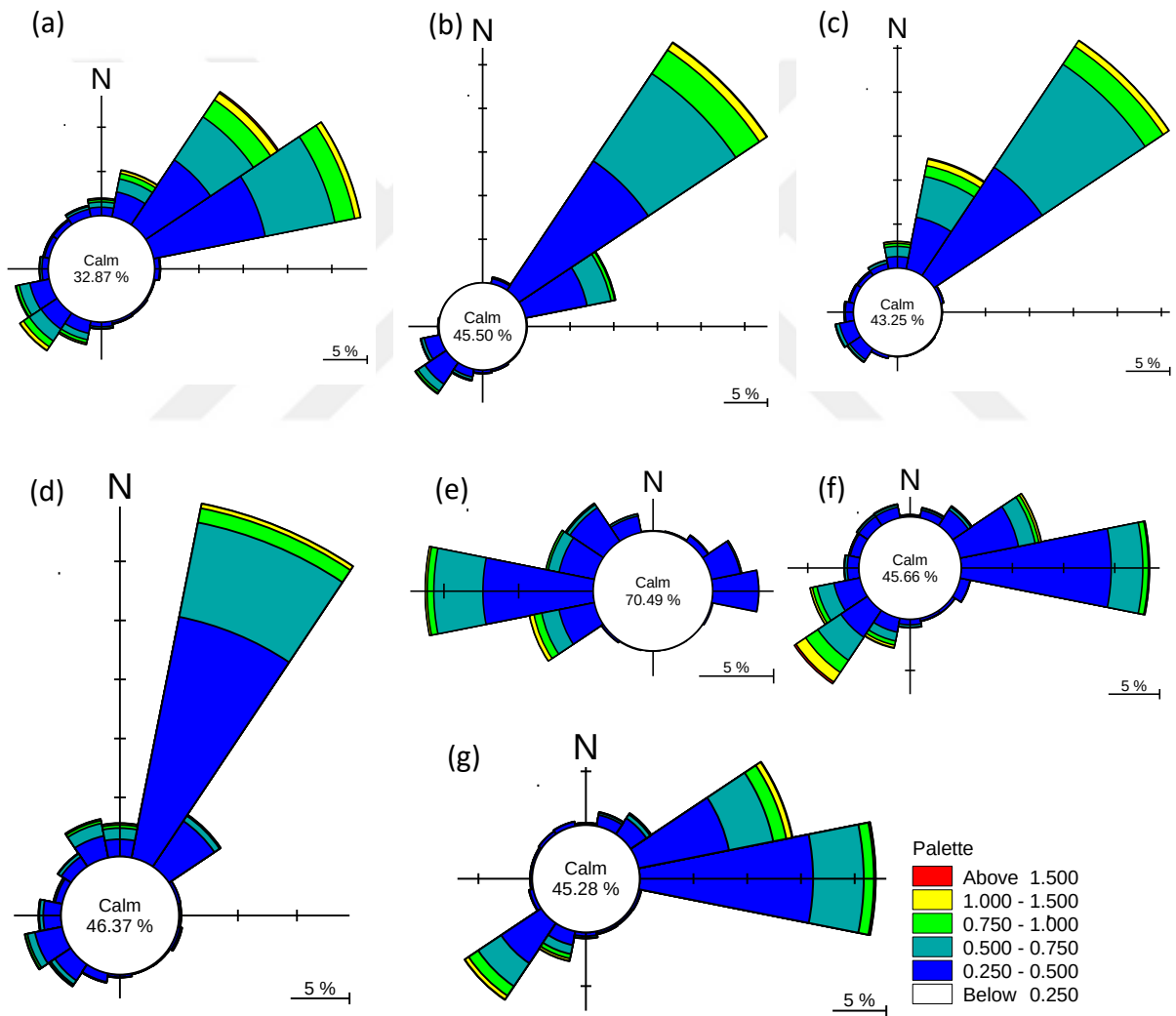


Şekil 4.9 7 referans noktasına ait rüzgar gülleri; a), b), c), d), e), f), g) sırasıyla P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7'yi temsil etmektedir.

Tüm referans noktalarındaki 40 yıllık belirgin dalga yükseklikleri ve yönleri kullanılarak dalga gülleri oluşturulmuştur. Dalga güllerinde, belirgin dalga yüksekliğinin 0.25 m'den küçük değerleri durgun durum olarak kabul edilmiştir. Dalga güllerinde durgun durumun oluşma olasılığı yüzdesel olarak belirtilmiştir. Belirgin dalga yükseklikleri; 0.25-0.5, 0.5-0.75, 0.75-1, 1-1.5 ve >1.5 m olarak

sınıflara ayrılmıştır. 7 referans noktasına ait dalga gülleri ve dalga yükseklik ölçekleri Şekil 4.10'da sunulmuştur. 68 referans noktasına ait dalga gülleri ise Rüzgar ve Derin Deniz Dalga Atlası'ndaki (Özhan ve Abdalla, 1999) dalga gülleriyle birlikte Ek-B'de verilmiştir.

7 referans noktasının dalga gülleri incelendiğinde en etkin dalga yönünün çoğunlukla kuzeydoğulu yönler olduğu belirlenmiştir. Bahsedilen bu referans noktalarında P1, ENE; P2, NE; P3, NE ve P4, NNE yönlerinin en etkin yön olduğu belirlenmiştir. Marmara Denizi'nin kuzeyinde bulunan referans noktalarının ise; P5, W, P6 E ve P7, E yönünde en etkin olduğu görülmektedir.

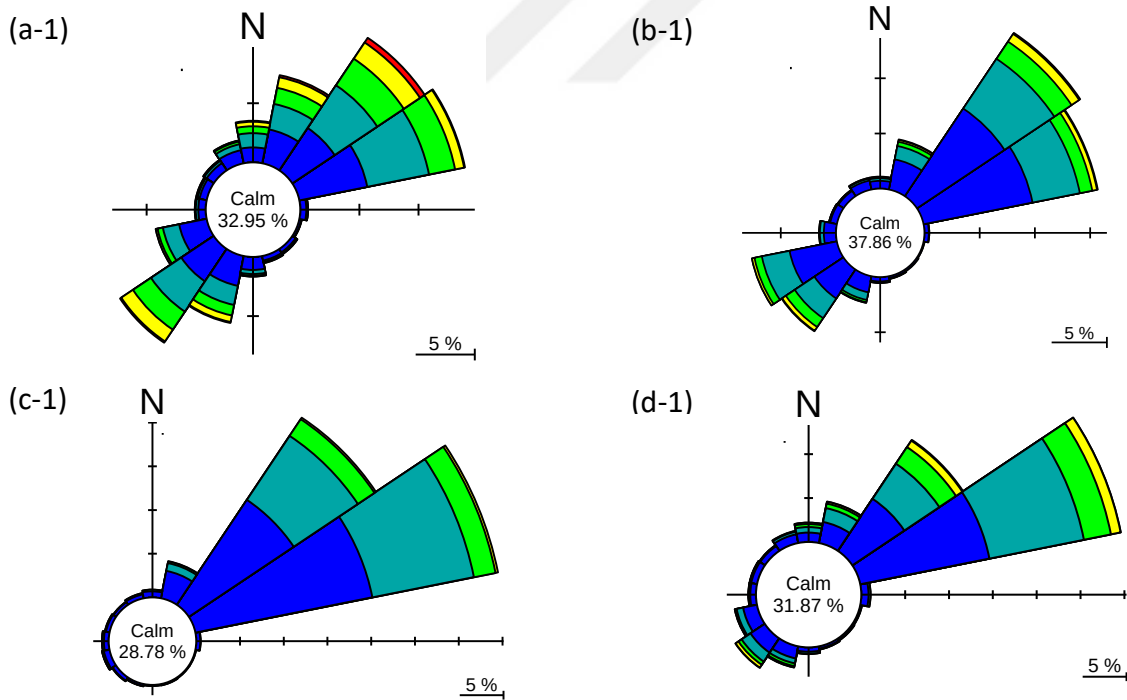


Şekil 4.10 7 referans noktasına ait dalga gülleri; a), b), c), d), e), f), g) sırasıyla P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7'yi temsil etmektedir.

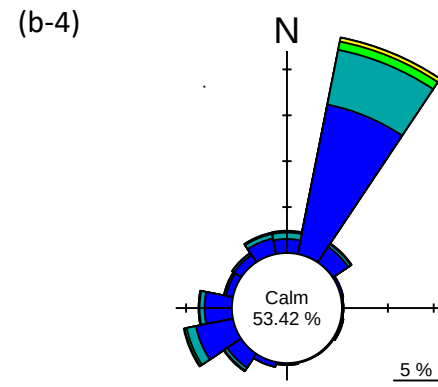
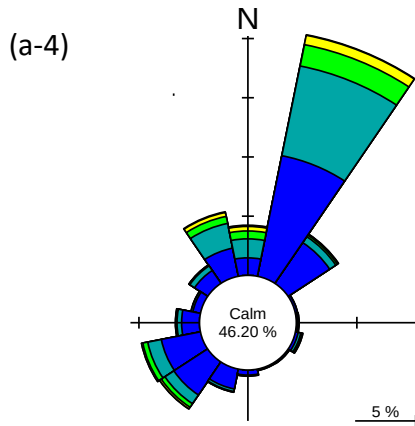
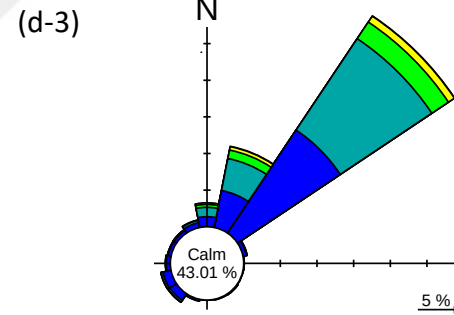
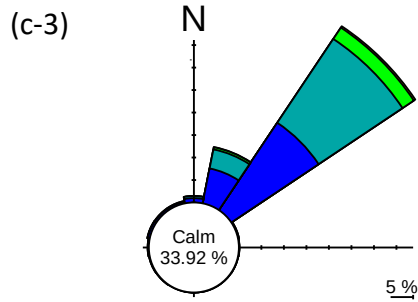
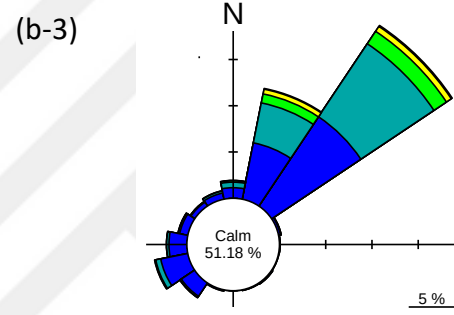
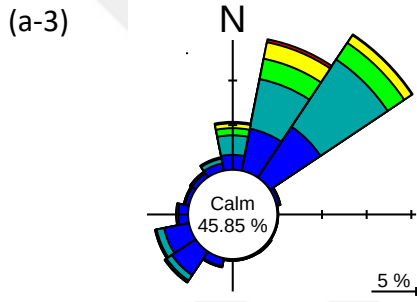
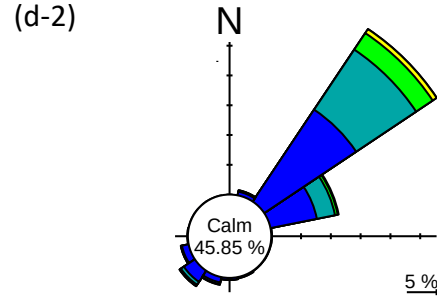
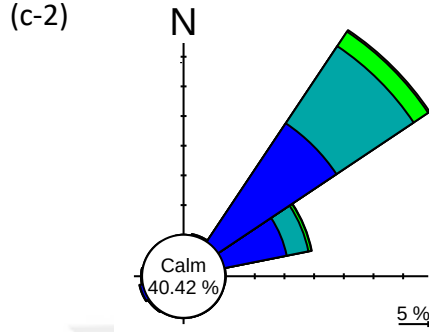
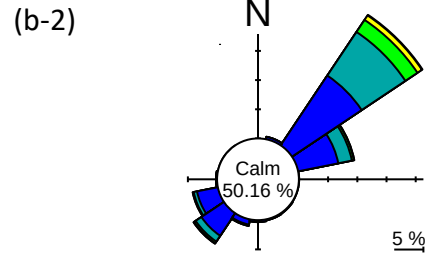
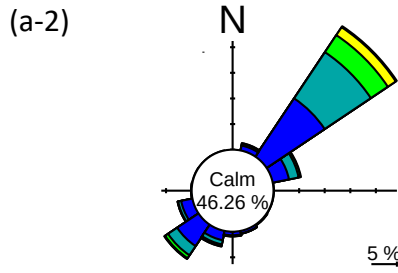
Tüm referans noktalarına ait 40 yıllık belirgin dalga yükseklik ve yön değerleri mevsimlerine göre ayrılmış ve mevsimlik dalga gülleri oluşturulmuştur. 7 referans

noktasına ait mevsimlik dalga gülleri Şekil 4.11'de ve 68 referans noktasına ait mevsimlik dalga gülleri ise Rüzgar ve Derin Deniz Dalga Atlası'ndaki (Özhan ve Abdalla, 1999) dalga gülleriyle birlikte Ek-C'de verilmiştir.

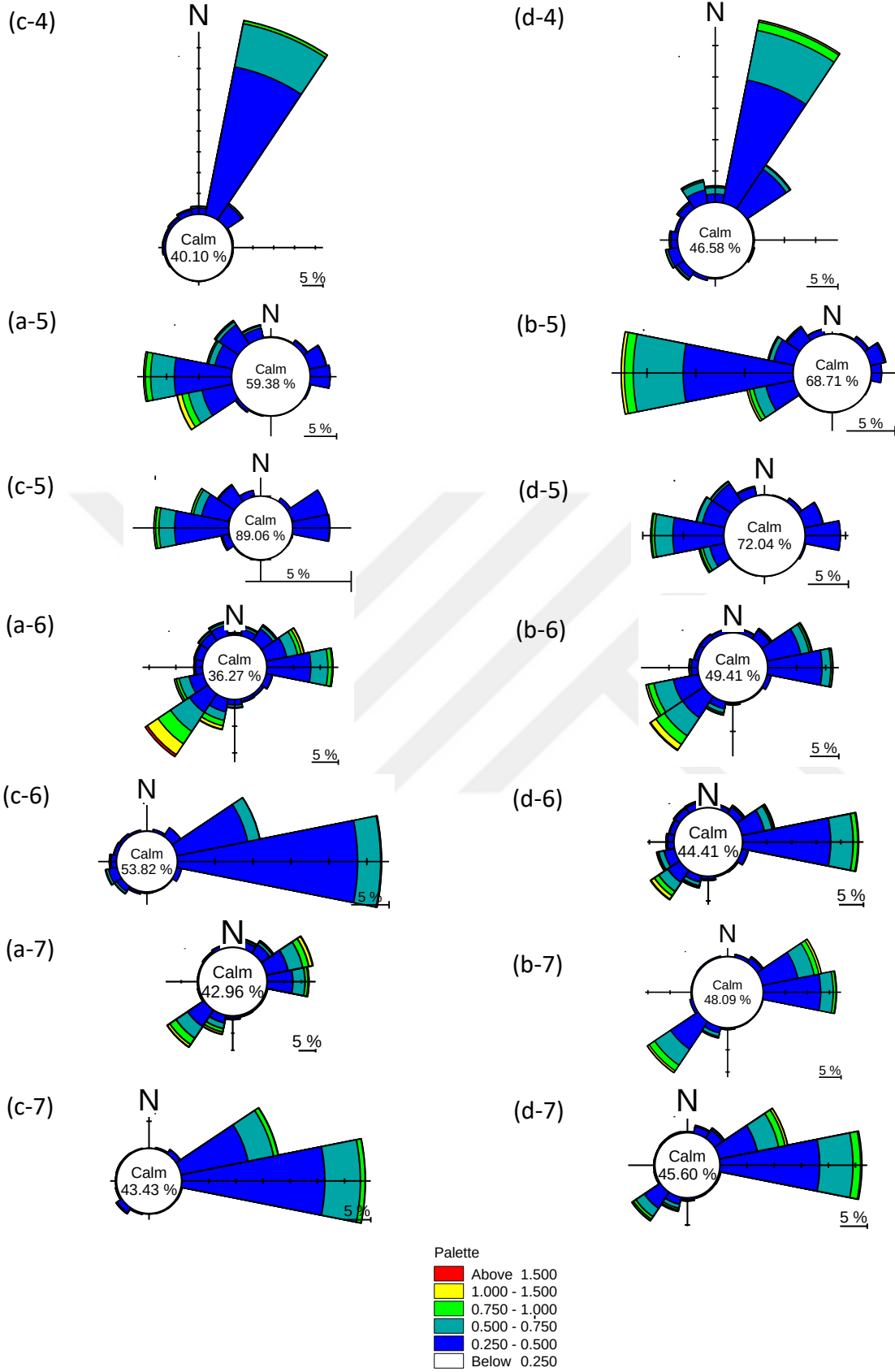
7 referans noktasının mevsimlik dalga gülleri incelendiğinde durgun dönem olasılıkları en yüksek olarak ilkbahar ve yaz mevsimlerinde görülmüştür. Ayrıca, tüm referans noktalarının yaz mevsimine ait dalga güllerinde 1 m'den büyük belirgin dalga yüksekliklerinin azaldığı belirlenmiştir. Mevsimlik dalga güllerinde çoğunluk olarak kuzeydoğu yönlü dalgalar hakimdir. P1, P2, P3 ve P4 referans noktalarının tüm mevsimlerinde en etkin yön kuzeydoğulu yönler olmuştur. Bu referans noktalarında kış ve ilkbahar mevsiminde güneybatılı yönlerden gelen dalgalar yaz ve sonbahar mevsimlerinde azalmıştır. P5 referans noktasına ait mevsimlik dalga gülleri incelendiğinde, tüm mevsimlerdeki en etkin dalga yönünün W olduğu görülmüştür. P6 ve P7 referans noktalarının kış mevsimindeki en etkin dalga yönleri sırasıyla SW ve ENE yönleridir. Ancak, bu referans noktalarının diğer mevsimlerdeki en etkin dalga yönü E olmuştur.



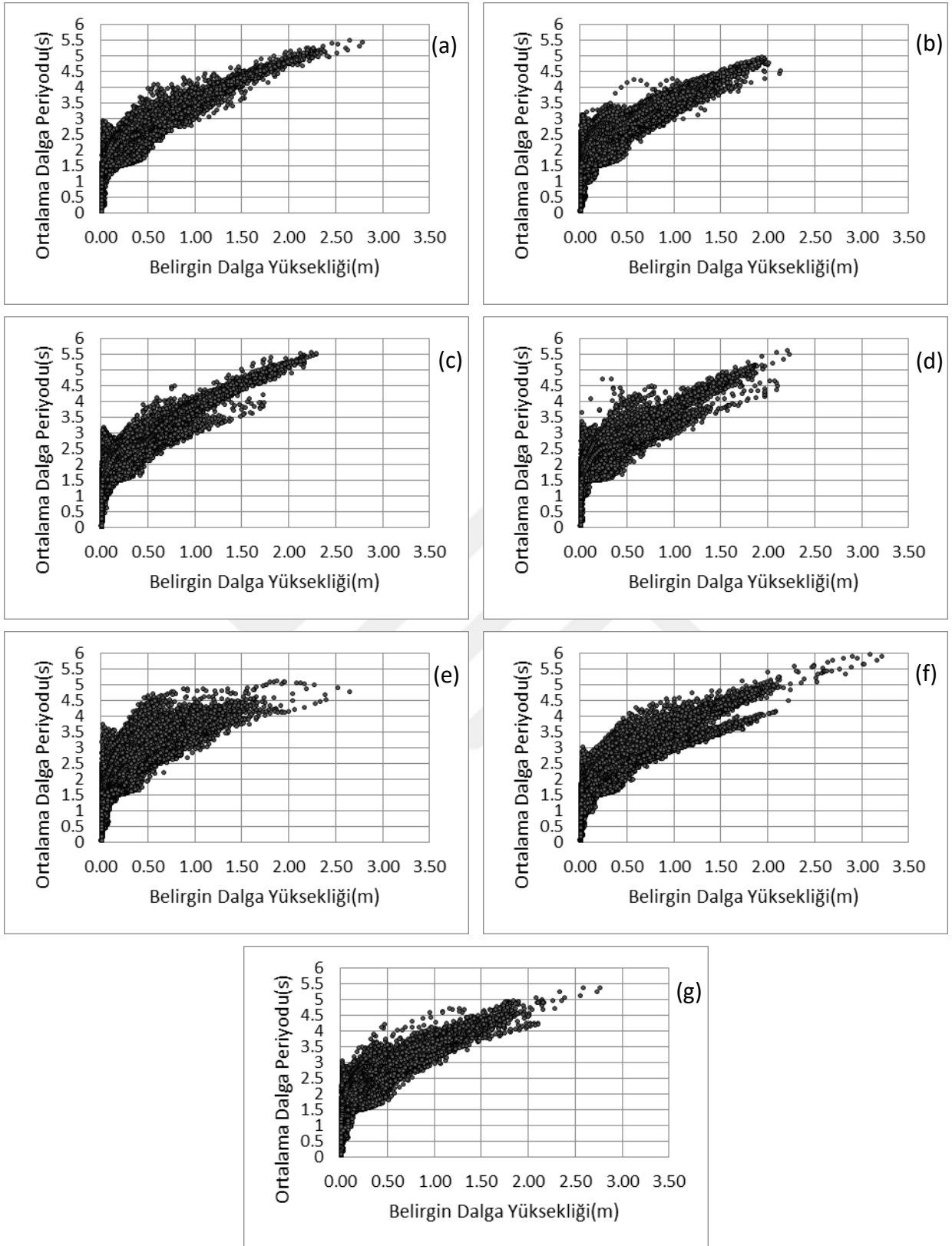
Şekil 4.11 7 referans noktasına ait mevsimlik dalga gülleri. Sırasıyla a), b), c), d); kış, ilkbahar, yaz, sonbaharı ve 1,2,3,4,5,6,7; P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7'yi temsil etmektedir.



Şekil 4.11 7 referans noktasına ait mevsimlik dalga gülleri. Sırasıyla a), b), c), d); kış, ilkbahar, yaz, sonbaharı ve 1,2,3,4,5,6,7; P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7'yi temsil etmektedir. (devamı)



Şekil 4.11 7 referans noktasına ait mevsimlik dalga gülleri. Sırasıyla a), b), c), d); kış, ilkbahar, yaz, sonbaharı ve 1,2,3,4,5,6,7; P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7'yi temsil etmektedir. (devamı)



Şekil 4.12 7 referans noktasına ait belirgin dalga yüksekliği ve ortalama dalga periyodu grafikleri. Sırasıyla a), b), c), d), e) f) g); P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7'yi temsil etmektedir.

Belirgin dalga yüksekliği ve ortalama dalga periyodu arasındaki ilişki serpilme grafikleriyle sunulmaktadır. Grafikler kullanılarak herhangi bir dalga yüksekliğine karşılık gelebilecek dalga periyodu değerleri tahmin edilebilmektedir. Tüm referans noktaları için 40 yıllık belirgin dalga yüksekliği ve ortalama dalga periyodu değerleriyle serpilme grafikleri oluşturulmuştur. 7 referans noktasının belirgin dalga yüksekliği ve ortalama dalga periyodu grafikleri Şekil 4.12'de sunulmuştur. Ayrıca, 68 referans noktasının grafikleri de Rüzgar ve Derin Deniz Dalga Atlası'ndaki (Özhan ve Abdalla, 1999) grafiklerle birlikte Ek-D'de verilmiştir.

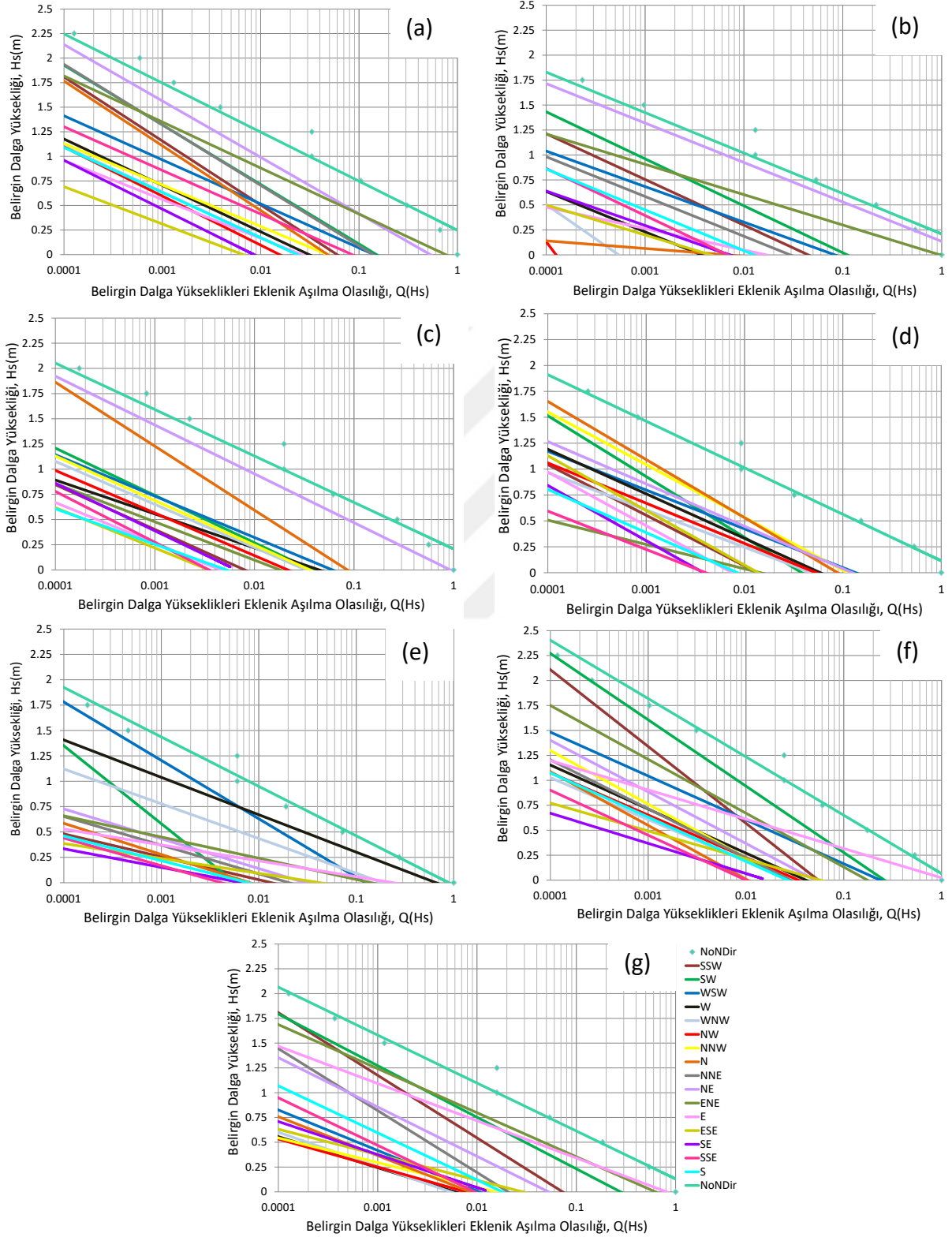
7 referans noktasının serpilme grafikleri incelendiğinde, dalgaların en yoğun olarak 1.5-2.5 s ve 0-0.5 m aralıklarında olduğu gözlemlenmiştir. 7 referans noktası içinden en yüksek belirgin dalga yüksekliği (3.215 m) Marmara Denizi'nin kuzeyinde yer alan P6 referans noktasında görülmüştür. Ayrıca, bu referans noktası gözlemlenen en büyük dalga periyoduna da (5.99 s) sahiptir.

Tüm referans noktalarındaki 40 yıllık belirgin dalga yüksekliği değerlerinin eklenik aşılma olasılıkları yönsel olarak belirlenmiştir. 7 referans noktasına ait dalga yüksekliklerinin eklenik aşılma olasılıkları Şekil 4.13'de verilmiştir. 68 referans noktasına ait eklenik aşılma olasılıkları, olasılık denklemleriyle birlikte Ek-E'de sunulmuştur.

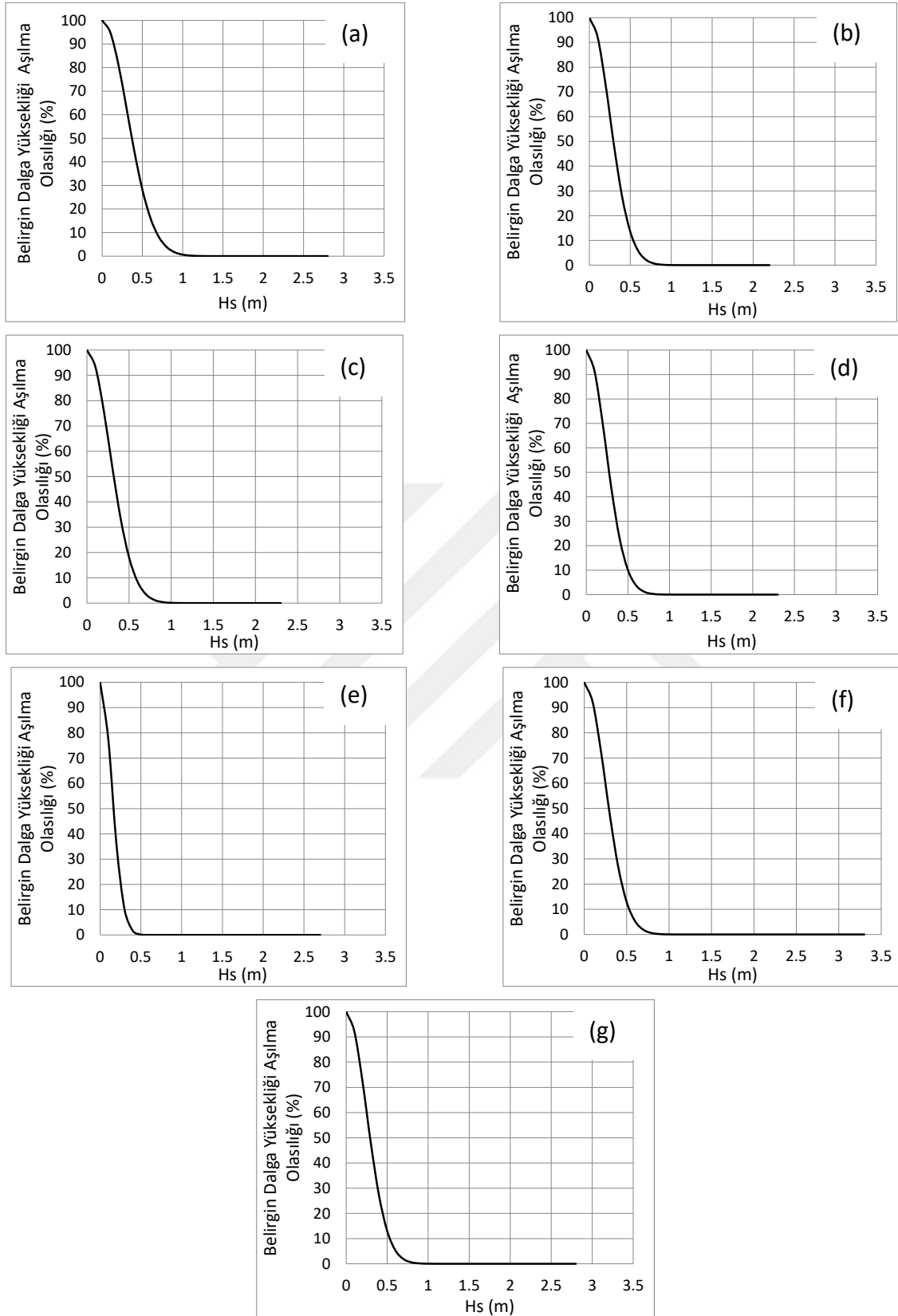
7 referans noktasının olasılık dağılımlarındaki en etkili yönler incelendiğinde, P1 ve P2 referans noktaları için en sık karşılaşılan iki yönün ENE ve NE olduğu görülmüştür. P3, P4, P5, P6 referans noktalarında en sık karşılaşılan yönler sırasıyla NE, NNE, W, E olmuştur. P7 referans noktasında ise E ve ENE yönleri en fazla karşılaşılan yönlerdir.

Deniz yapıları projelendirilirken, yapının tasarım ömrü boyunca karşılaşıacağı ekstrem değerler ve dönüş aralıkları belirlenmektedir. Dalga büyüklüklerinin uzun dönemli olasılıklarının belirlenmesi için en büyük değer analizi yapılmaktadır. 7 referans noktasının aşılma olasılıkları (Şekil 4.14) belirlenmiş ve farklı aşılma ihtimallerine karşılık gelen belirgin dalga yüksekliği değerleri Tablo 4.3'te sunulmuştur. Çalışmanın bu bölümünde, tüm referans noktalarındaki 40 yıla ait yıllık maksimum belirgin dalga yükseklikleriyle en büyük değerler dalga istatistiği yapılmıştır. 7 referans noktasının belirgin dalga yüksekliği-yinelenme dönemi grafikleri (Şekil 4.15) ve referans noktalarının 5, 10, 20, 50, 100 yıllık dönüş aralıklarına karşılık gelen belirgin dalga

yükseklikleri Tablo 4.4'te sunulmuştur. Ayrıca, 68 referans noktasının yinelenme dönemlerine karşılık belirgin dalga yükseklik grafikleri Rüzgar ve Derin Deniz Dalga Atlası'ndaki (Özhan ve Abdalla, 1999) grafiklerle birlikte Ek-F'de verilmiştir.



Şekil 4.13 7 referans noktasına ait dalga yüksekliklerinin eklenik aşılma olasılıkları. Sırasıyla a), b), c), d), e) f) g); P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7'yi temsil etmektedir.



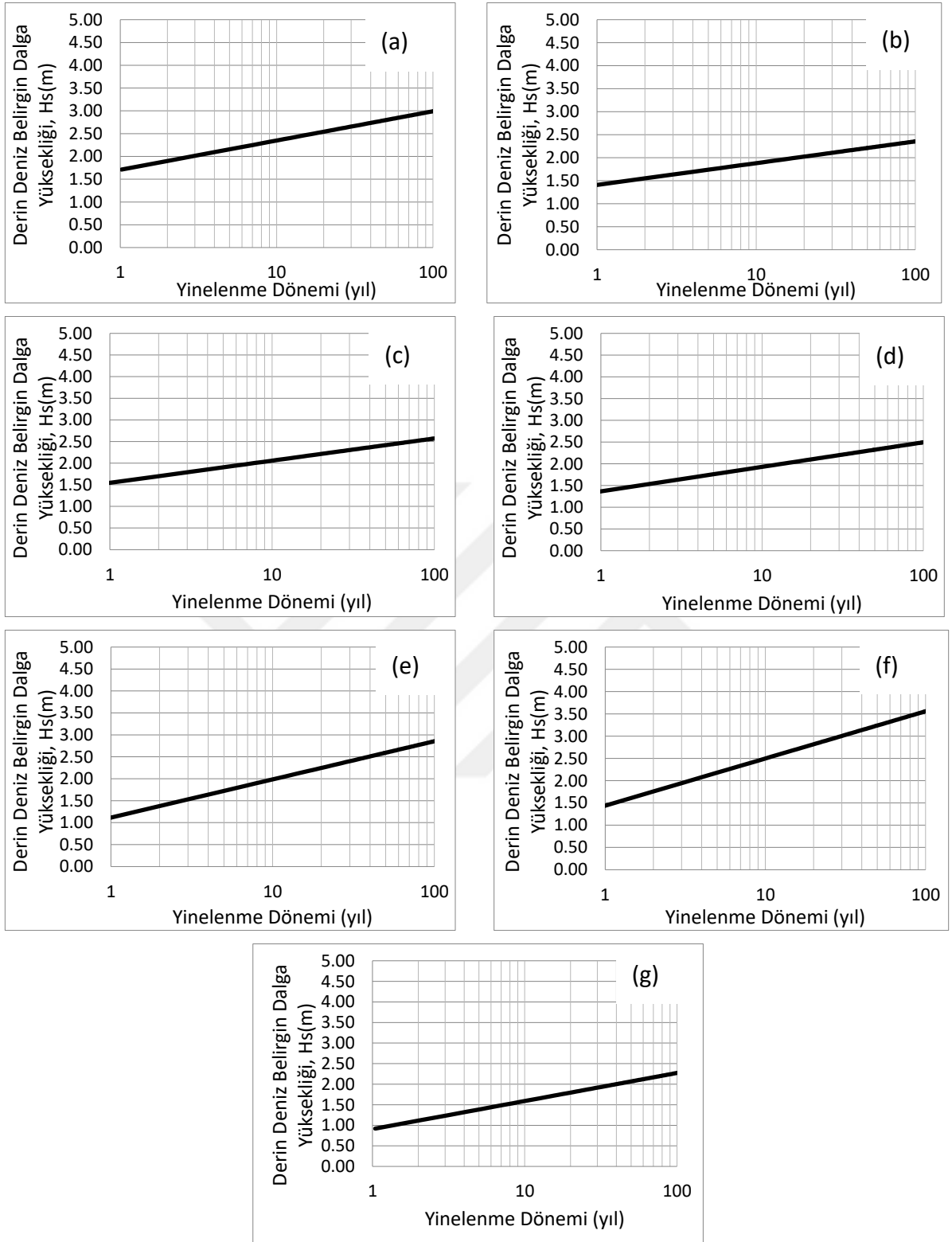
Şekil 4.14 7 referans noktasına ait belirgin dalga yükseklikleri aşılma olasılıkları. Sırasıyla a), b), c), d), e) f) g); P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7'yi temsil etmektedir.

7 referans noktasına ait %50, %5, %1 aşılma olasılıkları incelendiğinde, %1 aşılma ihtimali olan dalgaların belirgin dalga yüksekliklerinin 1 m'den küçük olduğu görülmüştür. Tüm noktalar içinden %1 aşılma olasılığının en yüksek olduğu belirgin dalga yüksekliği P1 noktasındayken (0.953 m) en yüksek maksimum belirgin dalga yüksekliği değeri P6 referans noktasında (3.215 m) belirlenmiştir. En yüksek maksimum belirgin dalga yüksekliği değerine sahip olan iki referans noktası; P1 Marmara Denizi'nin merkezinde ve P6 kuzeyde yer almaktadır. Doğuda yer alan ve tüm noktalar içinde en düşük belirgin dalga yüksekliklerine sahip P5 referans noktasının %50 aşılma olasılığına karşılık gelen belirgin dalga yüksekliği değeri 0.165 m'dir.

Tablo 4.3 7 referans noktasına ait aşılma olasılıklarına karşılık gelen belirgin dalga yükseklikleri

Noktalar	H _s (m)			
	%50	%5	%1	Maksimum
P1	0.368	0.769	0.953	2.779
P2	0.294	0.61	0.758	2.132
P3	0.329	0.662	0.818	2.296
P4	0.275	0.572	0.707	2.227
P5	0.165	0.341	0.417	2.651
P6	0.291	0.605	0.748	3.215
P7	0.292	0.606	0.751	2.763

7 referans noktasındaki belirgin dalga yükseklikleri yinelenme dönemi grafiklerinden (Şekil 4.15) farklı dönüş aralıklarına karşılık gelen belirgin dalga yüksekliği değerleri belirlenmiştir. P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 referans noktalarının 100 yıllık dönüş aralık değerleri (Tablo 4.4) sırasıyla 2.95, 2.33, 2.53, 2.46, 2.83, 3.56 ve 2.24 m bulunmuştur. 100 yıllık dönüş aralığına karşılık gelen en yüksek belirgin dalga yüksekliği kuzeyde yer alan P6 referans noktasında ve en düşük belirgin dalga yüksekliği P7 referans noktasında gerçekleşmiştir.



Şekil 4.15 7 referans noktasına ait belirgin dalga yükseklikleri yinelenme dönemi grafikleri. Sırasıyla a), b), c), d), e) f) g); P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7'yi temsil etmektedir.

Tablo 4.4 7 referans noktasına ait 5, 10, 20, 50, 100 yıllık dönüş aralıklarına karşılık gelen belirgin dalga yükseklikleri

Noktalar	H_{TR} (m)				
	5	10	20	50	100
P1	2.19	2.40	2.58	2.80	2.95
P2	1.75	1.91	2.05	2.21	2.33
P3	1.94	2.11	2.25	2.42	2.53
P4	1.79	1.97	2.14	2.33	2.46
P5	1.73	2.01	2.27	2.60	2.83
P6	2.18	2.50	2.82	3.24	3.56
P7	1.41	1.63	1.83	2.07	2.24

Bu çalışmada, MIKE 21 SW sayısal dalga modeliyle Marmara Denizi'nin 40 yıllık uzun dönem dalga parametreleri elde edilmiştir. Sayısal modelde 1979 ile 2018 yılları arasındaki ERA-Interim rüzgar verileri kullanılmıştır. Sayısal modelin performansının değerlendirilmesi 2013-2018 yıllarındaki Silivri istasyonuna ait dalga verileriyle yapılmıştır. Sayısal modelden elde edilmiş dalga parametrelerinin ölçülmüş dalga değerleriyle olan uyumunu artırmak için bir çok kalibrasyon senaryosu uygulanmıştır. Sayısal model parametrelerinin tek başlarına ve birlikte dalga tahmin sonuçları üzerindeki etkileri irdelenmiştir. Ayrıca, Marmara Denizi için oluşturulan hesaplama ağının sıklığı artırılarak uzun dönem model simülasyonunda kullanılacak en ideal hesaplama ağı elde edilmeye çalışılmıştır. Kalibrasyon aşamasından sonra, nihai modelle uzun dönem koşturmalar yapılmış ve 40 yıllık dalga verileri elde edilmiştir. Elde edilen uzun dönem veriler, Marmara Denizi'nin farklı dalga özelliklerine sahip 7 referans noktası ve Derin Deniz Dalga Atlası'ndaki (Özhan ve Abdalla, 1999) 68 referans noktası için irdelenmiştir. 7 referans noktasında rüzgar ve dalga değerlerinin aylık, mevsimlik, yıllık ve 10 yıllık değişimleri incelenmiş ve 40 yıllık eğilimleri, aşılma olasılıkları grafikleri oluşturulmuştur. Ek olarak, tüm referans noktaları için rüzgar ve dalga gülleri, mevsimlik dalga gülleri, belirgin dalga yüksekliği-ortalama dalga periyodu serpilme grafikleri, yönsel olarak eklenik aşılma grafikleri ve yinelenme dönemi grafikleri sunulmuştur.

Bulunan sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenmiştir:

- Sayısal modeldeki en etkili parametrelerin Charnock parametresi ve köpüklenme parametreleri (C_{ds} , DELTAdis) olduğu belirlenmiştir. Marmara Denizi için en uyumlu sonuçlar Charnock: 0.00525, C_{ds} : 2.5 ve DELTAdis: 0.9 değerleriyle elde edilmiştir.
- Sayısal modelin hesap ağı kalibrasyonunda, ağ sisteminin kaba olmasının veya çok ince olmasının model sonuçlarını ve hesaplama süresini olumsuz etkilediği

görülmüştür. Yeterli sıklıkta bir hesap ağının oluşturulması en ideal dalga tahmin sonuçlarını vermiştir.

- 7 referans noktası ile yapılan incelemelerde, aylık ortalama rüzgar hızlarının en yüksek değerleri Şubat ayında ve en düşük değerleri Haziran ayında bulunmuştur. Aylar boyunca ortalama rüzgar hızlarının en yüksek olduğu değer kuzeyde yer alan P6 referans noktasında 5.44 m/s ve en düşük olduğu değer güneydoğu yönündeki P4 referans noktasında 2.86 m/s olarak bulunmuştur.
- 40 yıllık aylık ortalama belirgin dalga yüksekliklerinin en yüksek değerleri Şubat ayında Marmara Denizi'nin ortasındaki P1 referans noktasında 0.45 m ve en düşük olduğu değerleri Ağustos ayında doğudaki Prens adaları civarında yer alan P5 referans noktasında 0.08 m olarak belirlenmiştir.
- Ortalama belirgin dalga yüksekliklerinin mevsimsel değişimi incelendiğinde, en yüksek değerler Marmara Denizi'nin merkezindeki P1 referans noktasında kış mevsiminde ve en düşük değerler doğuda yer alan P5 konumunda yaz mevsiminde görülmüştür. 7 konum için de ortalama belirgin dalga yüksekliği değerleri sonbahardan kışa doğru artış göstermiştir.
- Ortalama rüzgar hızlarının 40 yıllık eğilimleri incelendiğinde, eğilim çizgisindeki en fazla değişim en yüksek ortalama rüzgar hızı değerlerine sahip olan kuzeydeki P6 referans noktasında bulunmuştur. Ortalama rüzgar hızlarındaki yıllık eğilimin azalış yönünde (-0.35 m/s) olduğu belirlenmiştir. Belirgin dalga yüksekliklerinin 40 yıllık eğilimlerindeki en fazla değişim ise en yüksek belirgin dalga yüksekliği değerlerine sahip olan merkezdeki P1 referans noktasında gözlemlenmiştir. Belirgin dalga yüksekliklerinin yıllık eğilimi, azalış yönünde -0.04 m olarak bulunmuştur.
- Ortalama rüzgar hızları ve ortalama belirgin dalga yükseklikleri, tüm lokasyonlarda 1982 yılında pik yapmış ve 2014 yılında düşüş gerçekleştirmiştir.
- 10 yıllık ortalama rüzgar hızı değişimindeki en fazla fark kuzeyde bulunan P6 referans noktasında 0.3 m/s olarak hesaplanmıştır. 10 yıllık ortalama belirgin dalga yükseklik değişimindeki en fazla fark ise merkezde yer alan P1 referans noktasında 1979-1988 ve 2009-2018 veri setleri arasında 0.03 m olarak hesaplanmıştır.

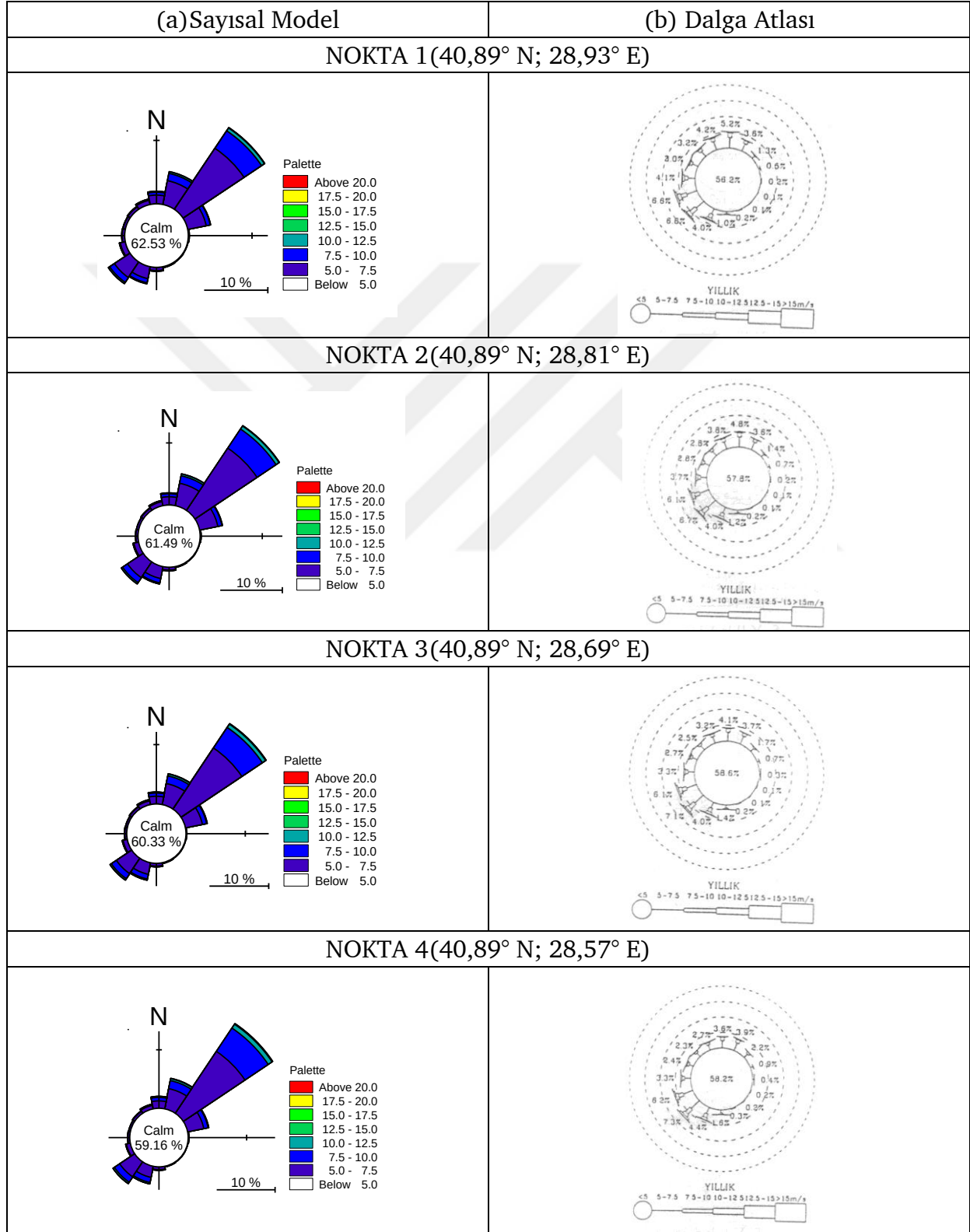
- Tüm referans noktalarında, hem ortalama rüzgar hızları hem de ortalama belirgin dalga yükseklikleri ilk on yılda (1979-1988) daha yüksek değerler gösterirken son on yılda bu değerlerde (2009-2018) düşüş gözlemlenmiştir.
- 7 referans noktası ve 68 referans noktası ile yapılan incelemelerin tümünde, rüzgar gülleri için kuzeydoğulu yönlerde en etkin ve güneybatılı yönlerde ikincil etkin olduğu belirlenmiştir. 7 referans noktası içinde durgun dönem oluşma olasılığı en az olarak (%11) kuzeyde yer alan P6 referans noktasında ve en fazla olarak (%27) güneyde yer alan P3 referans noktasında bulunmuştur.
- Dalga güllerinin tümü incelendiğinde; 7 referans noktasının çoğunluğunda en etkin dalga yönünün kuzeydoğulu yönler; 68 referans noktasının çoğunluğunda en etkin dalga yönünün kuzeydoğulu ve ikincil etkin yönün güneybatılı yönler olduğu gözlemlenmiştir.
- 7 referans noktası ve 68 referans noktasının mevsimlik dalga güllerindeki durgun dönem oluşma olasılıklarının ilkbahar ve yaz mevsimlerinde en yüksek olduğu görülmüştür. 7 referans noktasının yaz mevsimine ait dalga güllerinde, 1 m'den büyük belirgin dalga yüksekliklerinin azaldığı görülmüştür. Ayrıca, kış ve ilkbahar mevsimlerinde güneybatılı yönlerden gelen dalgalar yaz ve sonbahar mevsimlerinde azalmıştır. P1, P2, P3, P4 referans noktalarına ait mevsimlik dalga güllerinin tümünde en etkin dalga yönü kuzeydoğulu yönlerdir. P5 referans noktasının tüm mevsimlerdeki en etkin dalga yönü W, P6 ve P7 referans noktalarının kış mevsimindeki en etkin dalga yönleri sırasıyla SW ve ENE yönleridir. Ancak, P6 ve P7 referans noktalarının diğer mevsimlerdeki en etkin dalga yönü E olarak gözlemlenmiştir.
- Tüm referans noktalarının belirgin dalga yüksekliği ve ortalama dalga periyodu serpilme grafikleri incelendiğinde, dalgaların en yoğun olarak 1.5-2.5 s ve 0-0.5 m aralıklarında olduğu gözlemlenmiştir. 7 referans noktası içinde en yüksek belirgin dalga yüksekliği (3.22 m) kuzeyde yer alan P6 referans noktasında görülmüştür. Ayrıca, 68 referans noktası arasında da en yüksek belirgin dalga yüksekliğine (3.23 m) sahip referans noktası (6 numaralı) kuzeyde yer almaktadır.

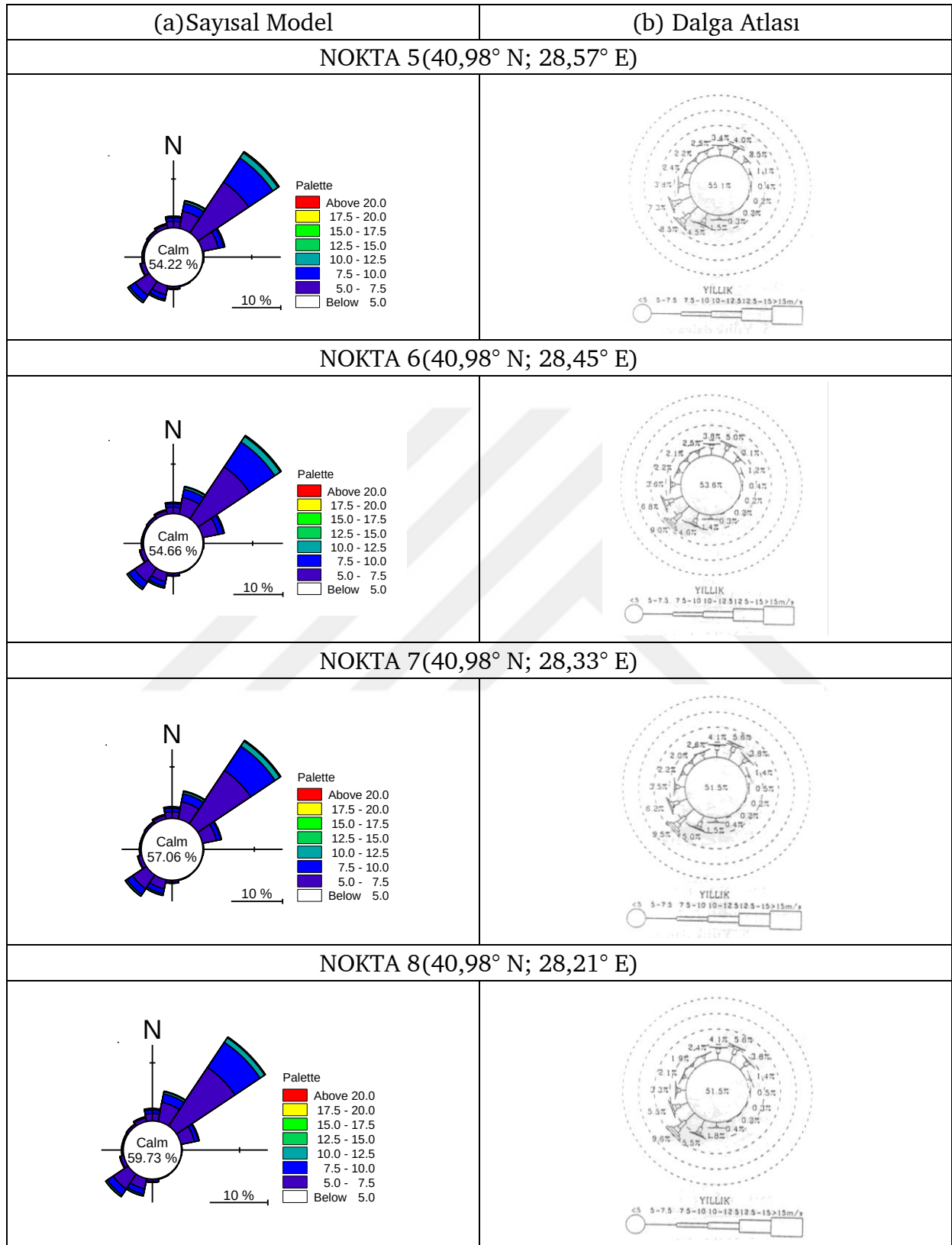
- Tüm referans noktalarının 40 yıllık belirgin dalga yüksekliği değerlerinin eklenik aşılma grafikleri incelenmiş ve olasılık dağılımlarında en sık karşılaşılan yönlerin NE, ENE, E olduğu belirlenmiştir.
- 7 referans noktasının aşılma olasılıkları incelendiğinde, en yüksek maksimum belirgin dalga yüksekliği değerine sahip olan iki konum; Marmara Denizi'nin kuzeyindeki P6 referans noktası (3.215 m) ve merkezindeki P1 referans noktasıdır (2.779 m). %1 aşılma olasılığının en yüksek olduğu belirgin dalga yüksekliği (0.953 m) merkezdeki P1 referans noktasında bulunmuştur.
- Tüm referans noktaları için belirgin dalga yüksekliği yinelenme grafikleri oluşturulmuş ve 100 yıllık dönüş aralıkları hesaplanmıştır. 7 referans noktasındaki 100 yılda oluşabilecek en yüksek belirgin dalga yüksekliği Marmara Denizi'nin kuzeyinde yer alan P6 referans noktasında 3.56 m olarak belirlenmiştir. 100 yılda oluşabilecek en büyük belirgin dalga yüksekliğinin en düşük değeri ise kuzeybatı yönündeki P7 referans noktasında 2.24 m olarak hesaplanmıştır. 68 referans noktasındaki 100 yıllık dönüş aralığına karşılık gelen en yüksek belirgin dalga yüksekliği kuzeyde yer alan (6 numaralı) referans noktasında 3.56 m ve belirgin dalga yüksekliğinin en düşük değeri Erdek Körfezi yakınlarındaki referans noktasında (35 numaralı) 1.53 m olarak bulunmuştur.

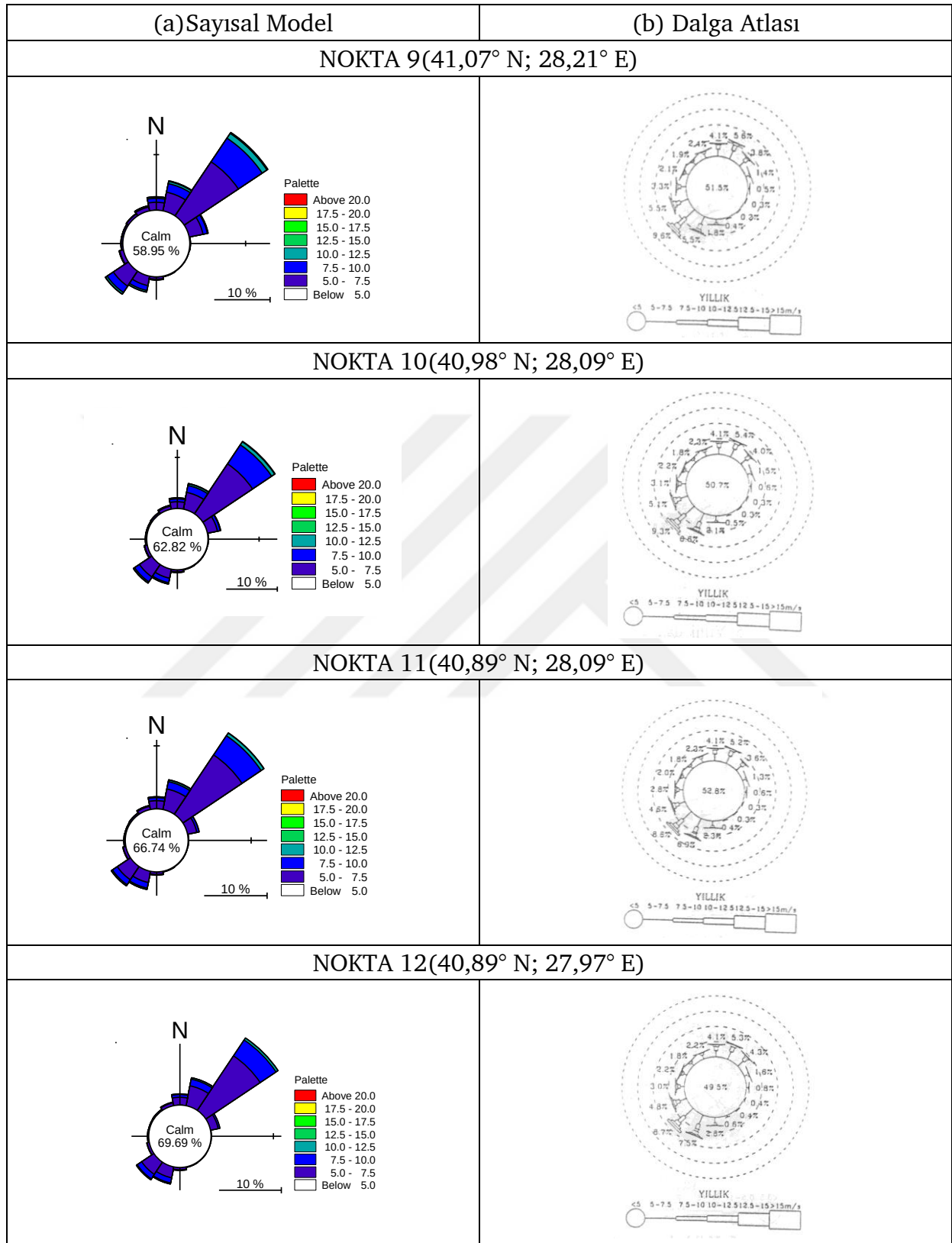
- Akpınar, A., Kutupoğlu, V., Bingölbalı, B., & Çalışır, E. (2021). Spatial Characteristics of Wind and Wave Parameters Over the Sea of Marmara. *Ocean Engineering*, s. 222, 108640.
- Alpli, R. (2011). Ege Denizi-Akdeniz Dalga Atlası ve Küresel İklim Değişiminin Dalga İklimine Etkisi. *Yüksek Lisans Tezi*. YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Arı, H. A. (2009). İstatistiksel Bir Dalga Modeli Kurulumu ve Kıyı Boyu Katı Madde Taşınımının Modellenmesi. *Doktora Tezi*. YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Artüz, M. L., Okay, A., Mater, B., Artüz, O., Gürseler, G., & Okay, N. (2007). Bilimsel Açıdan Marmara Denizi.
- Bacanlı, D. Ç. (2015). Ayvalık- Bozcada- Bandırma Kıyı Bölgeleri için Rüzgar ve Dalga İklimi Çalışması. *Yüksek Lisans Tezi*, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Balıkesir.
- Bishop, C. T. (1983). Comparison of Manual Wave Prediction Models. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 109(1), 1-17.
- Bishop, C., Donelan, M., & Kahma, K. (1992). Shore Protection Manual's Wave Prediction Reviewed. *Coastal Engineering*, 17(1-2), 25-48.
- Chu, P. C., Qi, Y., Chen, Y., Shi, P., & Mao, Q. (2004). South China Sea Wind-Wave Characteristics. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 21(11), 1718-1733.
- DHI. (2017). MIKE 21 SW Spectral Waves FM-User Guide. DHI Water and Environment, Denmark.
- Erturaç, M. K. (2002). Marmara Denizi Kıyıları Veri Tabanı. *Yüksek Lisans Tezi*. İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Katı Yerbilimleri Anabilim Dalı, İstanbul.
- Frigaard, Ø., Grong, Ø., & Midling, O. T. (2001). A Process Model for Friction Stir Welding of Age Hardening Aluminum Alloys. *Metallurgical and materials transactions A*, 32(5), 1189-1200.
- Group, T. S. (1985). Ocean Wave Modeling, Springer, Boston, MA.
- Güner, H. A., Yüksel, Y., & Çevik, E. Ö. (2013). Estimation of Wave Parameters Based on Nearshore Wind-Wave Correlations. *Ocean Engineering*, 63, 52-62.
- Günther, H., Hasselman, S., & Janssen, P. (1992). *The WAM Model Cycle 4*. DKRZ Technical Report No 4, Hamburg.
- Hoque, M. A., Perrie, W., & Solomon, S. M. (2017). Evaluation of Two Spectral Wave Models for Wave Hindcasting in the Mackenzie Delta. *Applied Ocean Research*, 62, 169-180.
- Kutupoğlu, V. Ç. (2018). Setup and Evaluation of a SWAN Wind Wave Model for the Sea of Marmara. *Ocean Engineering*, 165, 450-464.

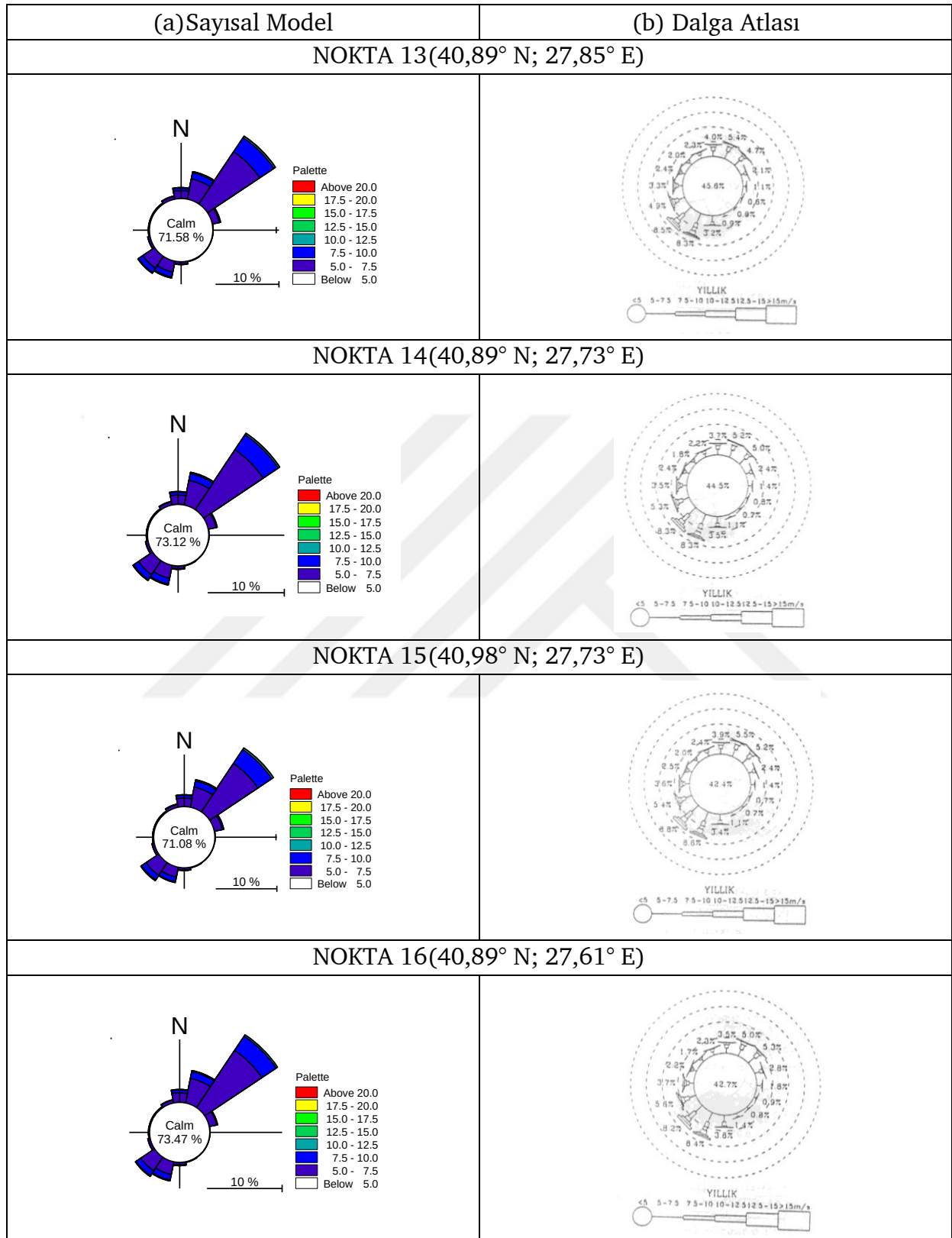
- Mandal, S., & Prabakaran, N. (2010). Ocean Wave Prediction Using Numerical and Neural Network Models. *The Open Ocean Engineering Journal*, 3(1).
- Massel, S. R. (1996). Ocean Surface Waves: Their Physics and Prediction. *World Scientific (Vol. 11)* .
- Özhan, E., & Abdalla, S. (1999). Turkish Coast Wind and Deep Water Wave Atlas, Applied Project Report. Middle East Technical University, Civil Engineering Department Ocean Engineering Research Center, Ankara, Turkey.
- Remya, P. G., Kumar, R., Basu, S., & Sarkar, A. (2012). Wave Hindcast Experiments in the Indian Ocean Using MIKE 21 SW Model. *Journal of Earth System Science*, 121(2), 385-392.
- Saraçoğlu, K. E. (2011). Karadeniz ile Marmara Denizi Dalga Modellemesi ve Analizi. *Yüksek Lisans Tezi*, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Şahin, C. (2007). Parametrik Rüzgar Dalgası Modellemesi ve Batı Karadeniz Uygulaması. *Yüksek Lisans Tezi*, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Umesh, P. A., Swain, J., & Balchand, A. N. (2018). Inter-comparison of WAM and WAVEWATCH-III in the North Indian Ocean Using ERA-40 and QuikSCAT/NCEP Blended Winds. *Ocean Engineering*, 164, 298-321.
- Vieira, F., Cavalcante, G., & Campos, E. (2020). Analysis of Wave Climate and Trends in a Semi-enclosed Basin (Persian Gulf) Using a Validated SWAN Model. *Ocean Engineering*, 196, 106821.
- Yuksel, Y., Yuksel, Z. T., Islek, F., Sahin, C., & Guner, H. A. (2021). Spatiotemporal long-term trends of wind and wave climate and extreme characteristics over the Sea of Marmara. *Ocean Engineering*, 228, 108946.
- Yüksel, Y., Çevik, E., & Çelikoğlu, Y. (1998). Kıyı ve Liman Mühendisliği. TMMOB, İMO Ankara Şubesi, Ankara.

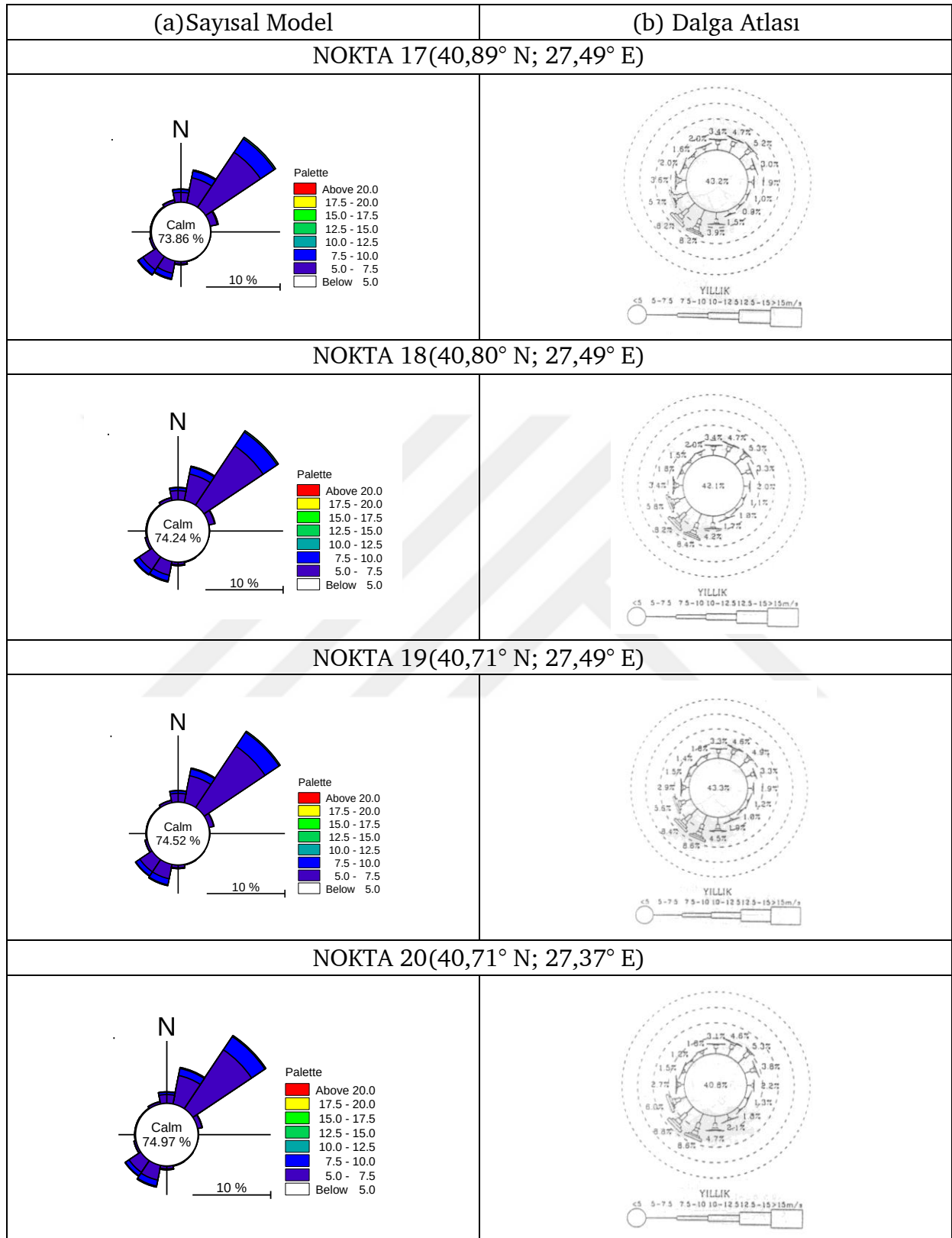
MARMARA DENİZİ RÜZGAR GÜLLERİ

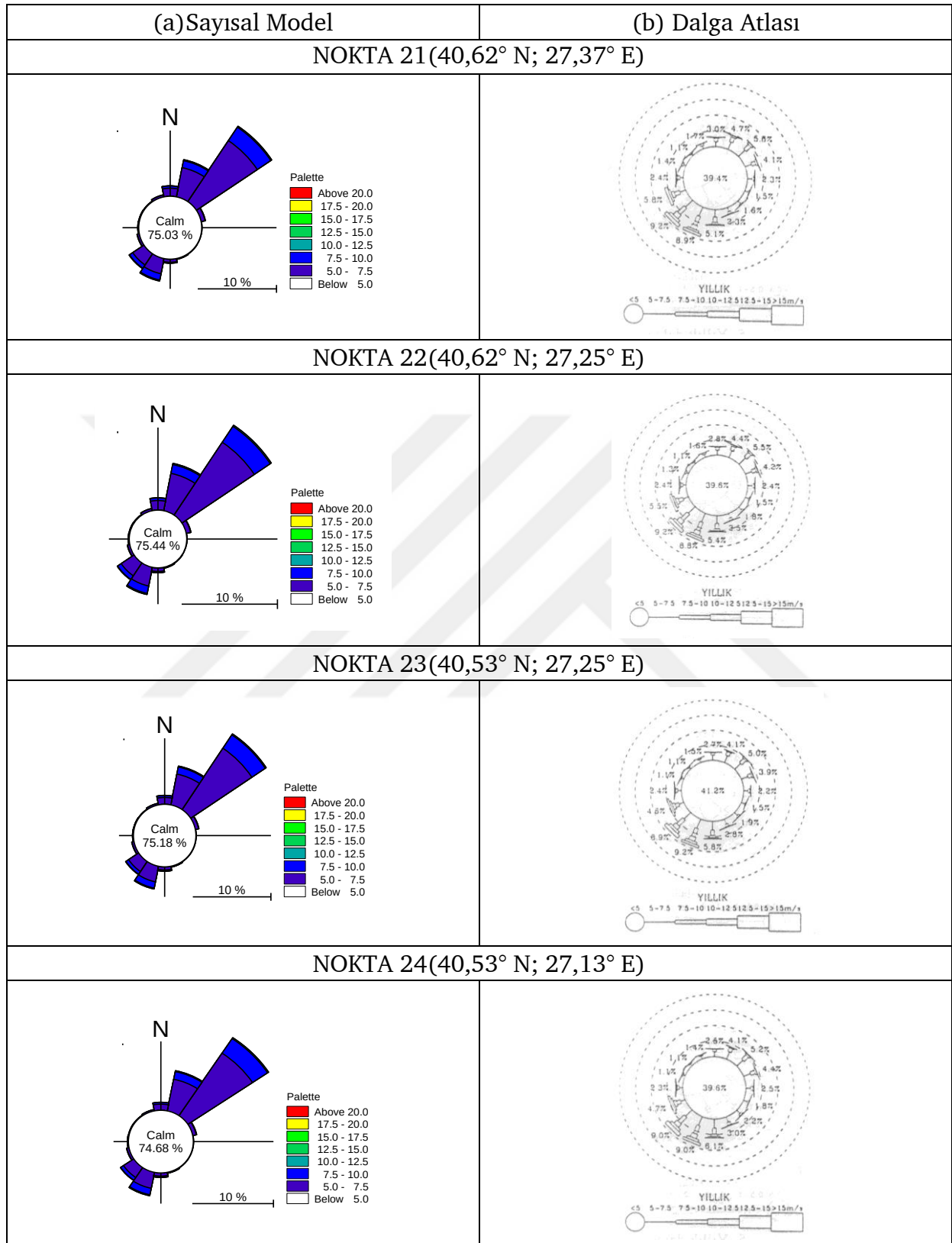


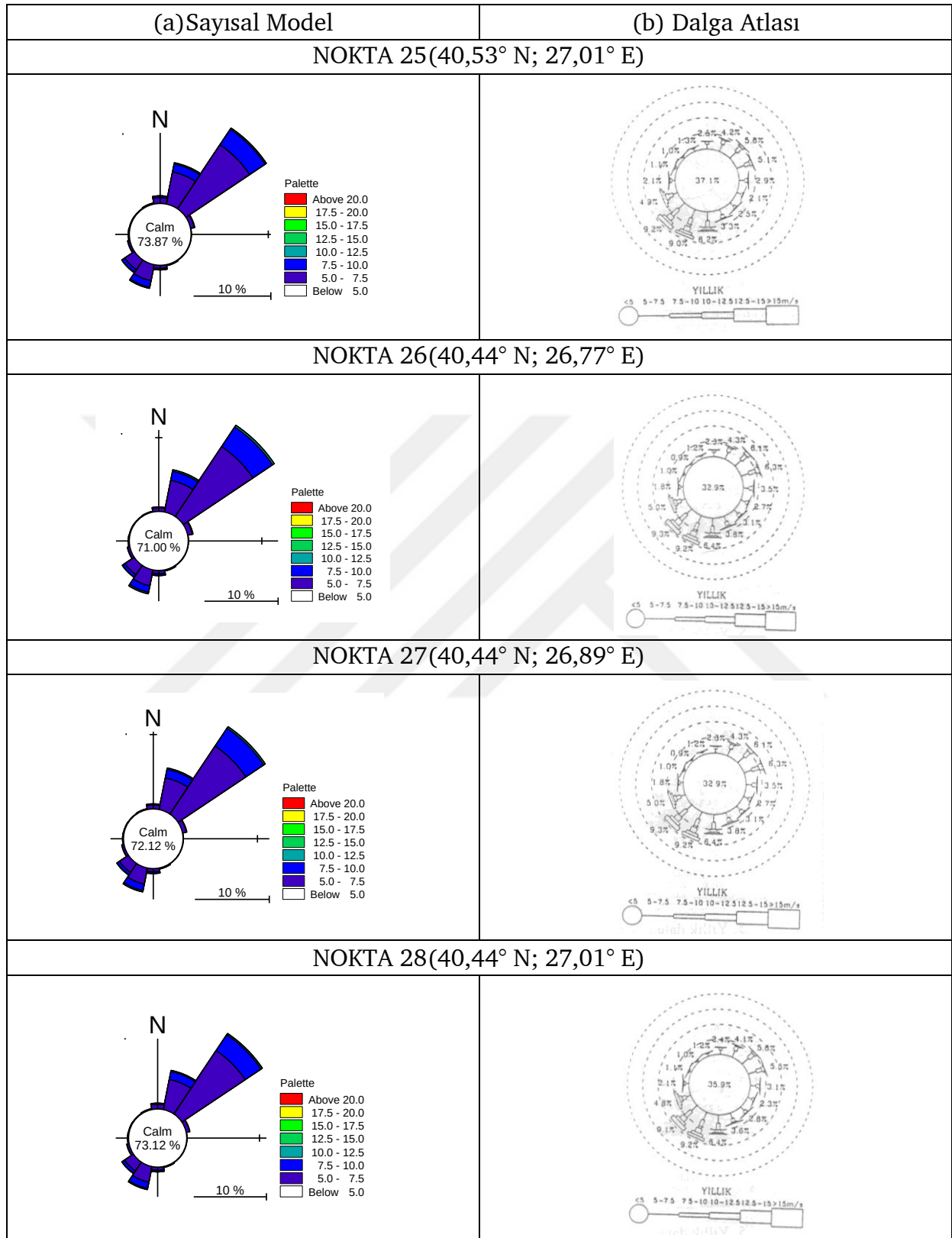


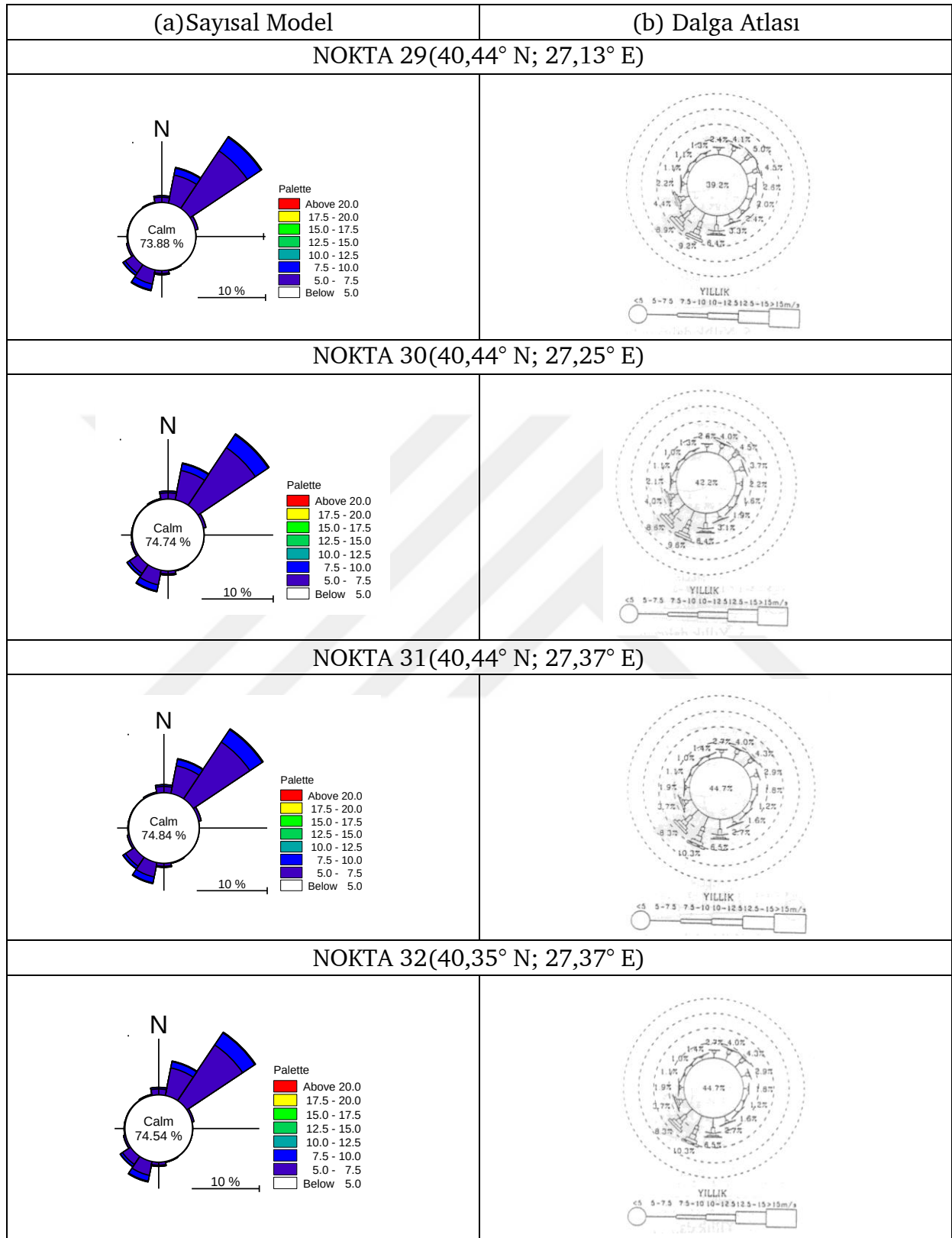


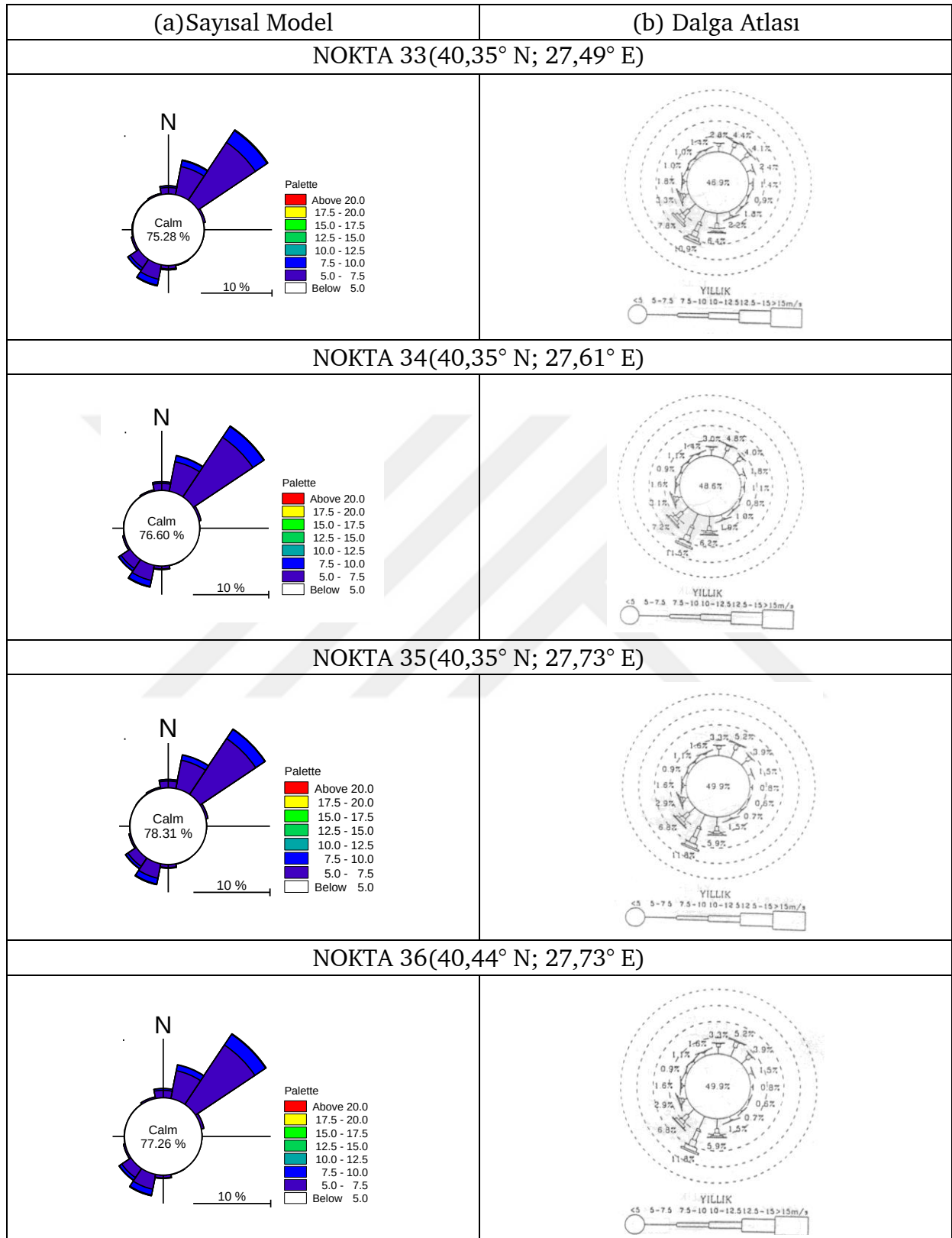


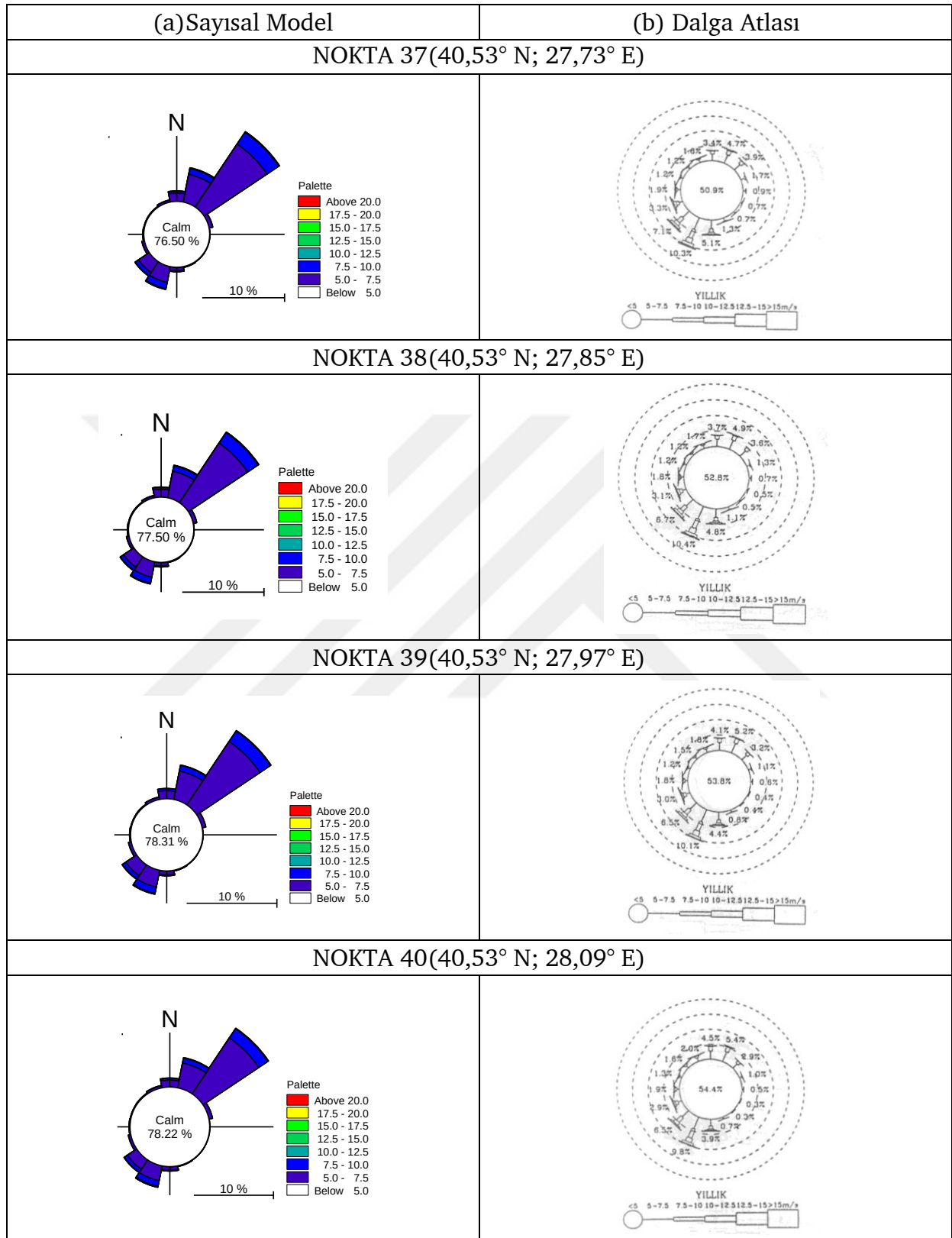


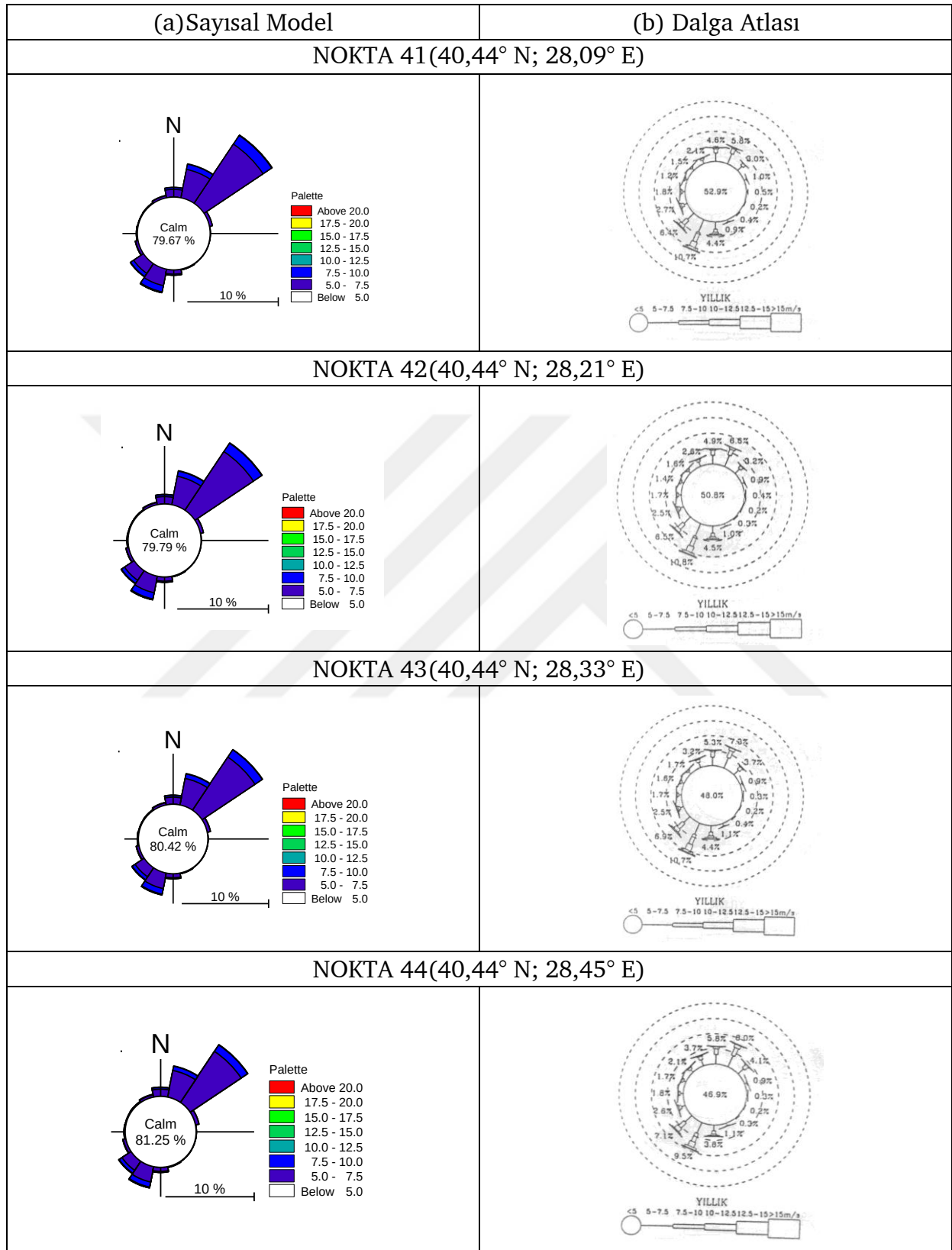


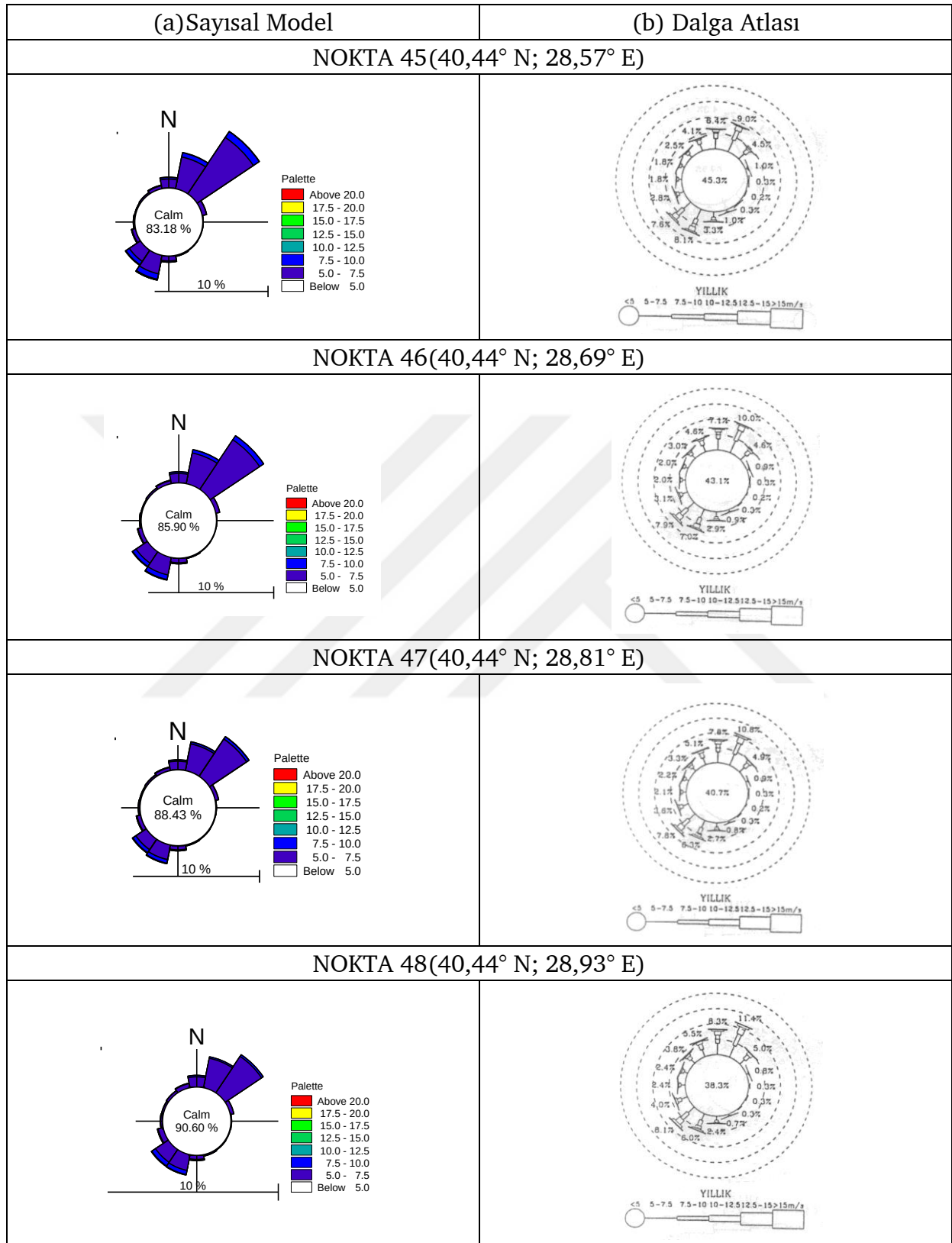


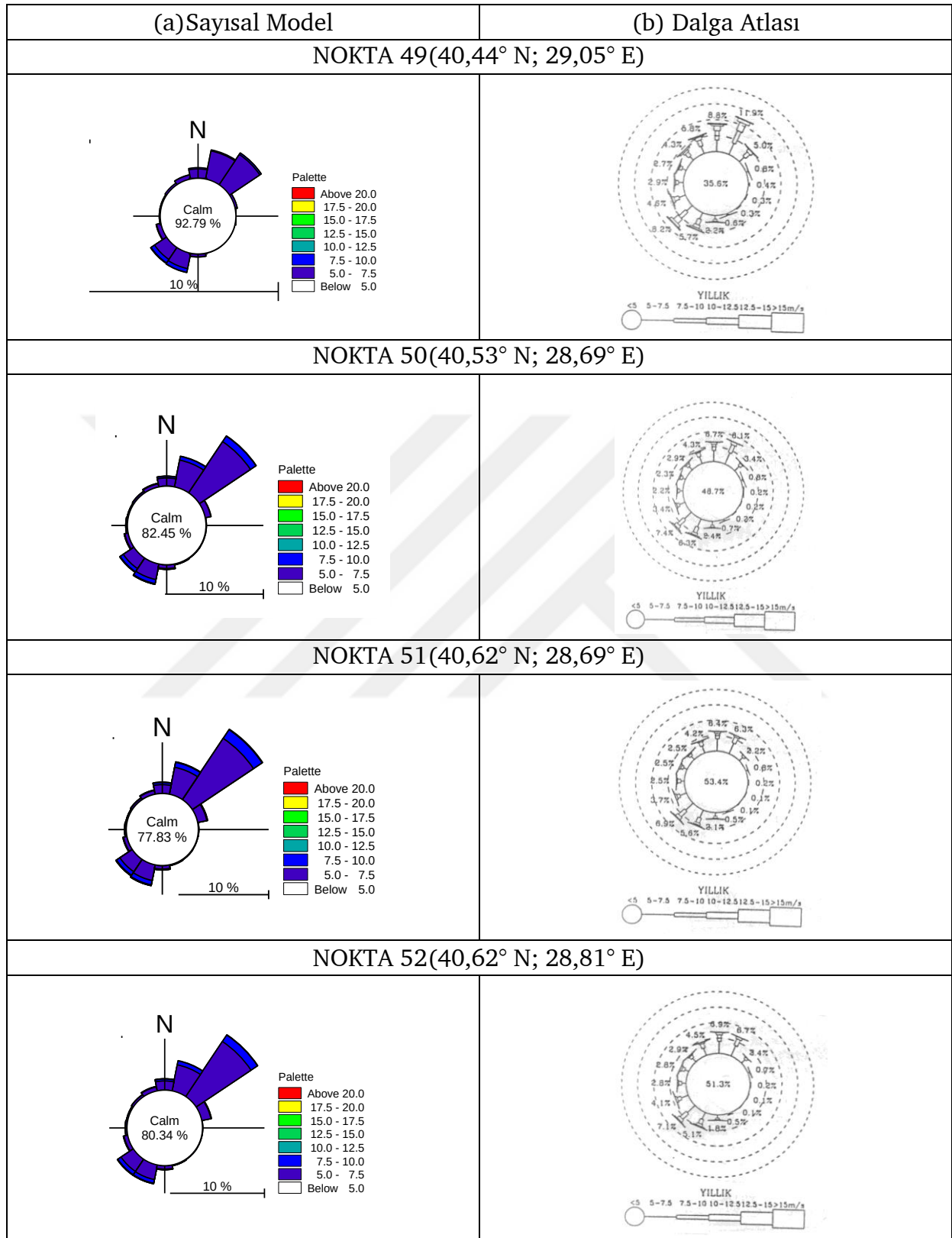


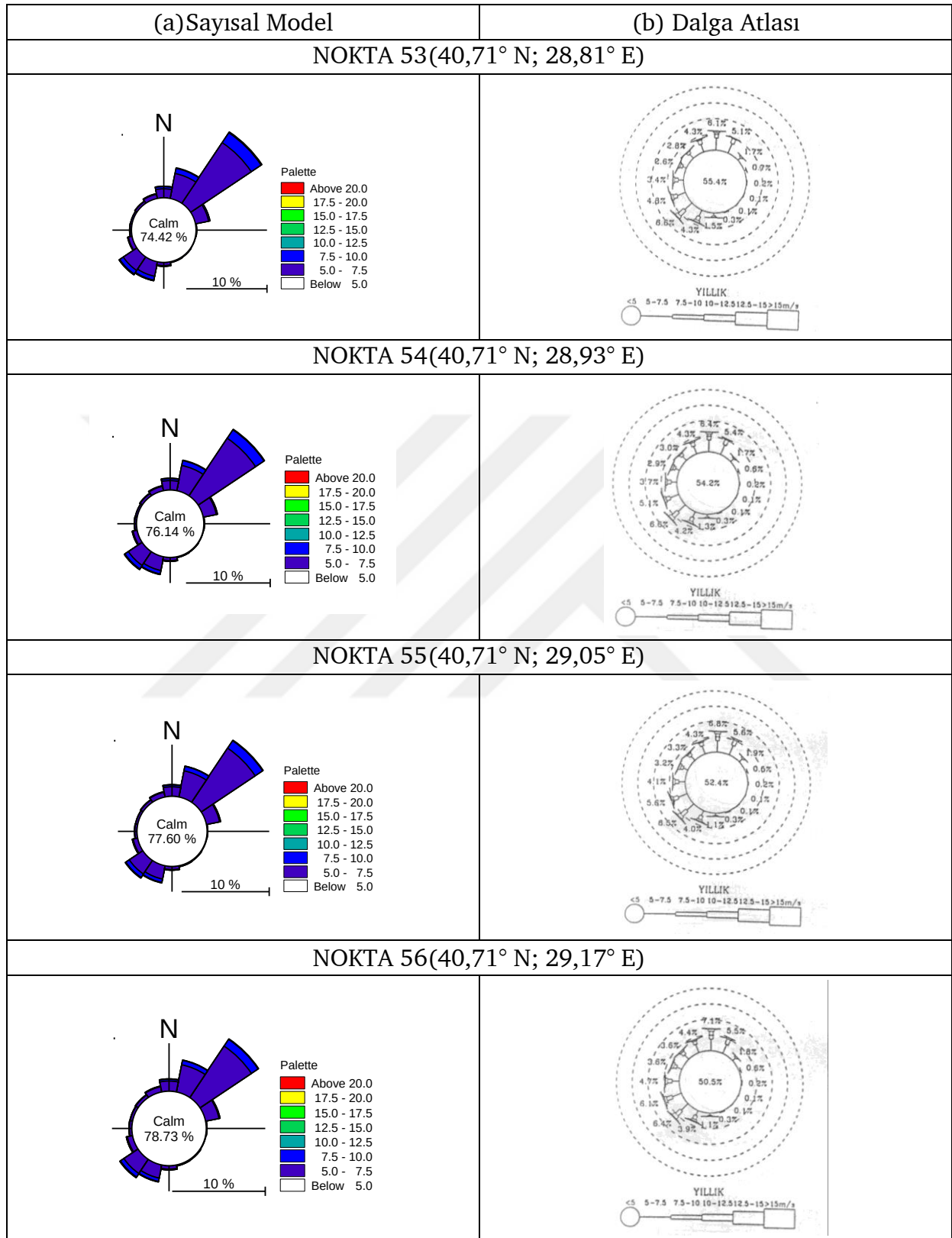


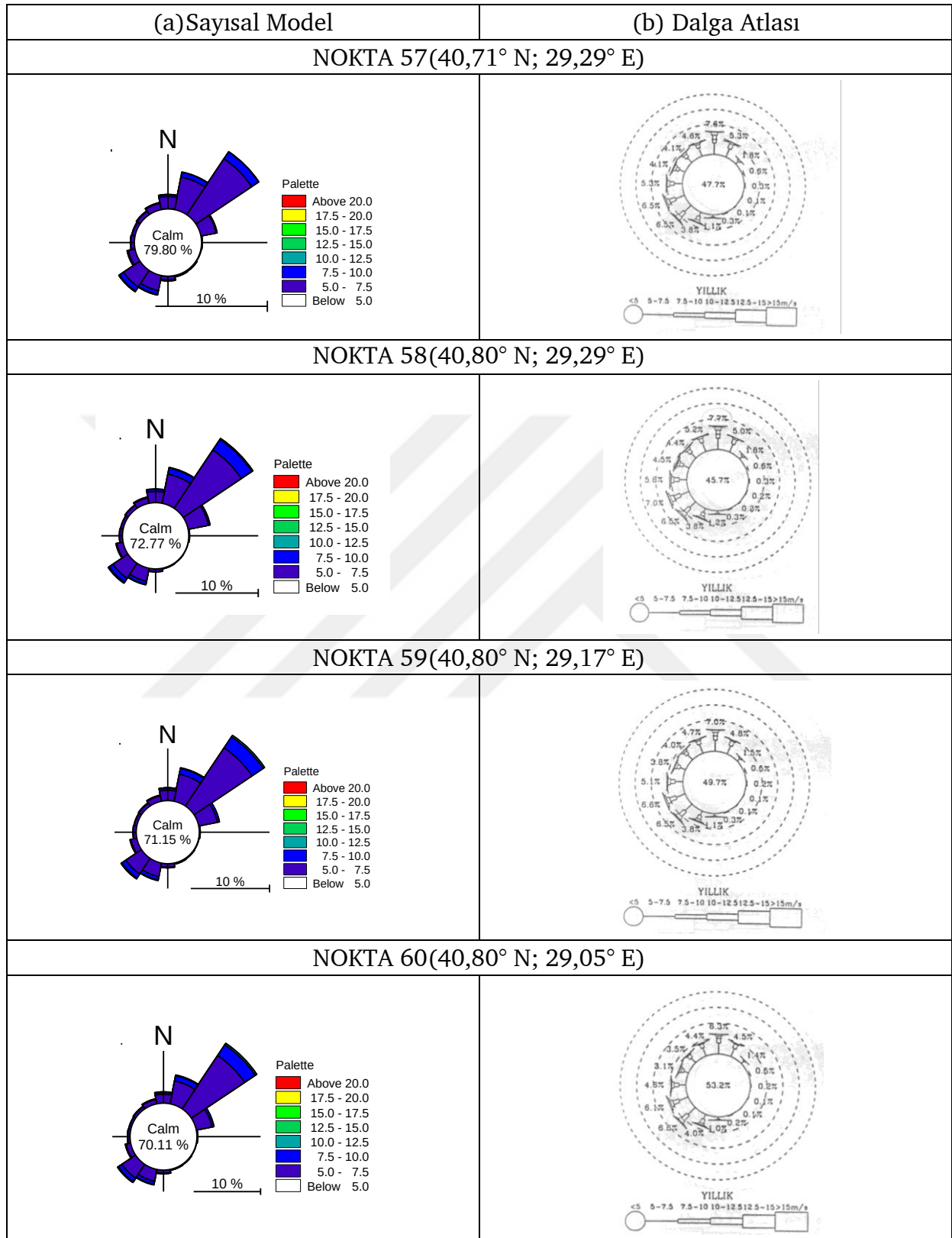


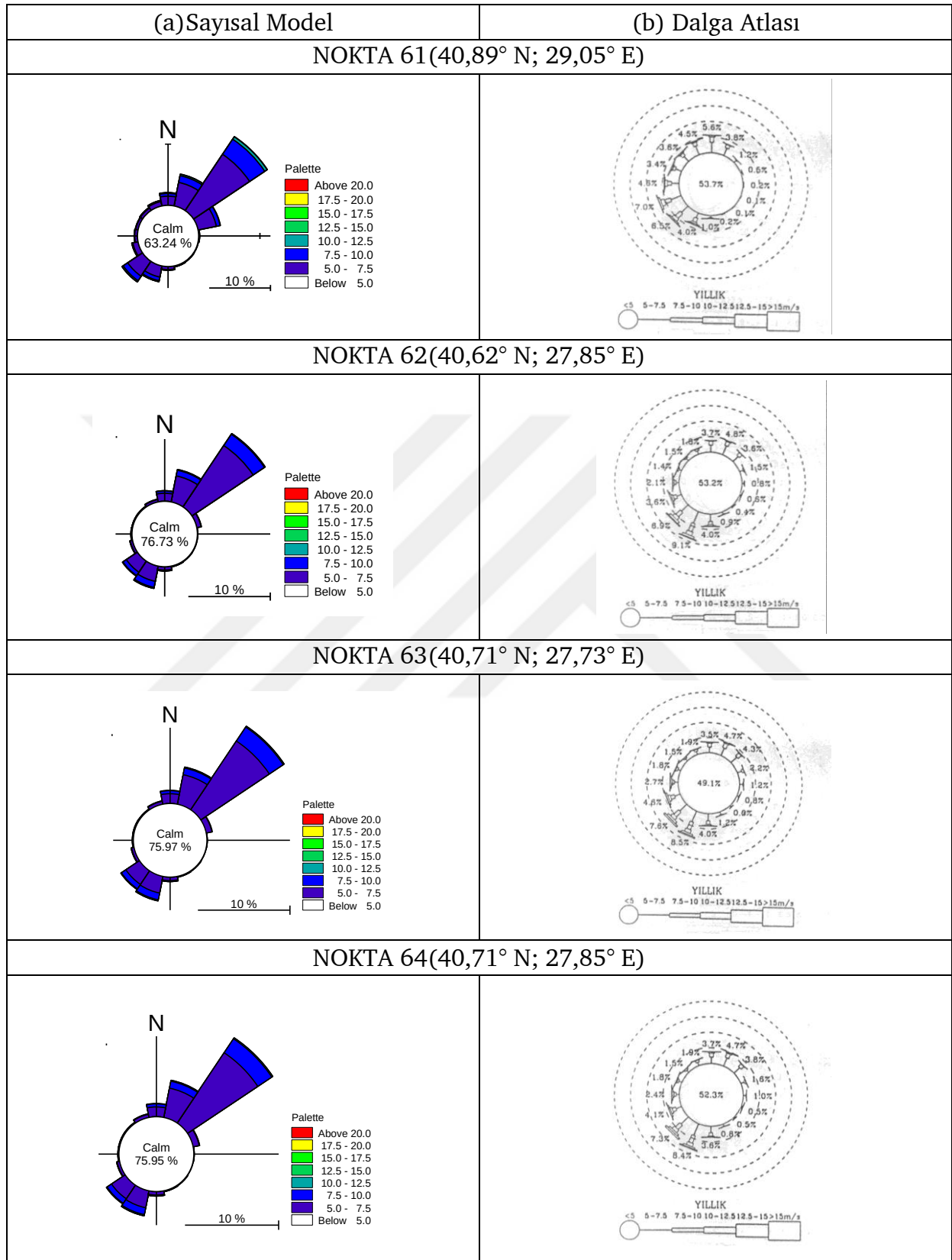


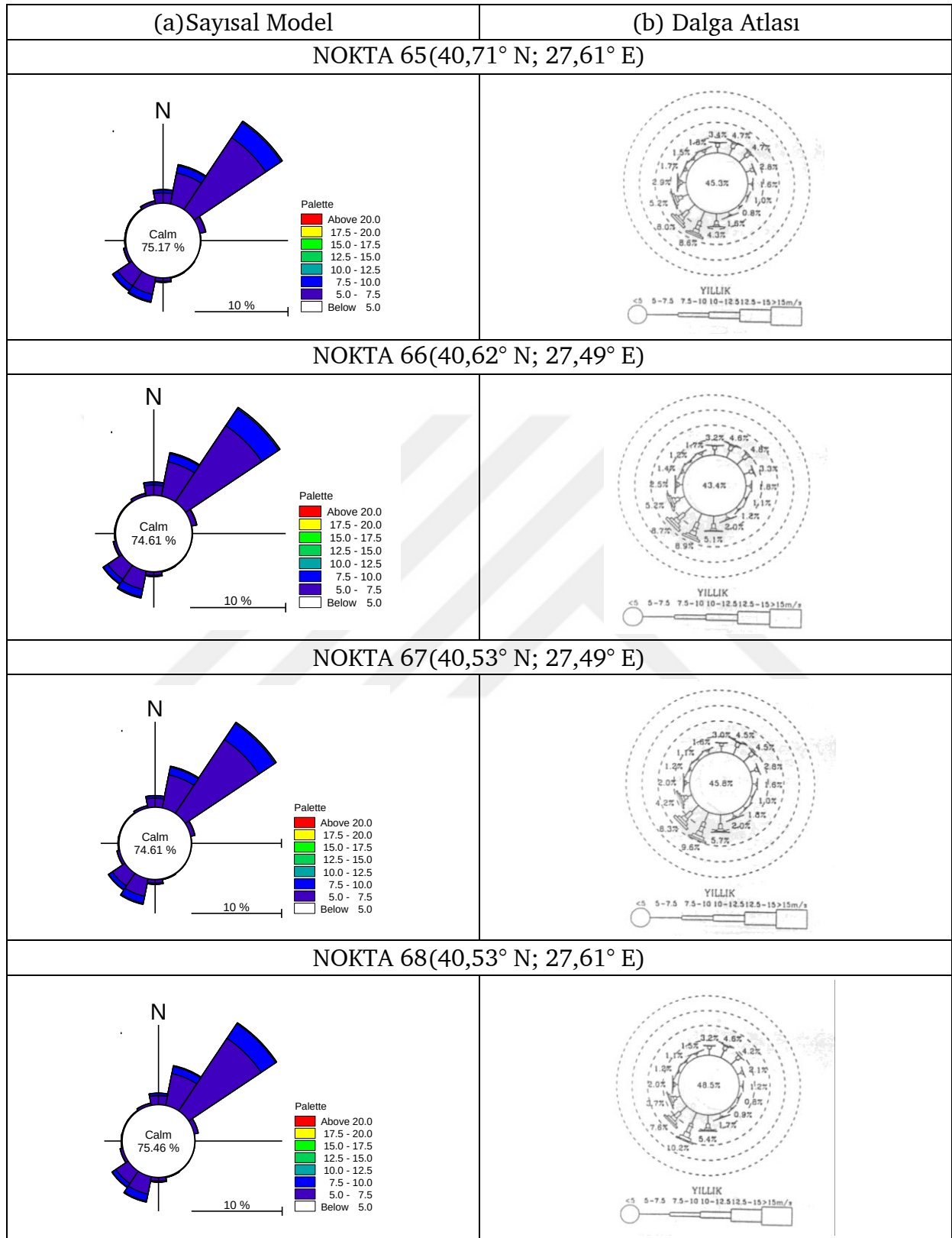






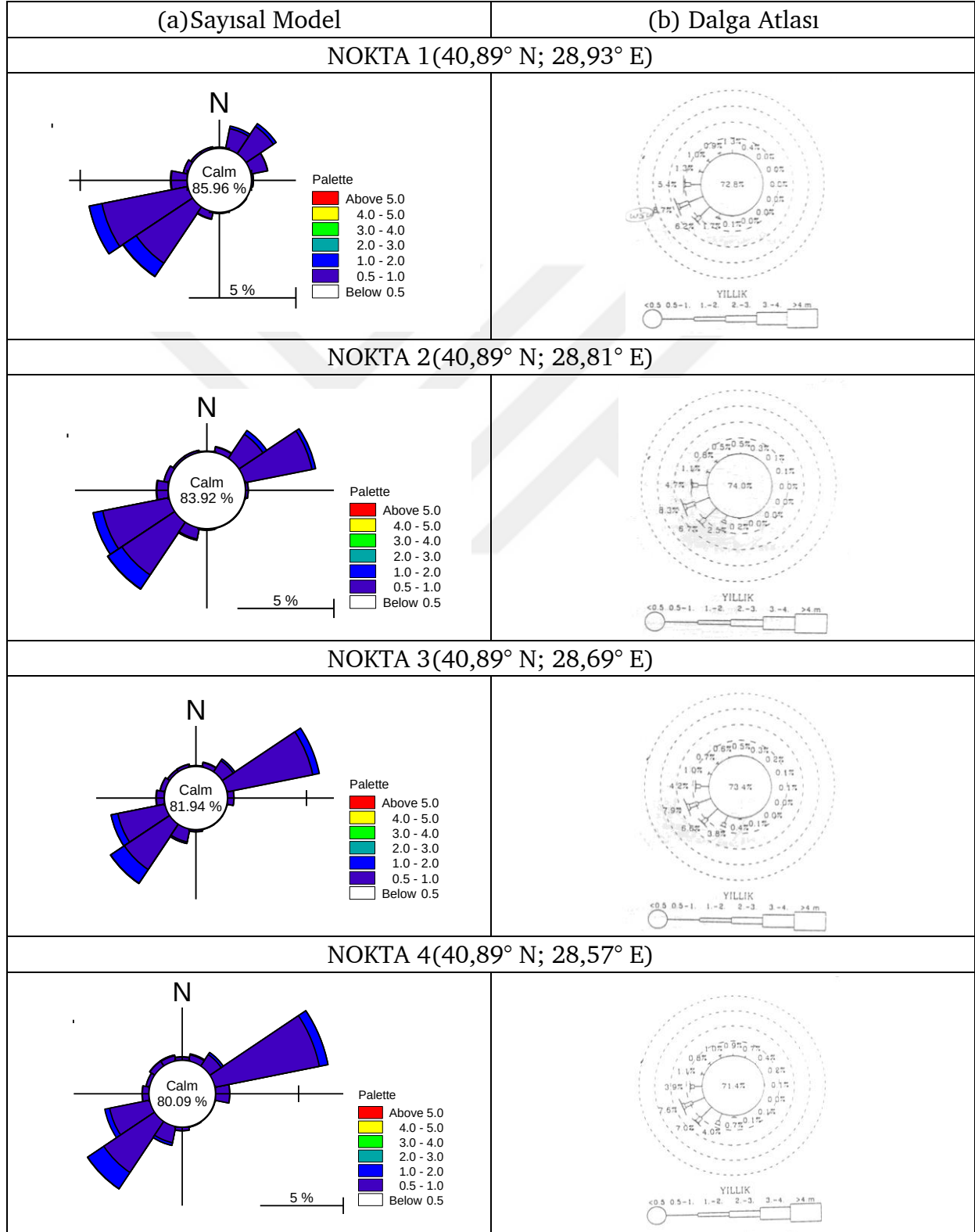


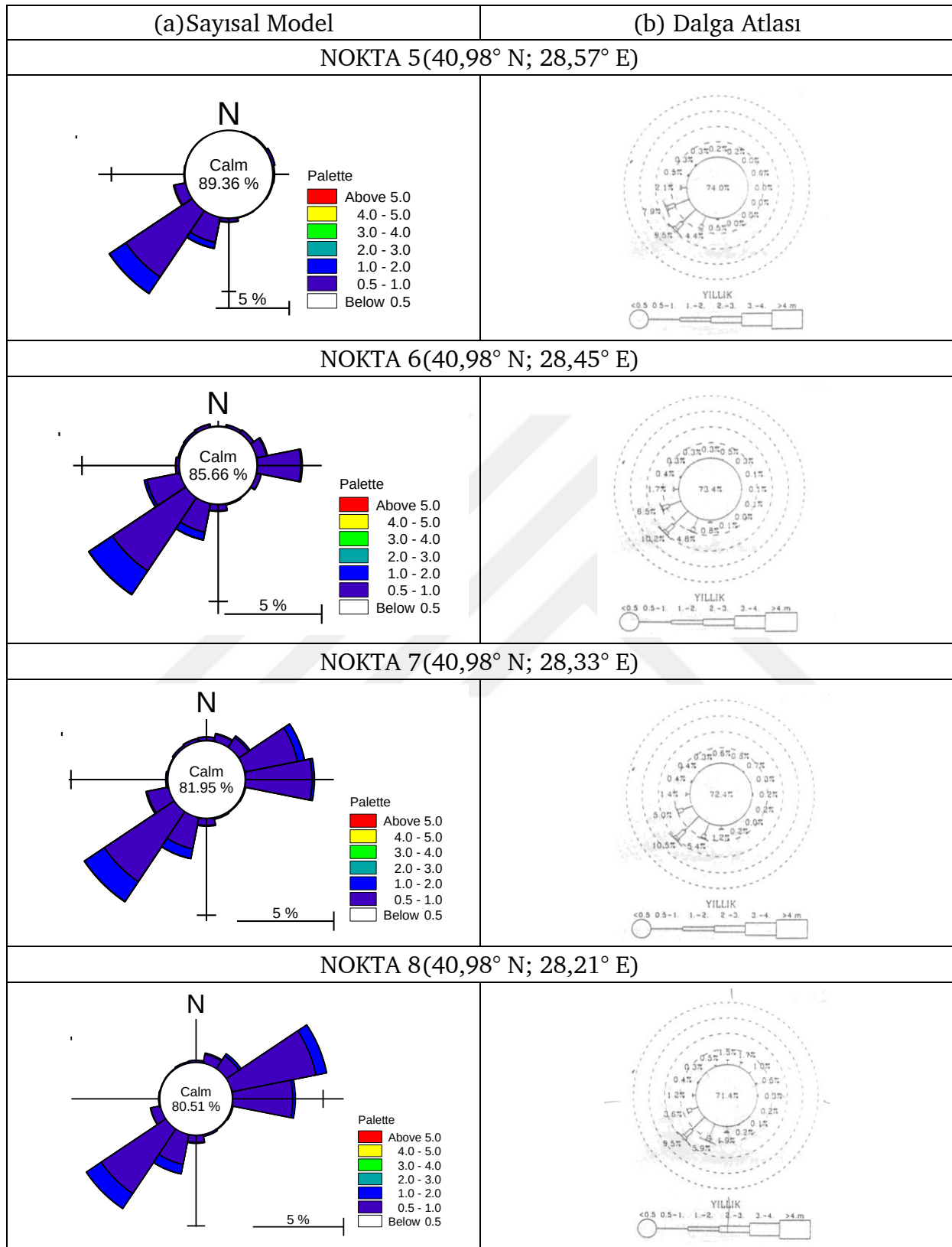


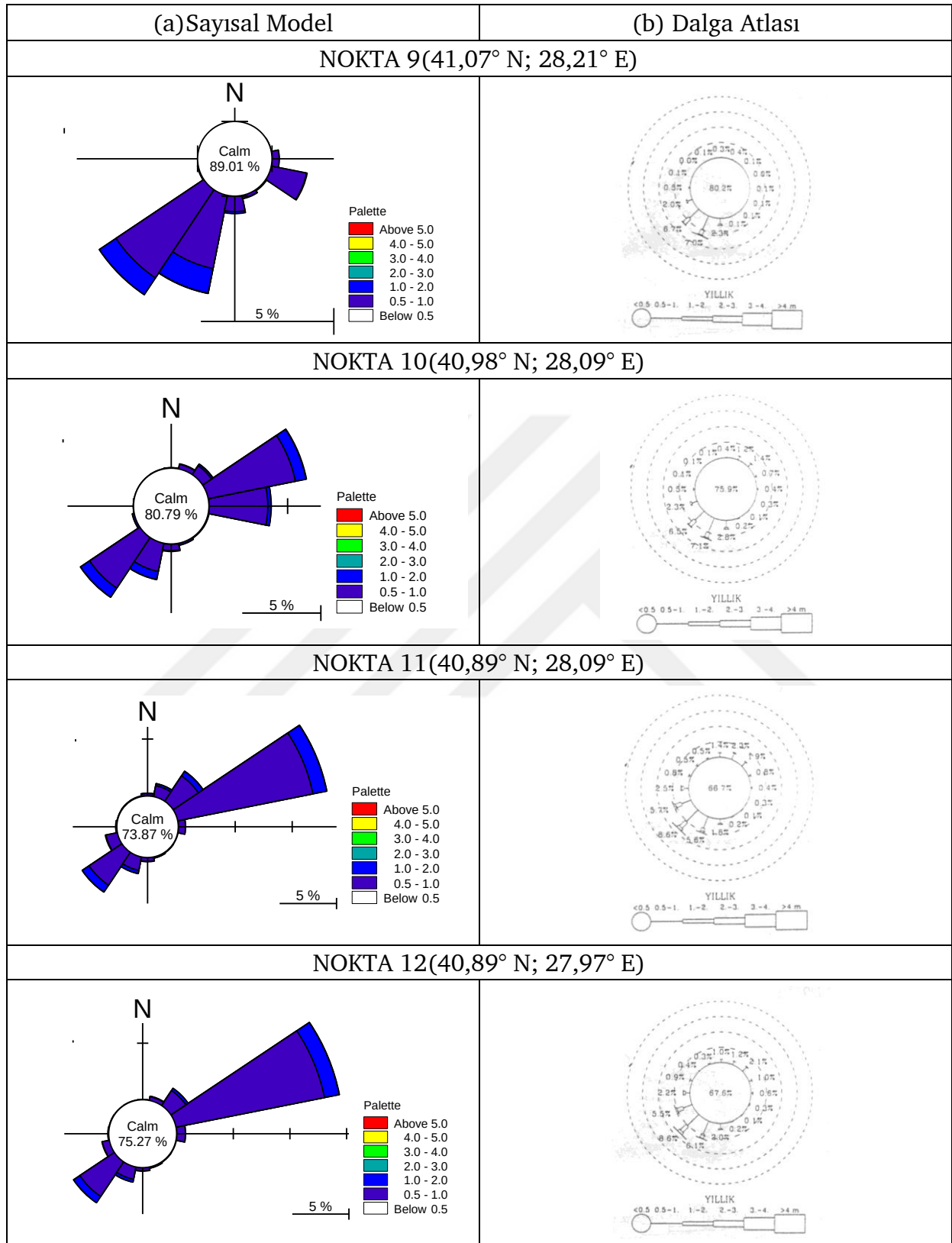


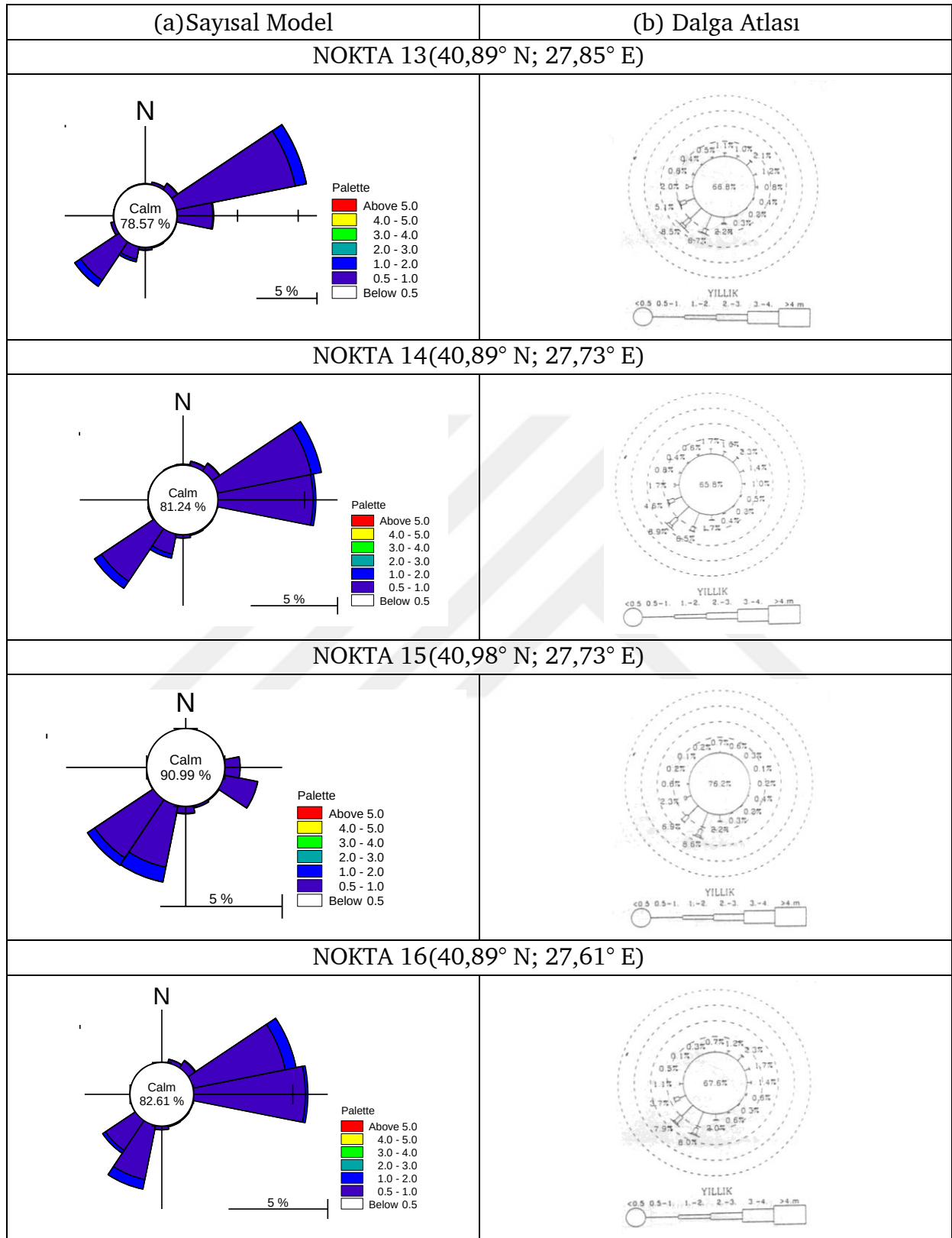
B

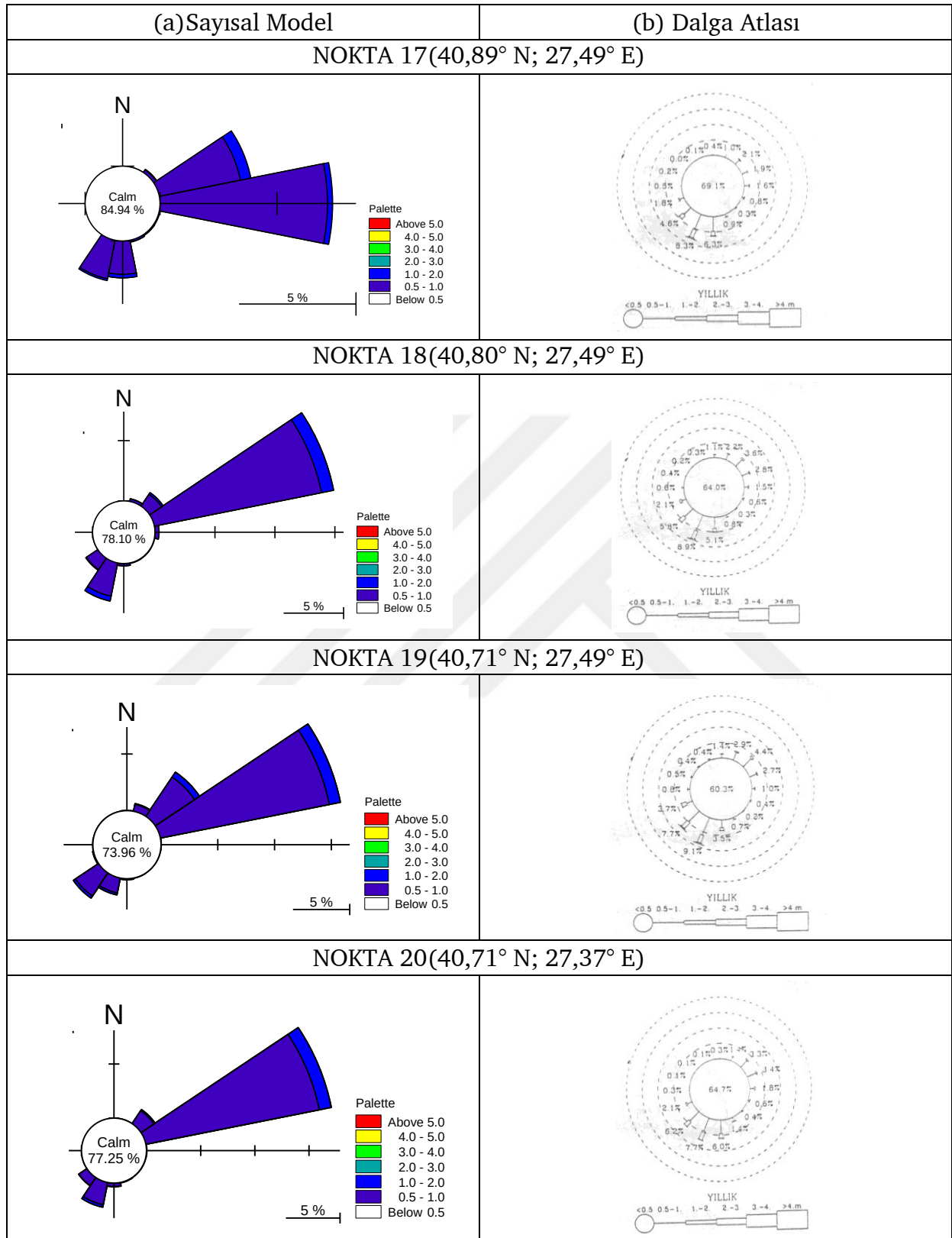
MARMARA DENİZİ DALGA GÜLLERİ

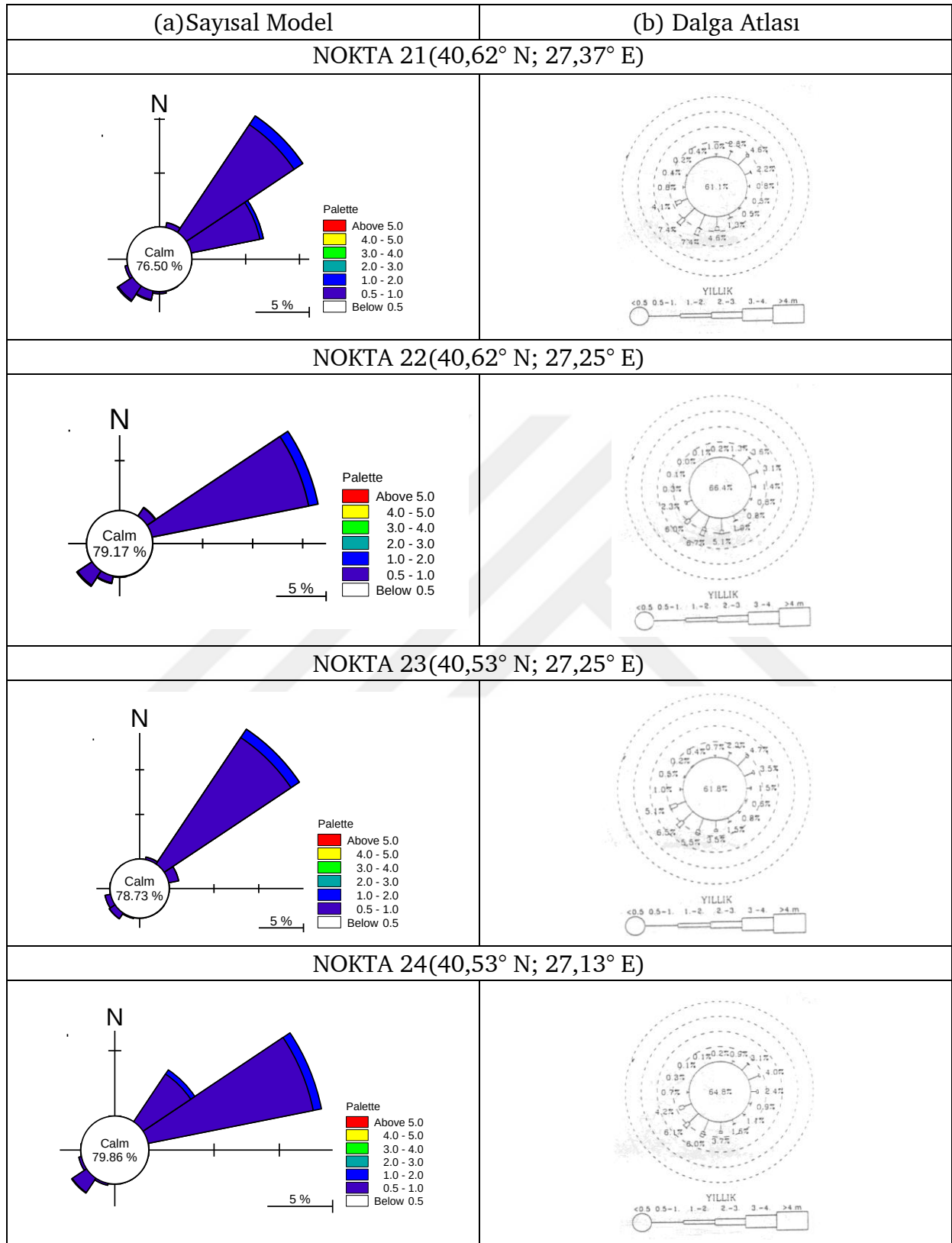


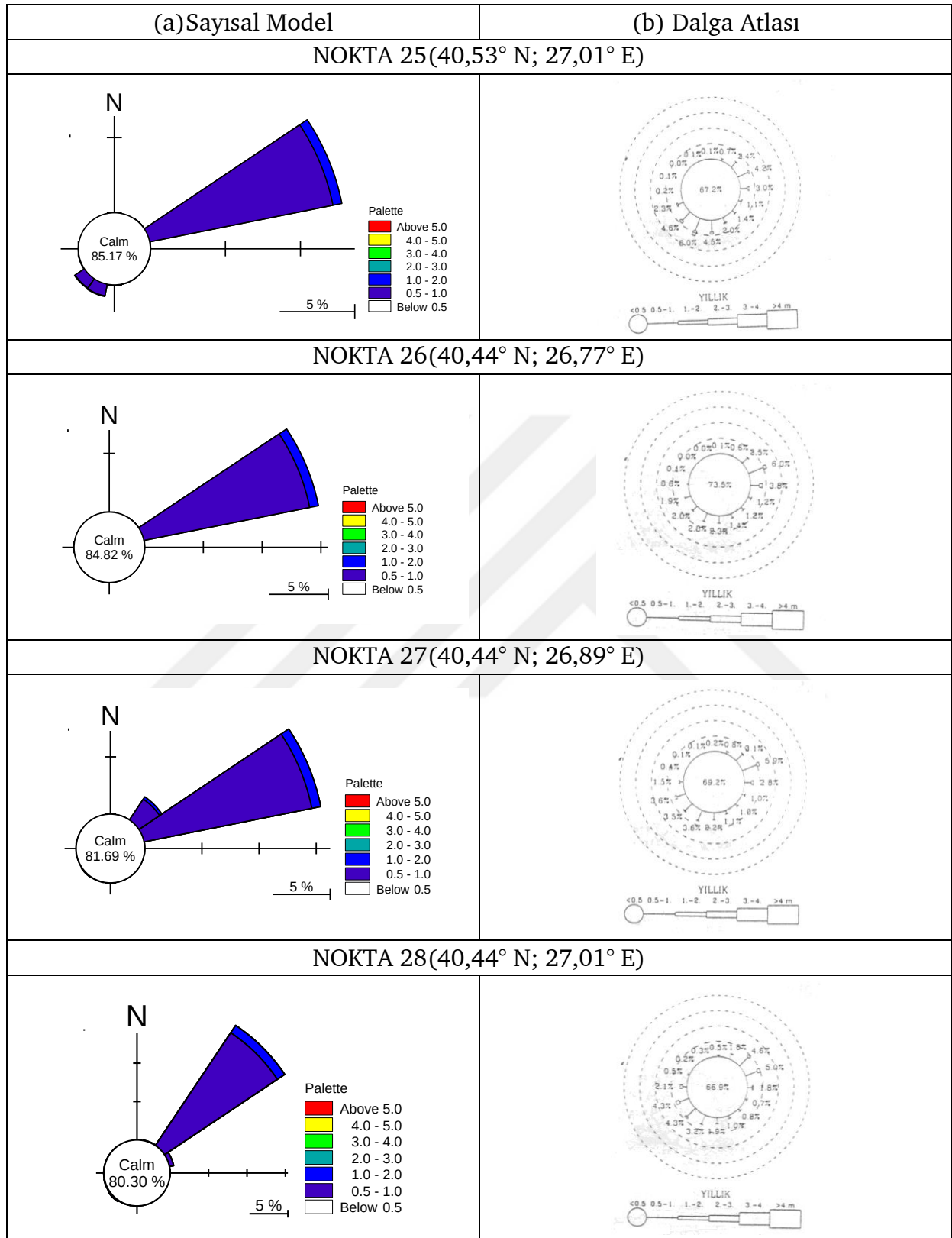


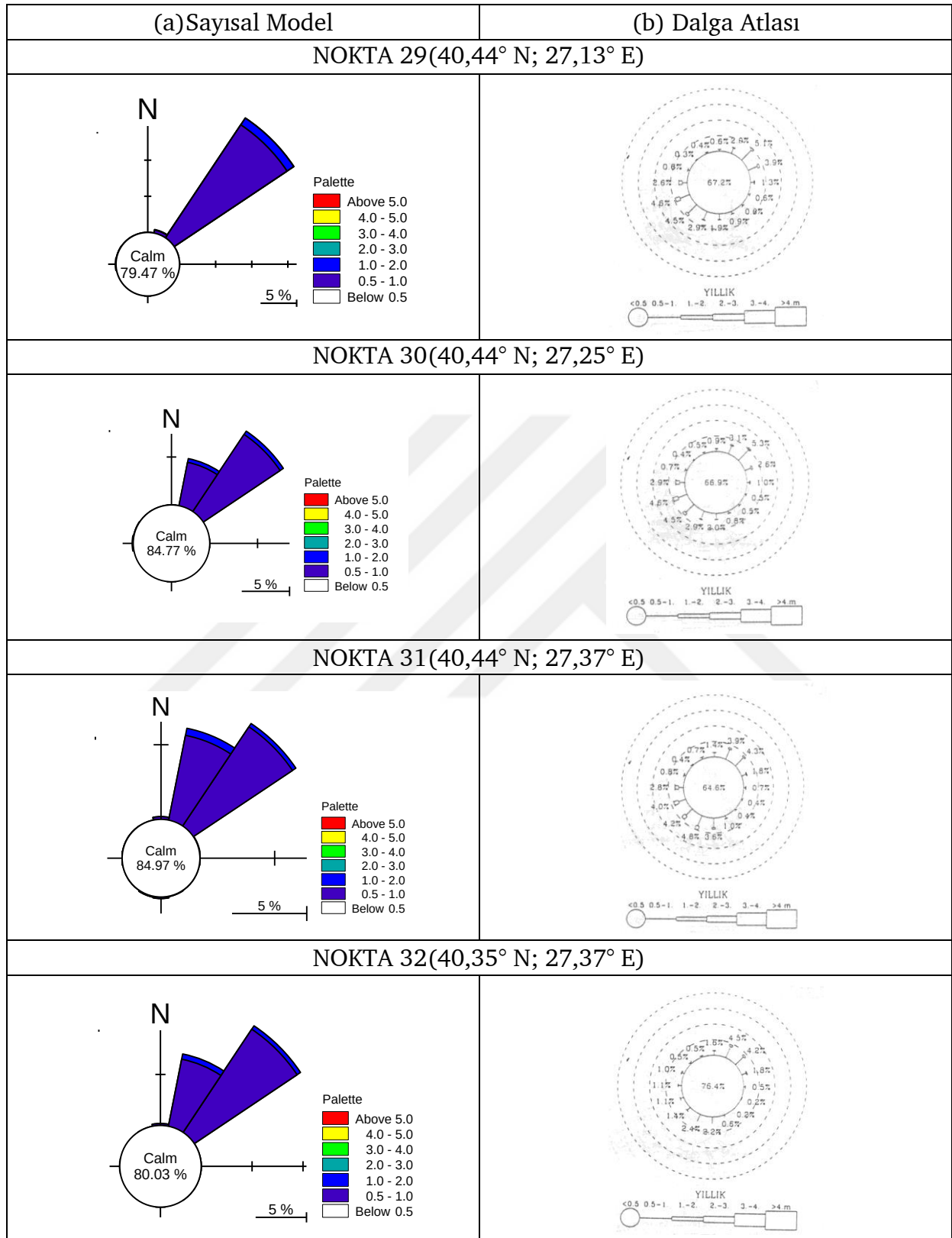


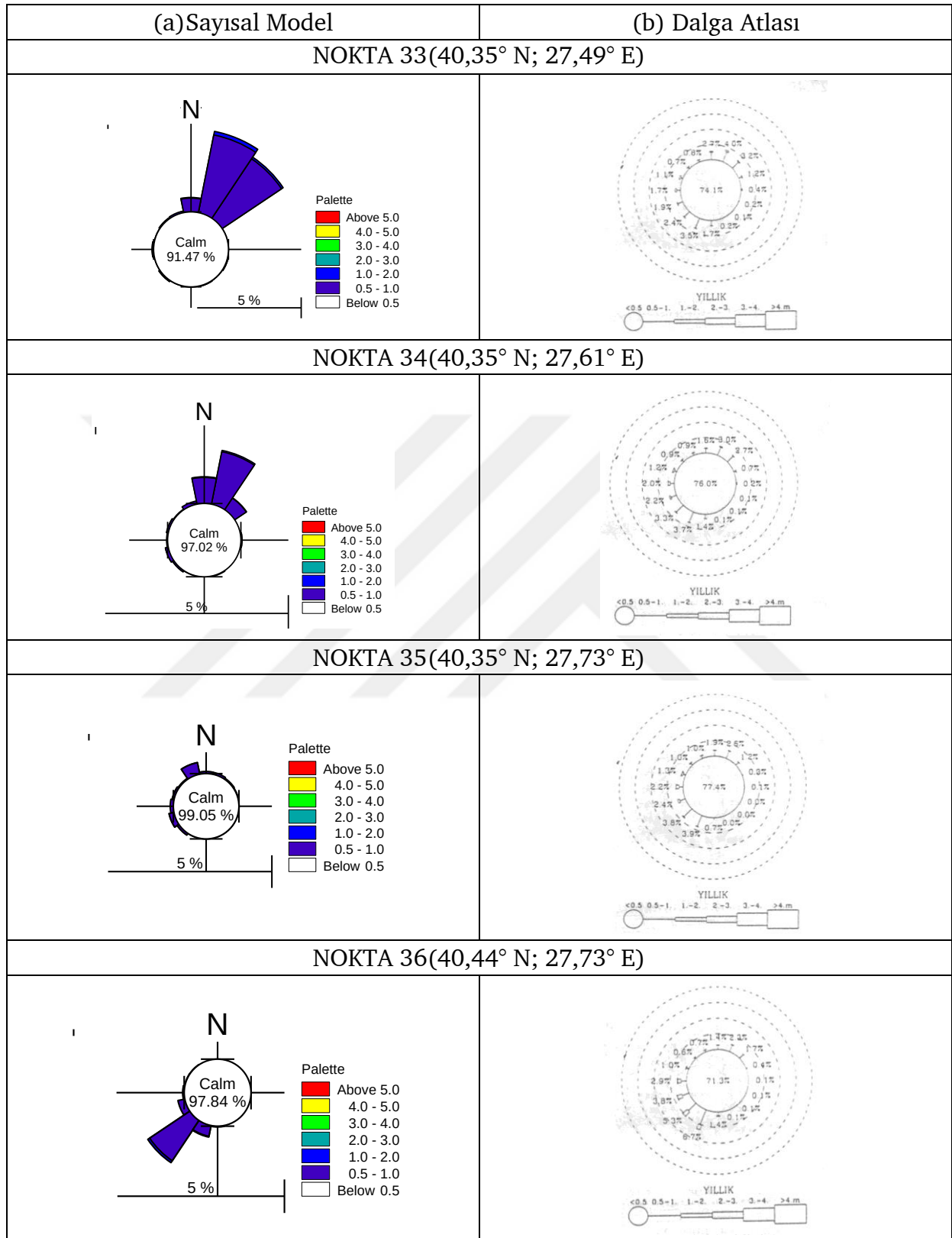


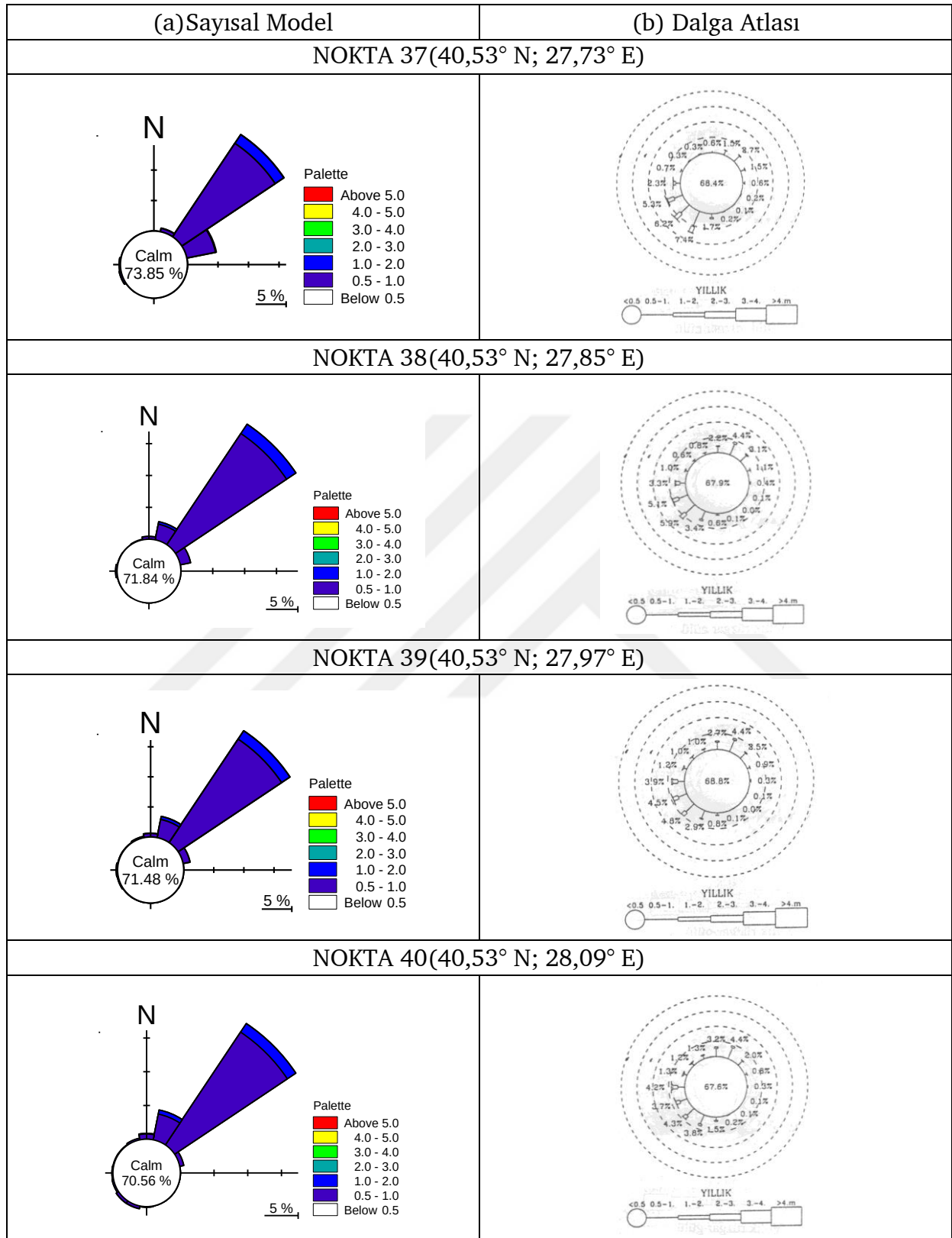


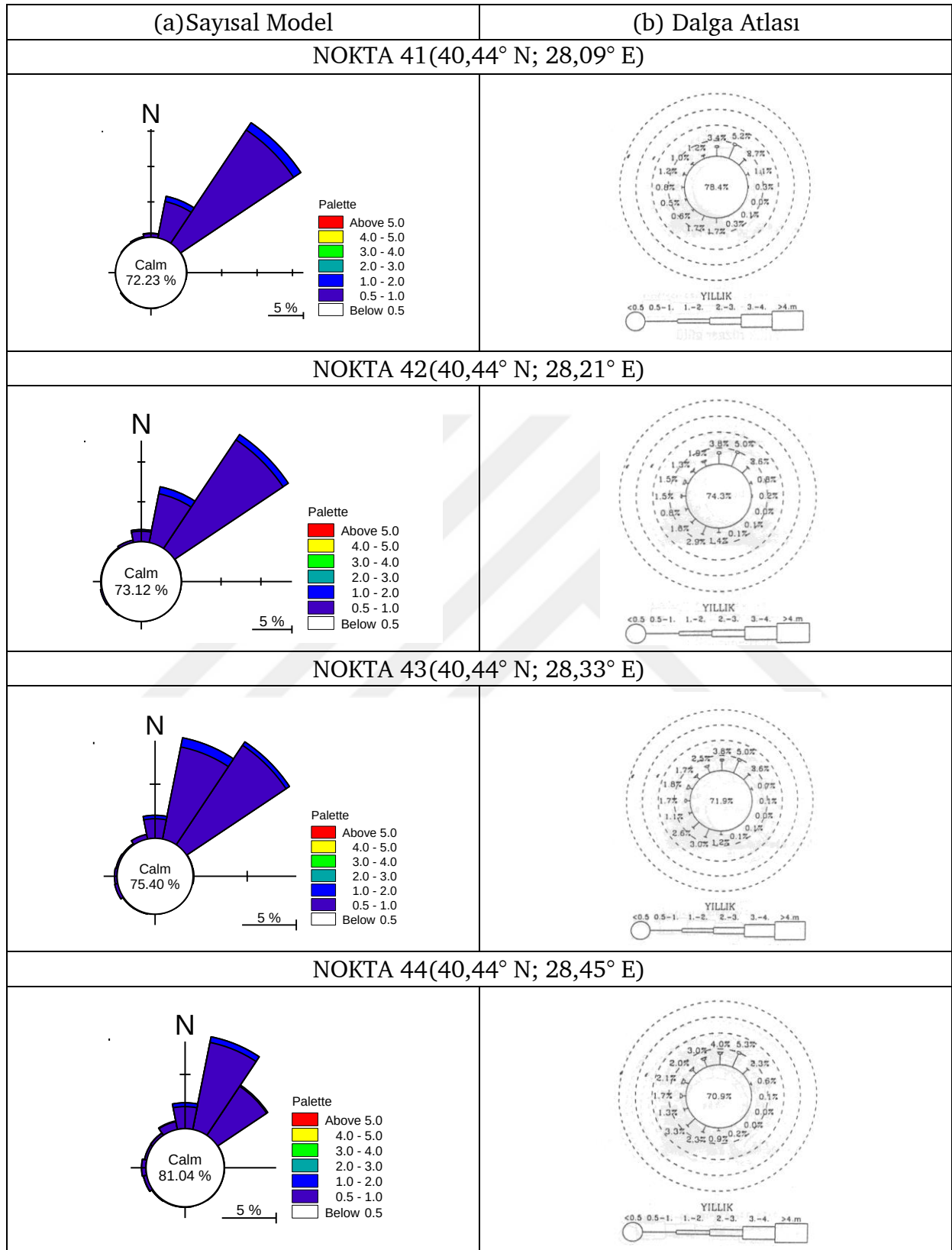


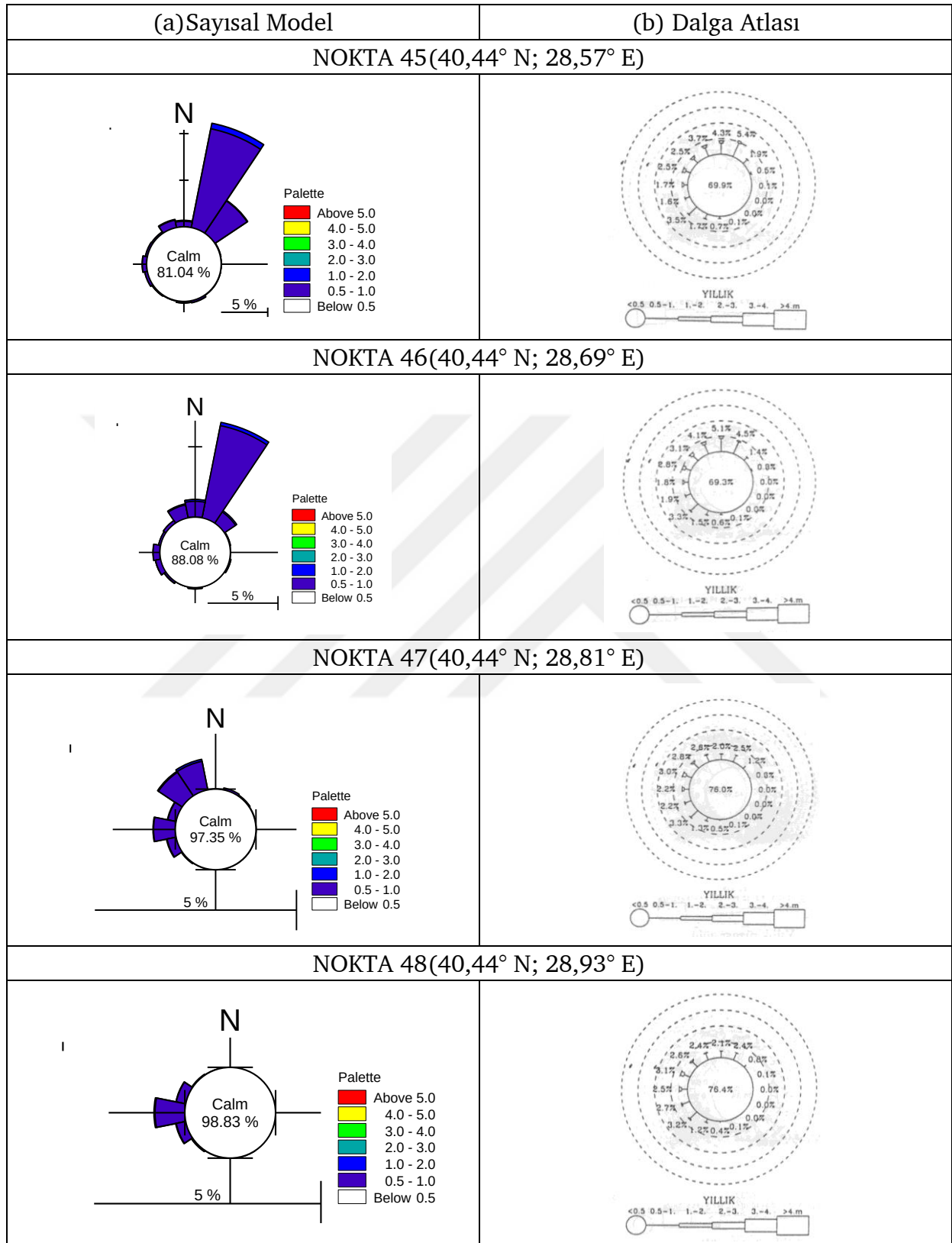


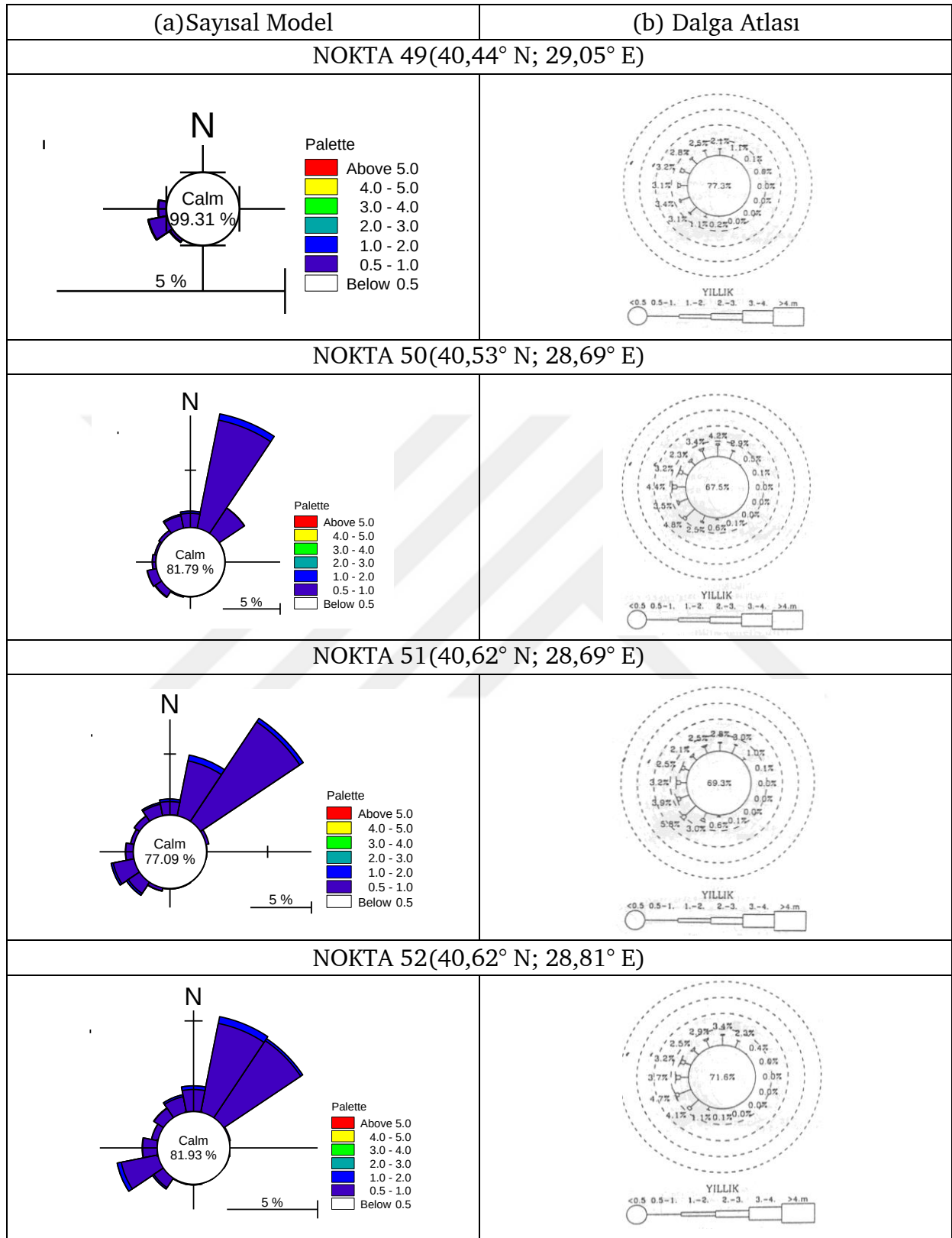


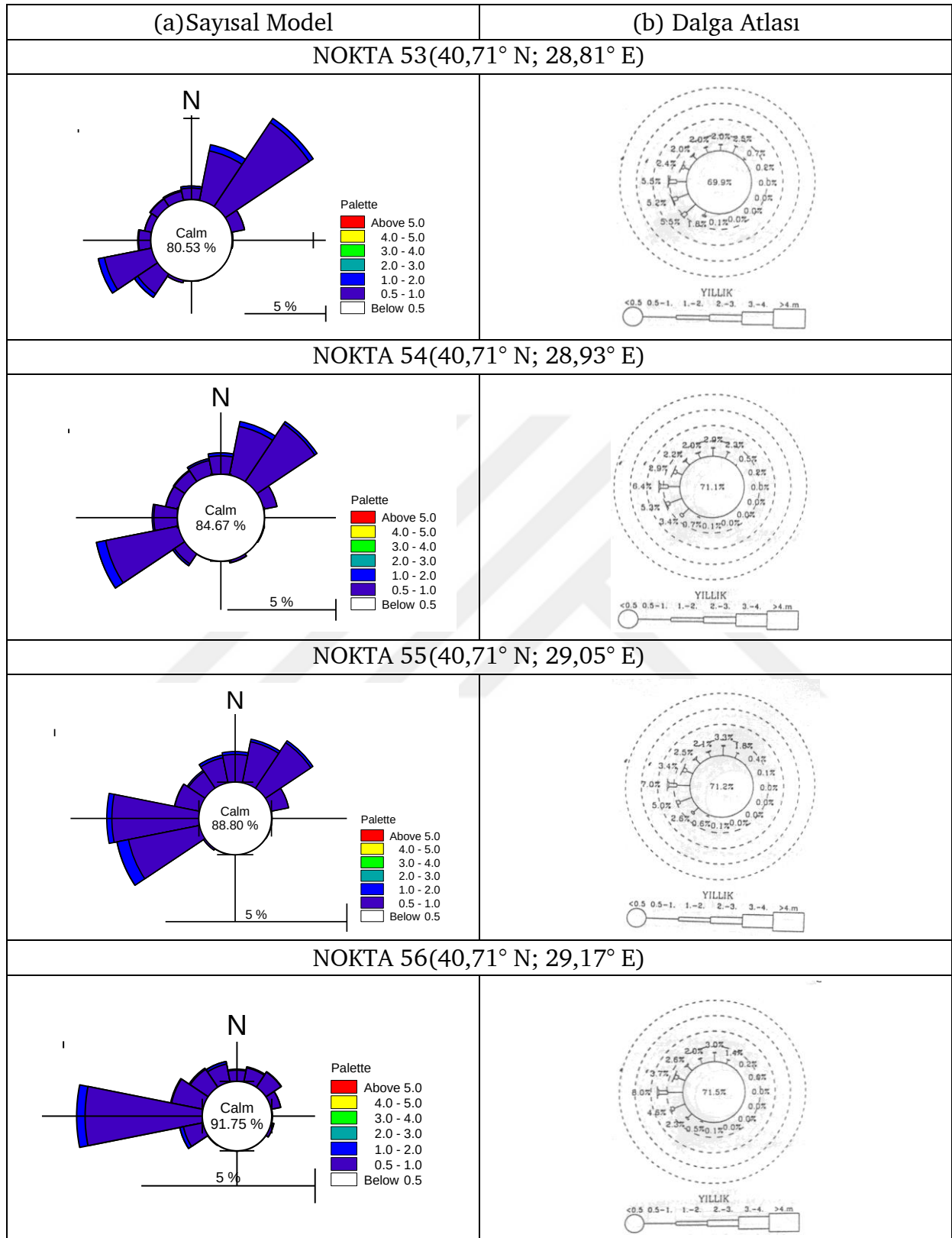


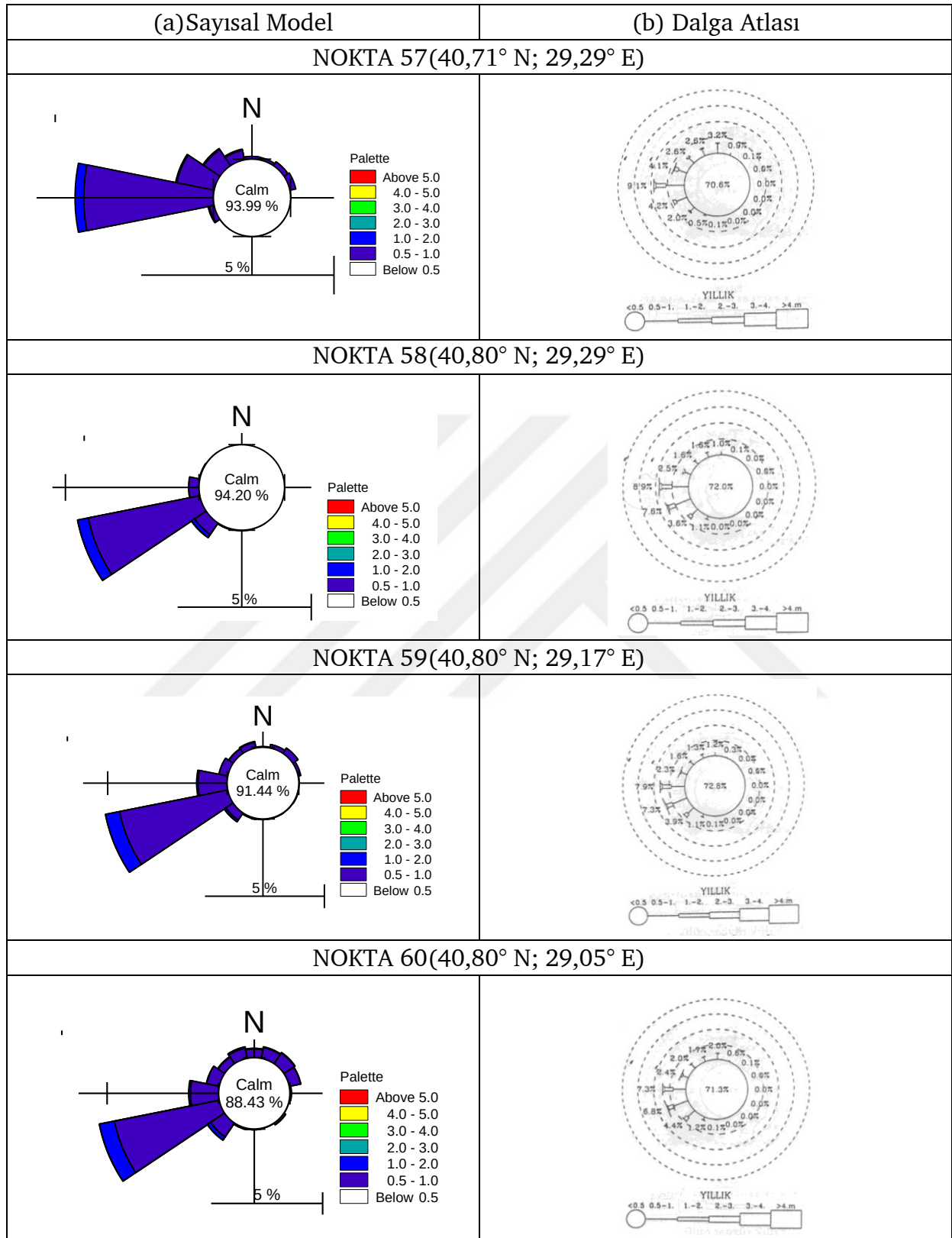


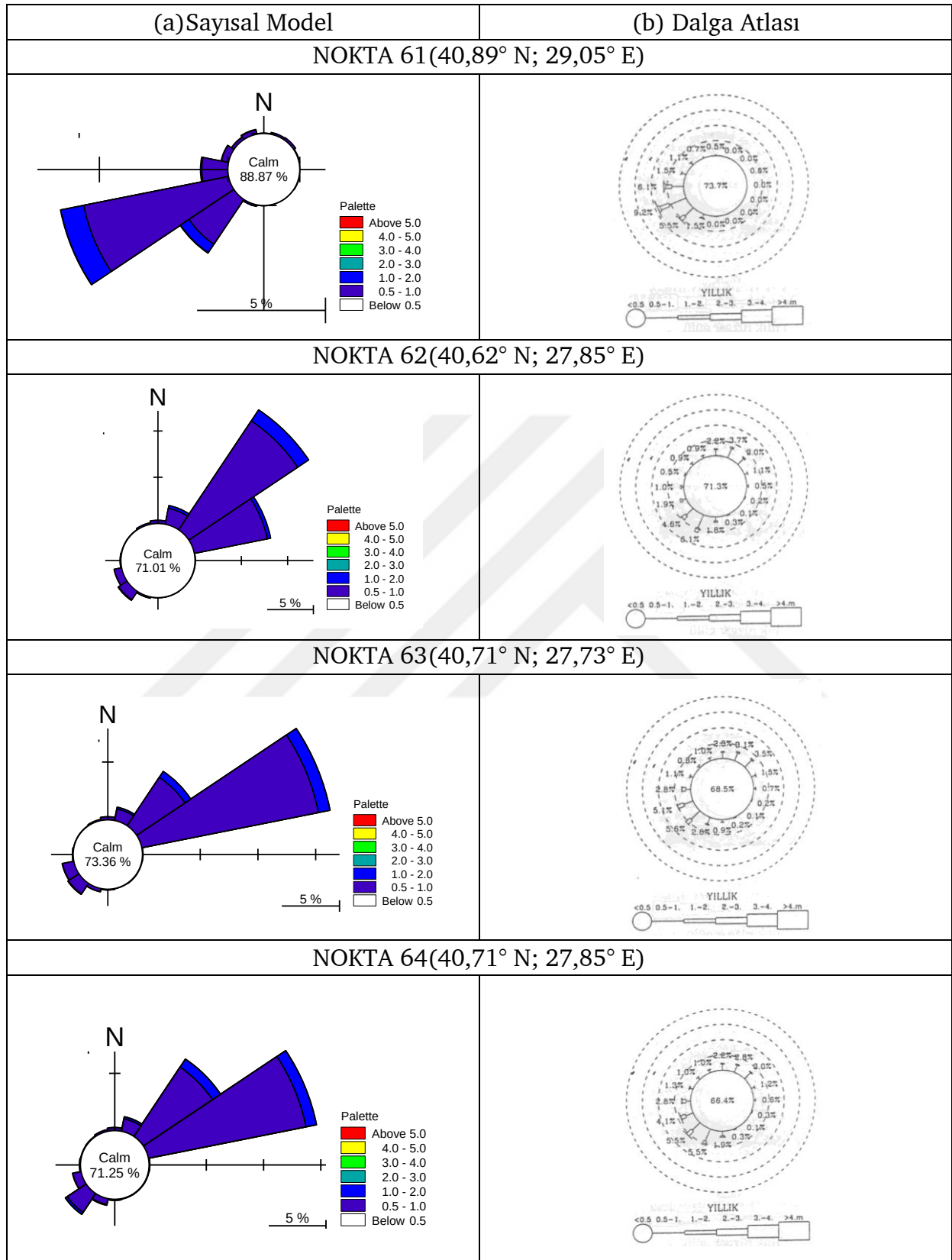


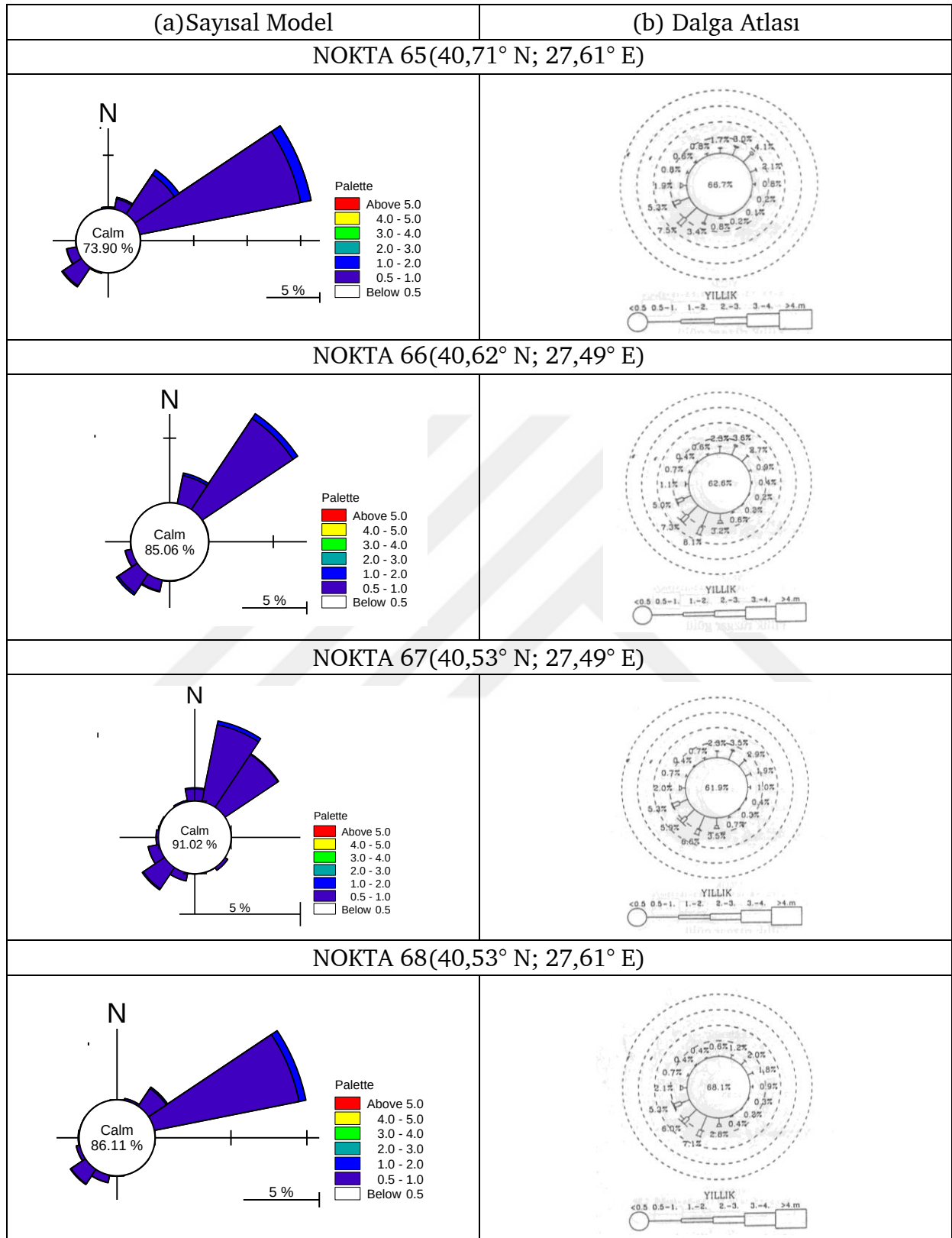




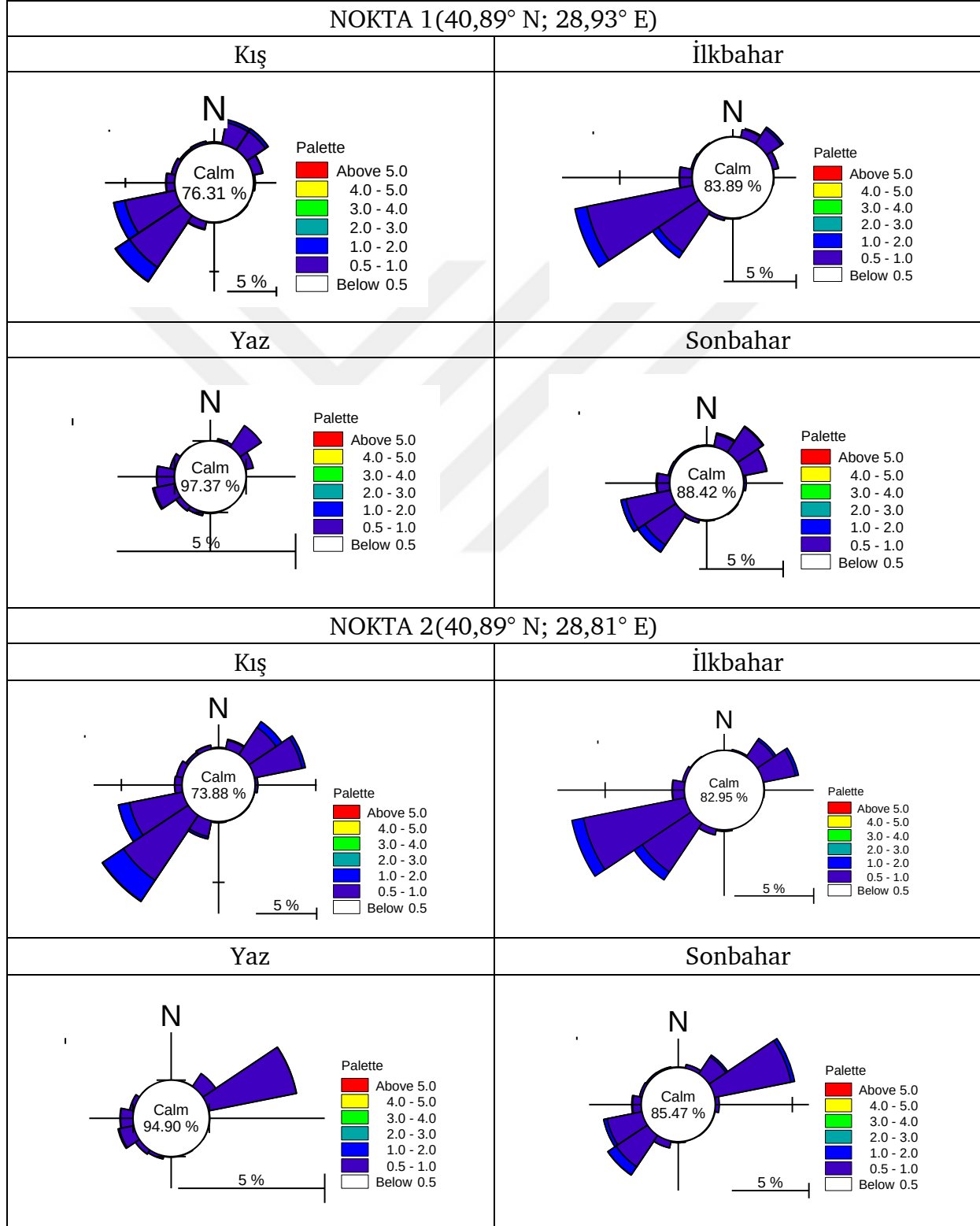


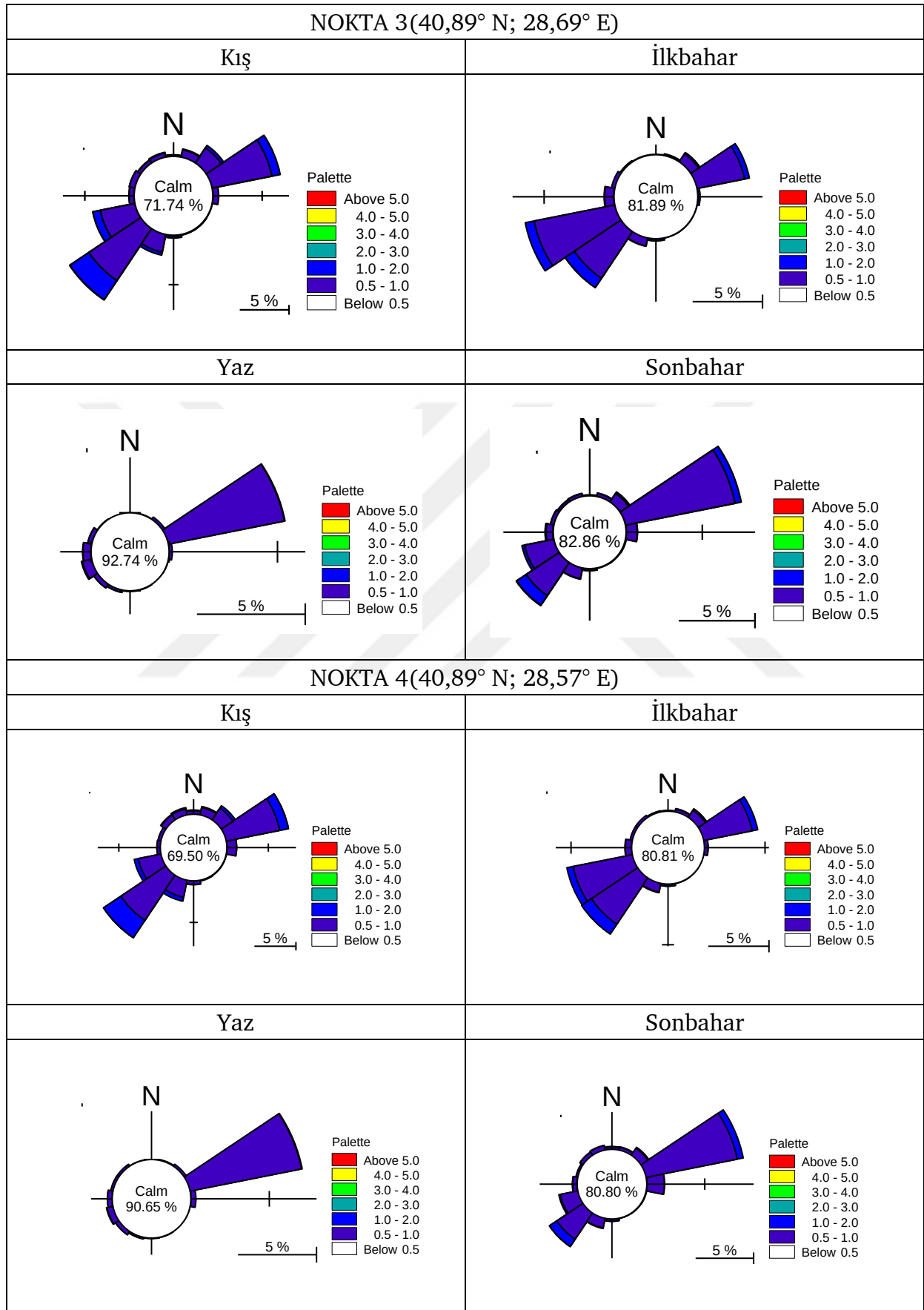


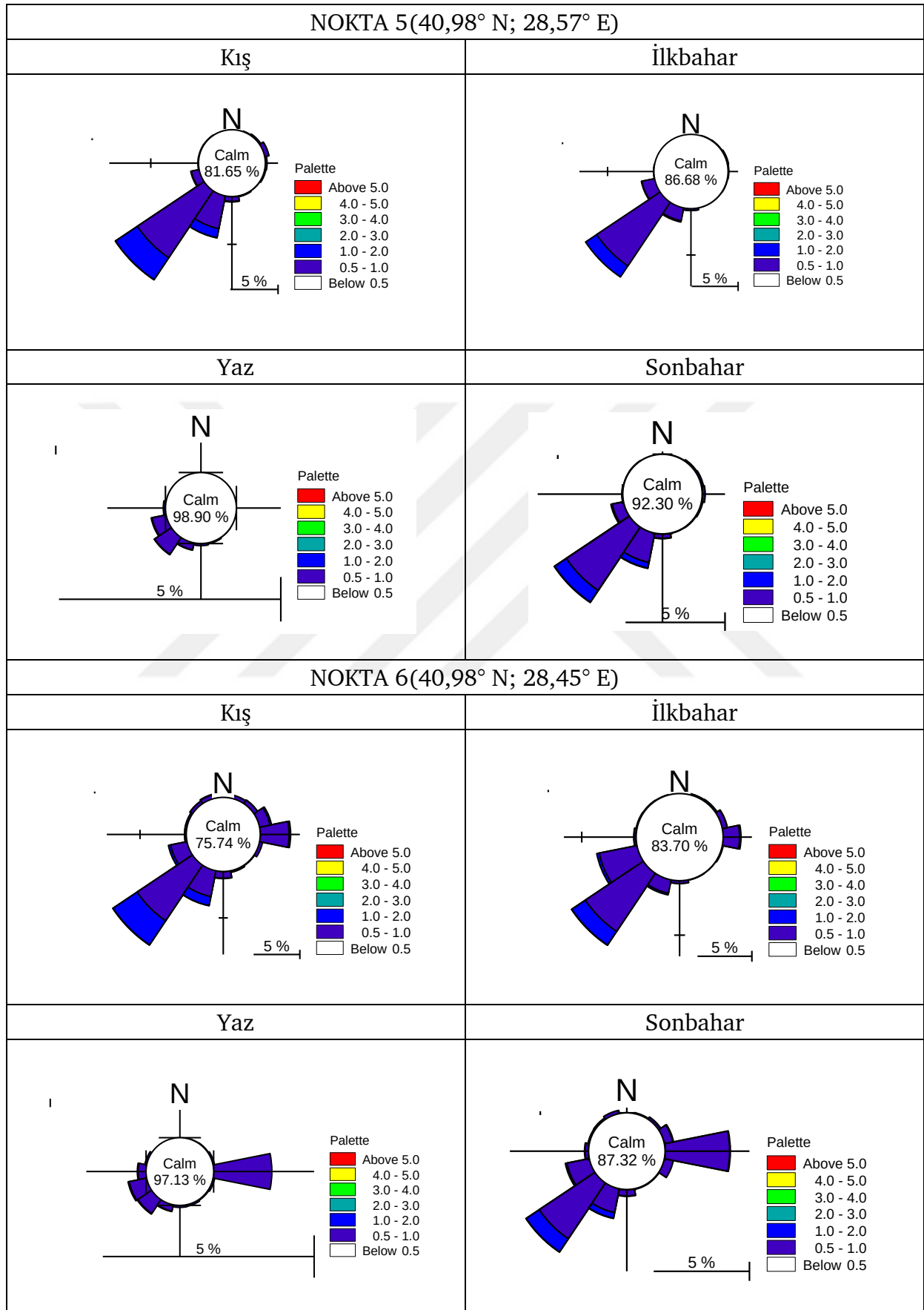


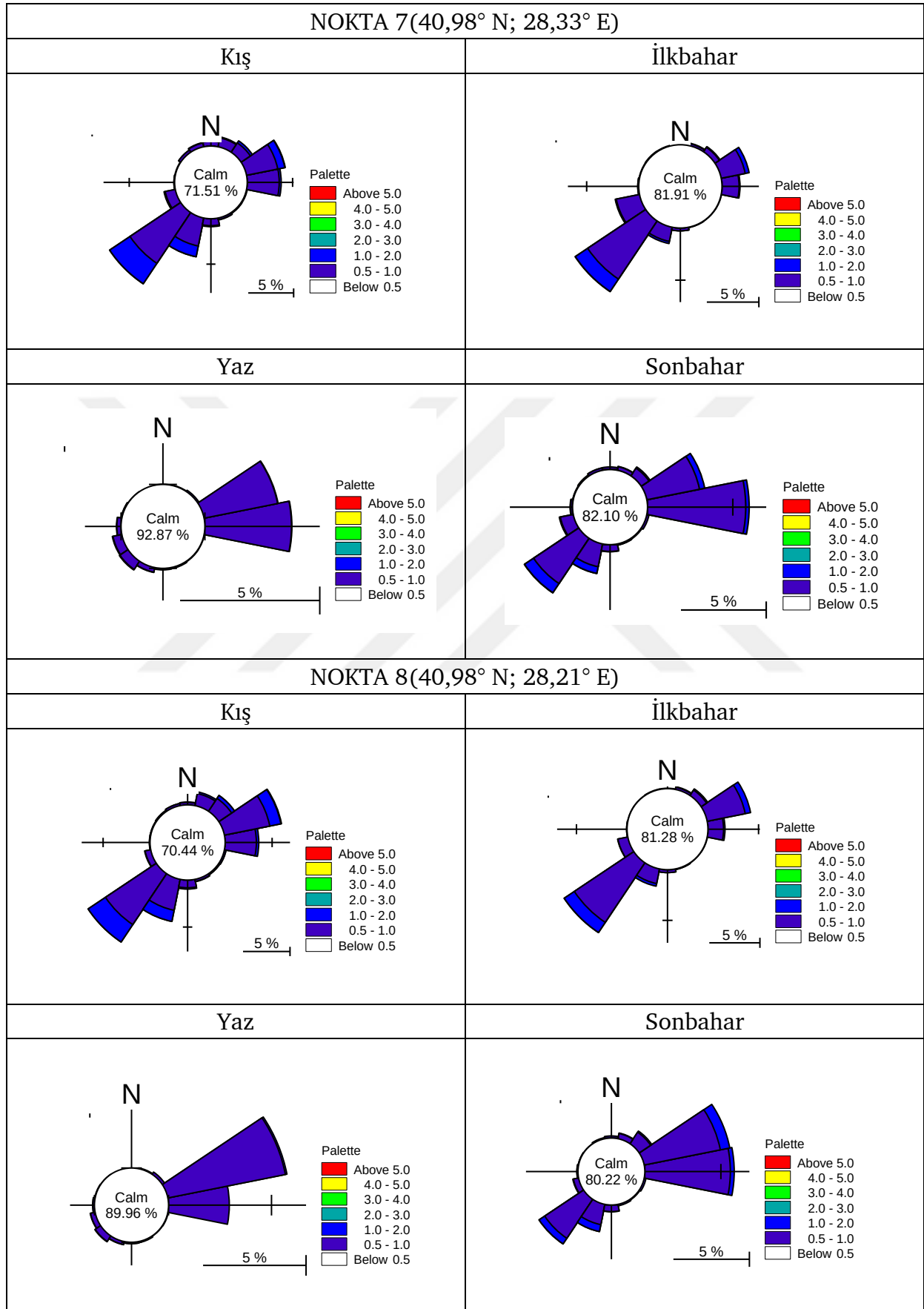


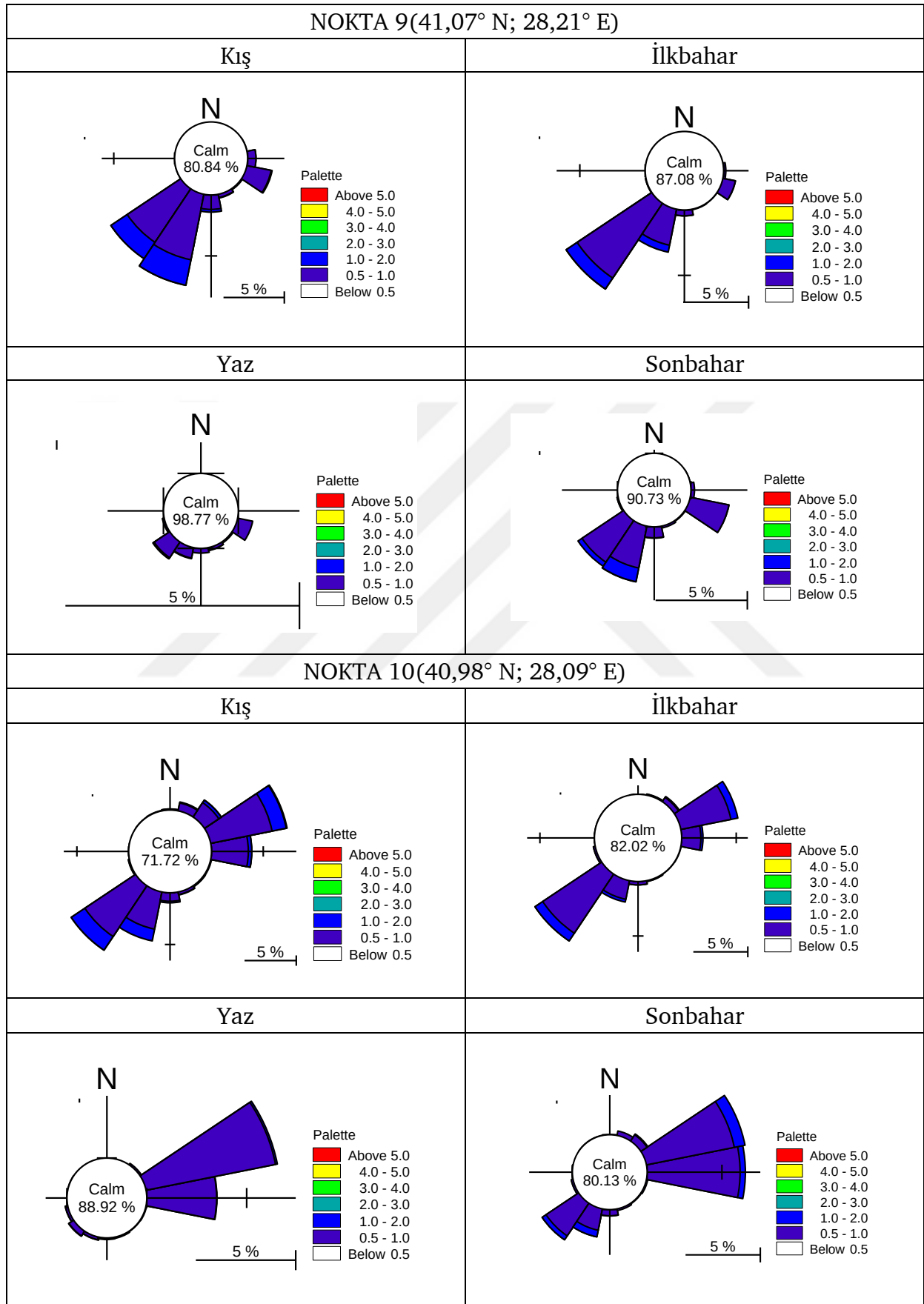
MARMARA DENİZİ MEVSİMSEL DALGA GÜLLERİ

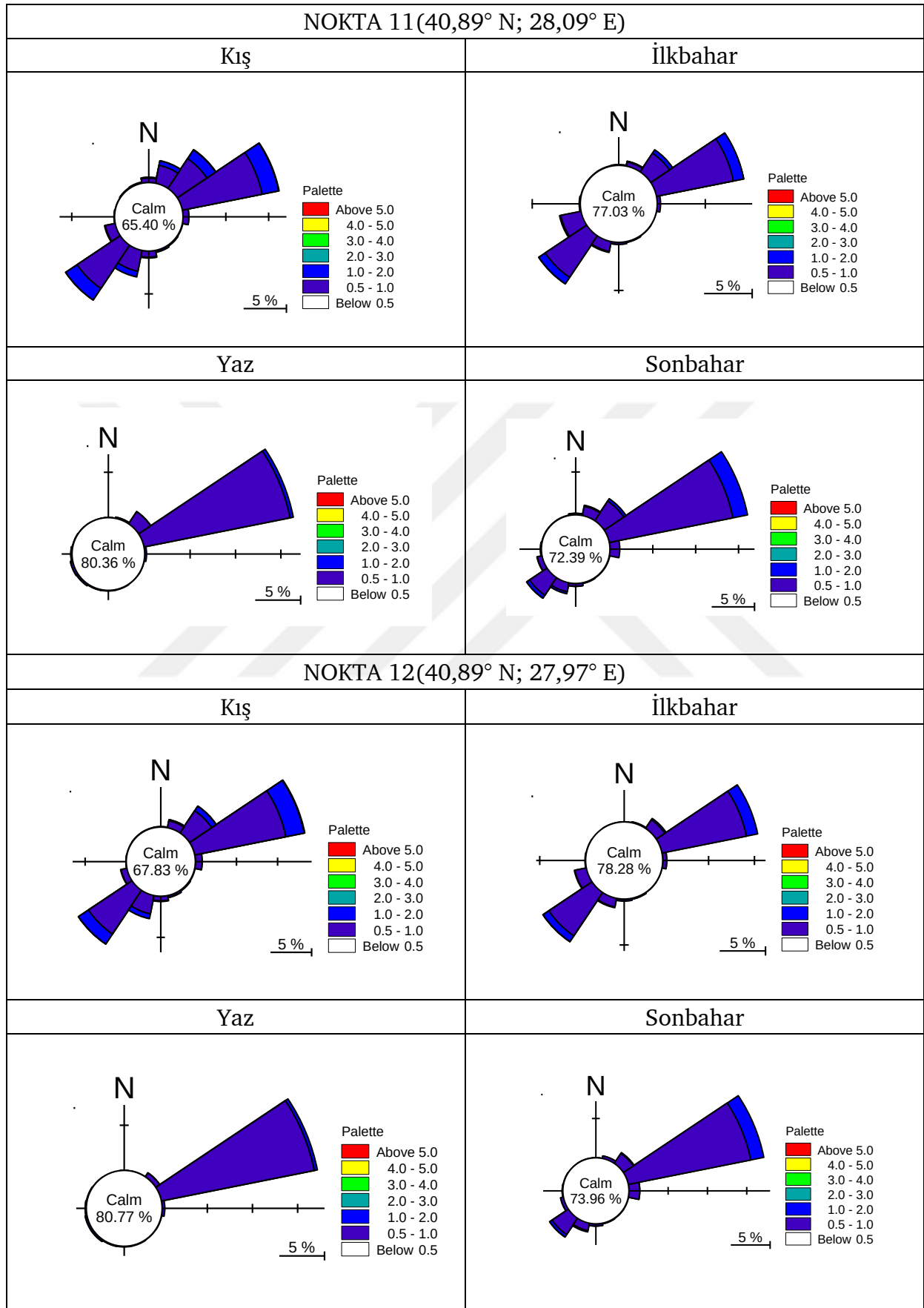


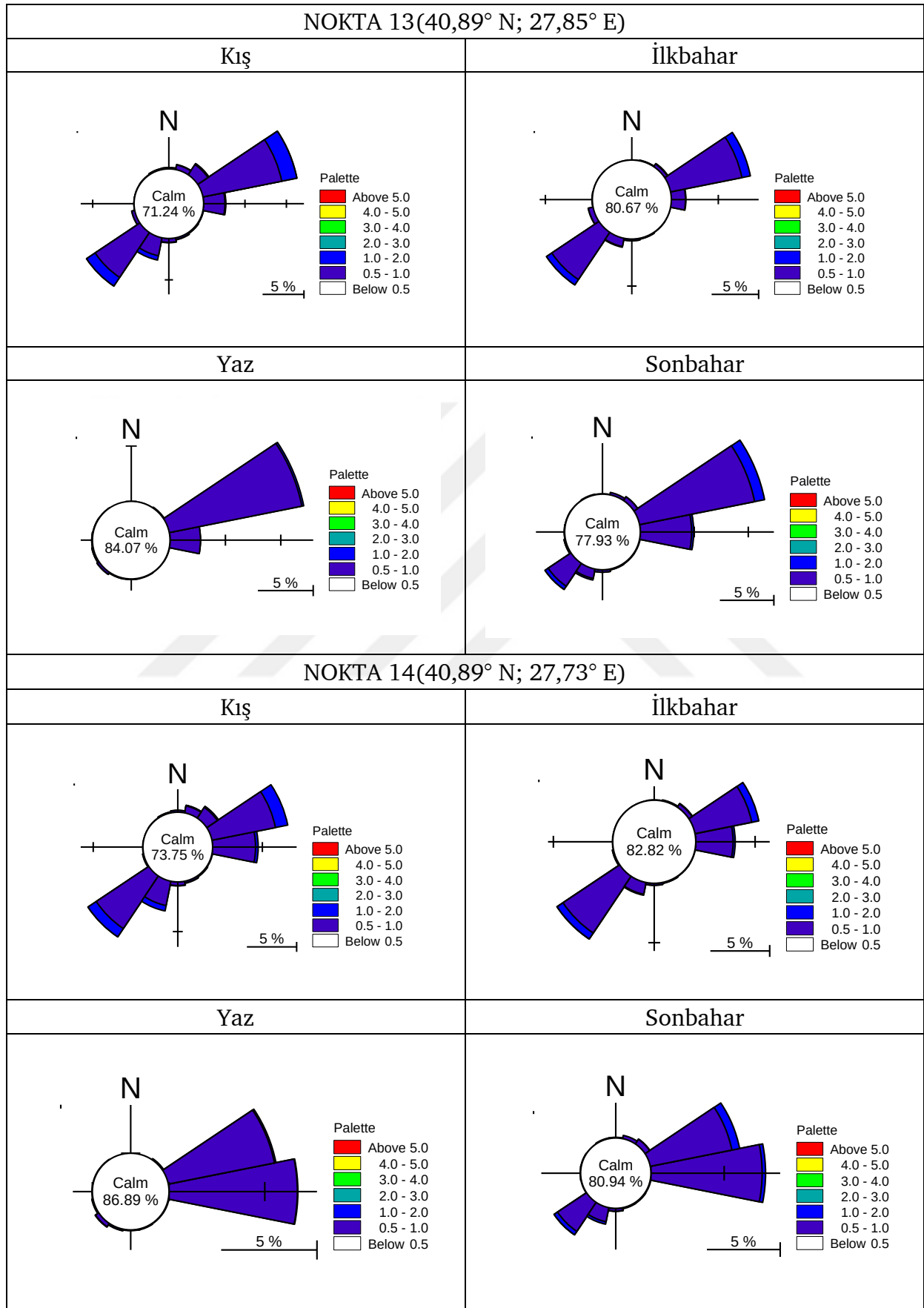


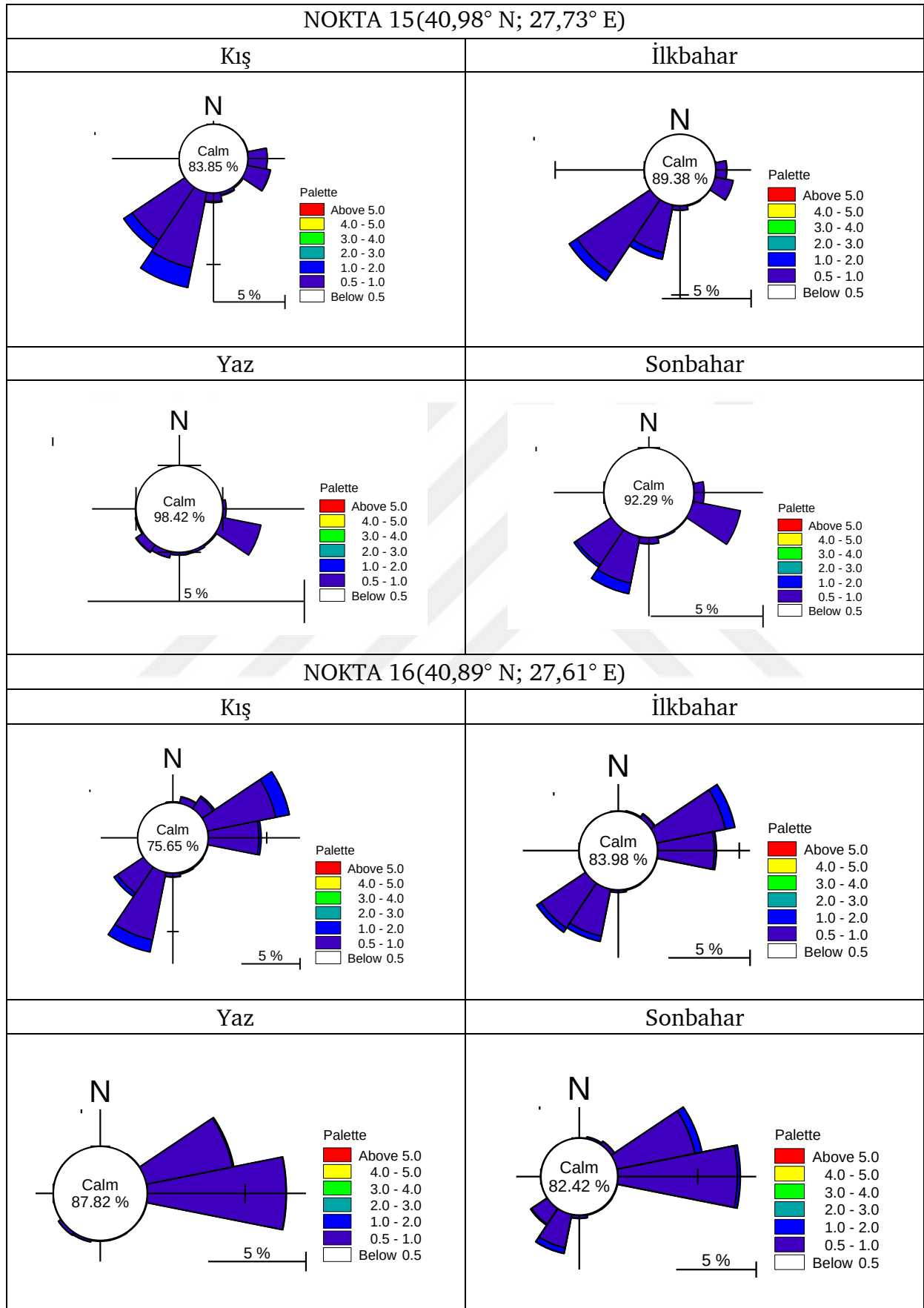


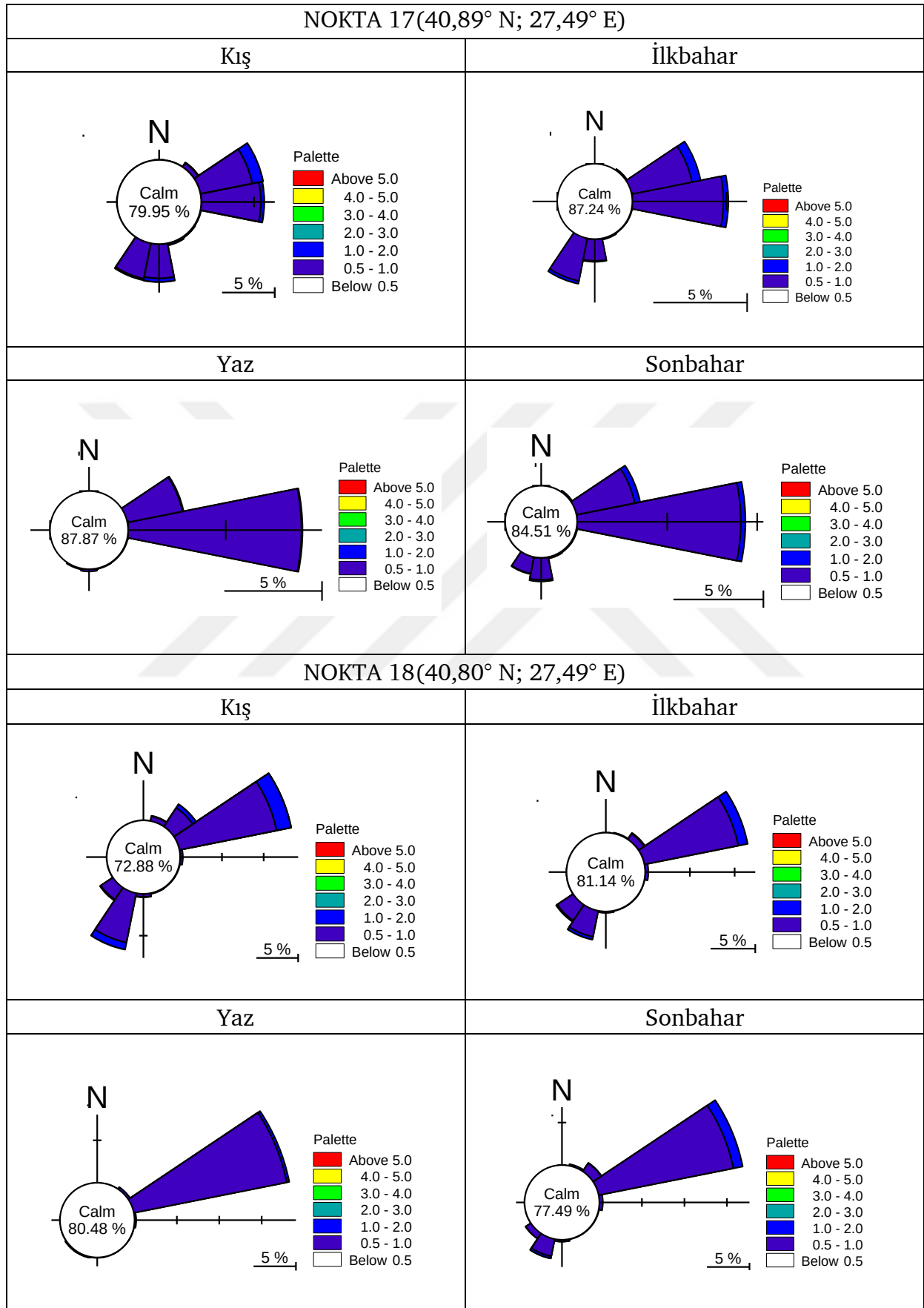


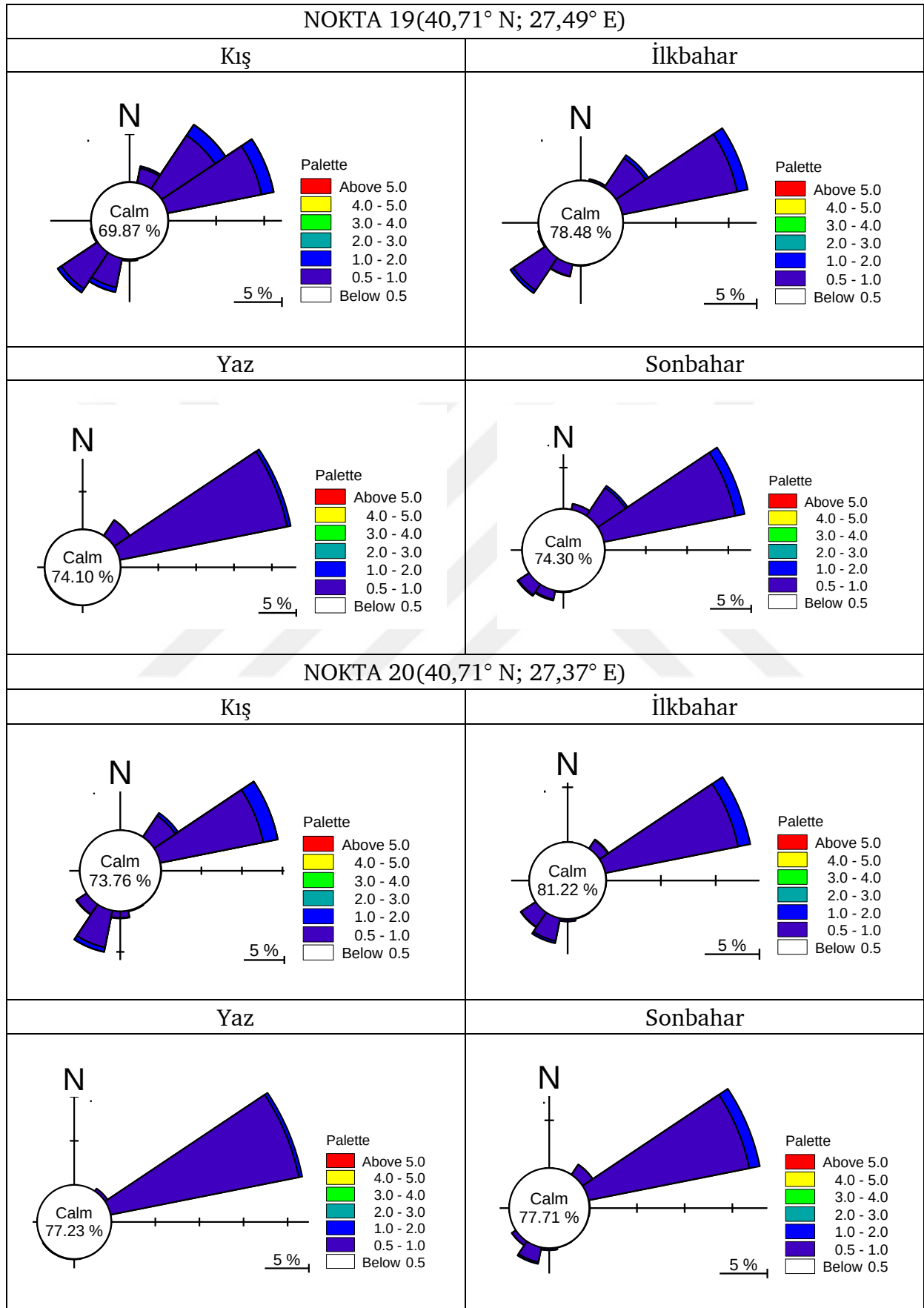


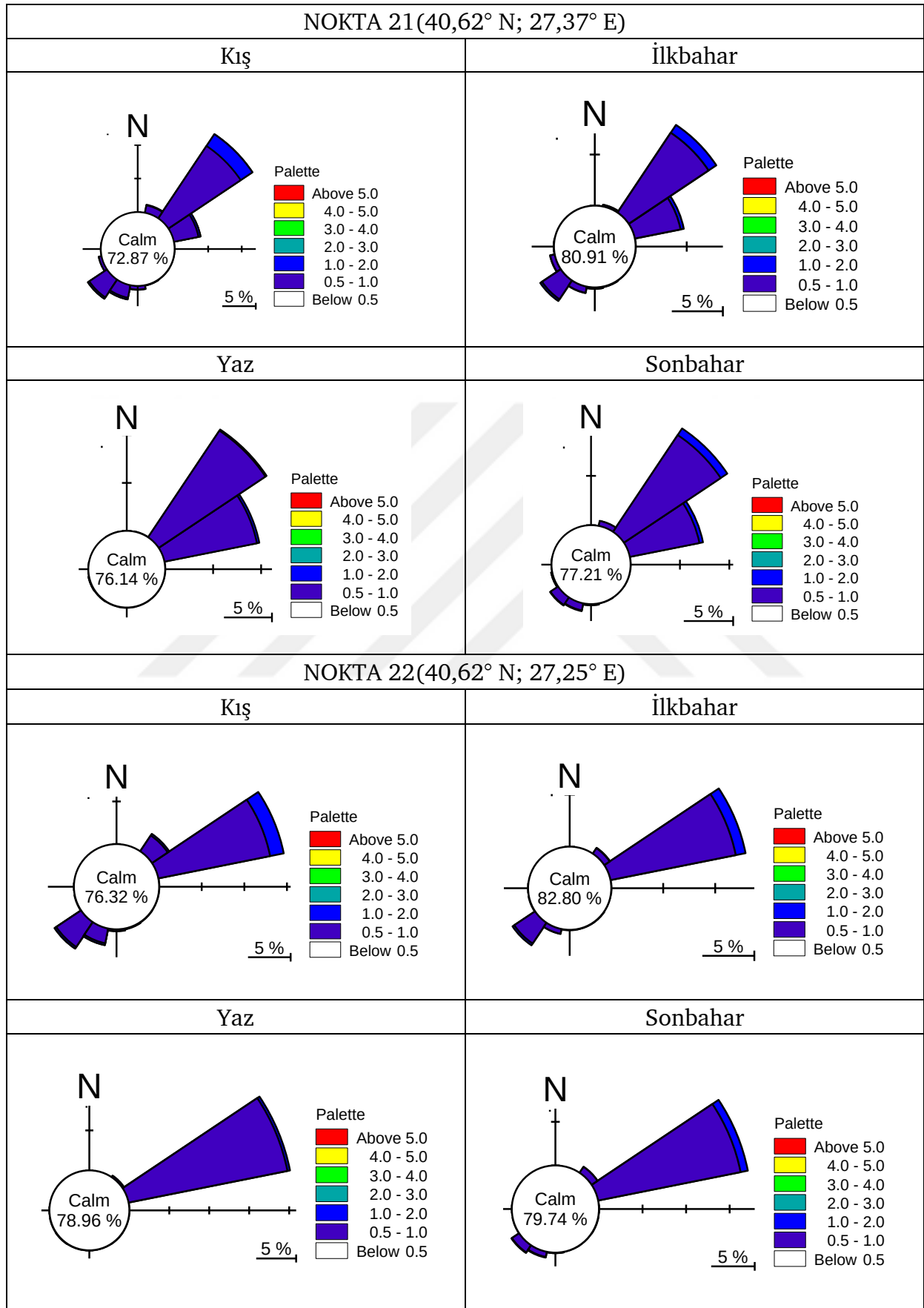


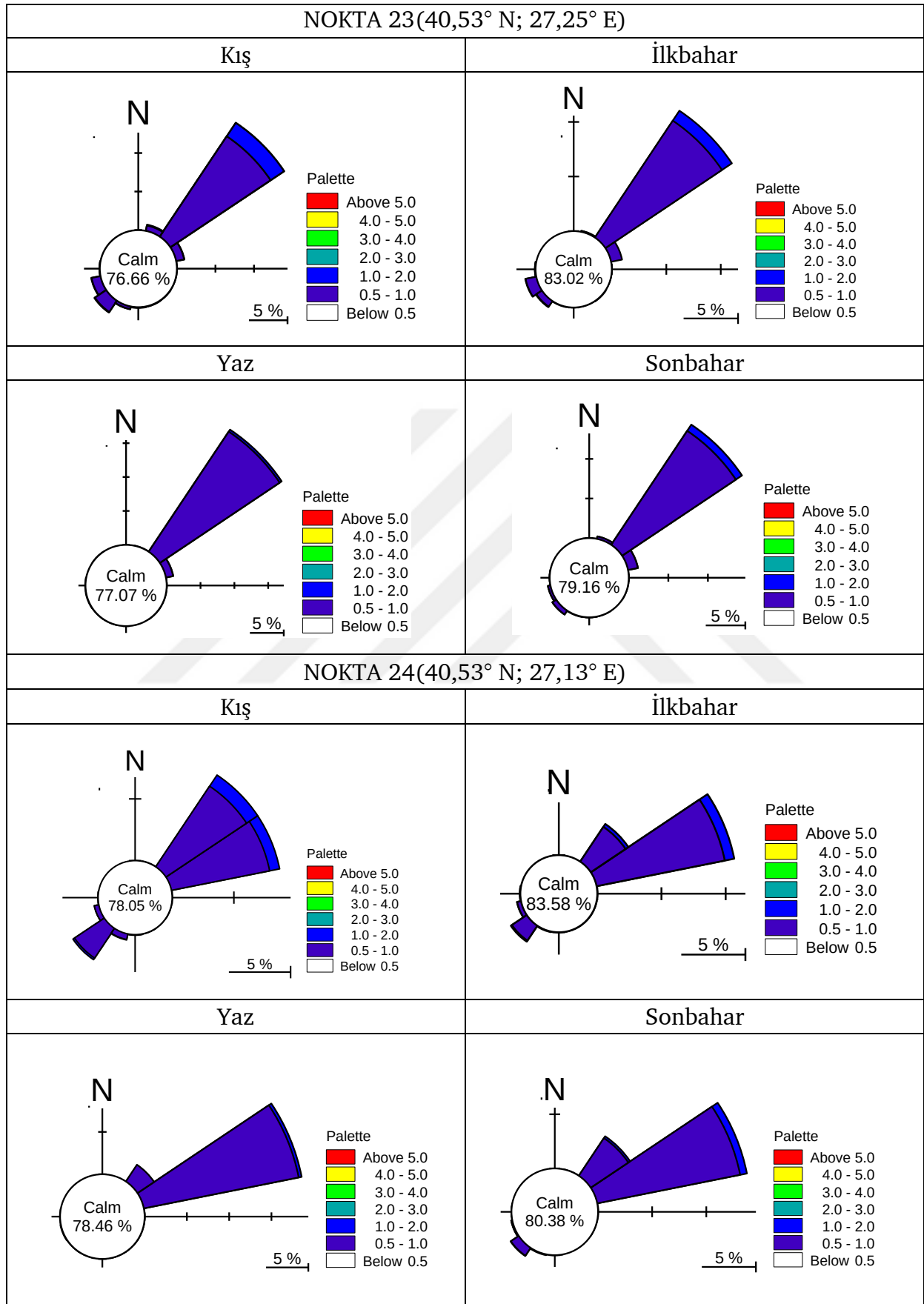


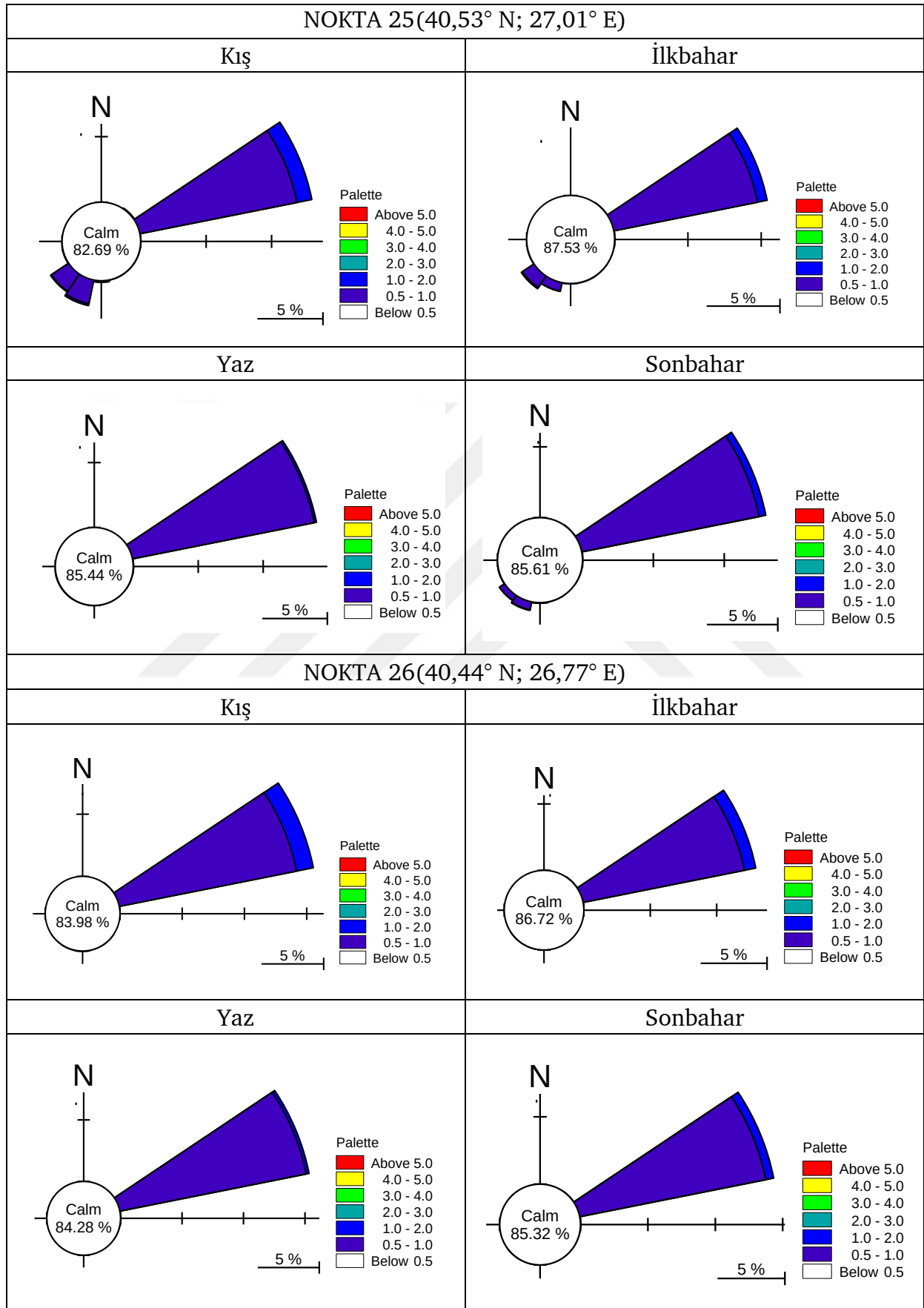


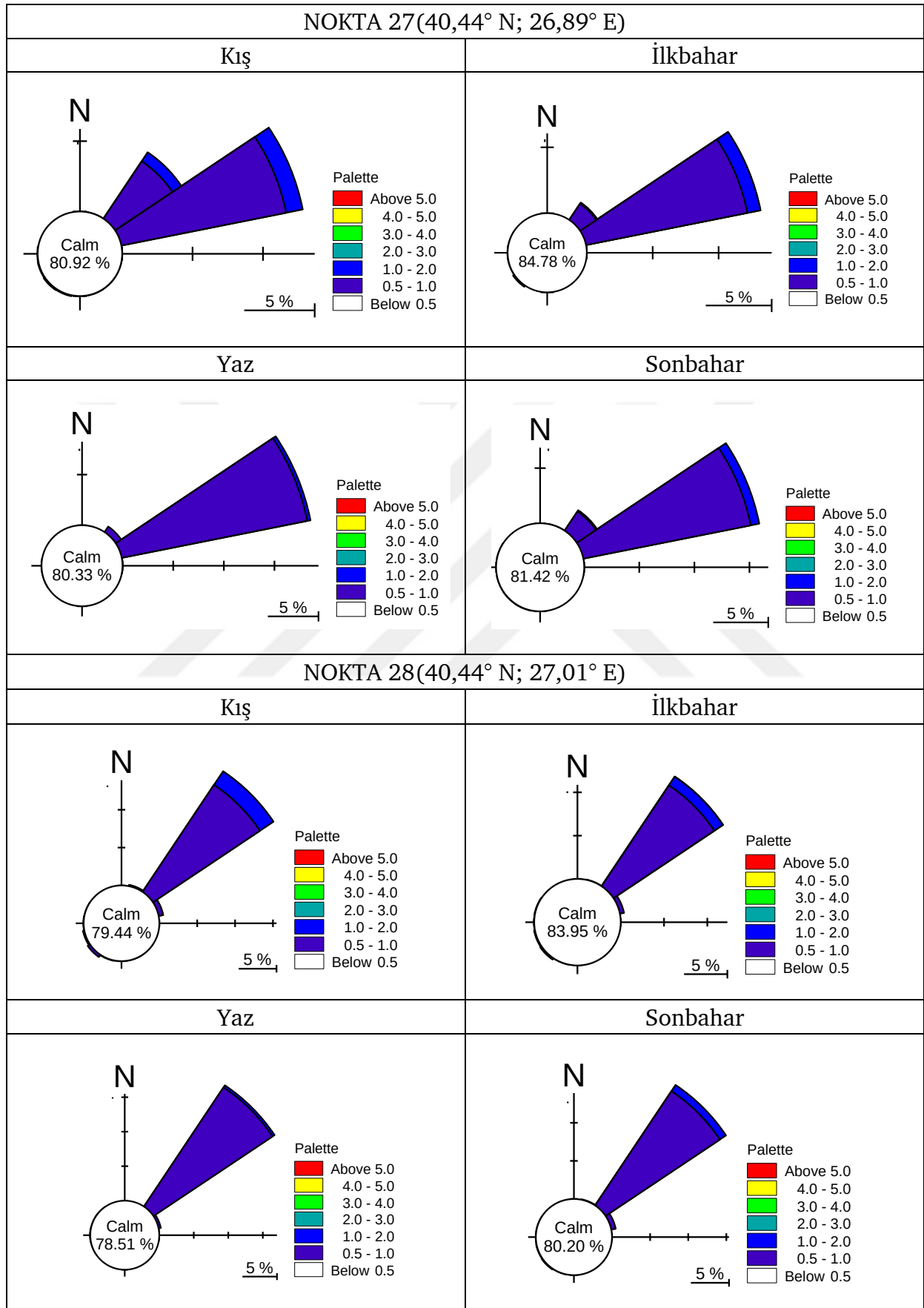


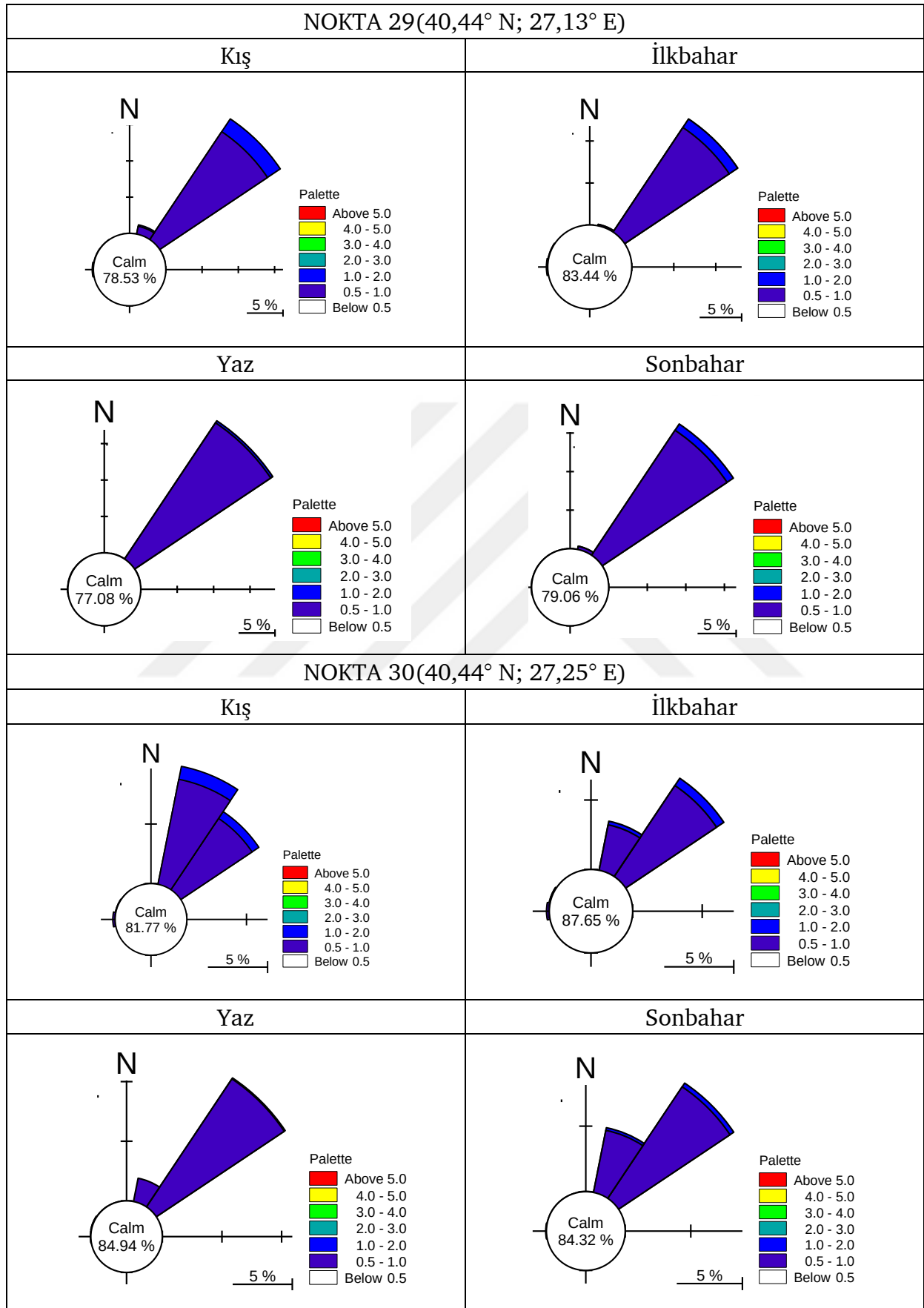


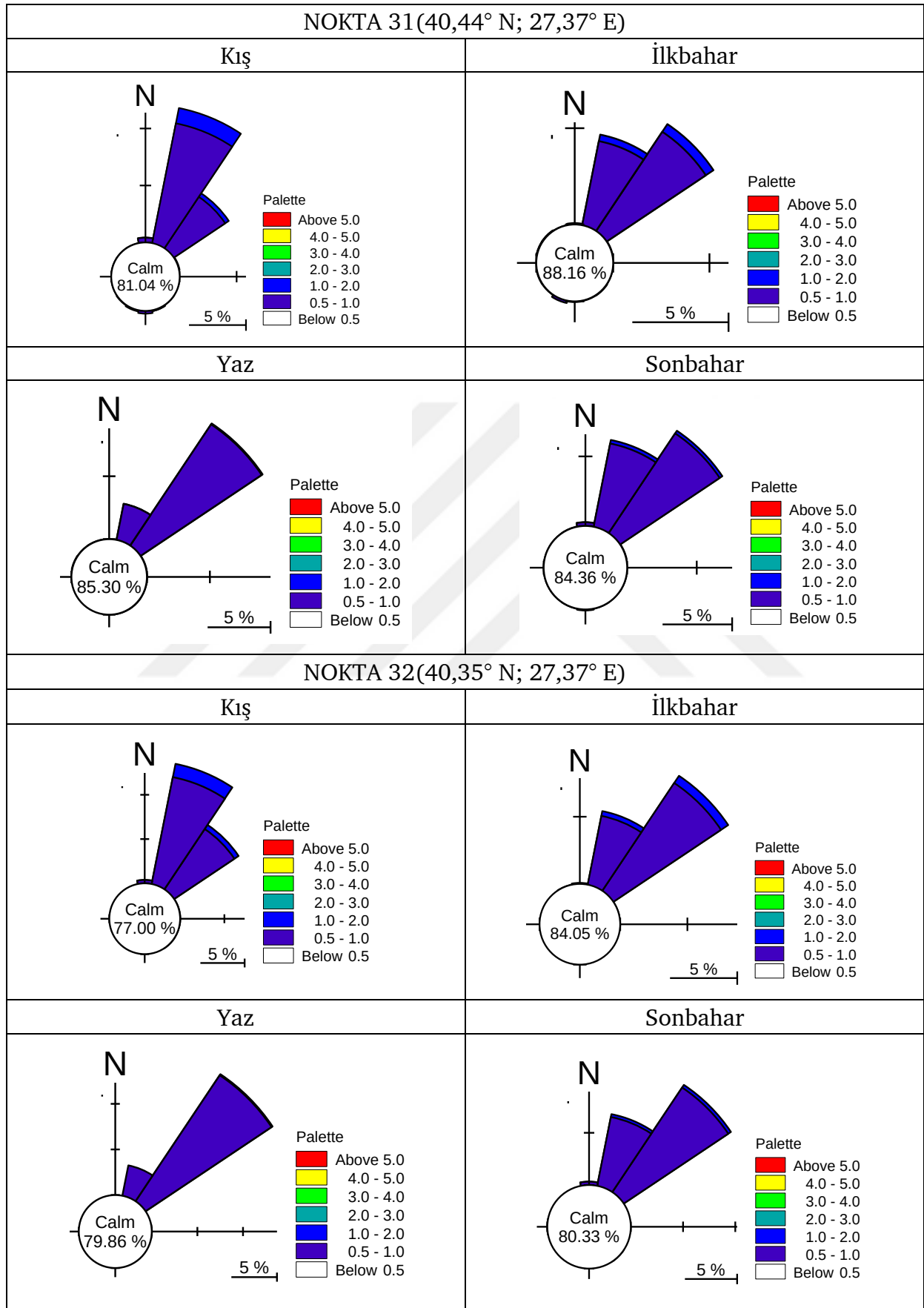


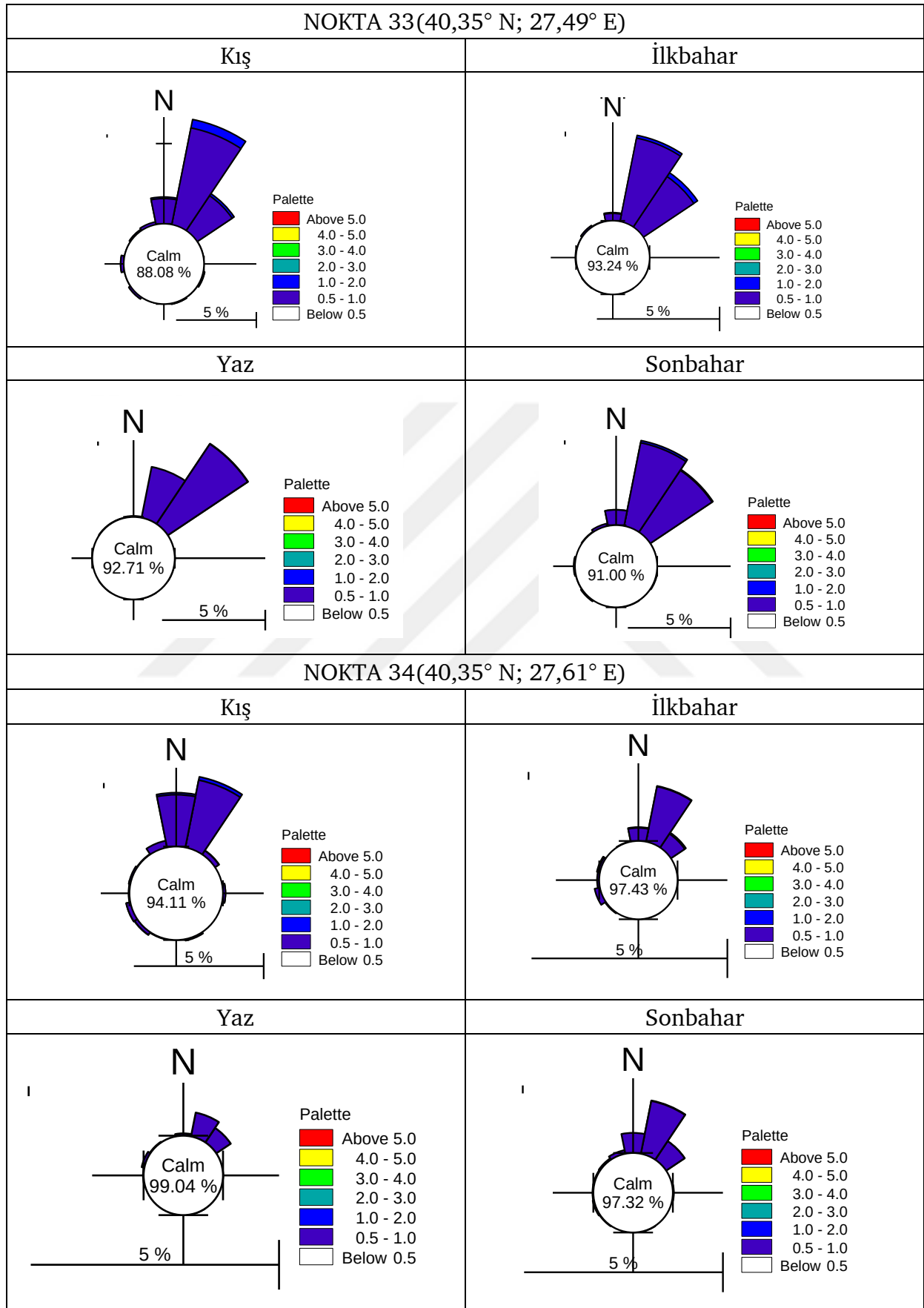


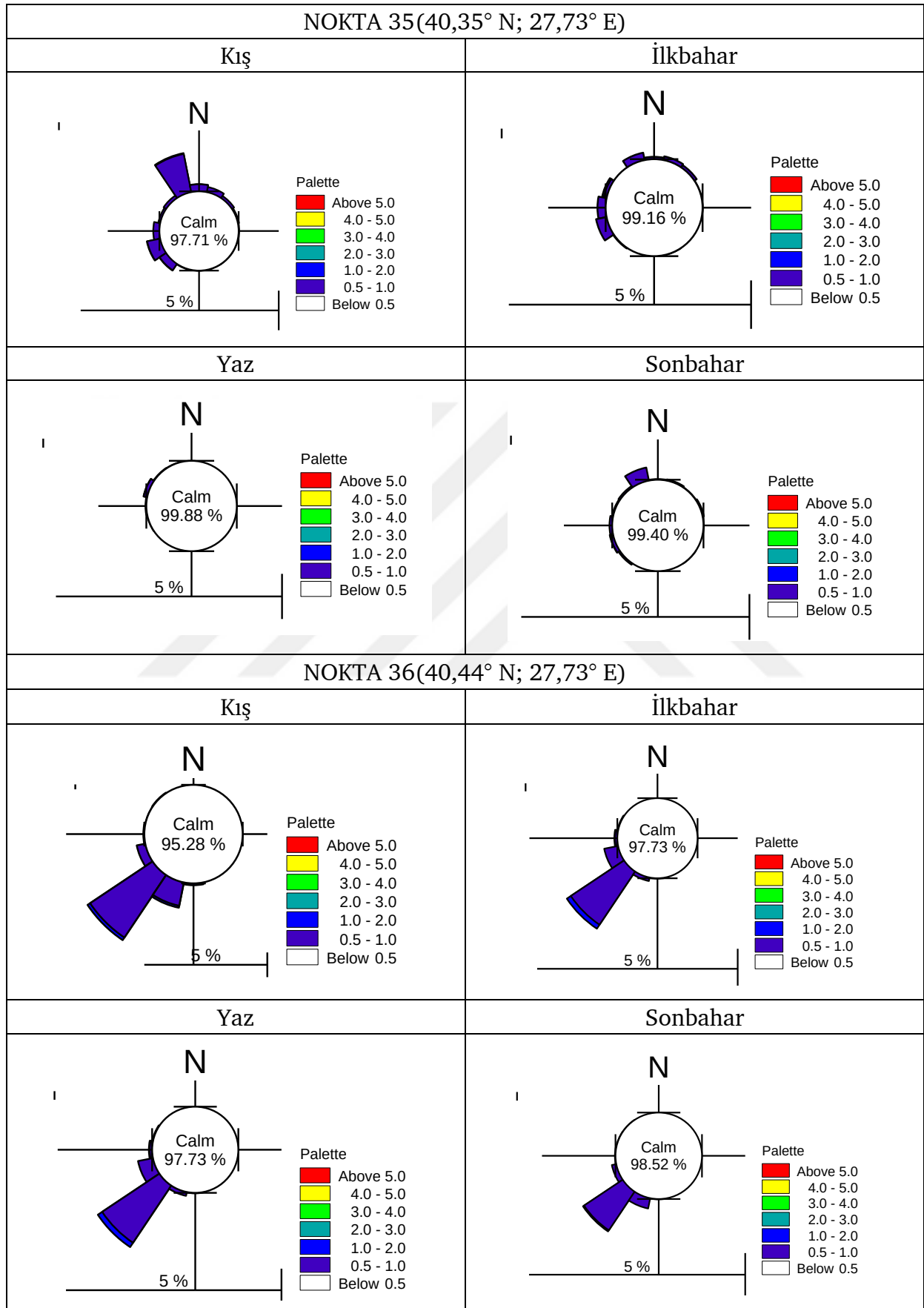


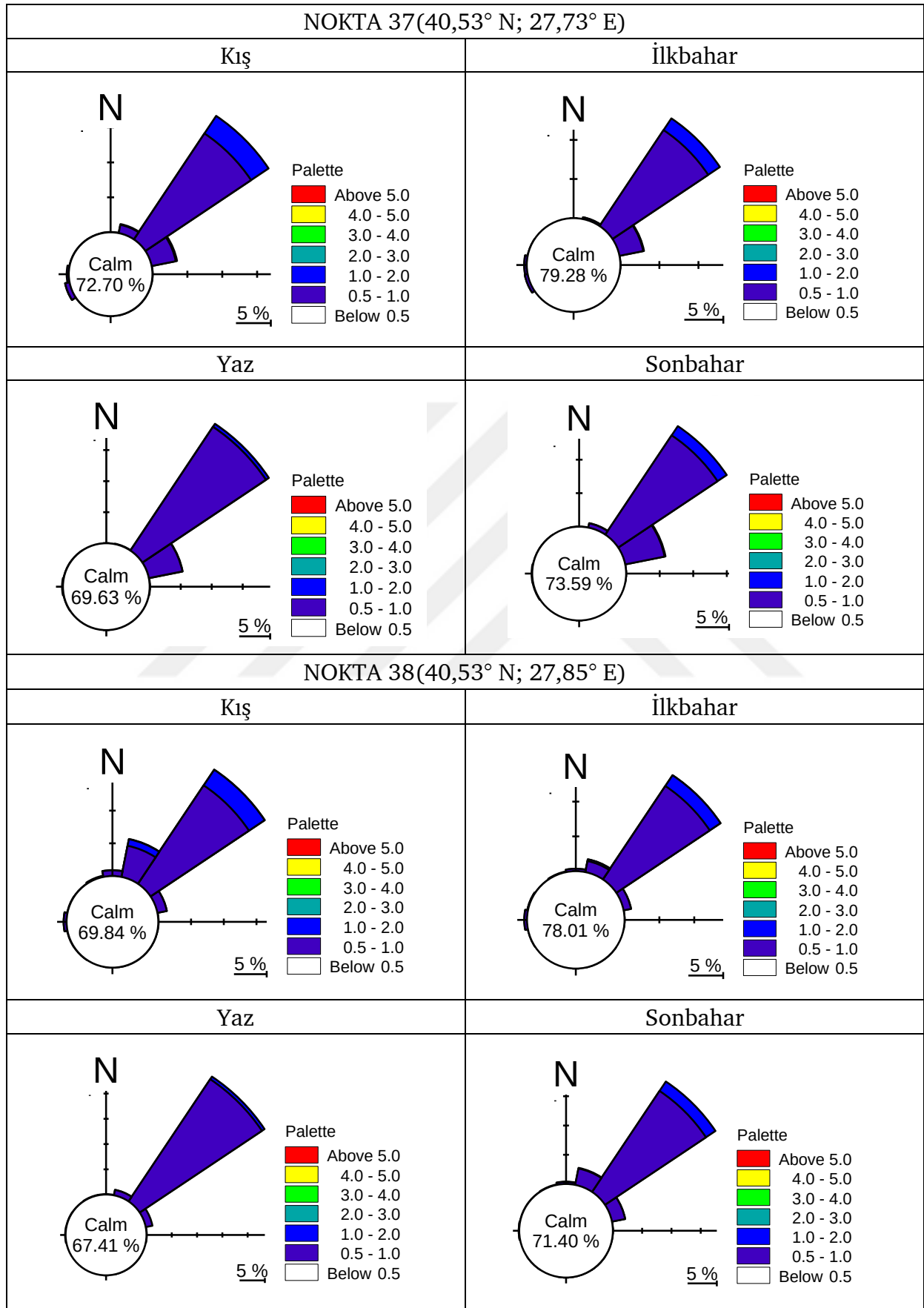


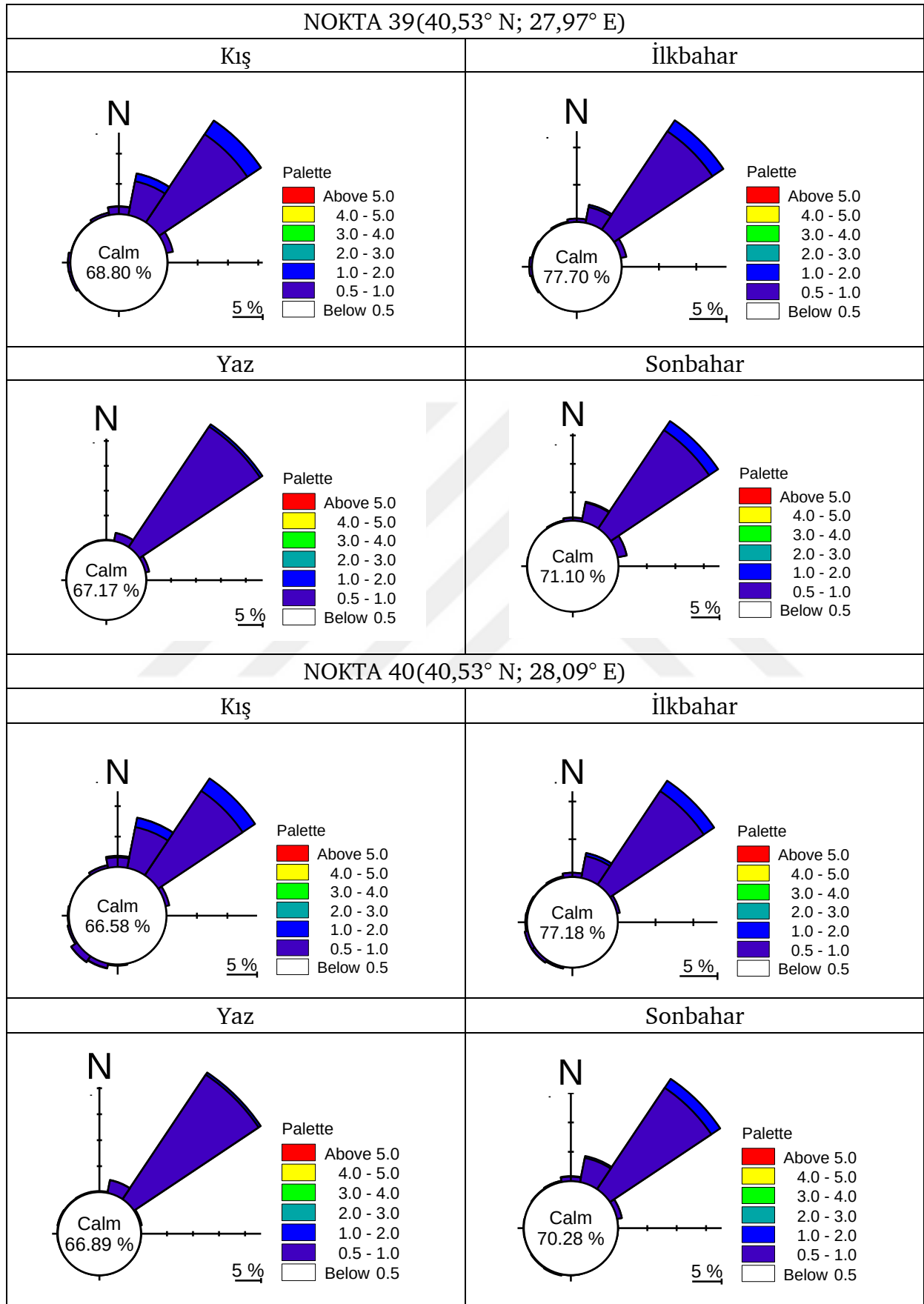


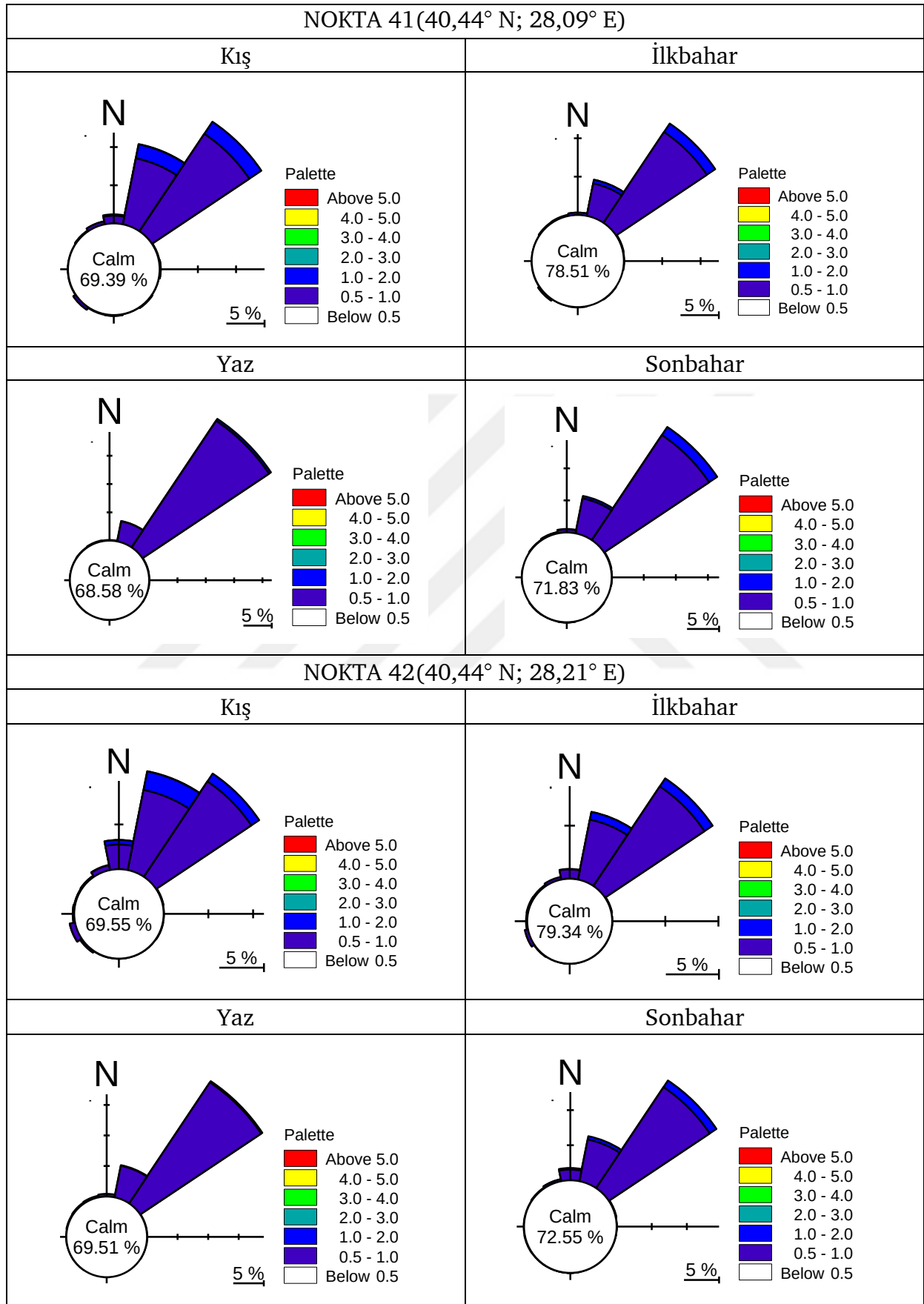


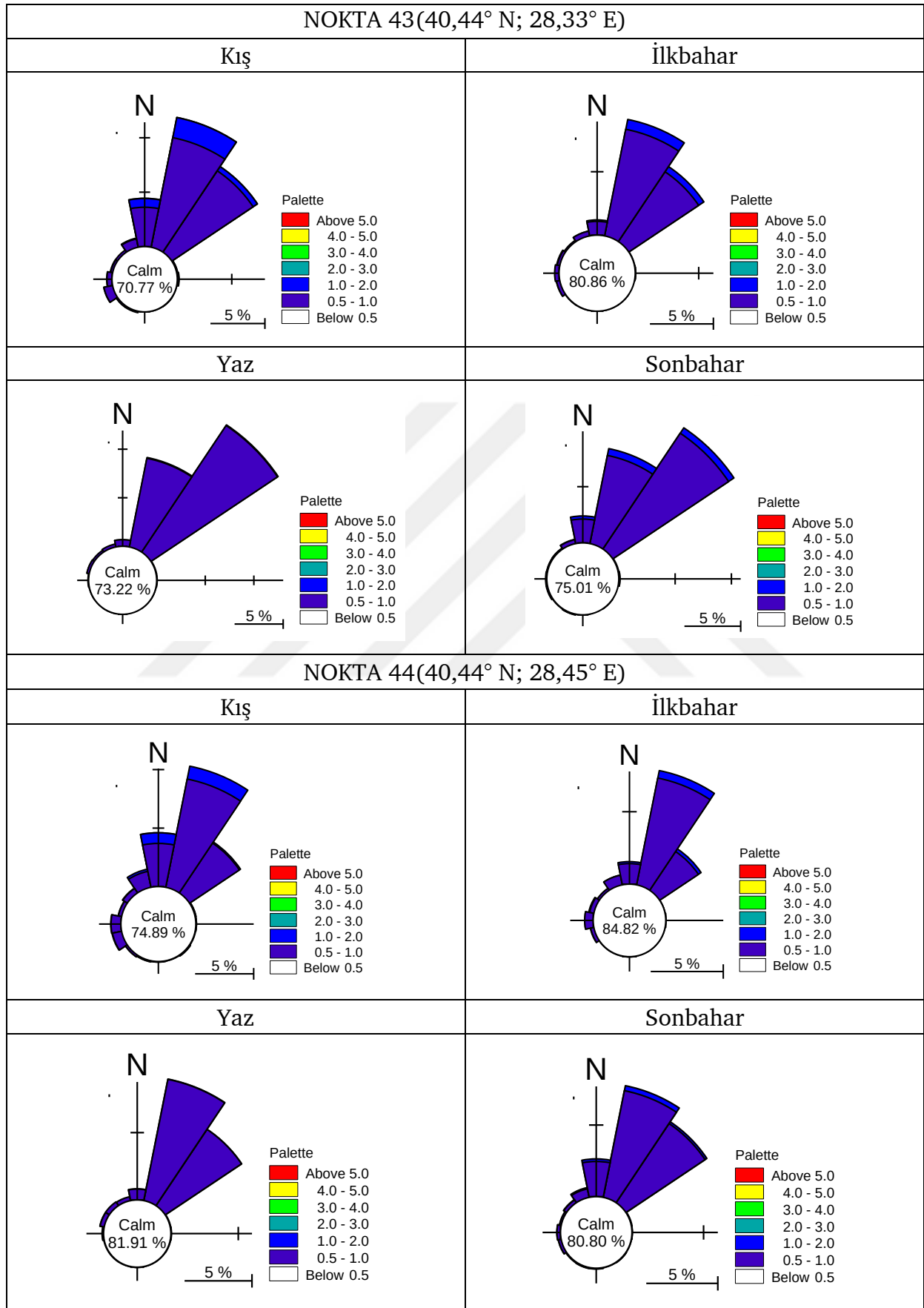


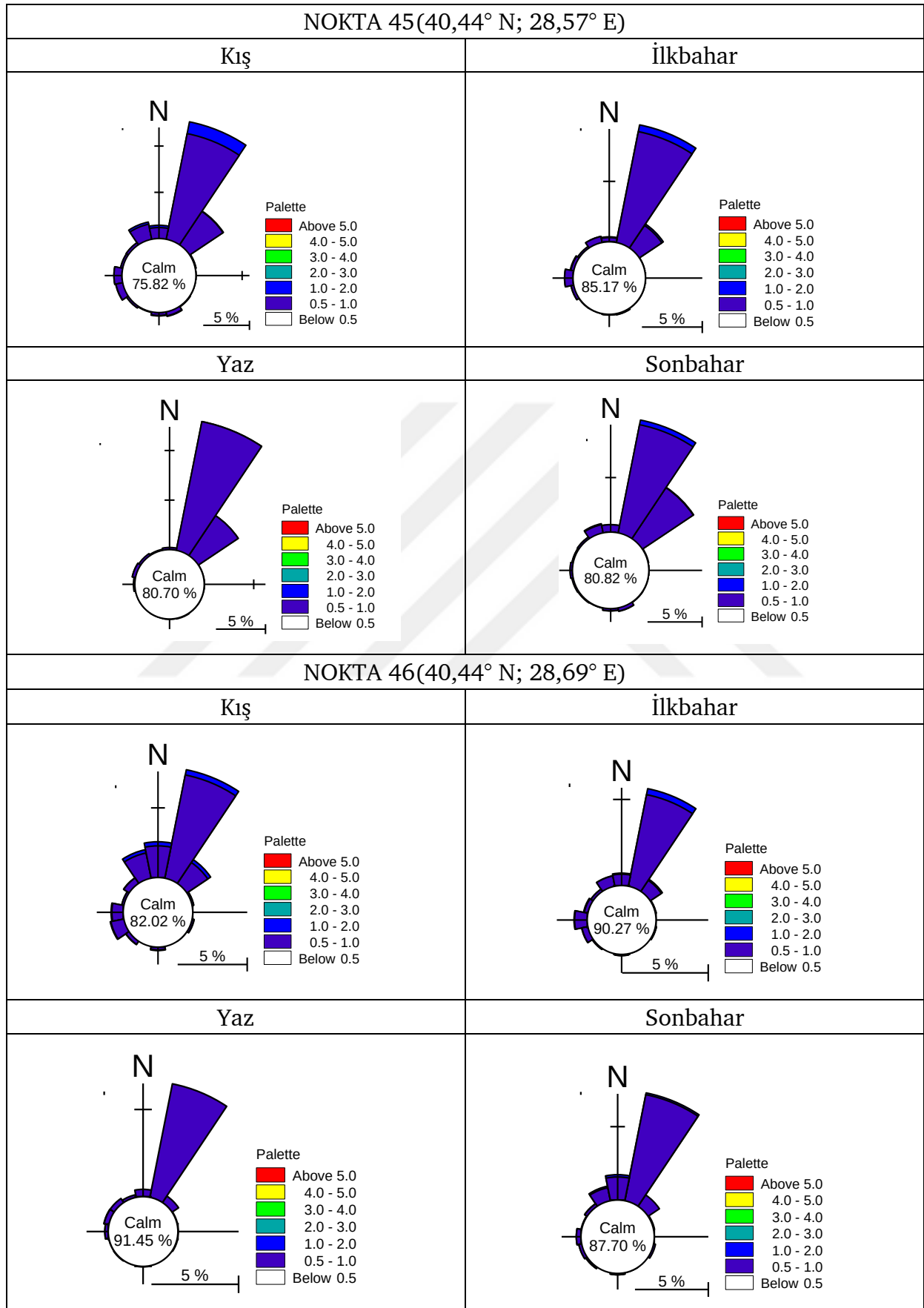


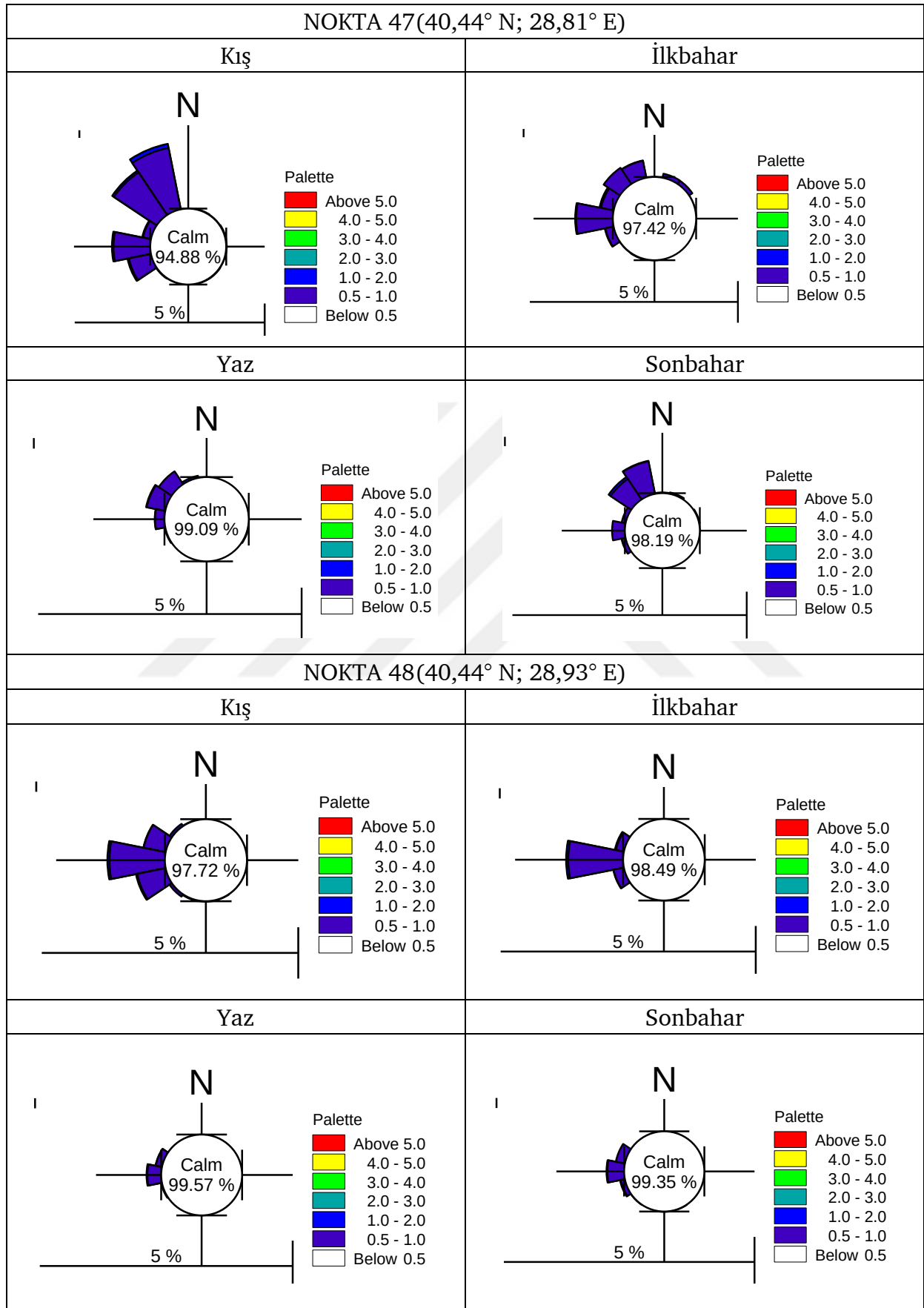


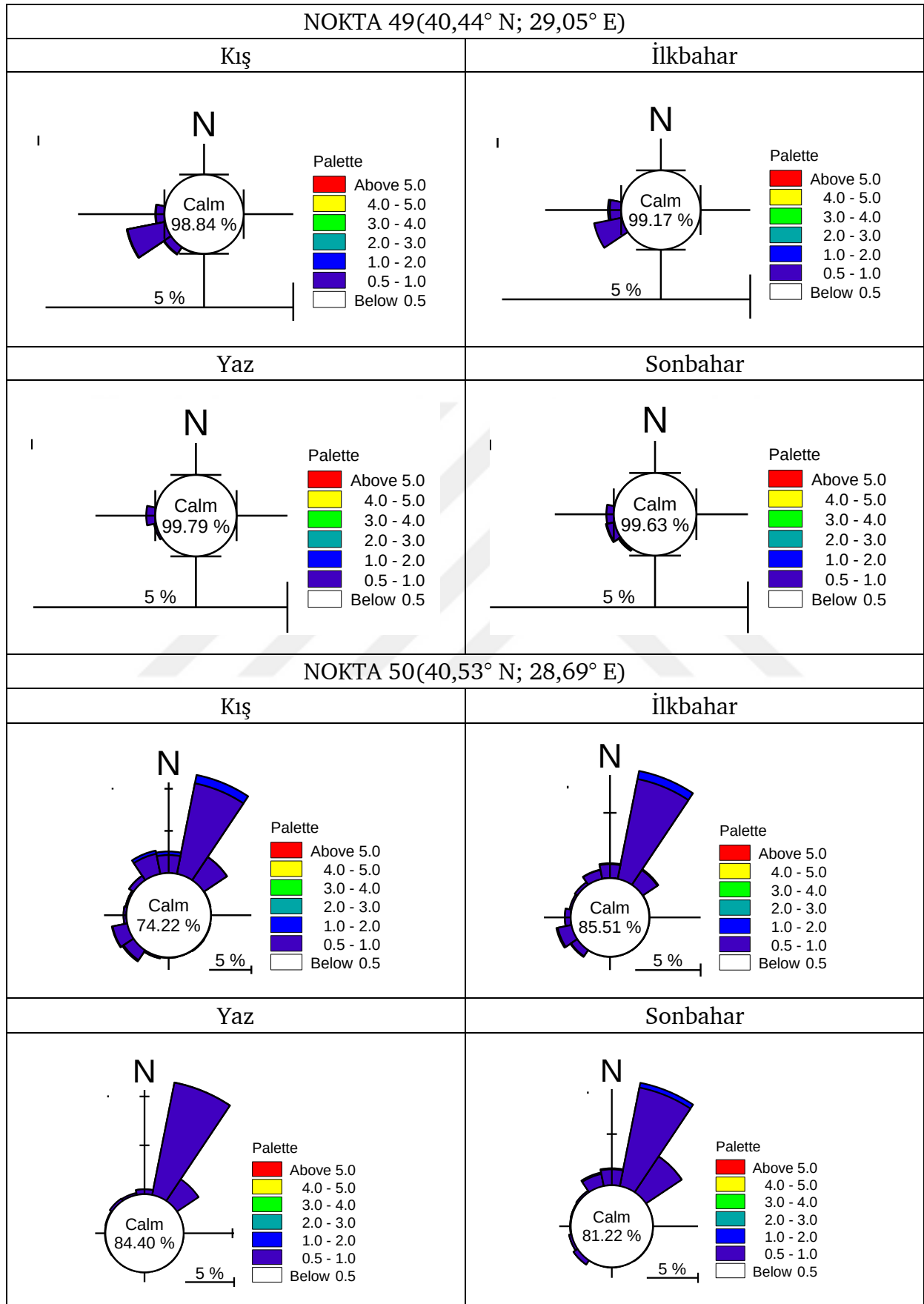


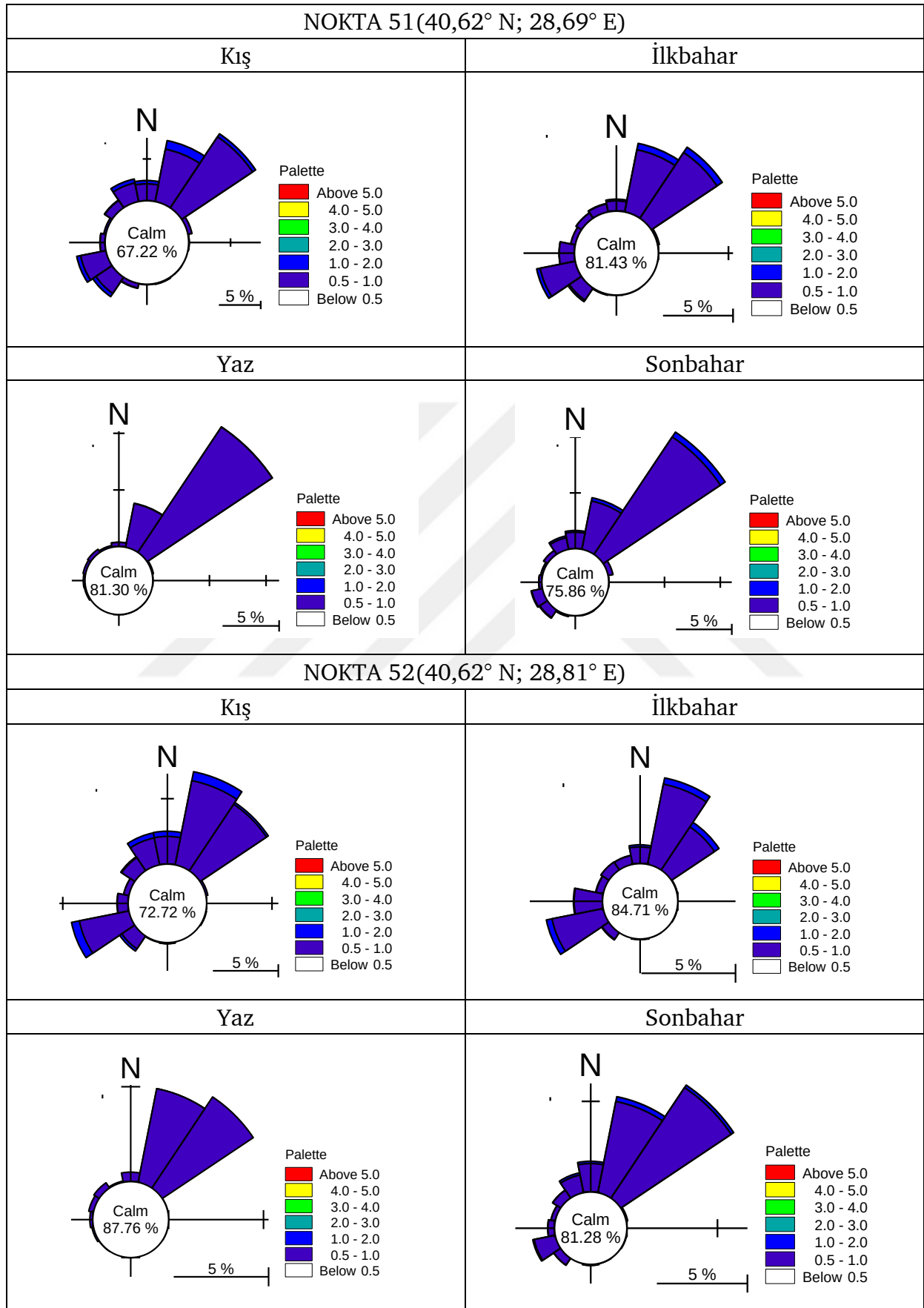


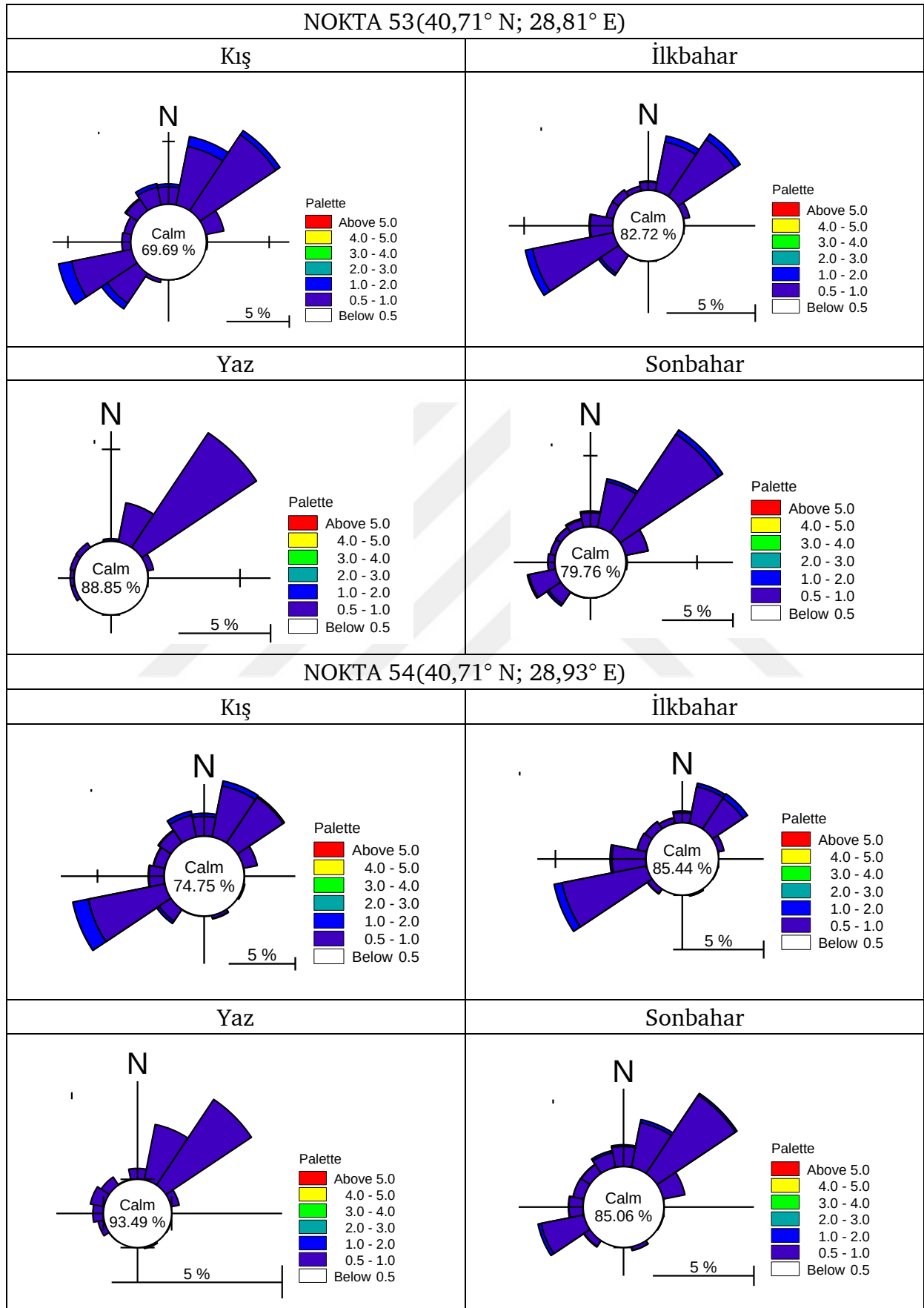


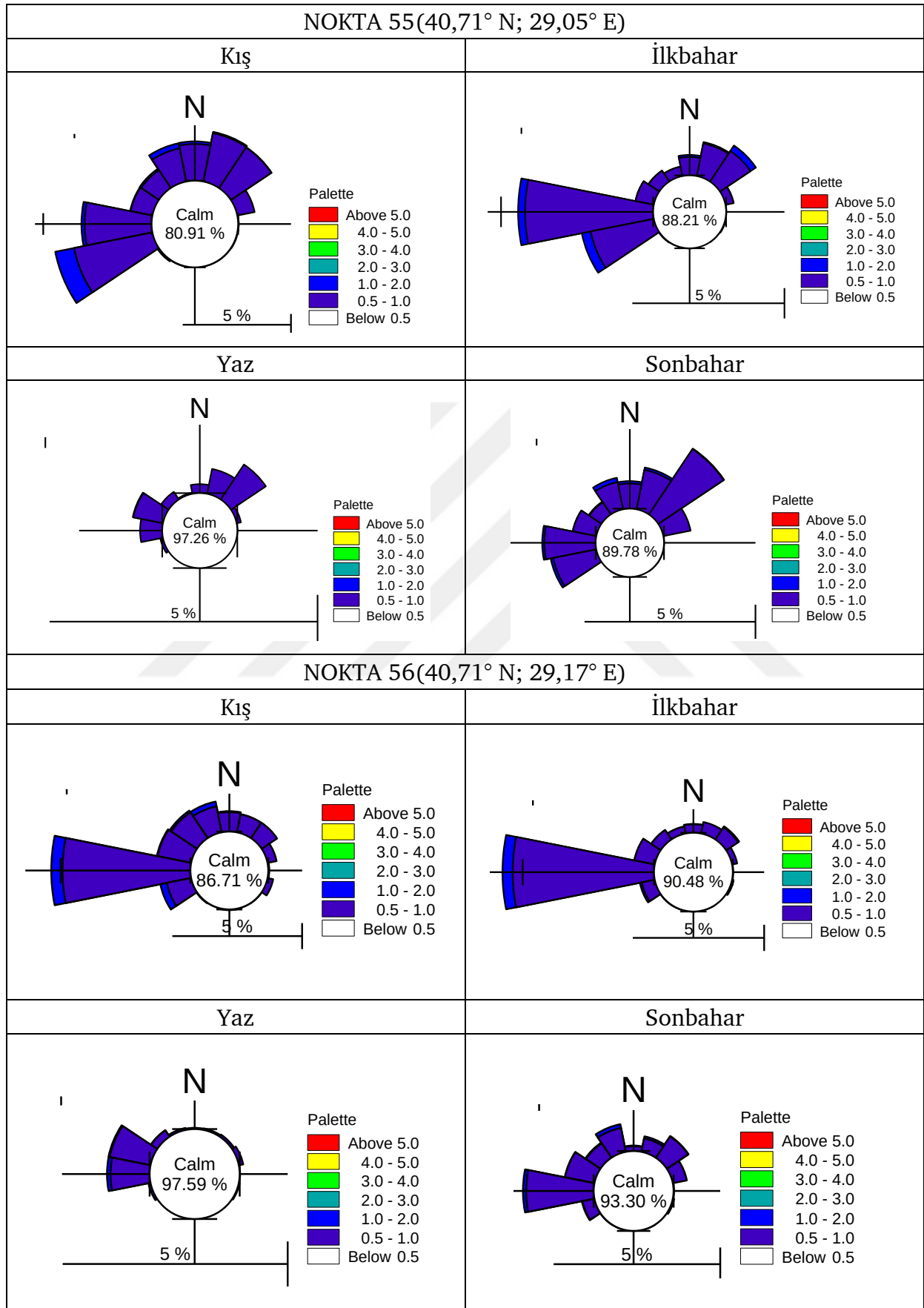


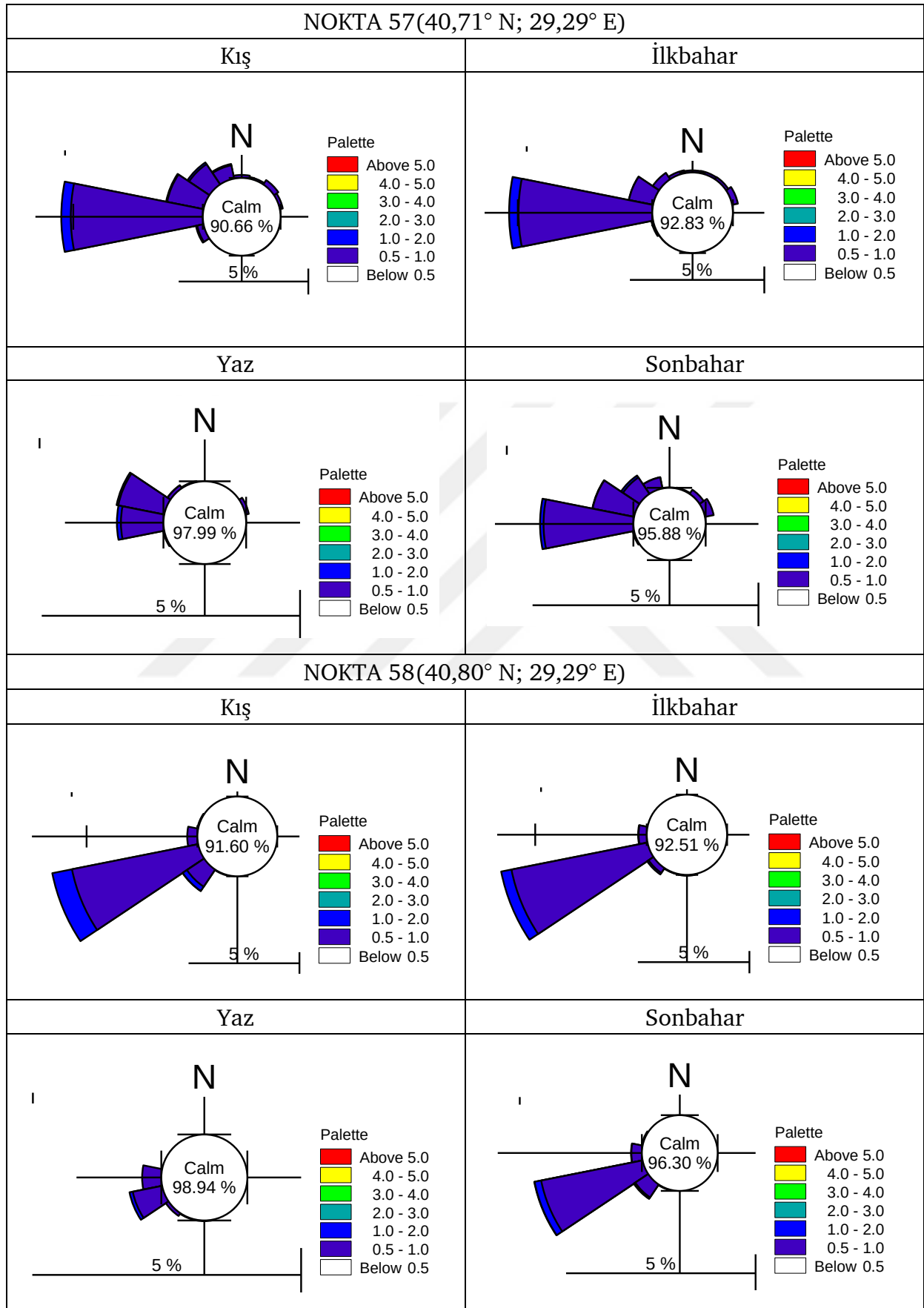


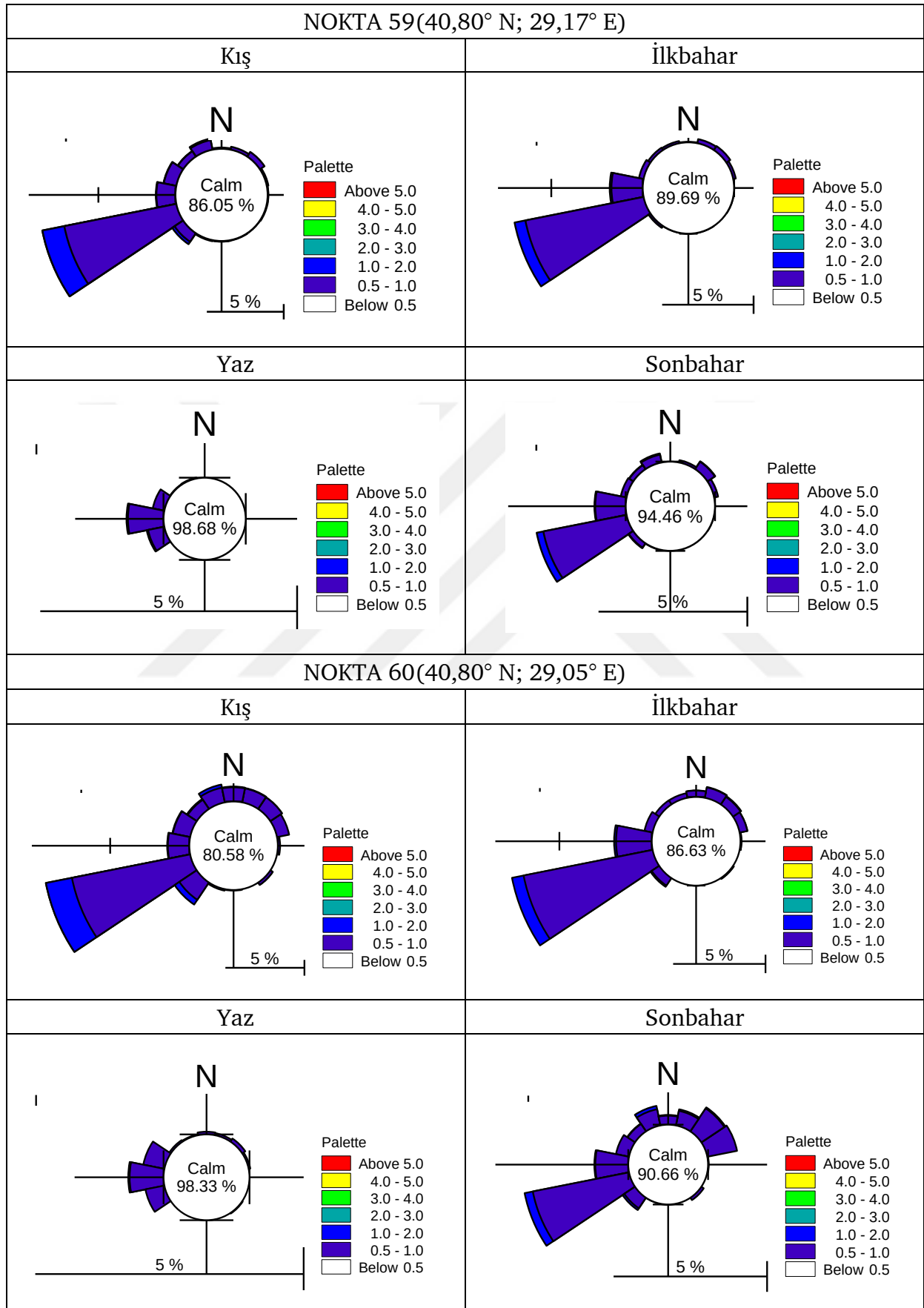


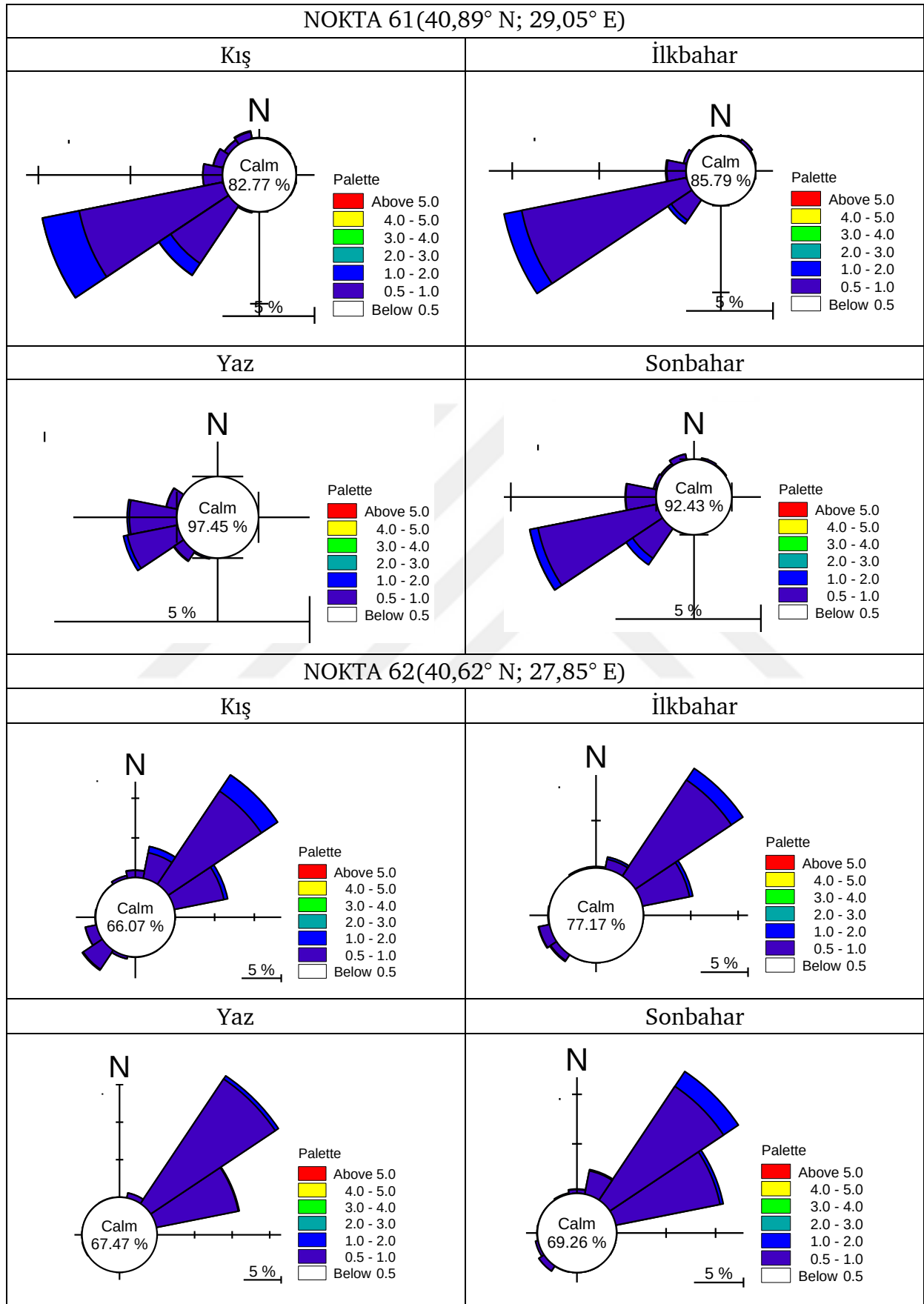


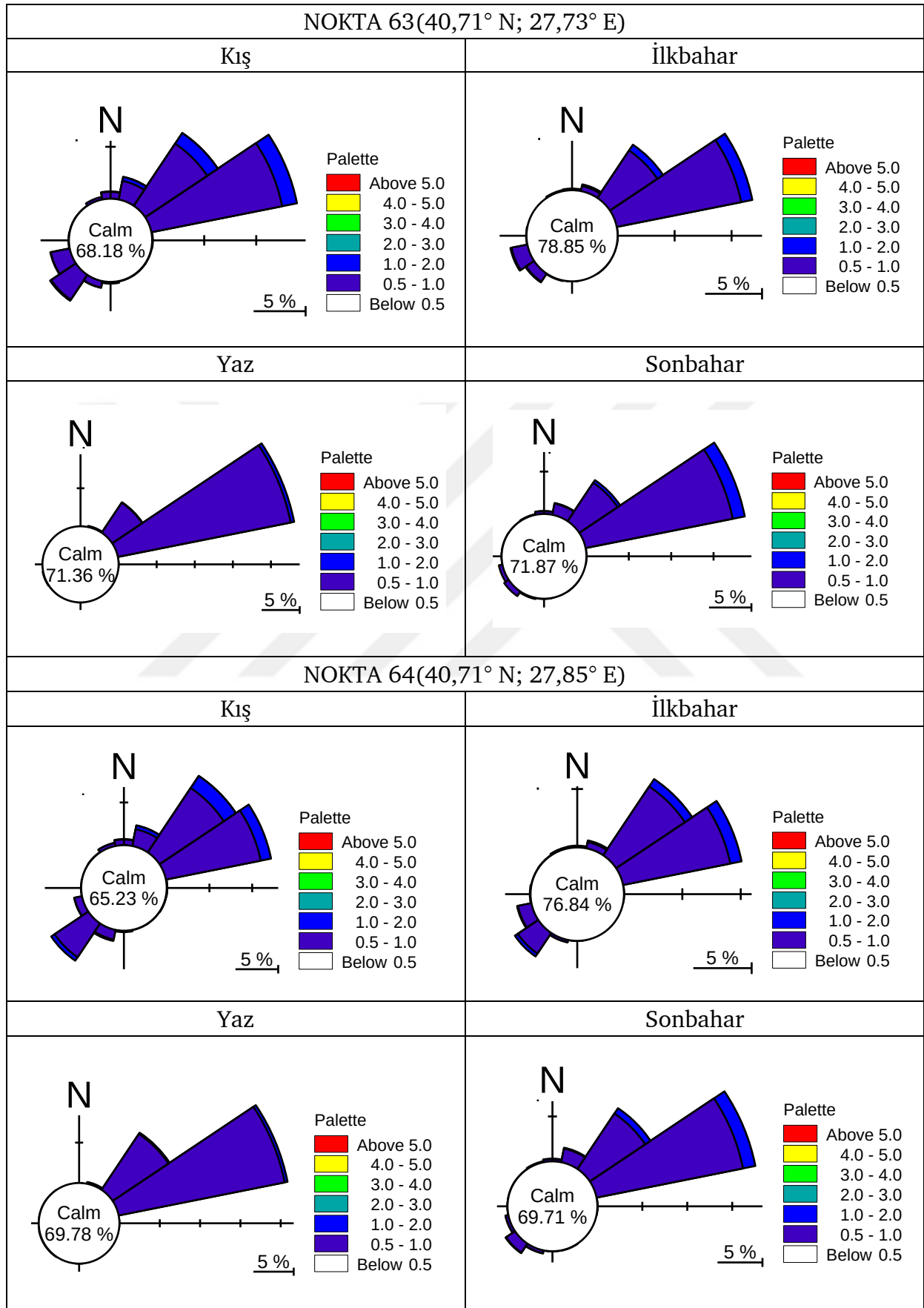


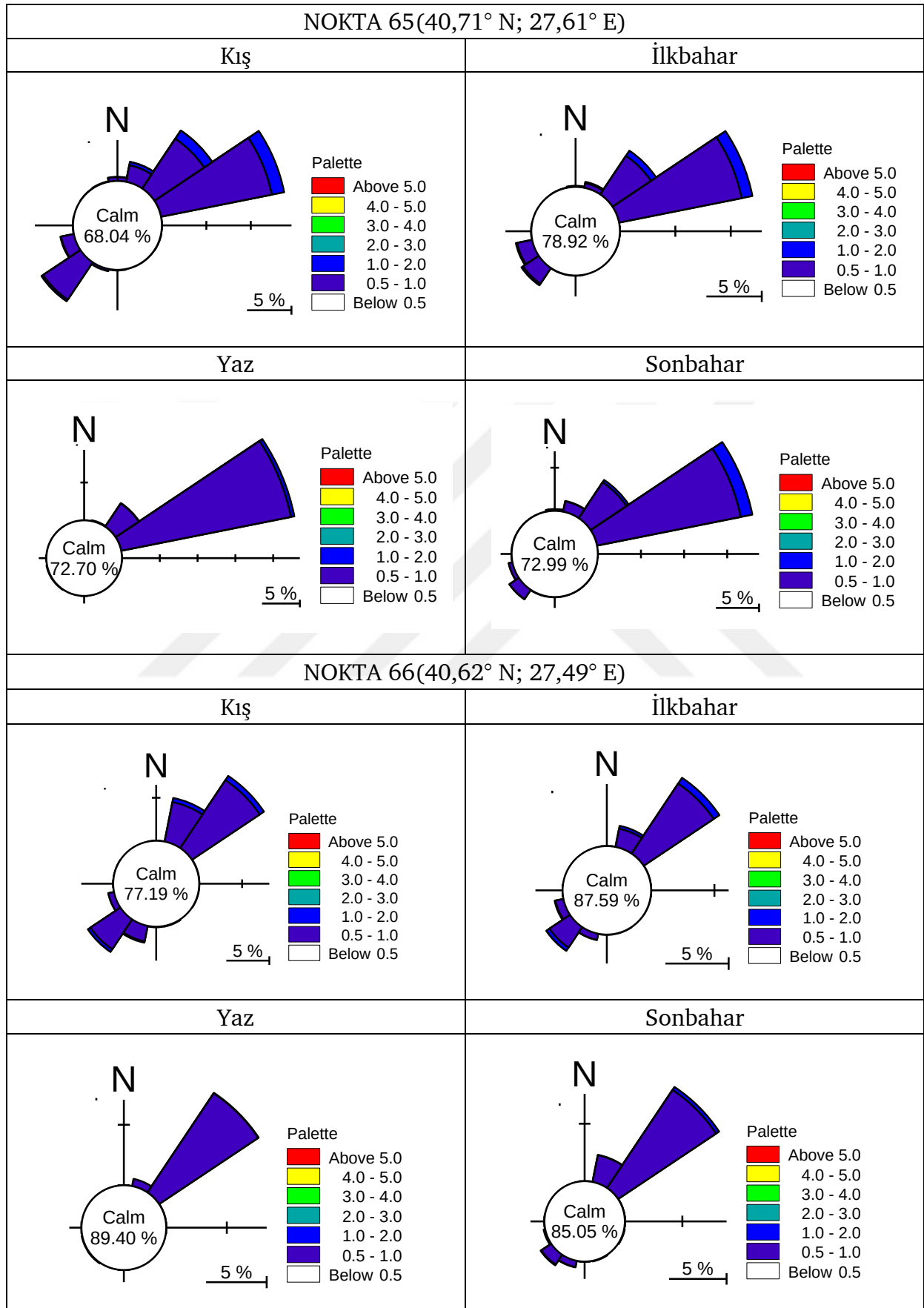


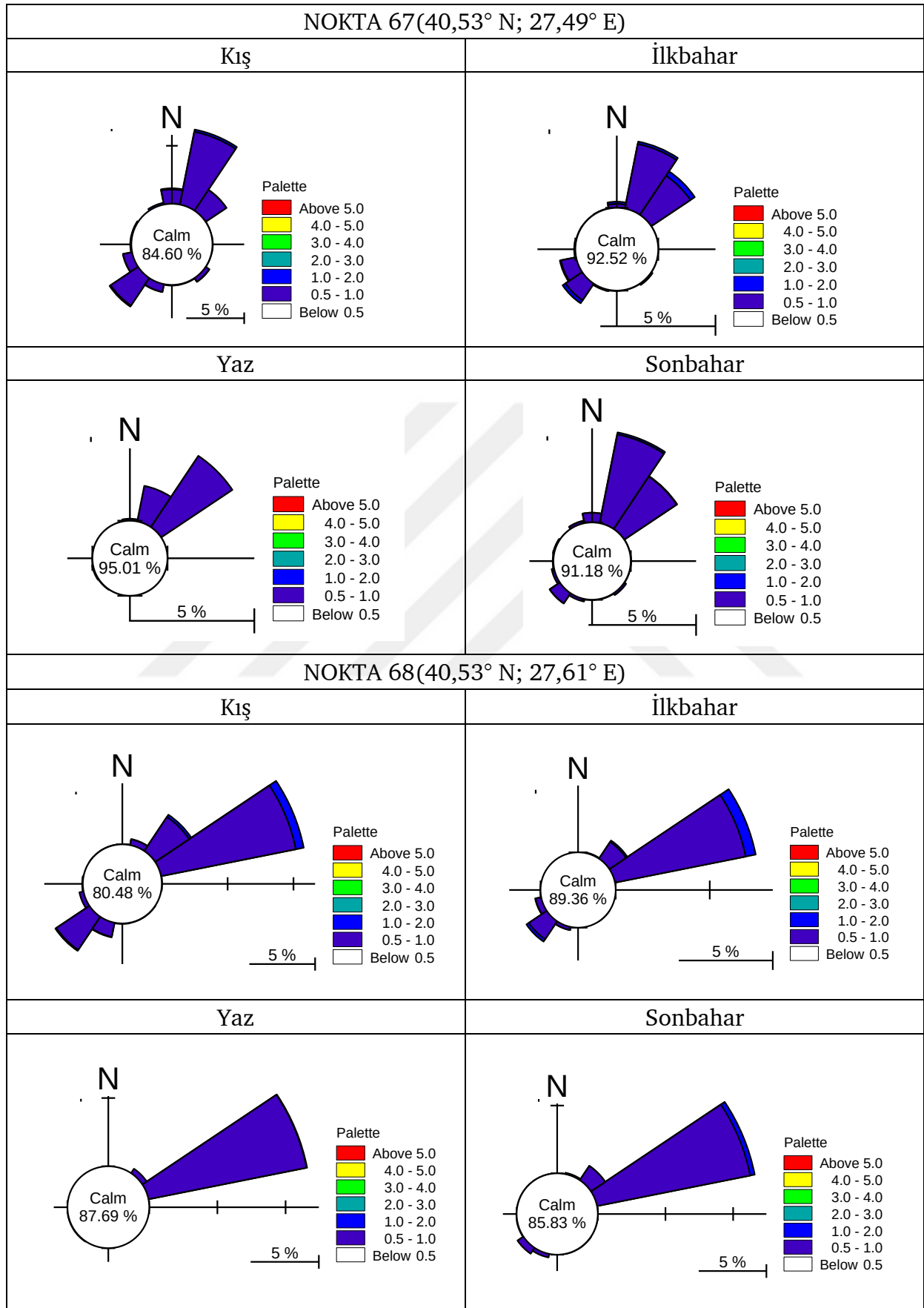






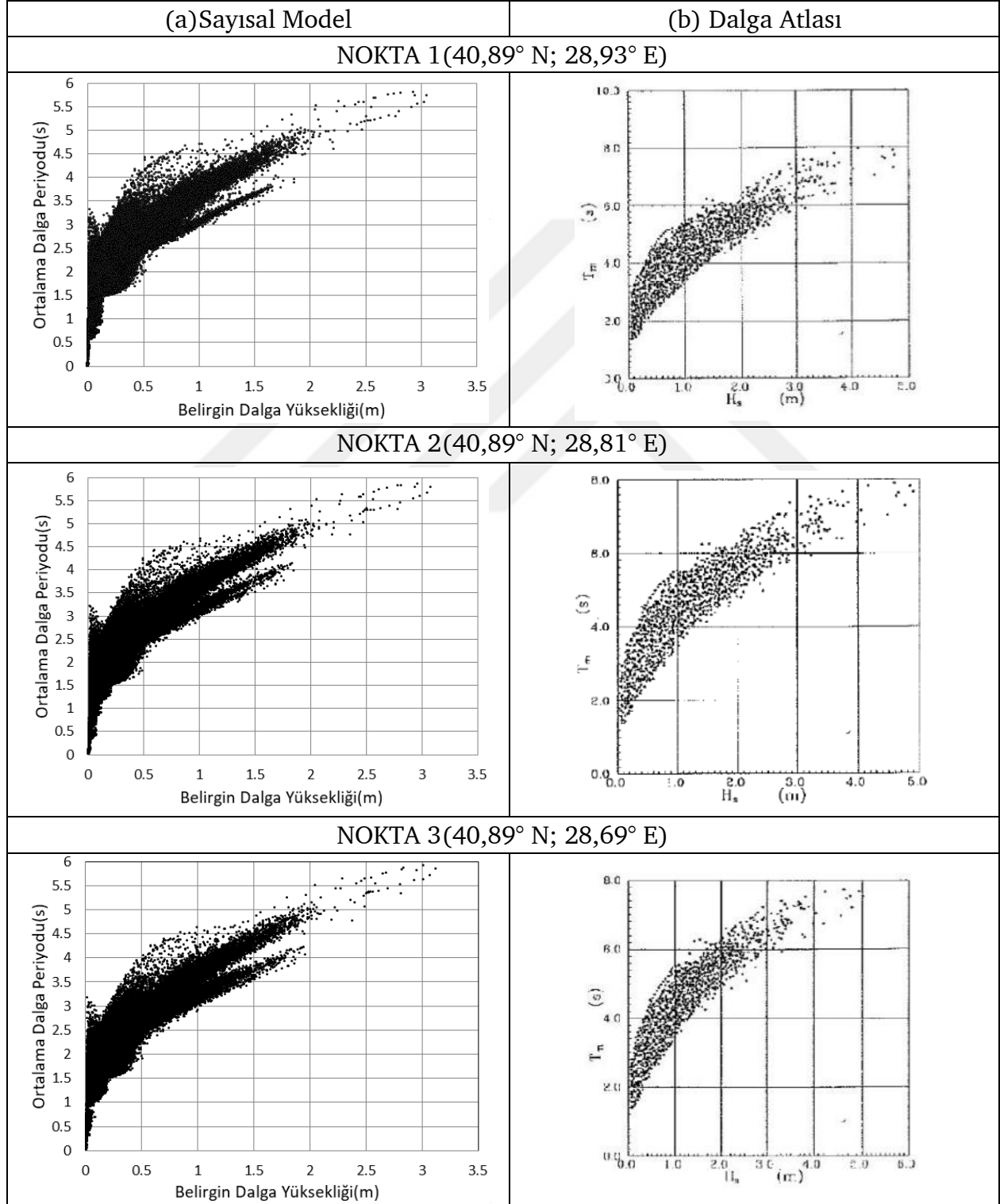


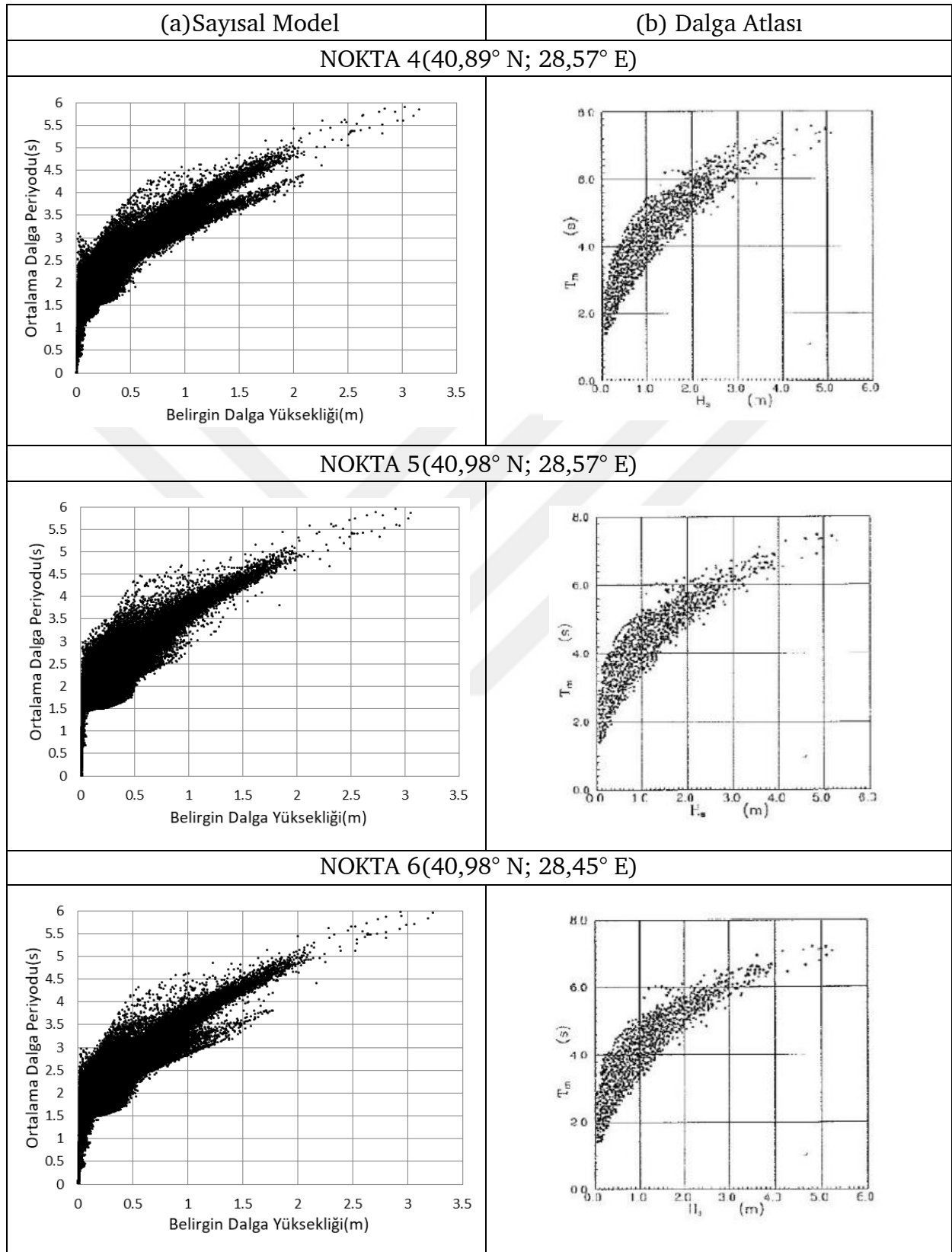


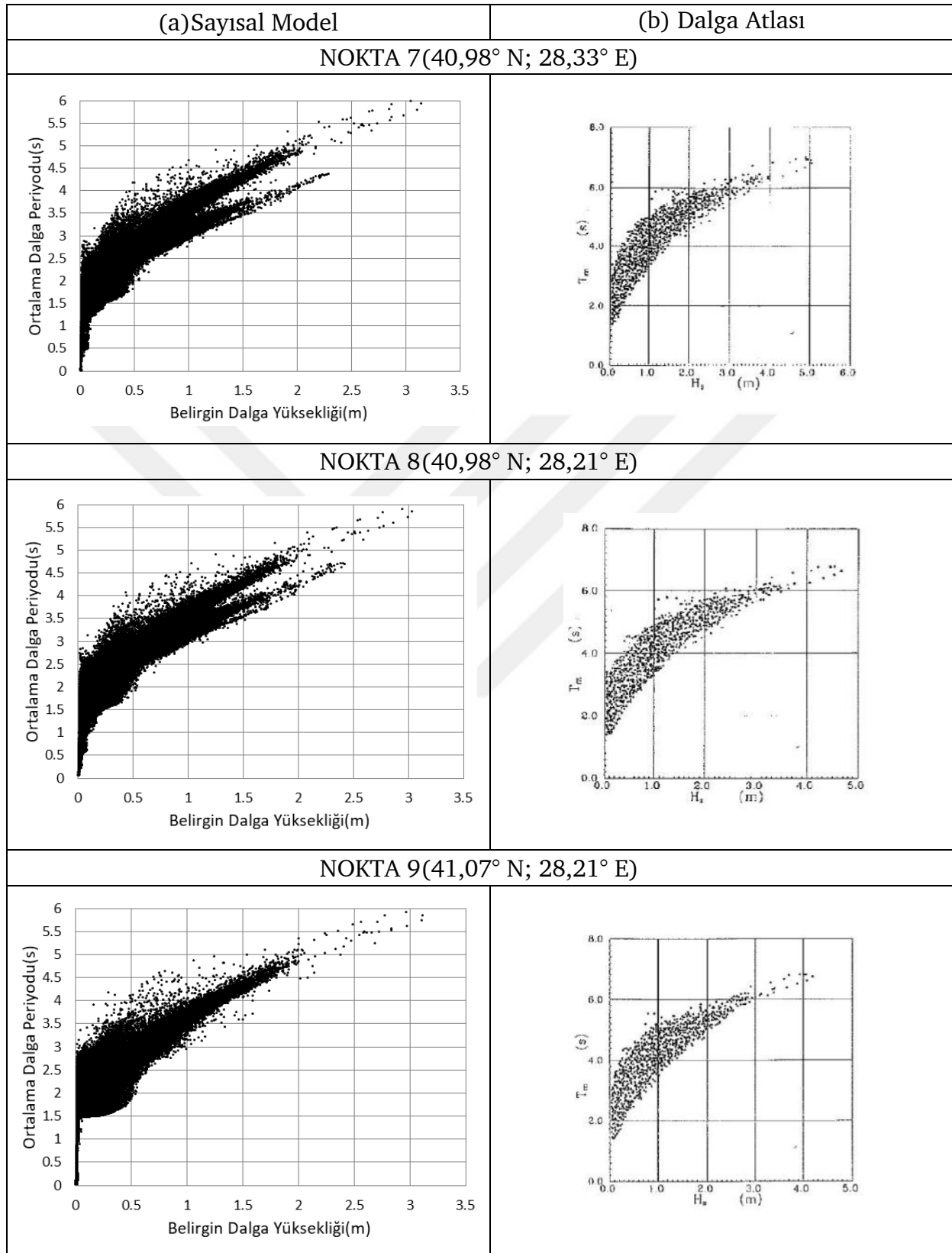


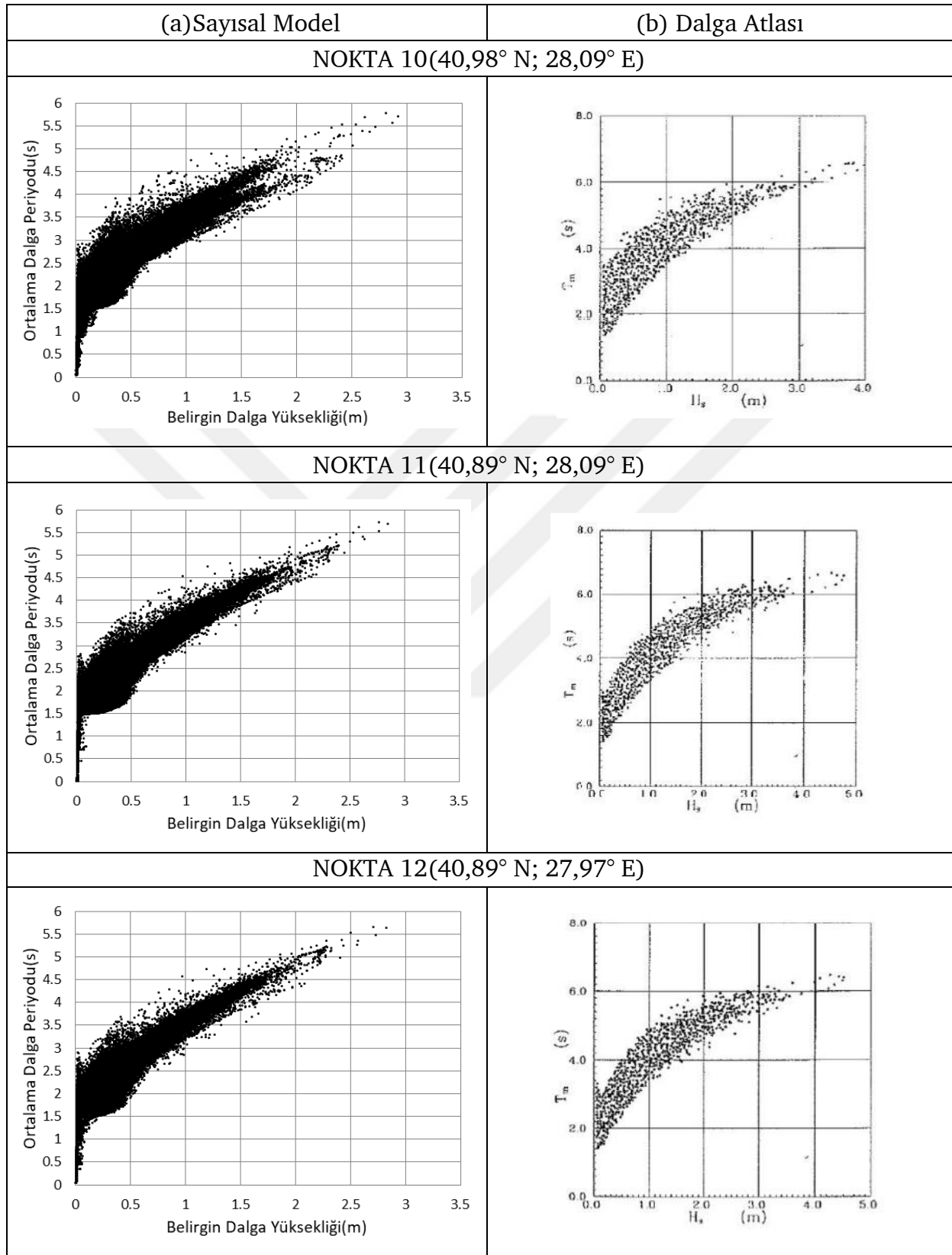
D

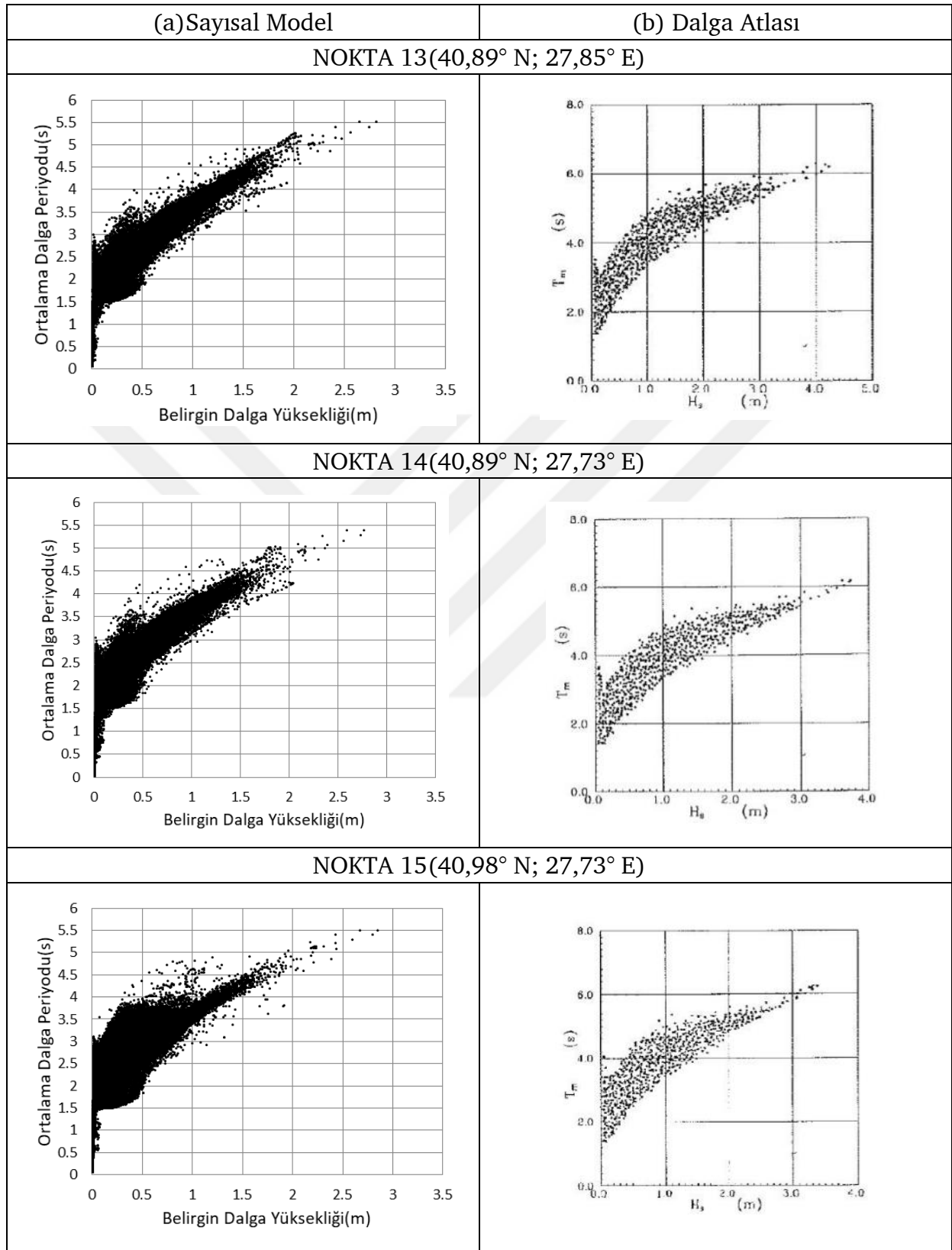
MARMARA DENİZİ'NİN BELİRGİN DALGA YÜKSEKLİĞİ- ORTALAMA DALGA PERİYODU GRAFİKLERİ

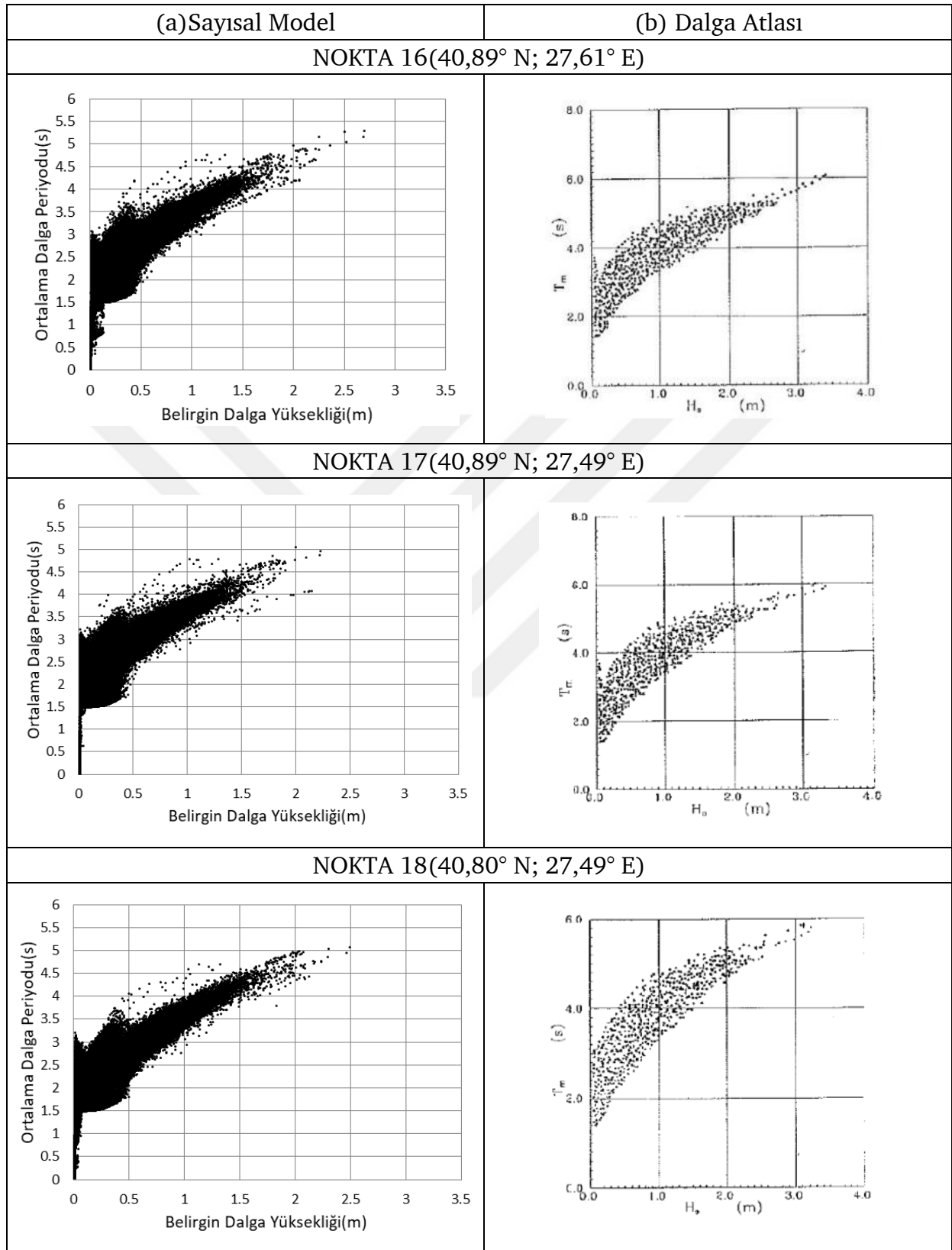


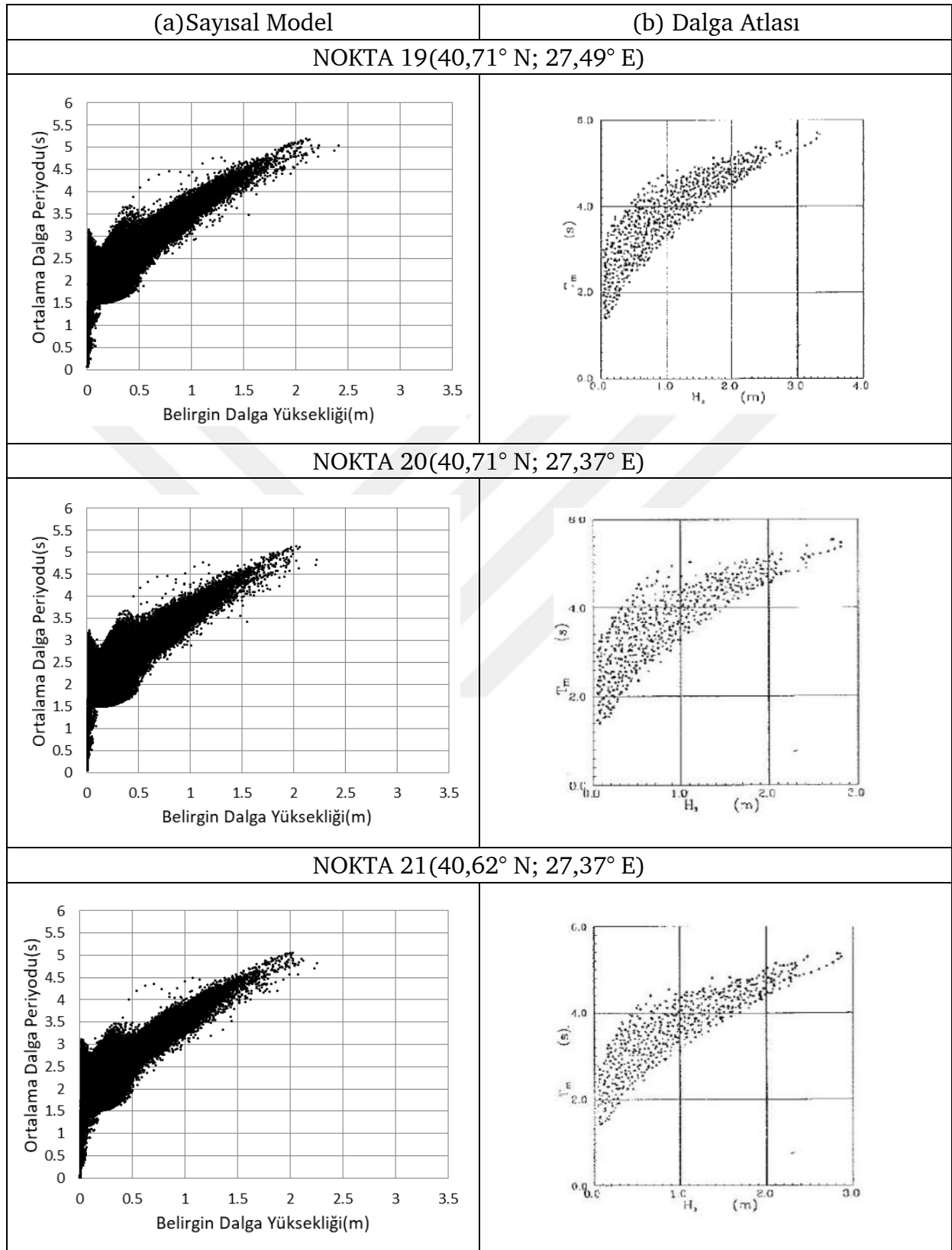


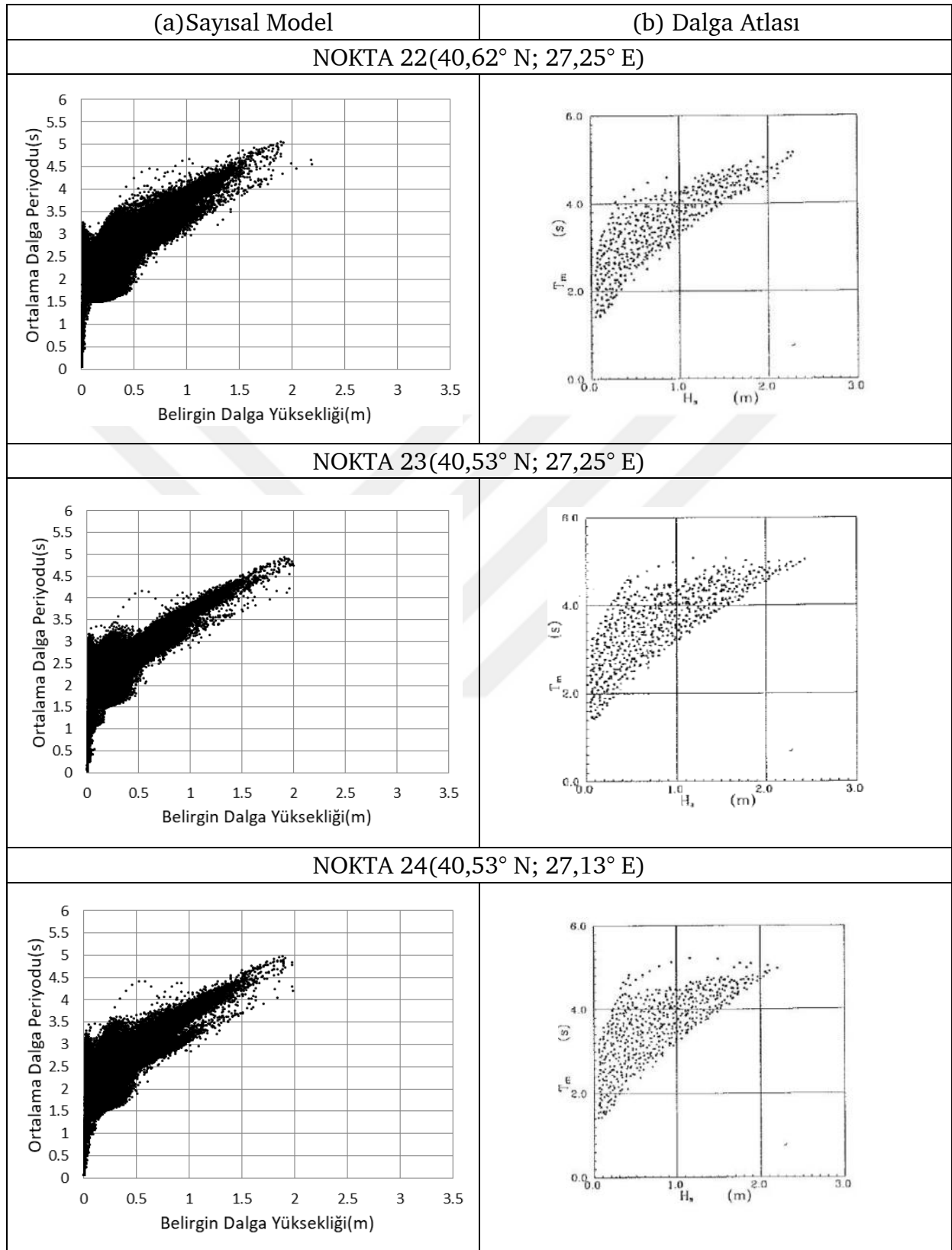


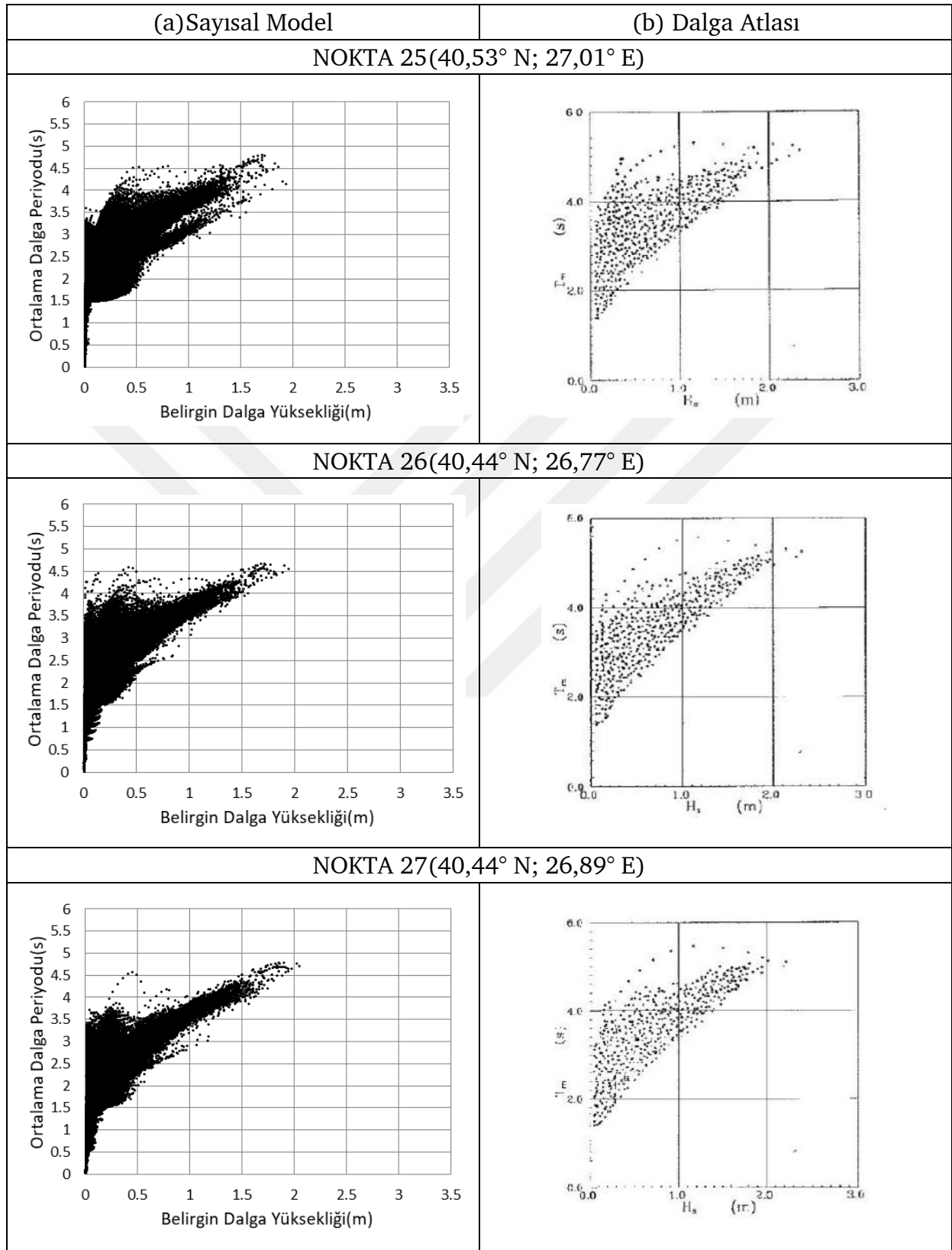


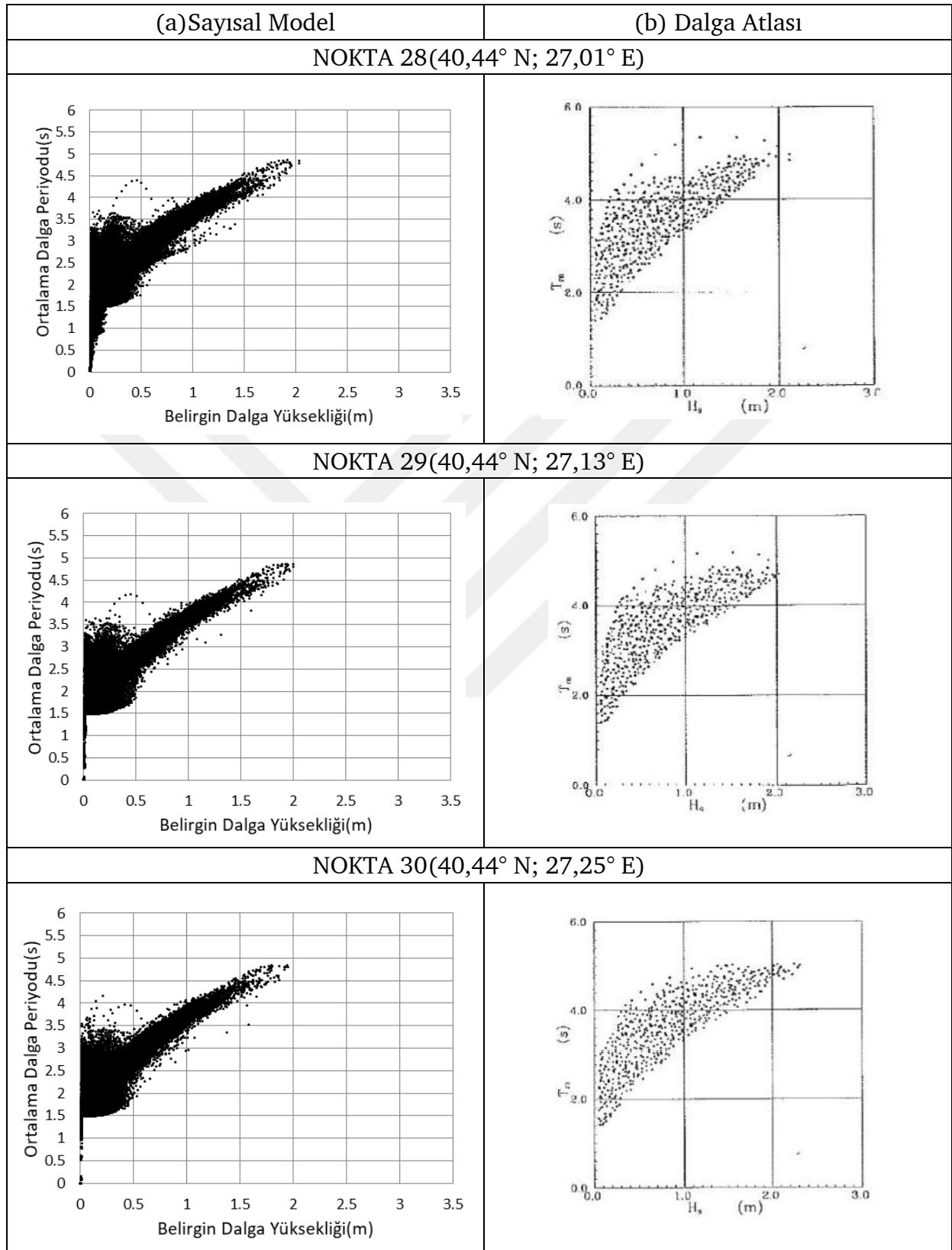


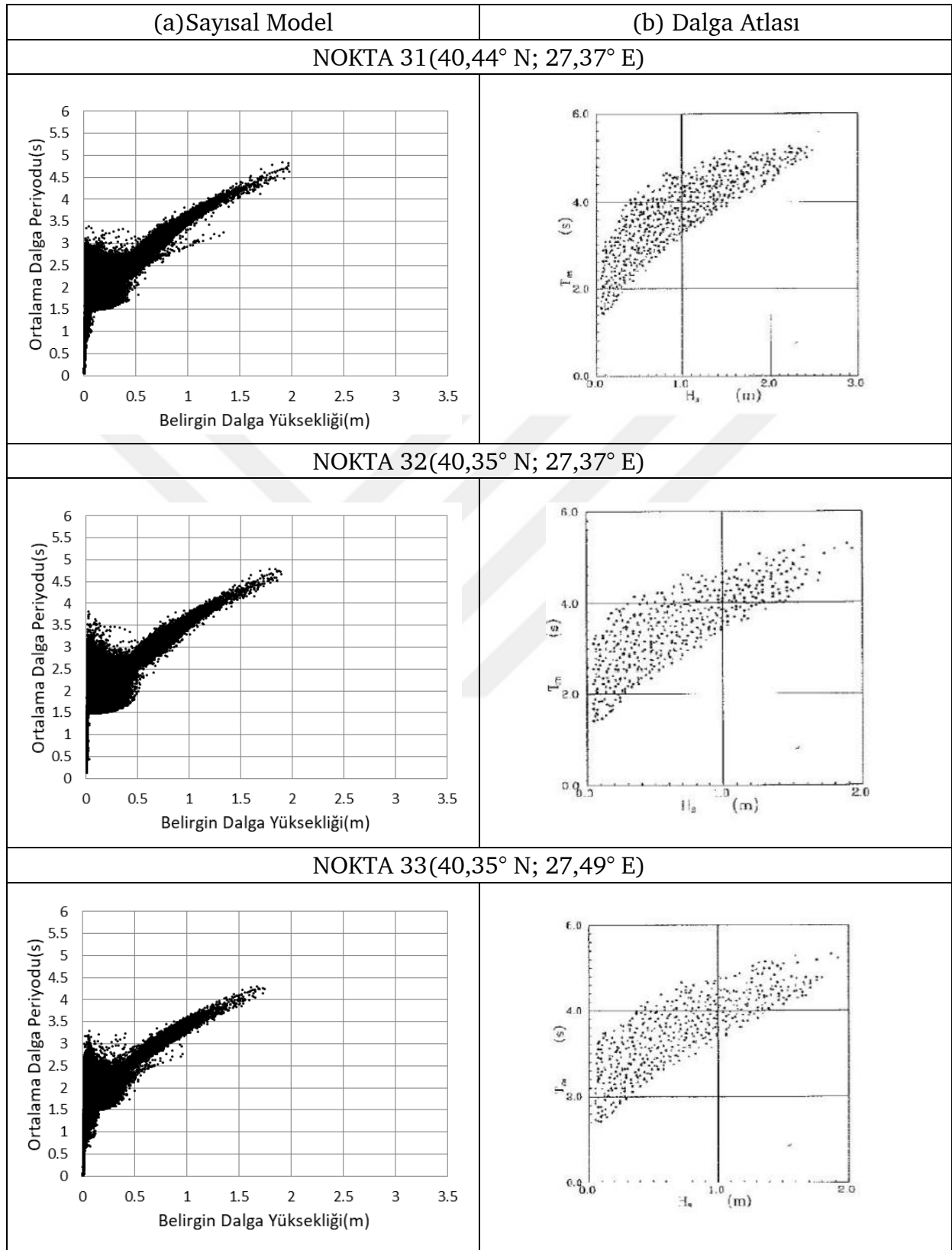


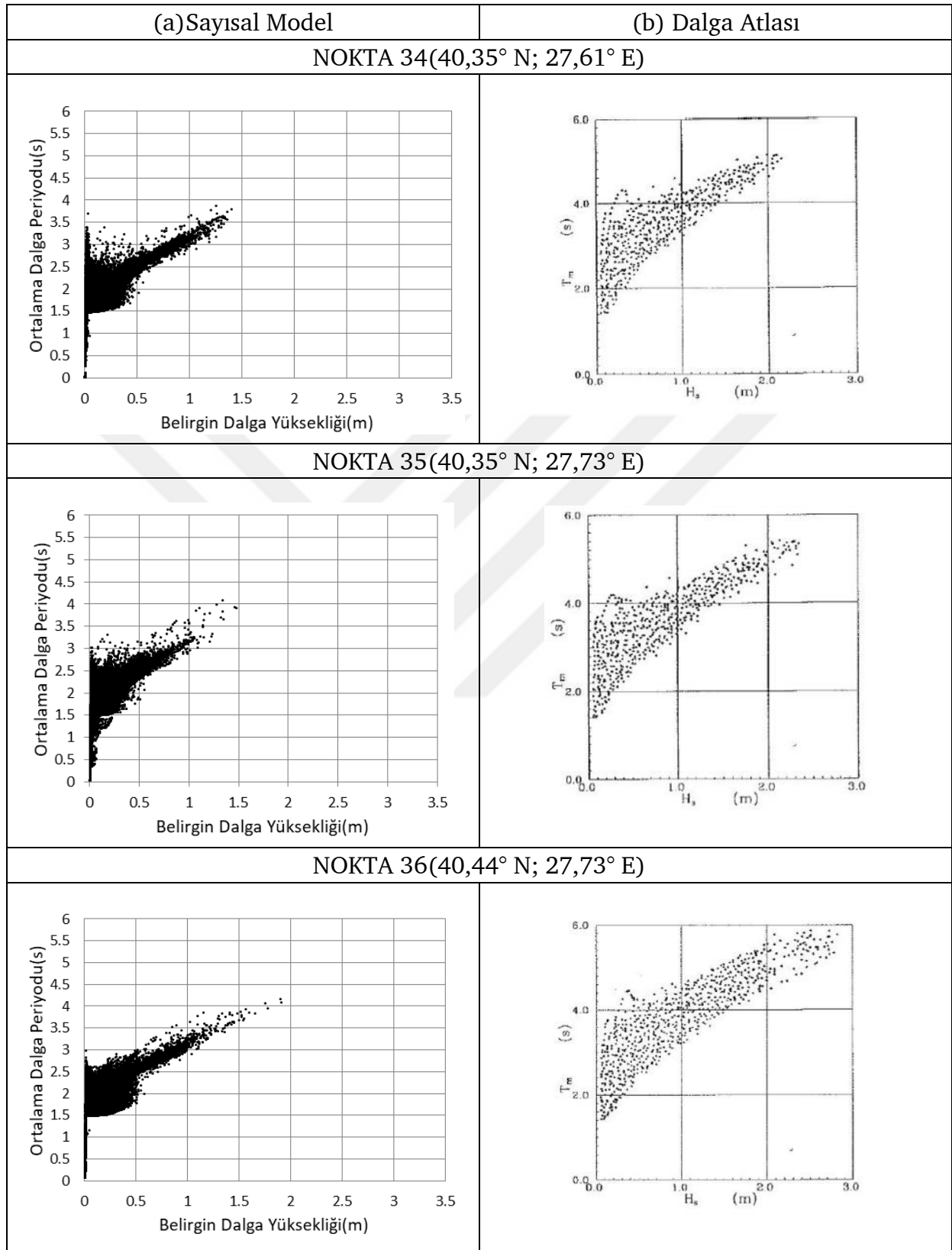


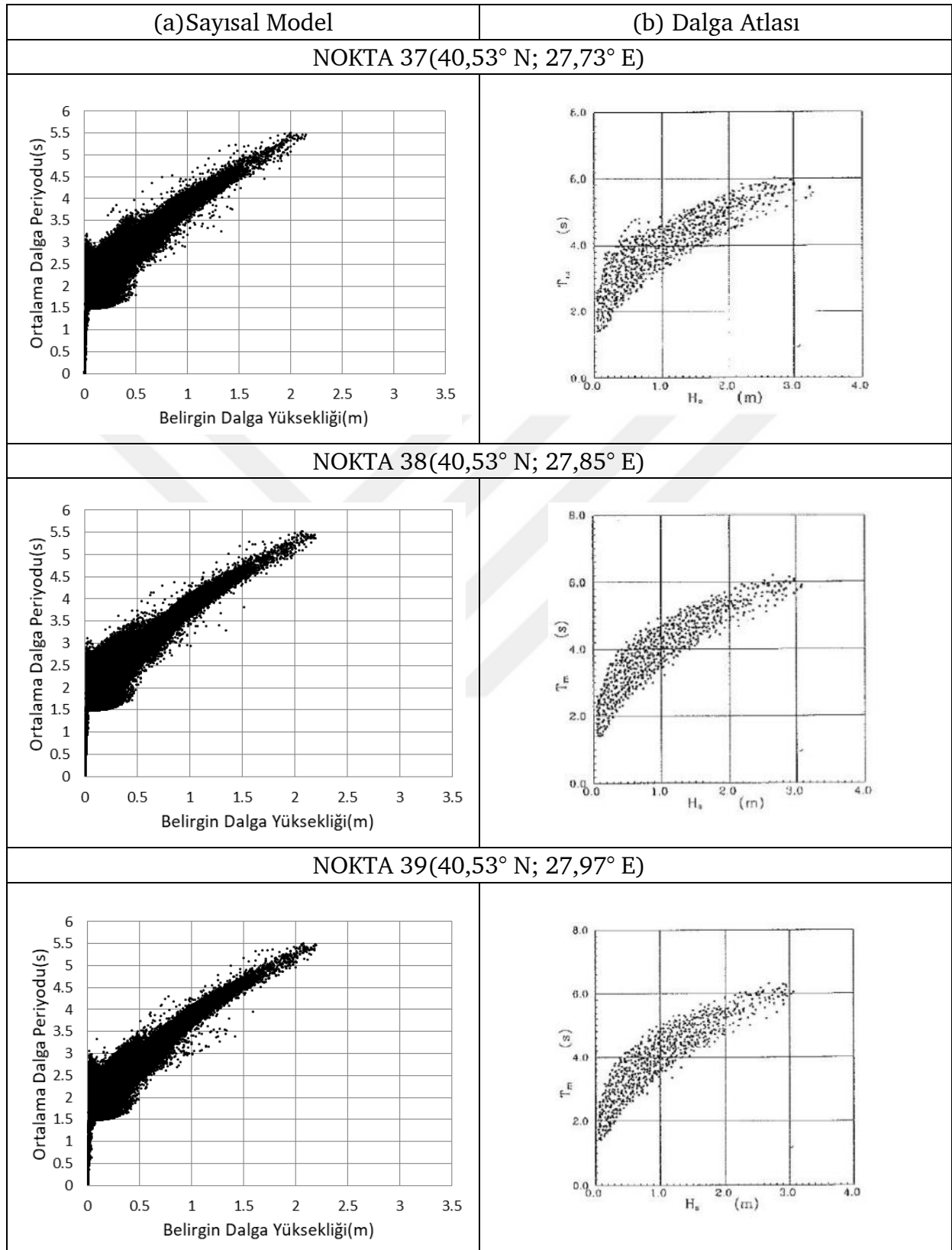


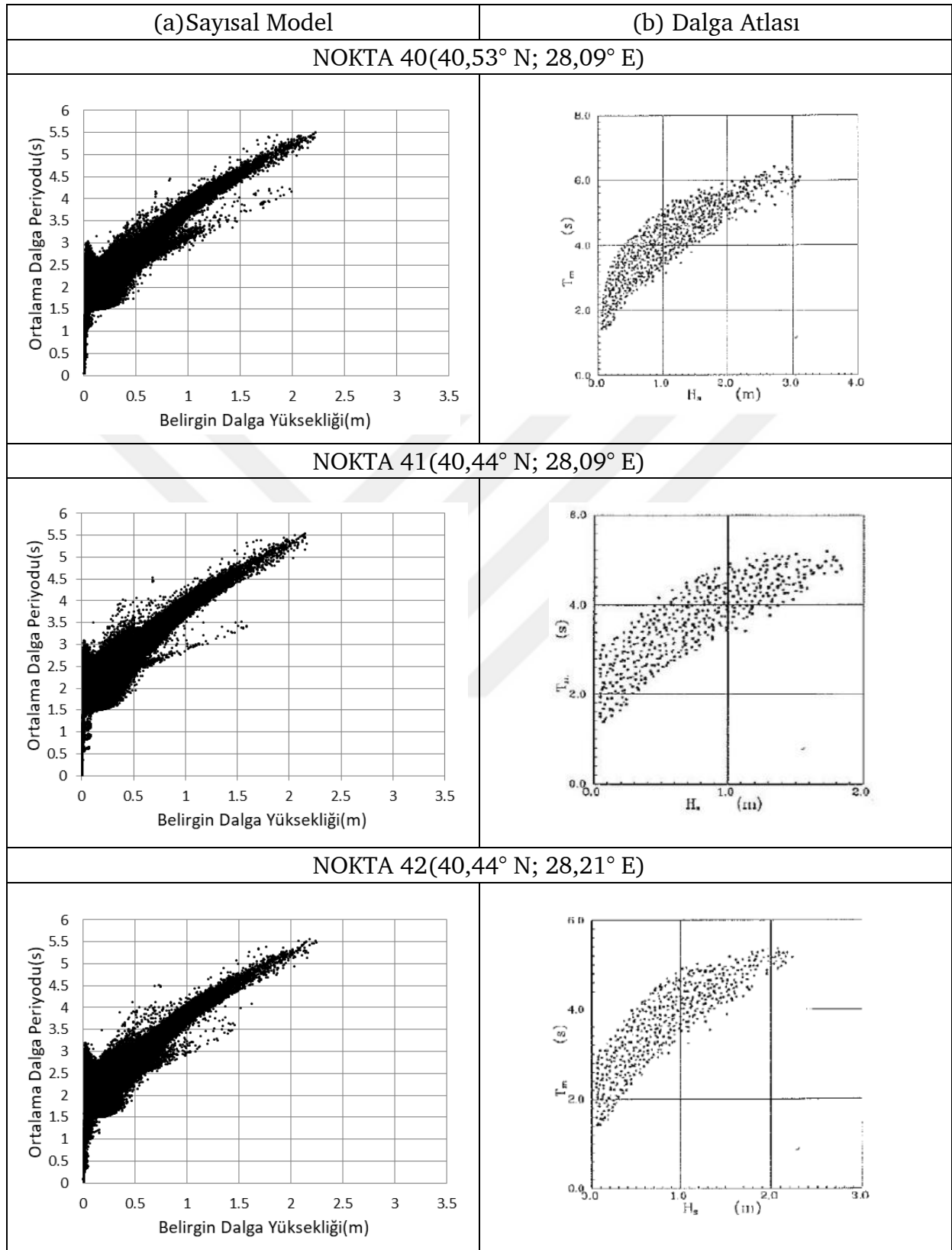


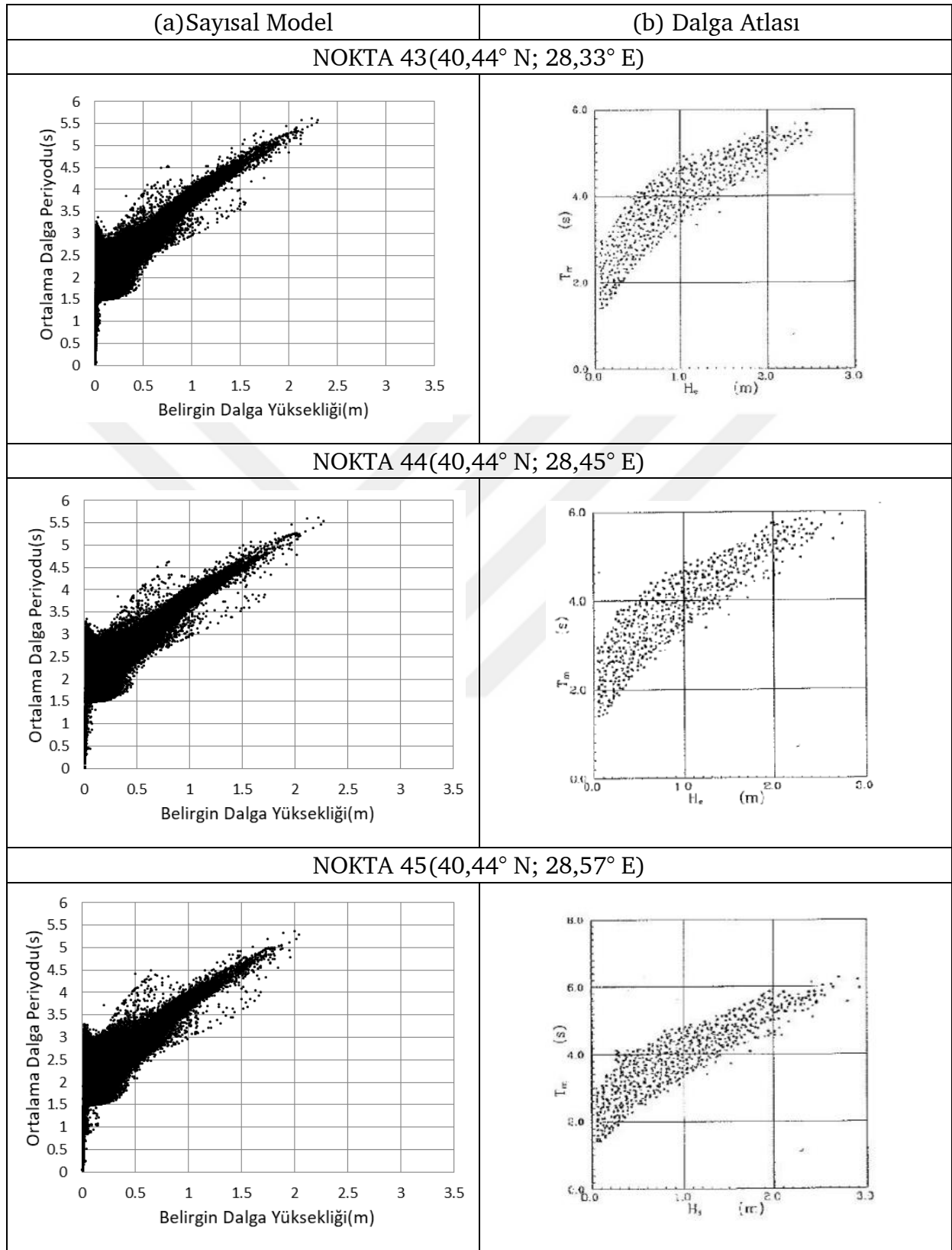


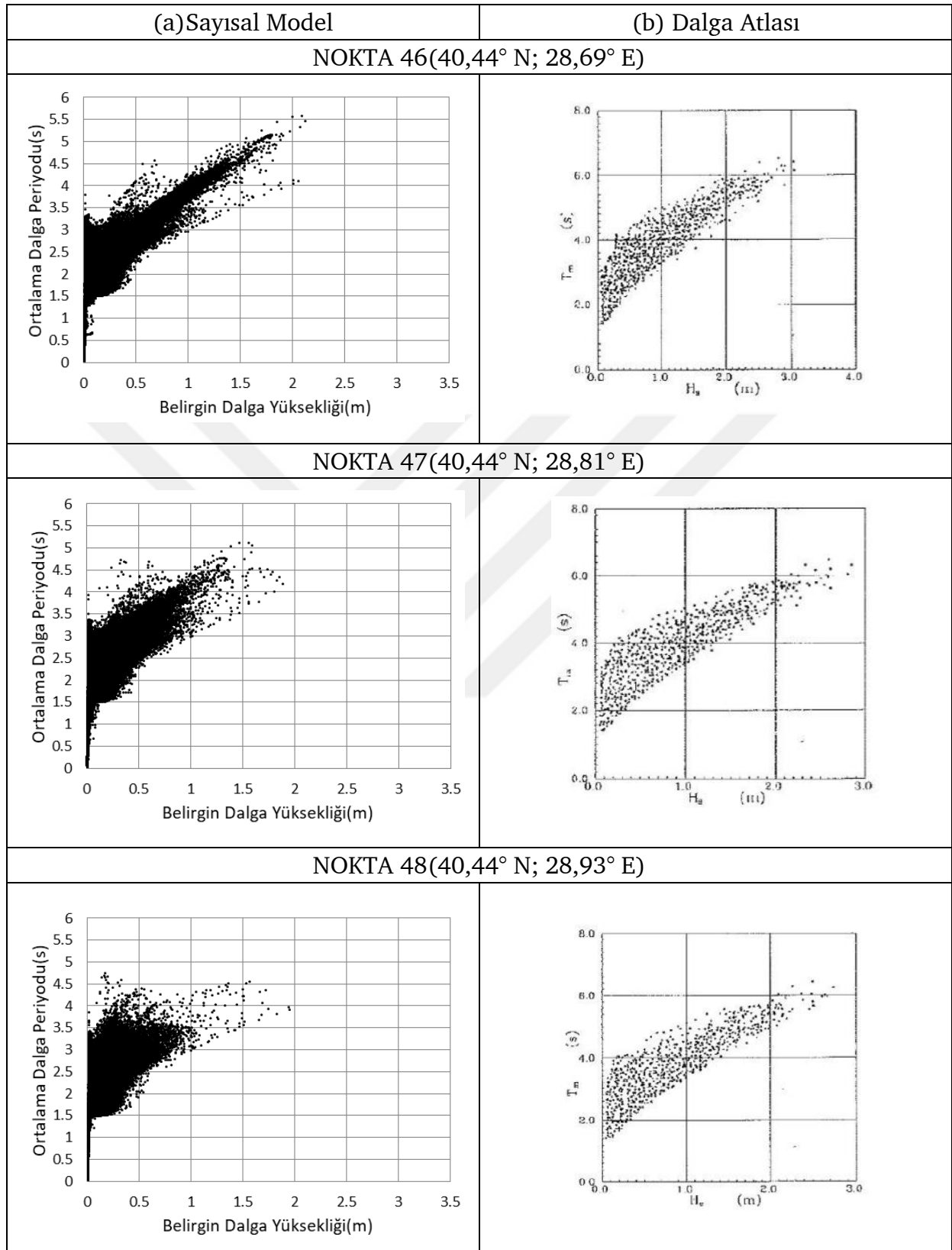


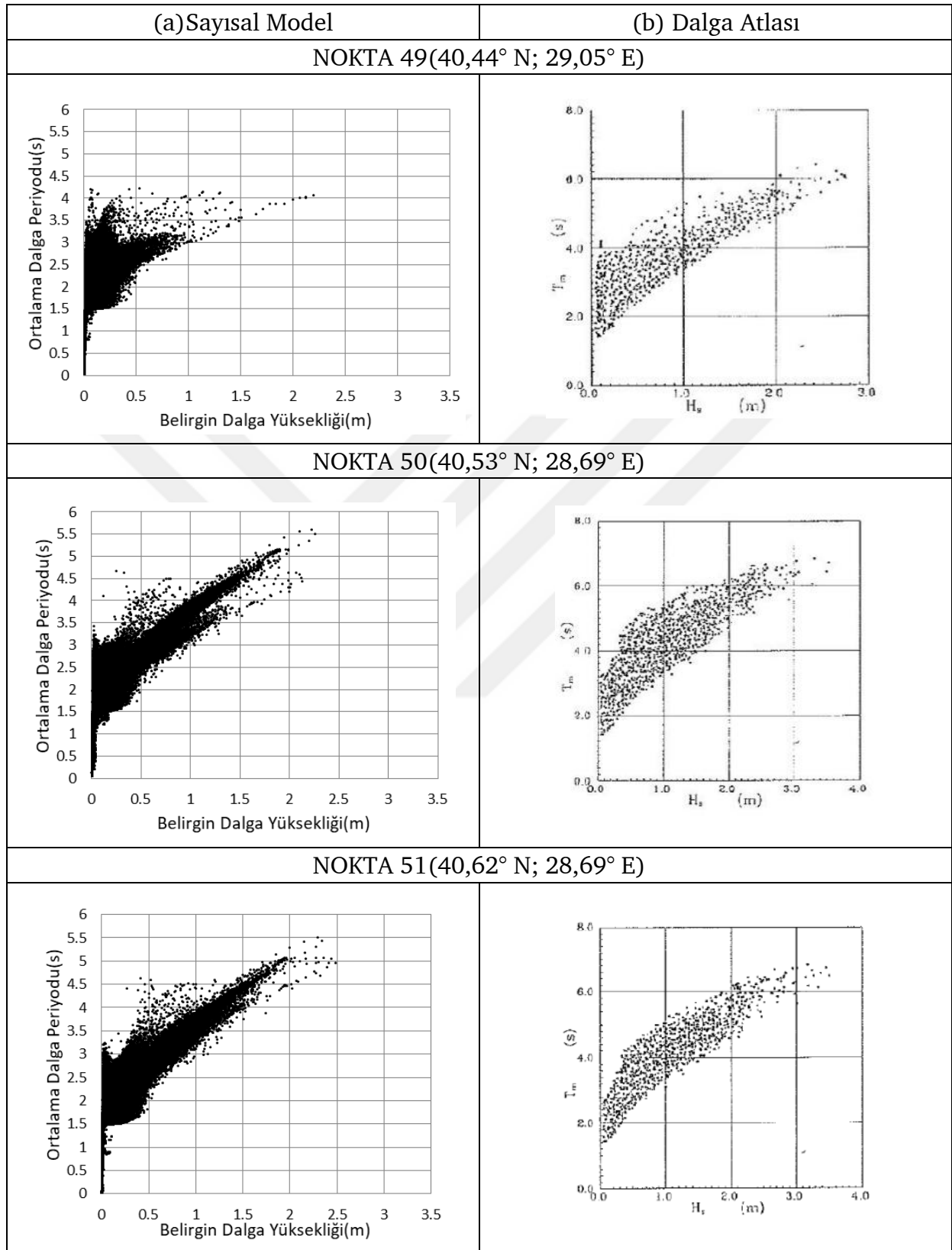


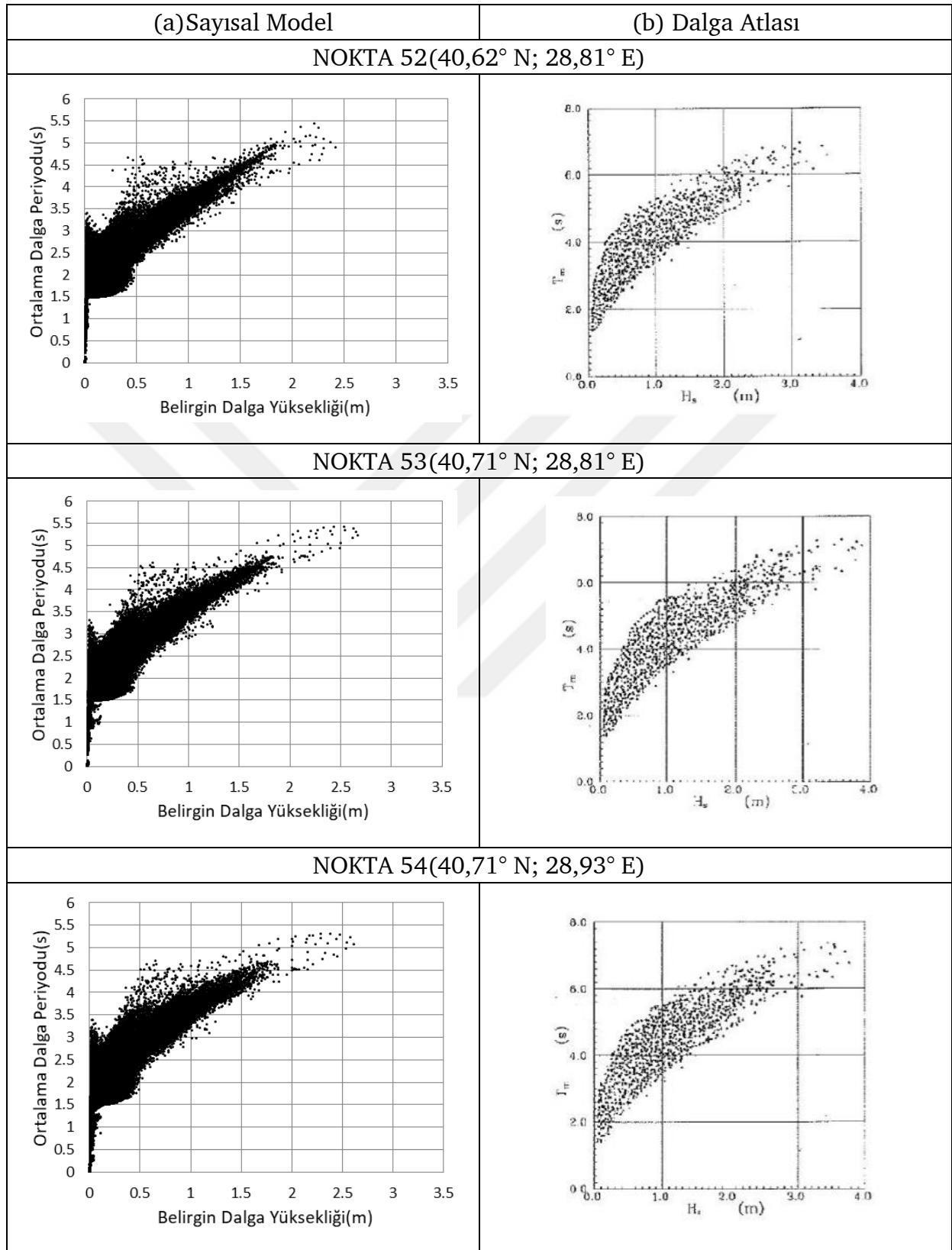


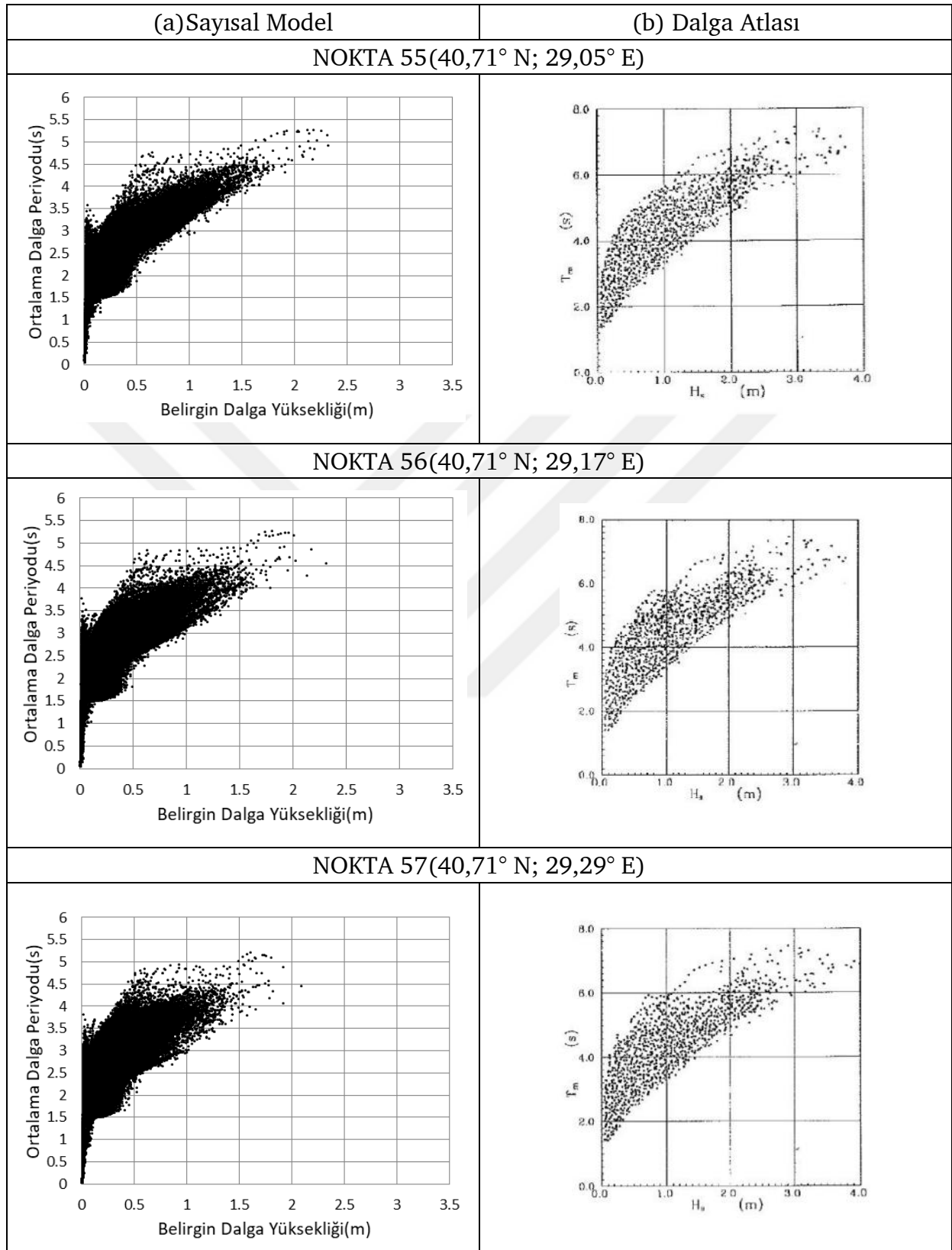


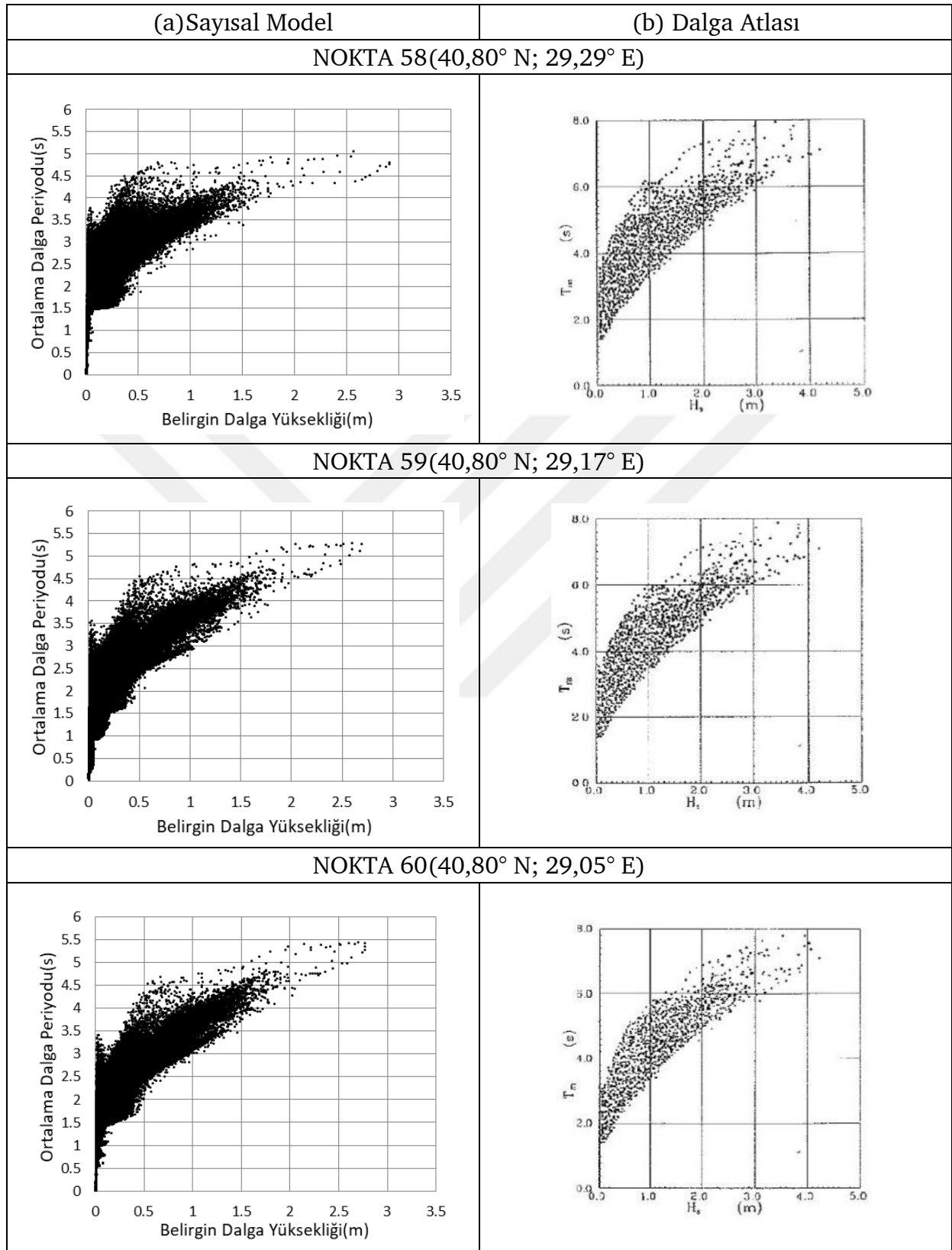


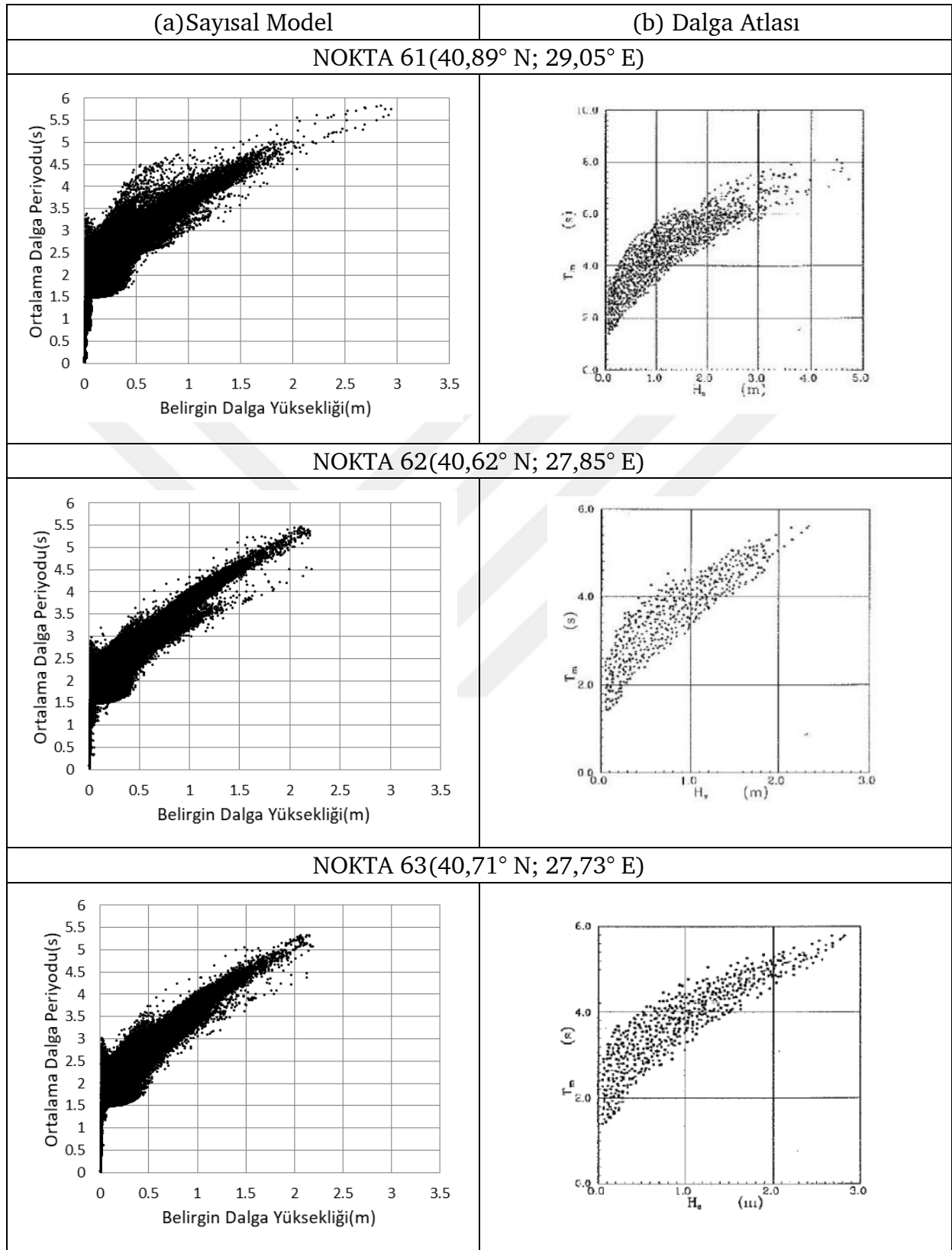


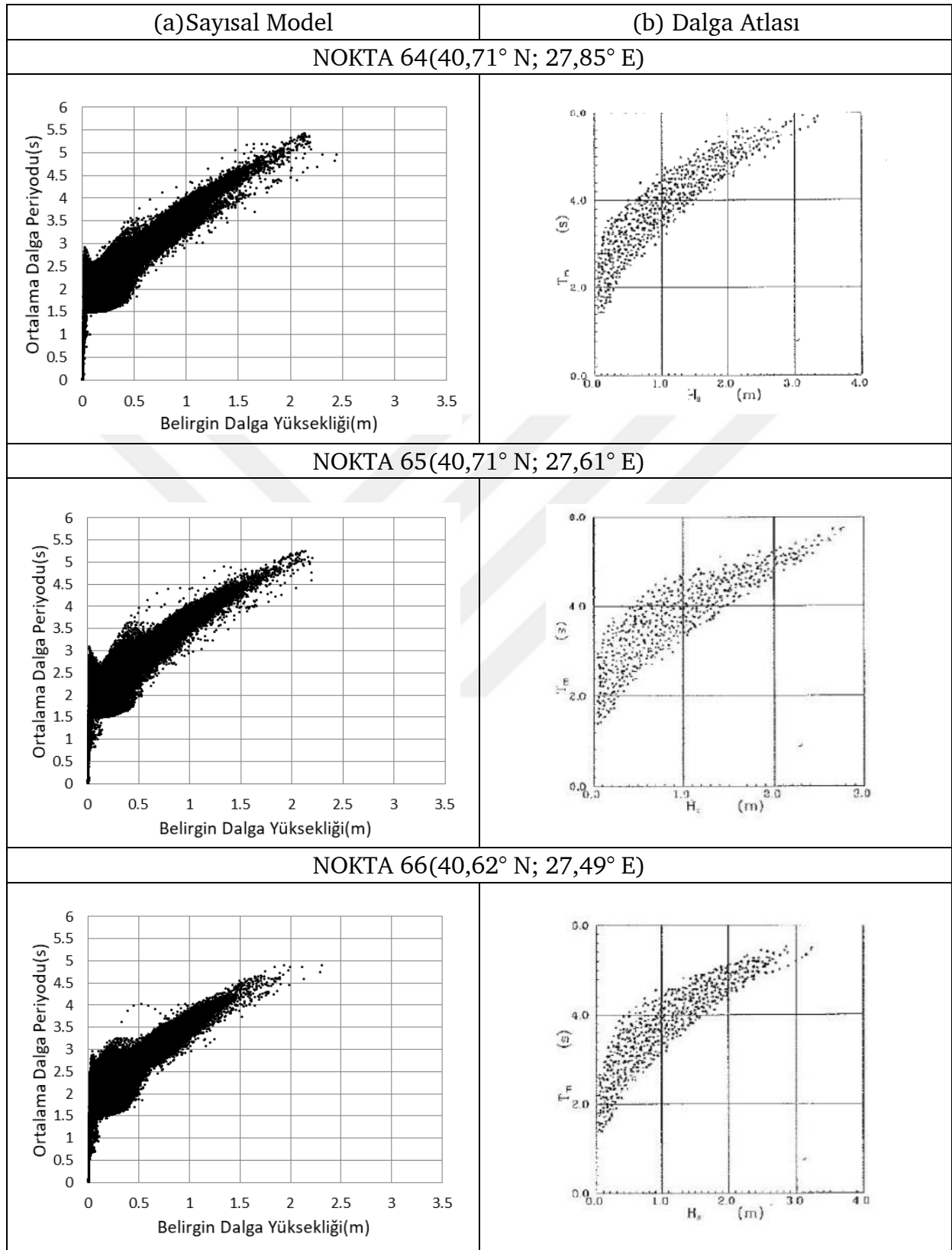


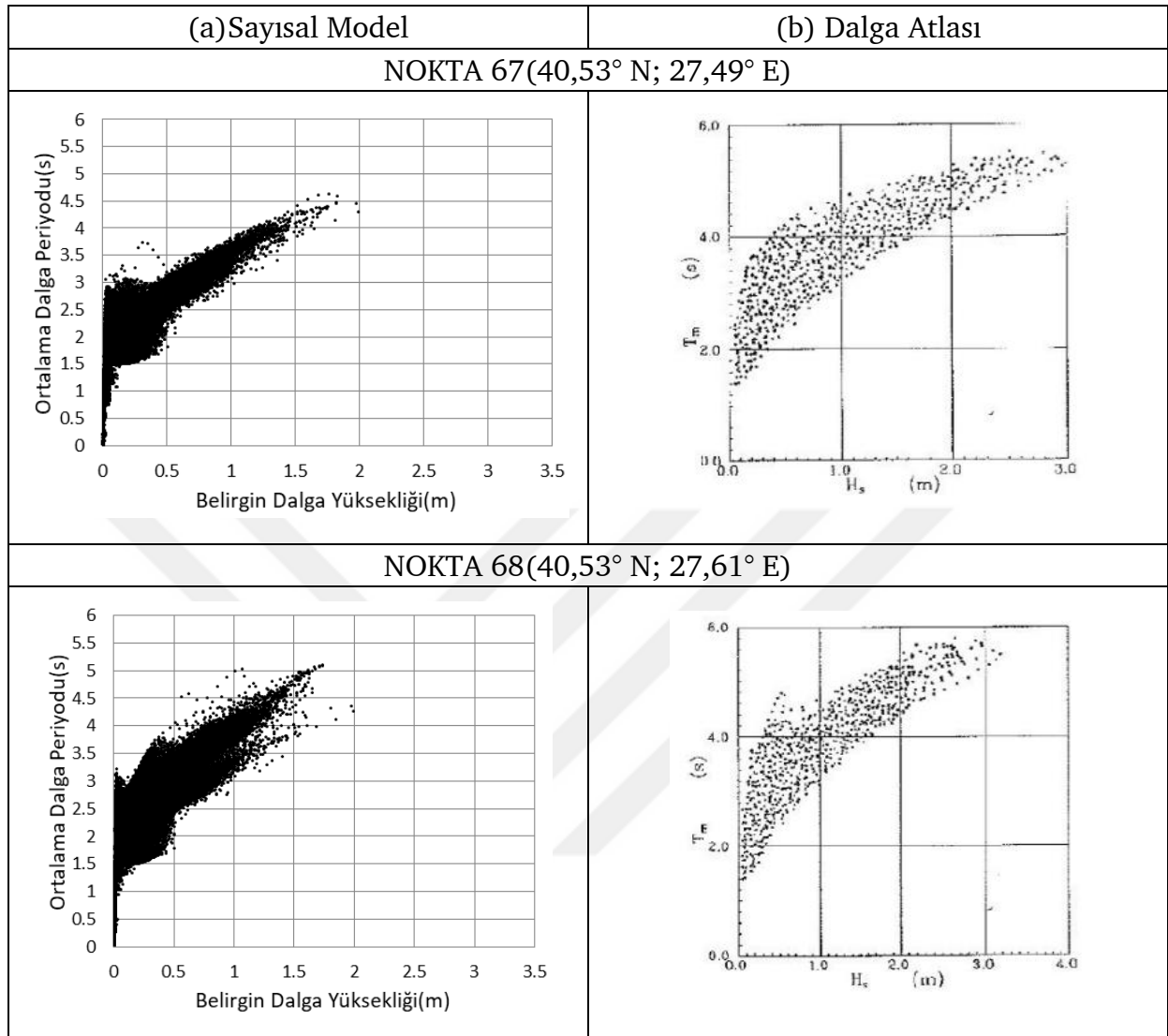




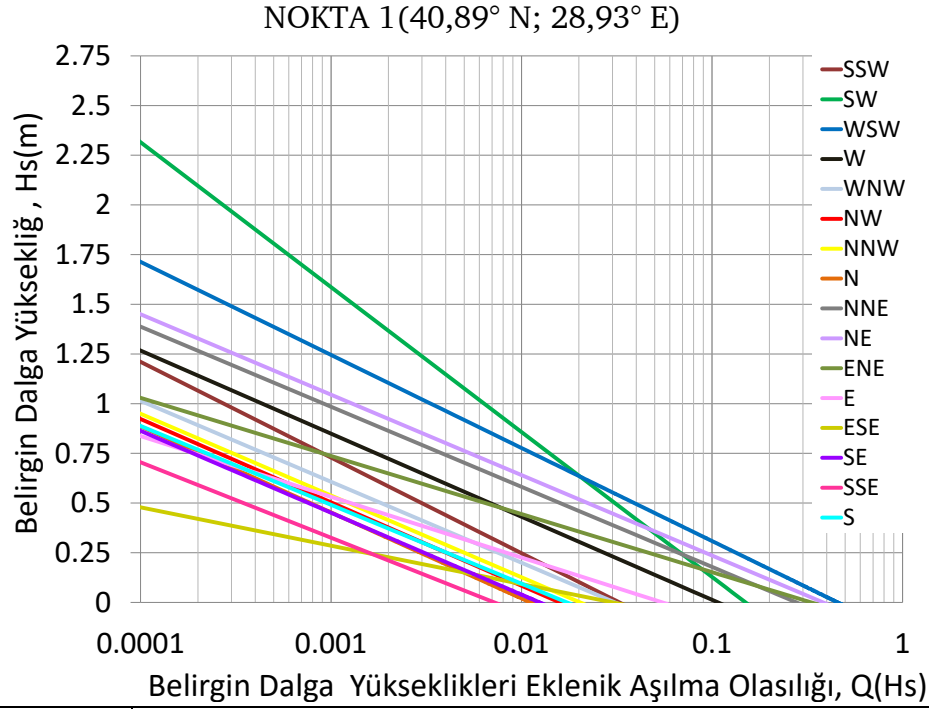






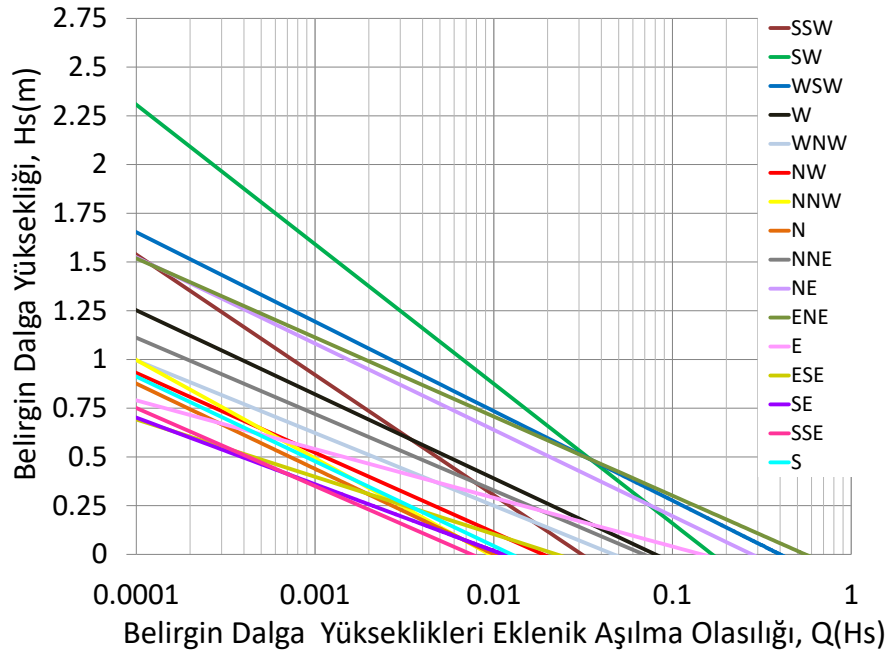


MARMARA DENİZİ'NİN BELİRGİN DALGA YÜKSEKLİĞİ-EKLENİK AŞILMA OLASILIKLARI VE DENKLEMLERİ



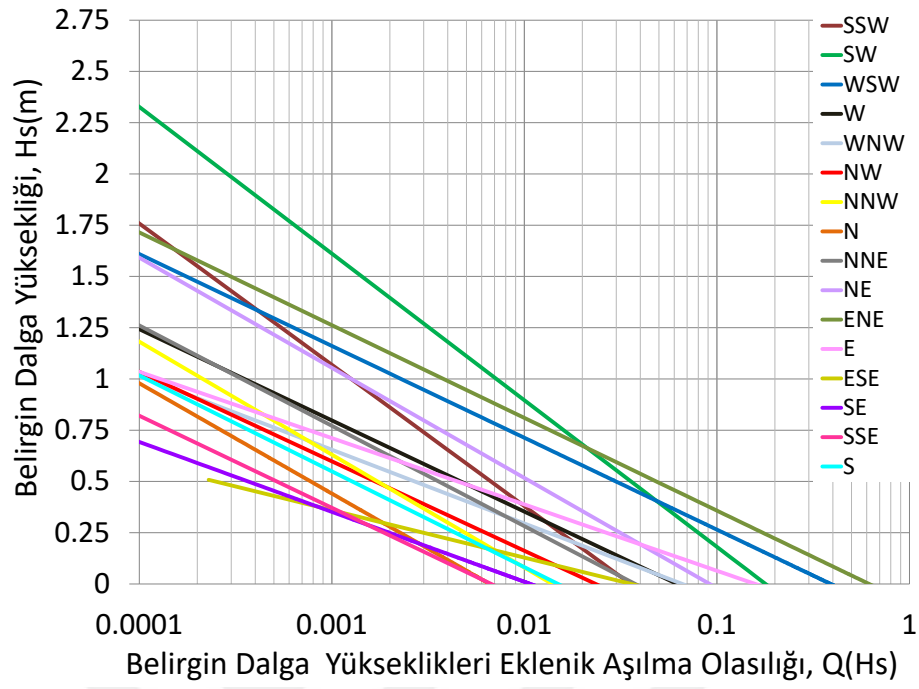
Yönler	Denklemler
N	$y = -0.188\ln(x) - 0.8454$
NNE	$y = -0.175\ln(x) - 0.2244$
NE	$y = -0.176\ln(x) - 0.1688$
ENE	$y = -0.127\ln(x) - 0.1403$
E	$y = -0.133\ln(x) - 0.3853$
ESE	$y = -0.084\ln(x) - 0.2937$
SE	$y = -0.179\ln(x) - 0.785$
SSE	$y = -0.165\ln(x) - 0.8133$
S	$y = -0.172\ln(x) - 0.6997$
SSW	$y = -0.209\ln(x) - 0.7155$
SW	$y = -0.317\ln(x) - 0.601$
WSW	$y = -0.203\ln(x) - 0.1594$
W	$y = -0.182\ln(x) - 0.4051$
WNW	$y = -0.177\ln(x) - 0.6152$
NW	$y = -0.182\ln(x) - 0.7547$
NNW	$y = -0.179\ln(x) - 0.6965$

NOKTA 2(40,89° N; 28,81° E)



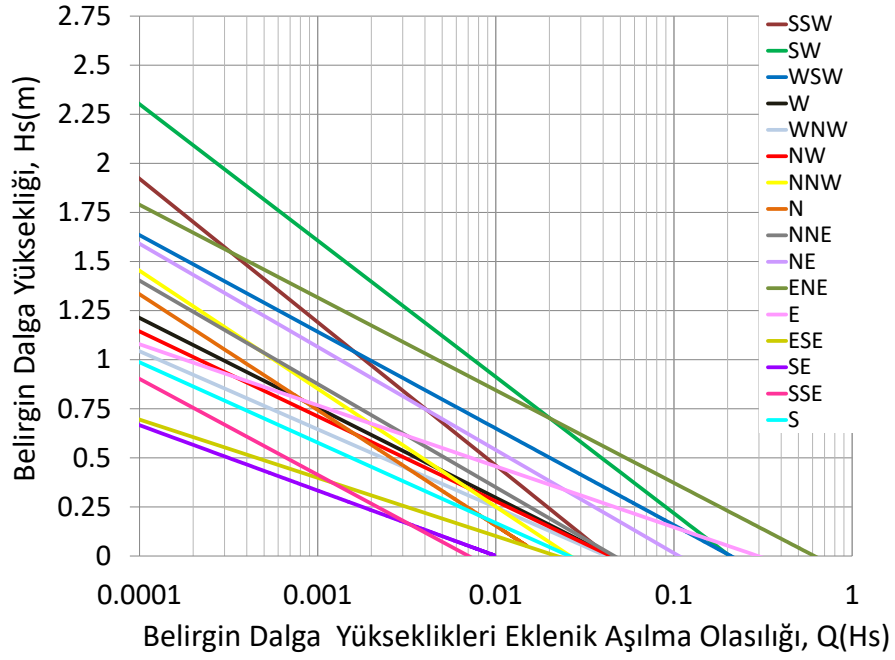
Yönler	Denklemler
N	$y = -0.19\ln(x) - 0.8739$
NNE	$y = -0.17\ln(x) - 0.4551$
NE	$y = -0.192\ln(x) - 0.2461$
ENE	$y = -0.176\ln(x) - 0.1045$
E	$y = -0.109\ln(x) - 0.2097$
ESE	$y = -0.128\ln(x) - 0.4852$
SE	$y = -0.148\ln(x) - 0.6656$
SSE	$y = -0.174\ln(x) - 0.8515$
S	$y = -0.189\ln(x) - 0.8255$
SSW	$y = -0.268\ln(x) - 0.9308$
SW	$y = -0.311\ln(x) - 0.5572$
WSW	$y = -0.199\ln(x) - 0.1828$
W	$y = -0.187\ln(x) - 0.4728$
WNW	$y = -0.162\ln(x) - 0.4957$
NW	$y = -0.178\ln(x) - 0.7052$
NNW	$y = -0.219\ln(x) - 1.0209$

NOKTA 3(40,89° N; 28,69° E)



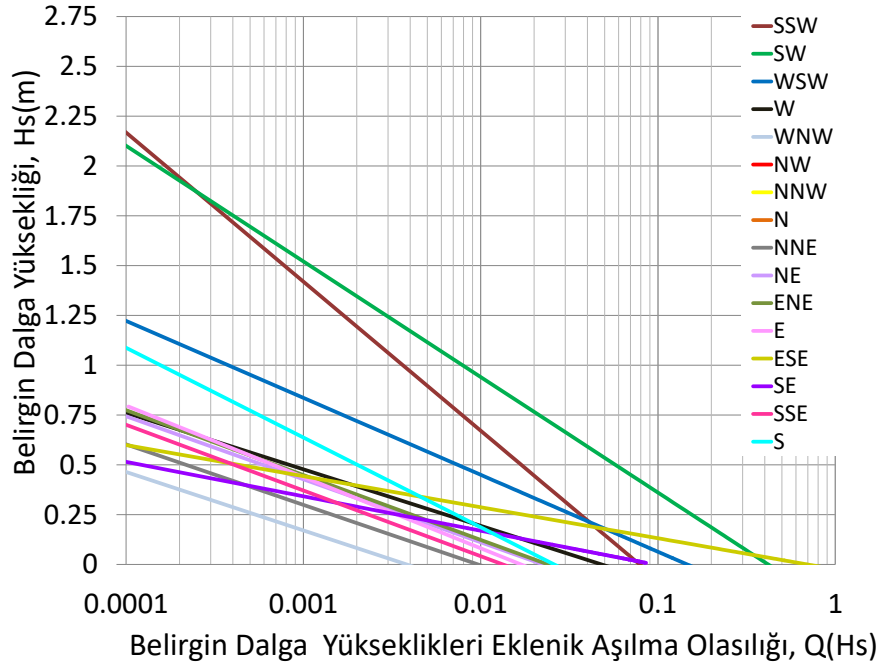
Yönler	Denklemler
N	$y = -0.234\ln(x) - 1.1725$
NNE	$y = -0.213\ln(x) - 0.6971$
NE	$y = -0.233\ln(x) - 0.5577$
ENE	$y = -0.196\ln(x) - 0.0947$
E	$y = -0.14\ln(x) - 0.2591$
ESE	$y = -0.1\ln(x) - 0.3338$
SE	$y = -0.148\ln(x) - 0.6712$
SSE	$y = -0.195\ln(x) - 0.9752$
S	$y = -0.203\ln(x) - 0.853$
SSW	$y = -0.299\ln(x) - 0.9983$
SW	$y = -0.311\ln(x) - 0.5348$
WSW	$y = -0.195\ln(x) - 0.1832$
W	$y = -0.193\ln(x) - 0.537$
WNW	$y = -0.156\ln(x) - 0.4242$
NW	$y = -0.19\ln(x) - 0.7113$
NNW	$y = -0.239\ln(x) - 1.022$

NOKTA 4(40,89° N; 28,57° E)



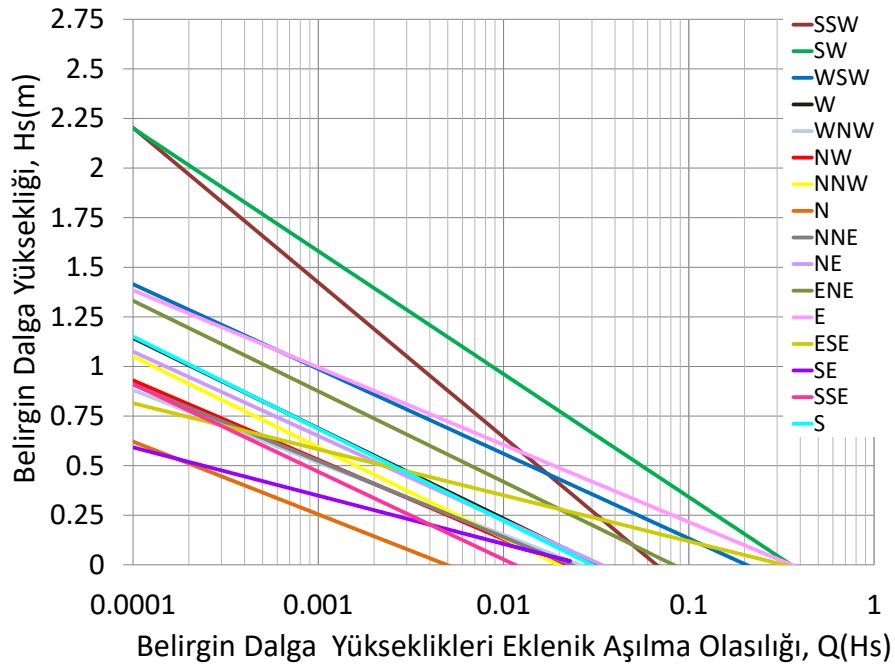
Yönler	Denklemler
N	$y = -0.256\ln(x) - 1.0244$
NNE	$y = -0.229\ln(x) - 0.7023$
NE	$y = -0.228\ln(x) - 0.5106$
ENE	$y = -0.205\ln(x) - 0.1$
E	$y = -0.135\ln(x) - 0.1642$
ESE	$y = -0.129\ln(x) - 0.4918$
SE	$y = -0.145\ln(x) - 0.6646$
SSE	$y = -0.212\ln(x) - 1.0515$
S	$y = -0.178\ln(x) - 0.6498$
SSW	$y = -0.317\ln(x) - 0.999$
SW	$y = -0.302\ln(x) - 0.477$
WSW	$y = -0.214\ln(x) - 0.3348$
W	$y = -0.199\ln(x) - 0.619$
WNW	$y = -0.173\ln(x) - 0.5485$
NW	$y = -0.188\ln(x) - 0.5862$
NNW	$y = -0.261\ln(x) - 0.9509$

NOKTA 5(40,98° N; 28,57° E)



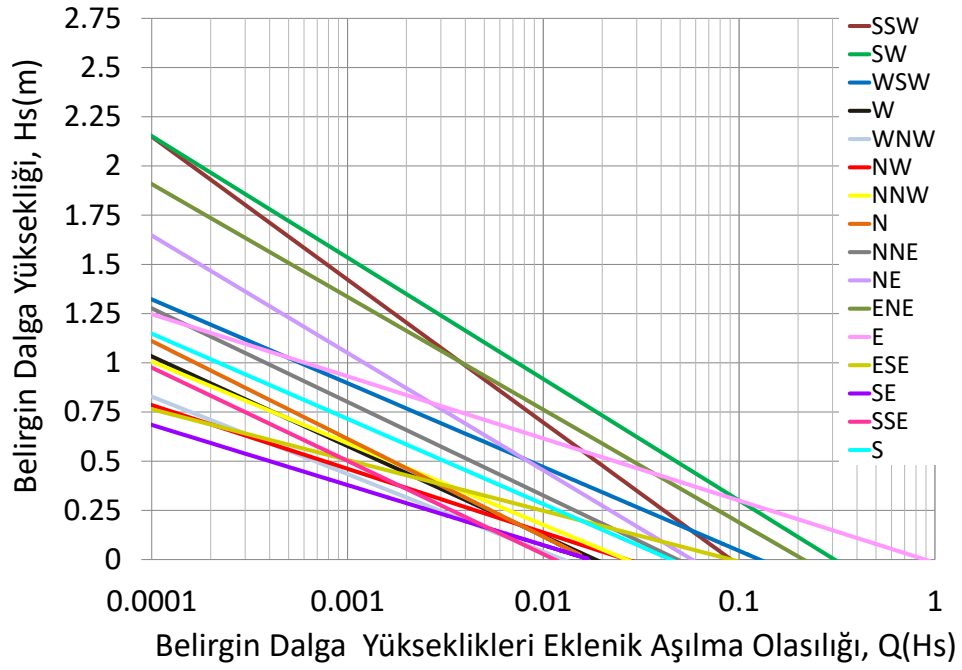
Yönler	Denklemler
NNE	$y = -0.132\ln(x) - 0.612$
NE	$y = -0.137\ln(x) - 0.5208$
ENE	$y = -0.141\ln(x) - 0.5273$
E	$y = -0.155\ln(x) - 0.634$
ESE	$y = -0.068\ln(x) - 0.0243$
SE	$y = -0.075\ln(x) - 0.1762$
SSE	$y = -0.143\ln(x) - 0.6182$
S	$y = -0.196\ln(x) - 0.7137$
SSW	$y = -0.325\ln(x) - 0.8249$
SW	$y = -0.252\ln(x) - 0.2194$
WSW	$y = -0.168\ln(x) - 0.3223$
W	$y = -0.123\ln(x) - 0.3733$
WNW	$y = -0.127\ln(x) - 0.7083$
NW	$y = -735.95x + 0.6716$
NNW	$y = -0.389\ln(x) - 3.6982$

NOKTA 6(40,98° N; 28,45° E)



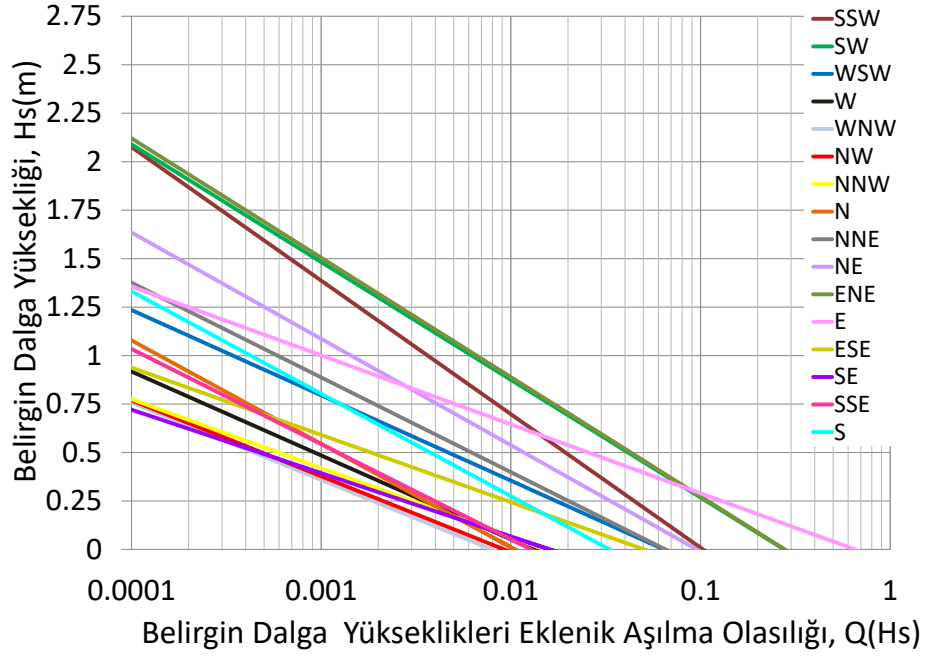
Yönler	Denklemler
N	$y = -0.159\ln(x) - 0.8471$
NNE	$y = -0.167\ln(x) - 0.6289$
NE	$y = -0.185\ln(x) - 0.6249$
ENE	$y = -0.198\ln(x) - 0.4944$
E	$y = -0.169\ln(x) - 0.1734$
ESE	$y = -0.101\ln(x) - 0.113$
SE	$y = -0.106\ln(x) - 0.3808$
SSE	$y = -0.192\ln(x) - 0.8576$
S	$y = -0.202\ln(x) - 0.7072$
SSW	$y = -0.339\ln(x) - 0.9159$
SW	$y = -0.269\ln(x) - 0.2779$
WSW	$y = -0.186\ln(x) - 0.2944$
W	$y = -0.198\ln(x) - 0.6767$
WNW	$y = -0.159\ln(x) - 0.5804$
NW	$y = -0.174\ln(x) - 0.6711$
NNW	$y = -0.199\ln(x) - 0.78$

NOKTA 7(40,98° N; 28,33° E)



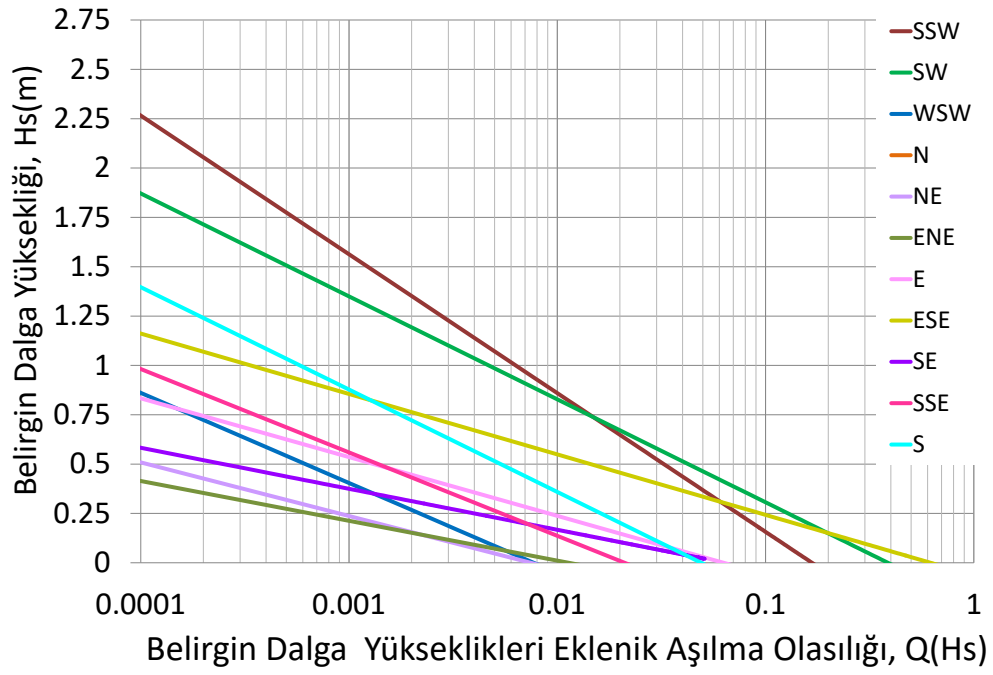
Yönler	Denklemler
N	$y = -0.216\ln(x) - 0.8768$
NNE	$y = -0.206\ln(x) - 0.6245$
NE	$y = -0.259\ln(x) - 0.7402$
ENE	$y = -0.249\ln(x) - 0.3845$
E	$y = -0.137\ln(x) - 0.0159$
ESE	$y = -0.112\ln(x) - 0.2682$
SE	$y = -0.133\ln(x) - 0.5378$
SSE	$y = -0.206\ln(x) - 0.9206$
S	$y = -0.188\ln(x) - 0.5843$
SSW	$y = -0.315\ln(x) - 0.7556$
SW	$y = -0.268\ln(x) - 0.3163$
WSW	$y = -0.185\ln(x) - 0.3812$
W	$y = -0.198\ln(x) - 0.7898$
WNW	$y = -0.171\ln(x) - 0.7477$
NW	$y = -0.141\ln(x) - 0.5092$
NNW	$y = -0.18\ln(x) - 0.6539$

NOKTA 8(40,98° N; 28,21° E)



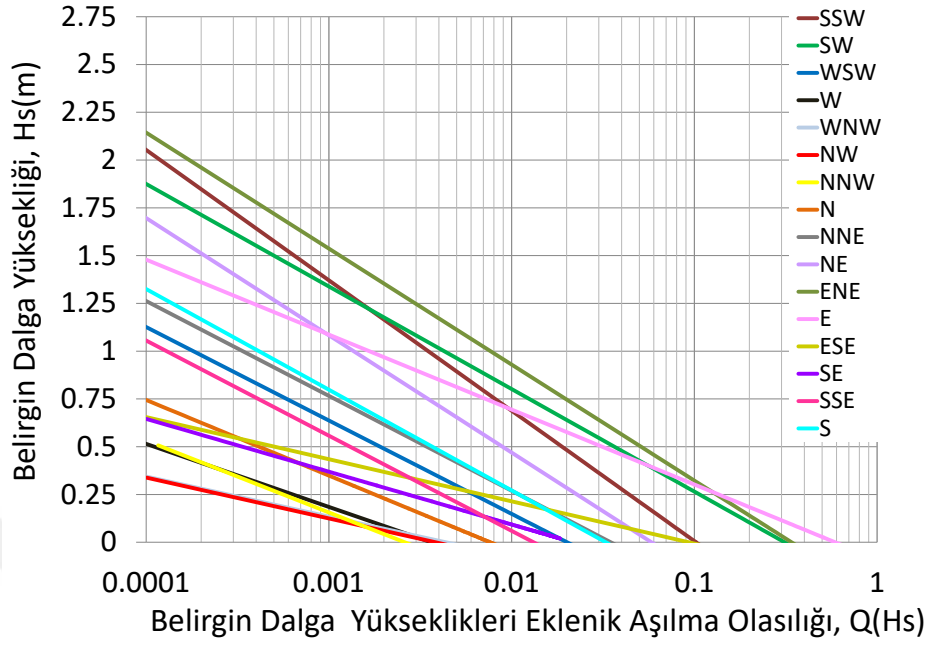
Yönler	Denklemler
N	$y = -0.232\ln(x) - 1.056$
NNE	$y = -0.212\ln(x) - 0.5786$
NE	$y = -0.238\ln(x) - 0.5593$
ENE	$y = -0.267\ln(x) - 0.3417$
E	$y = -0.154\ln(x) - 0.066$
ESE	$y = -0.151\ln(x) - 0.45$
SE	$y = -0.142\ln(x) - 0.5871$
SSE	$y = -0.213\ln(x) - 0.9283$
S	$y = -0.229\ln(x) - 0.7806$
SSW	$y = -0.299\ln(x) - 0.6795$
SW	$y = -0.264\ln(x) - 0.3392$
WSW	$y = -0.191\ln(x) - 0.5247$
W	$y = -0.188\ln(x) - 0.8135$
WNW	$y = -0.173\ln(x) - 0.838$
NW	$y = -0.17\ln(x) - 0.796$
NNW	$y = -0.154\ln(x) - 0.6447$

NOKTA 9(41,07° N; 28,21° E)



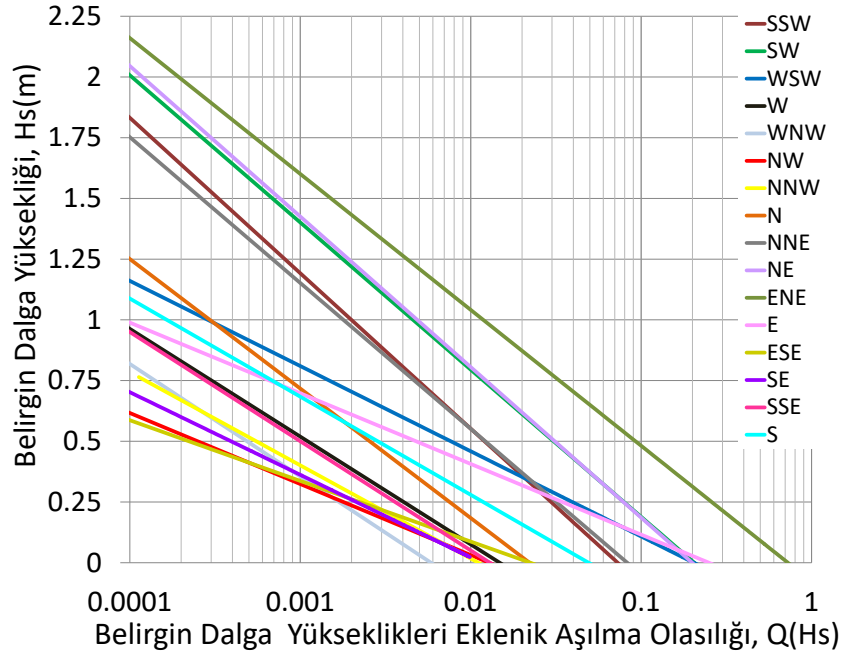
Yönler	Denklemler
ENE	$y = -0.088\ln(x) - 0.3922$
E	$y = -0.129\ln(x) - 0.3575$
ESE	$y = -0.133\ln(x) - 0.0634$
SE	$y = -0.09\ln(x) - 0.248$
SSE	$y = -0.184\ln(x) - 0.7086$
S	$y = -0.225\ln(x) - 0.6788$
SSW	$y = -0.305\ln(x) - 0.5461$
SW	$y = -0.227\ln(x) - 0.215$
WSW	$y = -0.198\ln(x) - 0.9644$

NOKTA 10(40,98° N; 28,09° E)



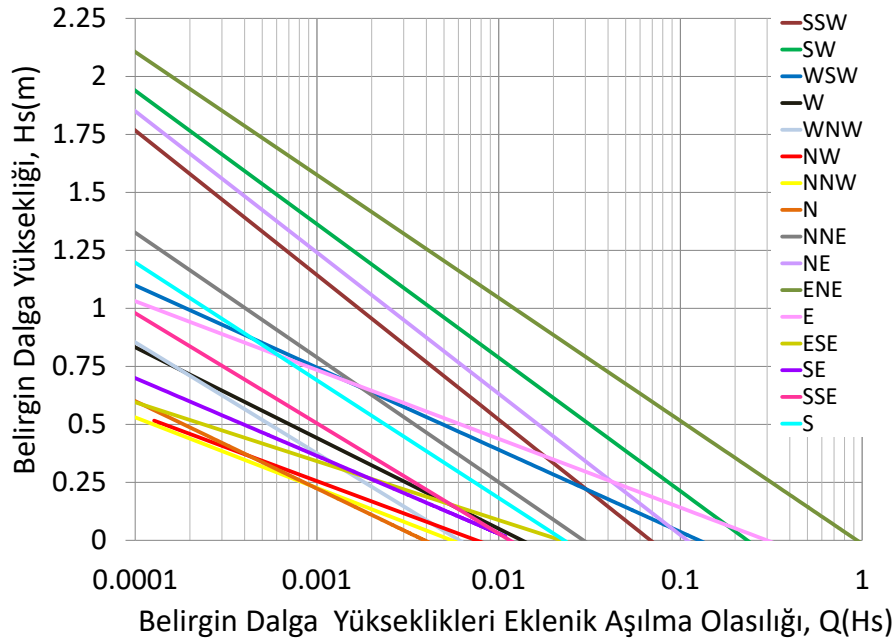
Yönler	Denklemler
N	$y = -0.172\ln(x) - 0.8373$
NNE	$y = -0.216\ln(x) - 0.7232$
NE	$y = -0.266\ln(x) - 0.7574$
ENE	$y = -0.264\ln(x) - 0.2841$
E	$y = -0.17\ln(x) - 0.09$
ESE	$y = -0.096\ln(x) - 0.2272$
SE	$y = -0.12\ln(x) - 0.4596$
SSE	$y = -0.216\ln(x) - 0.9359$
S	$y = -0.229\ln(x) - 0.7821$
SSW	$y = -0.296\ln(x) - 0.6756$
SW	$y = -0.233\ln(x) - 0.2713$
WSW	$y = -0.212\ln(x) - 0.829$
W	$y = -0.143\ln(x) - 0.8048$
WNW	$y = -0.091\ln(x) - 0.495$
NW	$y = -0.093\ln(x) - 0.517$
NNW	$y = -0.163\ln(x) - 0.9709$

NOKTA 11(40,89° N; 28,09° E)



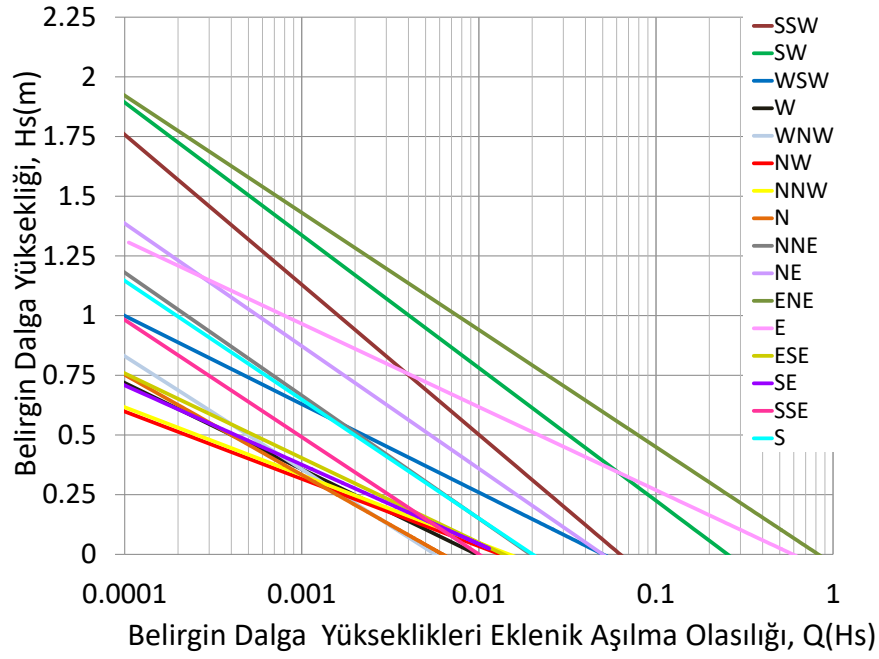
Yönler	Denklemler
N	$y = -0.231\ln(x) - 0.882$
NNE	$y = -0.261\ln(x) - 0.6492$
NE	$y = -0.269\ln(x) - 0.4341$
ENE	$y = -0.243\ln(x) - 0.0777$
E	$y = -0.126\ln(x) - 0.1751$
ESE	$y = -0.108\ln(x) - 0.4122$
SE	$y = -0.148\ln(x) - 0.6585$
SSE	$y = -0.195\ln(x) - 0.8486$
S	$y = -0.175\ln(x) - 0.5284$
SSW	$y = -0.278\ln(x) - 0.728$
SW	$y = -0.263\ln(x) - 0.4168$
WSW	$y = -0.152\ln(x) - 0.2424$
W	$y = -0.193\ln(x) - 0.8117$
WNW	$y = -0.201\ln(x) - 1.0343$
NW	$y = -0.127\ln(x) - 0.5533$
NNW	$y = -0.167\ln(x) - 0.7497$

NOKTA 12(40,89° N; 27,97° E)



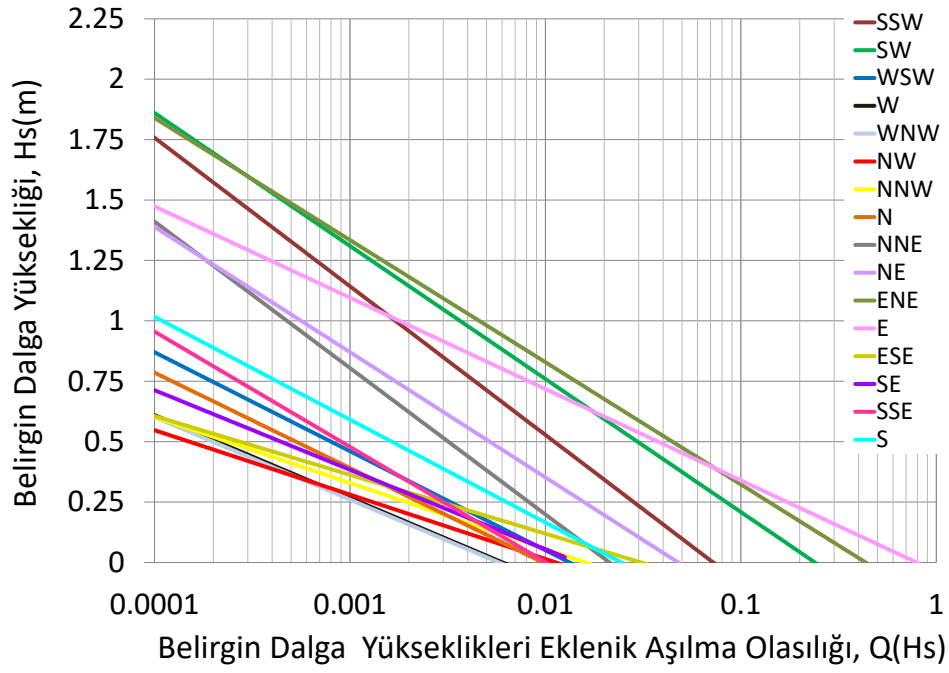
Yönler	Denklemler
N	$y = -0.164\ln(x) - 0.9078$
NNE	$y = -0.234\ln(x) - 0.8245$
NE	$y = -0.265\ln(x) - 0.5863$
ENE	$y = -0.23\ln(x) - 0.0149$
E	$y = -0.129\ln(x) - 0.1553$
ESE	$y = -0.11\ln(x) - 0.4203$
SE	$y = -0.146\ln(x) - 0.6415$
SSE	$y = -0.206\ln(x) - 0.921$
S	$y = -0.22\ln(x) - 0.8321$
SSW	$y = -0.271\ln(x) - 0.7256$
SW	$y = -0.25\ln(x) - 0.3635$
WSW	$y = -0.154\ln(x) - 0.3176$
W	$y = -0.17\ln(x) - 0.7315$
WNW	$y = -0.208\ln(x) - 1.0605$
NW	$y = -0.126\ln(x) - 0.6172$
NNW	$y = -0.132\ln(x) - 0.6877$

NOKTA 13(40,89° N; 27,85° E)



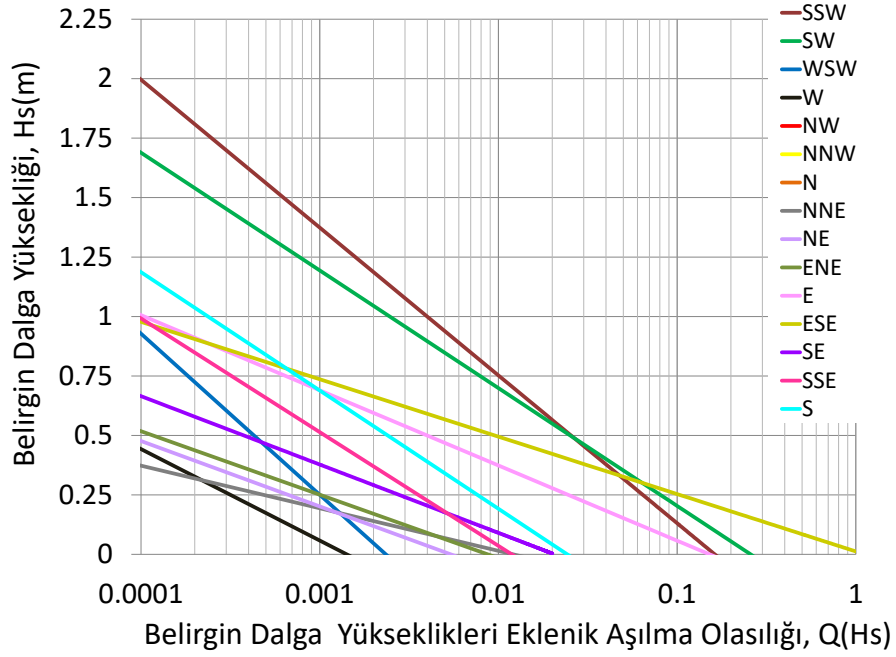
Yönler	Denklemler
N	$y = -0.182\ln(x) - 0.9235$
NNE	$y = -0.224\ln(x) - 0.8795$
NE	$y = -0.223\ln(x) - 0.6675$
ENE	$y = -0.213\ln(x) - 0.041$
E	$y = -0.151\ln(x) - 0.0793$
ESE	$y = -0.154\ln(x) - 0.6598$
SE	$y = -0.144\ln(x) - 0.6207$
SSE	$y = -0.213\ln(x) - 0.9814$
S	$y = -0.216\ln(x) - 0.8439$
SSW	$y = -0.273\ln(x) - 0.7552$
SW	$y = -0.241\ln(x) - 0.331$
WSW	$y = -0.161\ln(x) - 0.4806$
W	$y = -0.157\ln(x) - 0.727$
WNW	$y = -0.206\ln(x) - 1.0636$
NW	$y = -0.122\ln(x) - 0.5299$
NNW	$y = -0.123\ln(x) - 0.5198$

NOKTA 14(40,89° N; 27,73° E)



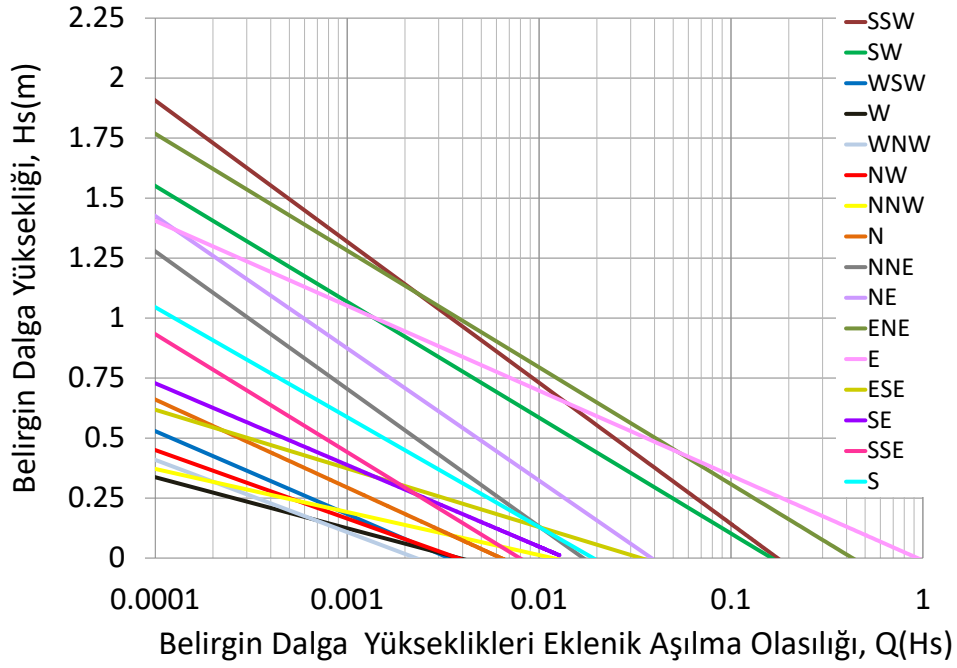
Yönler	Denklemler
N	$y = -0.171\ln(x) - 0.7936$
NNE	$y = -0.263\ln(x) - 1.0132$
NE	$y = -0.225\ln(x) - 0.6846$
ENE	$y = -0.22\ln(x) - 0.1825$
E	$y = -0.164\ln(x) - 0.038$
ESE	$y = -0.106\ln(x) - 0.3673$
SE	$y = -0.143\ln(x) - 0.6044$
SSE	$y = -0.207\ln(x) - 0.9531$
S	$y = -0.185\ln(x) - 0.6855$
SSW	$y = -0.267\ln(x) - 0.7018$
SW	$y = -0.239\ln(x) - 0.3416$
WSW	$y = -0.178\ln(x) - 0.7688$
W	$y = -0.149\ln(x) - 0.7599$
WNW	$y = -0.148\ln(x) - 0.7633$
NW	$y = -0.116\ln(x) - 0.5182$
NNW	$y = -0.119\ln(x) - 0.4899$

NOKTA 15(40,98° N; 27,73° E)



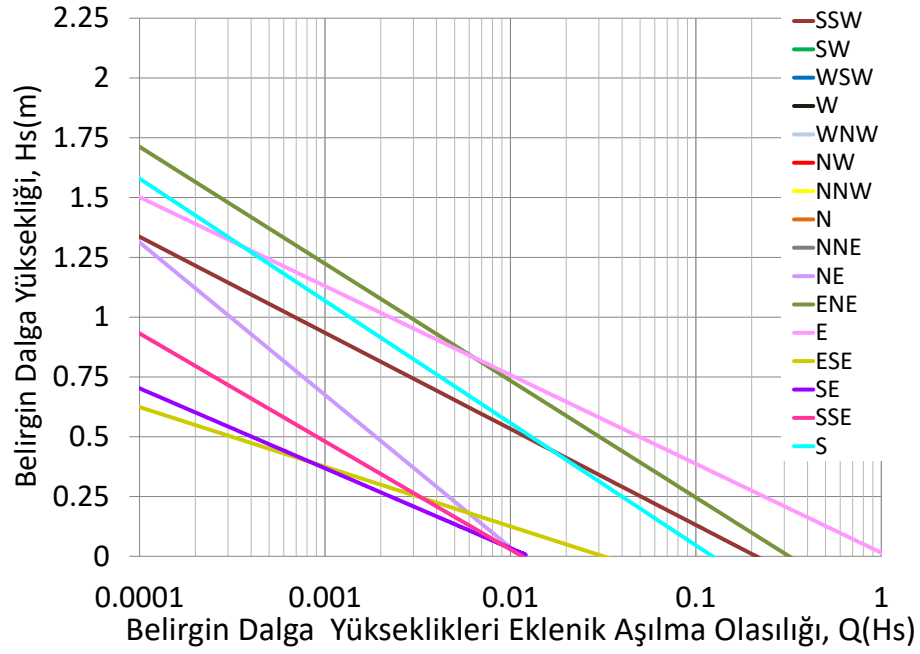
Yönler	Denklemler
NNE	$y = -0.078\ln(x) - 0.3437$
NE	$y = -0.119\ln(x) - 0.6233$
ENE	$y = -0.116\ln(x) - 0.5498$
E	$y = -0.137\ln(x) - 0.259$
ESE	$y = -0.105\ln(x) + 0.012$
SE	$y = -0.125\ln(x) - 0.4848$
SSE	$y = -0.208\ln(x) - 0.9212$
S	$y = -0.216\ln(x) - 0.8037$
SSW	$y = -0.27\ln(x) - 0.4911$
SW	$y = -0.215\ln(x) - 0.2916$
WSW	$y = -0.294\ln(x) - 1.7829$
W	$y = -0.167\ln(x) - 1.0958$
NW	$y = -0.2\ln(x) - 1.8846$
NNW	$y = -0.532\ln(x) - 5.5365$

NOKTA 16(40,89° N; 27,61° E)



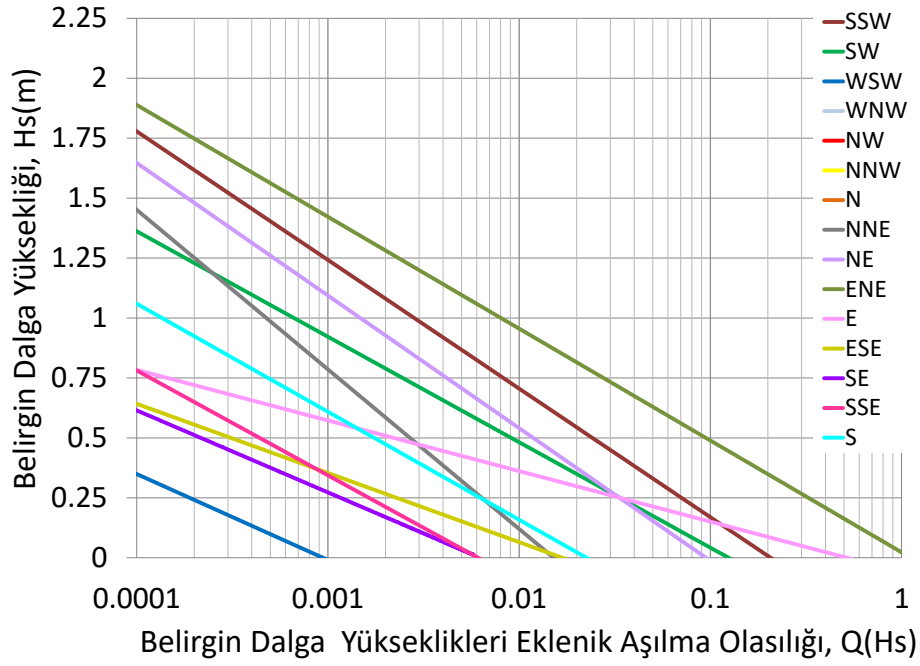
Yönler	Denklemler
N	$y = -0.159\ln(x) - 0.8057$
NNE	$y = -0.249\ln(x) - 1.0145$
NE	$y = -0.239\ln(x) - 0.7793$
ENE	$y = -0.211\ln(x) - 0.1786$
E	$y = -0.154\ln(x) - 0.0099$
ESE	$y = -0.106\ln(x) - 0.3593$
SE	$y = -0.148\ln(x) - 0.6327$
SSE	$y = -0.213\ln(x) - 1.0325$
S	$y = -0.199\ln(x) - 0.7864$
SSW	$y = -0.255\ln(x) - 0.4454$
SW	$y = -0.21\ln(x) - 0.3802$
WSW	$y = -0.15\ln(x) - 0.8533$
W	$y = -0.092\ln(x) - 0.5137$
WNW	$y = -0.131\ln(x) - 0.7951$
NW	$y = -0.124\ln(x) - 0.6913$
NNW	$y = -0.078\ln(x) - 0.3464$

NOKTA 17(40,89° N; 27,49° E)



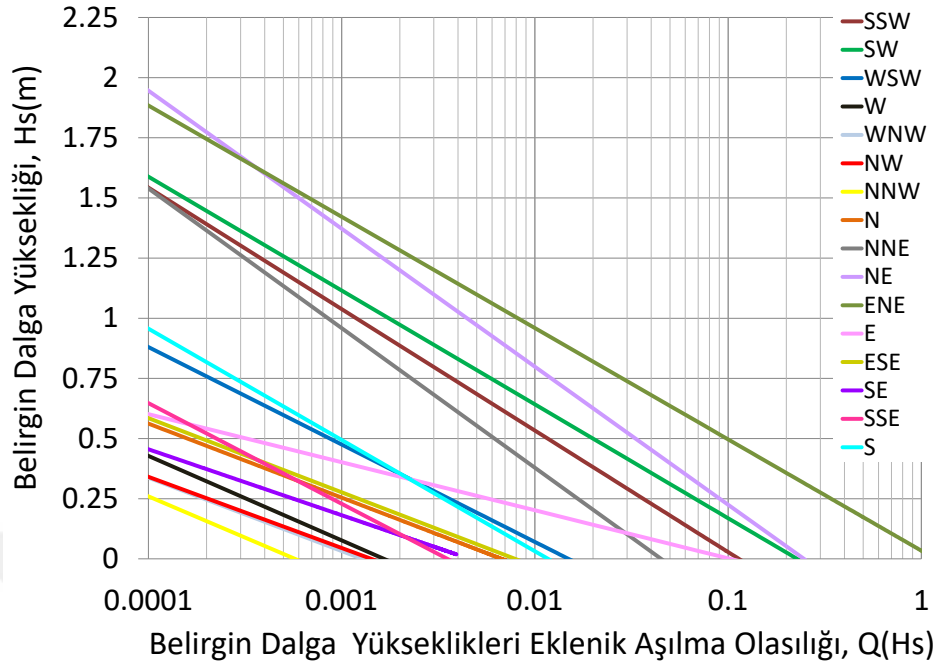
Yönler	Denklemler
NE	$y = -0.277\ln(x) - 1.2385$
ENE	$y = -0.212\ln(x) - 0.2428$
E	$y = -0.161\ln(x) + 0.015$
ESE	$y = -0.108\ln(x) - 0.3738$
SE	$y = -0.145\ln(x) - 0.6343$
SSE	$y = -0.196\ln(x) - 0.8742$
S	$y = -0.222\ln(x) - 0.4649$
SSW	$y = -0.174\ln(x) - 0.2706$

NOKTA 18(40,80° N; 27,49° E)



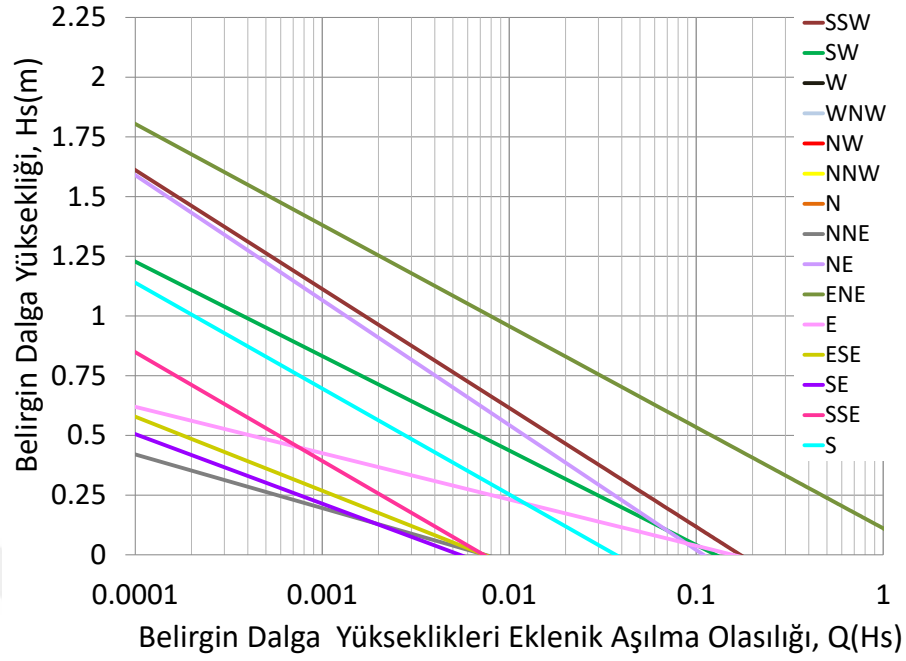
Yönler	Denklemler
NNE	$y = -0.289\ln(x) - 1.2107$
NE	$y = -0.24\ln(x) - 0.566$
ENE	$y = -0.203\ln(x) + 0.0228$
E	$y = -0.092\ln(x) - 0.0605$
ESE	$y = -0.125\ln(x) - 0.512$
SE	$y = -0.149\ln(x) - 0.7534$
SSE	$y = -0.19\ln(x) - 0.9684$
S	$y = -0.196\ln(x) - 0.7419$
SSW	$y = -0.233\ln(x) - 0.3671$
SW	$y = -0.191\ln(x) - 0.3979$
WSW	$y = -0.156\ln(x) - 1.0846$
WNW	$y = -0.104\ln(x) - 1.0562$

NOKTA 19(40,71° N; 27,49° E)



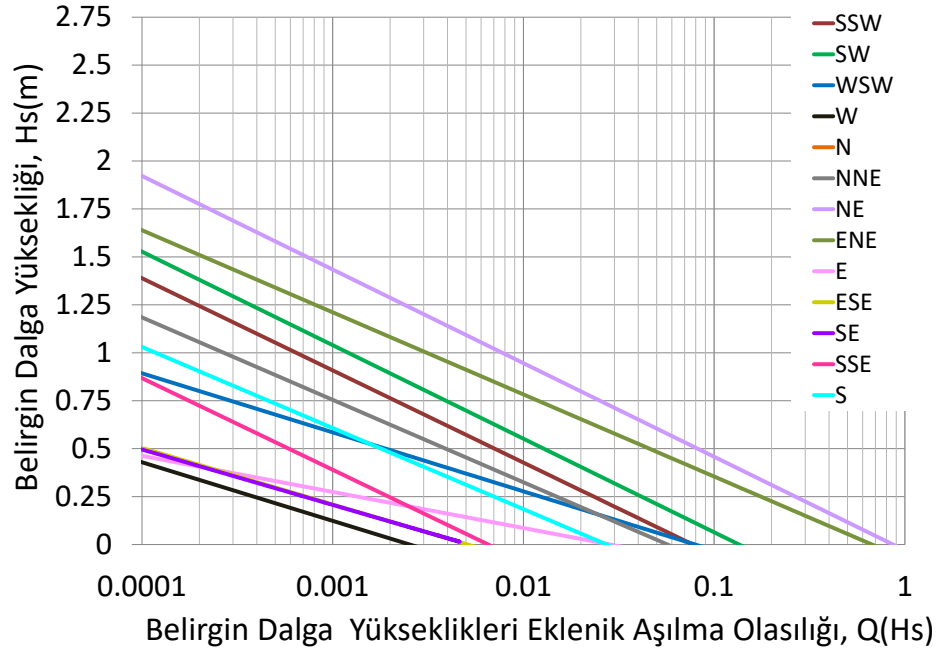
Yönler	Denklemler
N	$y = -0.134\ln(x) - 0.6681$
NNE	$y = -0.252\ln(x) - 0.7812$
NE	$y = -0.249\ln(x) - 0.3484$
ENE	$y = -0.201\ln(x) + 0.034$
E	$y = -0.087\ln(x) - 0.1975$
ESE	$y = -0.134\ln(x) - 0.6476$
SE	$y = -0.119\ln(x) - 0.6405$
SSE	$y = -0.182\ln(x) - 1.0257$
S	$y = -0.201\ln(x) - 0.893$
SSW	$y = -0.219\ln(x) - 0.4767$
SW	$y = -0.205\ln(x) - 0.304$
WSW	$y = -0.176\ln(x) - 0.739$
W	$y = -0.152\ln(x) - 0.9761$
WNW	$y = -0.132\ln(x) - 0.8815$
NW	$y = -0.128\ln(x) - 0.8413$
NNW	$y = -0.149\ln(x) - 1.1103$

NOKTA 20(40,71° N; 27,37° E)



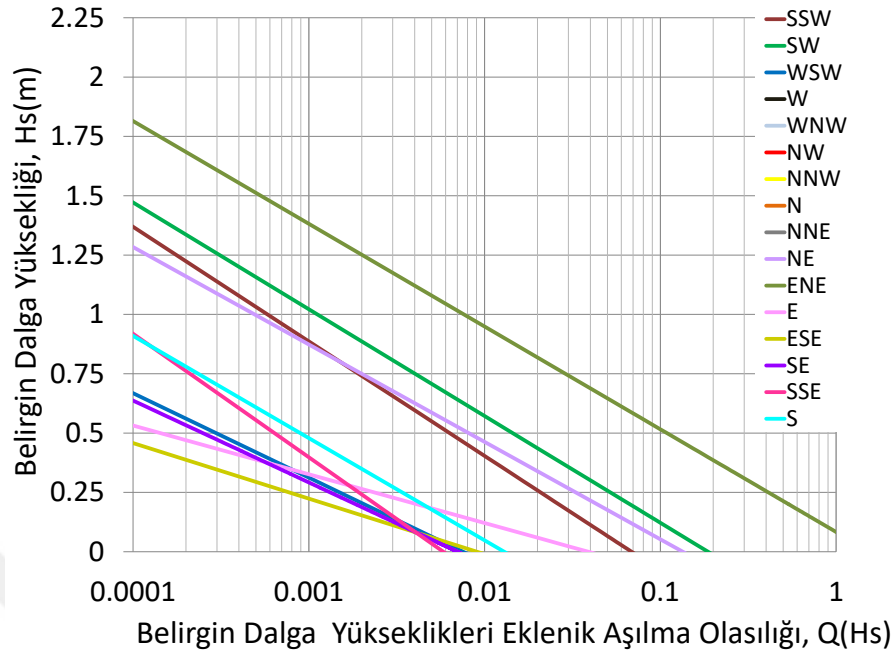
Yönler	Denklemler
NNE	$y = -0.098\ln(x) - 0.4781$
NE	$y = -0.227\ln(x) - 0.5029$
ENE	$y = -0.184\ln(x) + 0.1109$
E	$y = -0.084\ln(x) - 0.1559$
ESE	$y = -0.135\ln(x) - 0.6606$
SE	$y = -0.126\ln(x) - 0.6593$
SSE	$y = -0.198\ln(x) - 0.973$
S	$y = -0.193\ln(x) - 0.6341$
SSW	$y = -0.216\ln(x) - 0.3806$
SW	$y = -0.172\ln(x) - 0.3543$

NOKTA 21(40,62° N; 27,37° E)



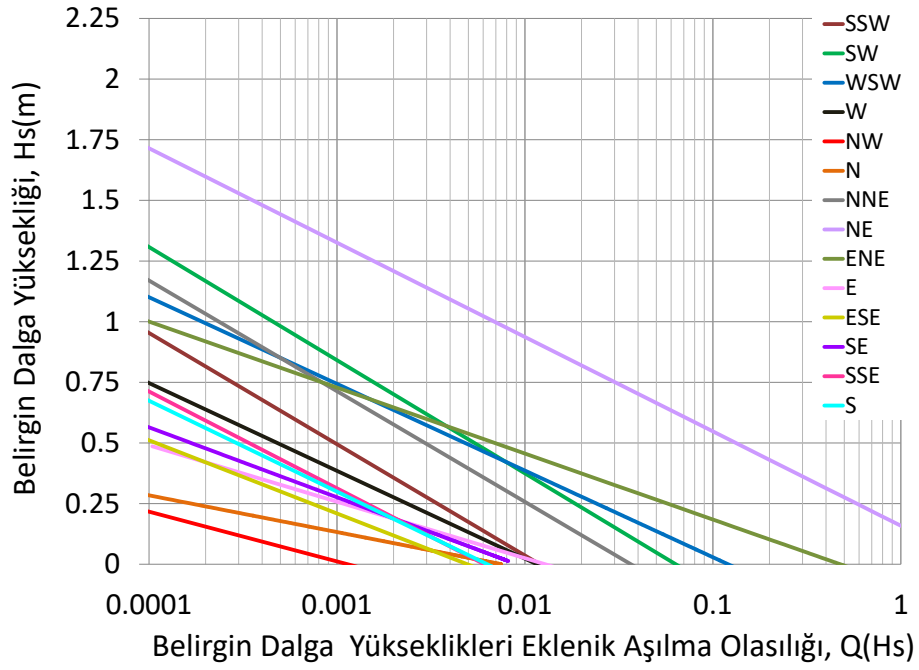
Yönler	Denklemler
NNE	$y = -0.187\ln(x) - 0.5347$
NE	$y = -0.212\ln(x) - 0.0303$
ENE	$y = -0.186\ln(x) - 0.0736$
E	$y = -0.082\ln(x) - 0.2906$
ESE	$y = -0.128\ln(x) - 0.6757$
SE	$y = -0.125\ln(x) - 0.6595$
SSE	$y = -0.208\ln(x) - 1.0437$
S	$y = -0.184\ln(x) - 0.6609$
SSW	$y = -0.209\ln(x) - 0.5344$
SW	$y = -0.212\ln(x) - 0.4239$
WSW	$y = -0.134\ln(x) - 0.3385$
W	$y = -0.133\ln(x) - 0.793$
NW	$y = -0.314\ln(x) - 2.6397$
NNW	$y = -0.151\ln(x) - 1.3715$

NOKTA 22(40,62° N; 27,25° E)



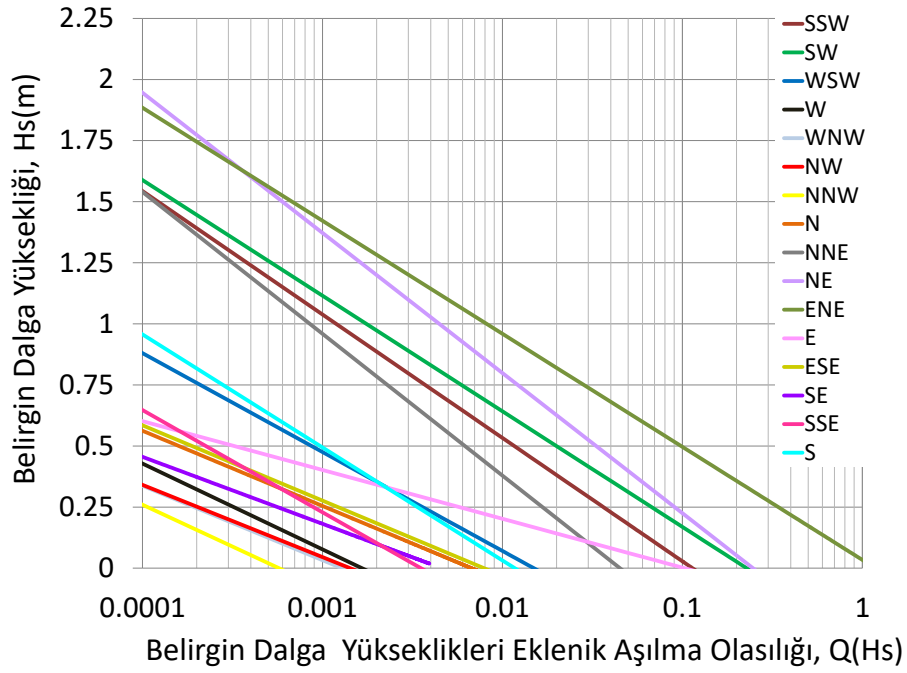
Yönler	Denklemler
NE	$y = -0.178\ln(x) - 0.3576$
ENE	$y = -0.188\ln(x) + 0.0833$
E	$y = -0.089\ln(x) - 0.2895$
ESE	$y = -0.102\ln(x) - 0.4785$
SE	$y = -0.15\ln(x) - 0.7426$
SSE	$y = -0.226\ln(x) - 1.163$
S	$y = -0.187\ln(x) - 0.8134$
SSW	$y = -0.21\ln(x) - 0.5617$
SW	$y = -0.195\ln(x) - 0.3278$
WSW	$y = -0.154\ln(x) - 0.7547$

NOKTA 23(40,53° N; 27,25° E)



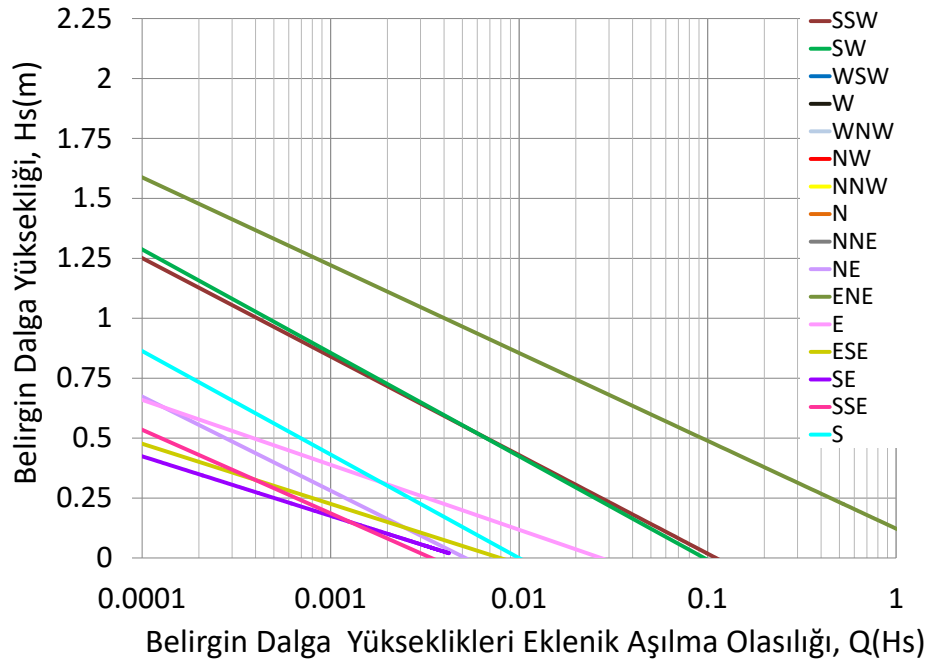
Yönler	Denklemler
N	$y = -0.066\ln(x) - 0.3214$
NNE	$y = -0.198\ln(x) - 0.6547$
NE	$y = -0.169\ln(x) + 0.1587$
ENE	$y = -0.118\ln(x) - 0.0875$
E	$y = -0.101\ln(x) - 0.44$
ESE	$y = -0.131\ln(x) - 0.6956$
SE	$y = -0.125\ln(x) - 0.589$
SSE	$y = -0.173\ln(x) - 0.884$
S	$y = -0.163\ln(x) - 0.8235$
SSW	$y = -0.199\ln(x) - 0.881$
SW	$y = -0.203\ln(x) - 0.5585$
WSW	$y = -0.155\ln(x) - 0.3282$
W	$y = -0.157\ln(x) - 0.7003$
NW	$y = -0.089\ln(x) - 0.6032$

NOKTA 24(40,53° N; 27,13° E)



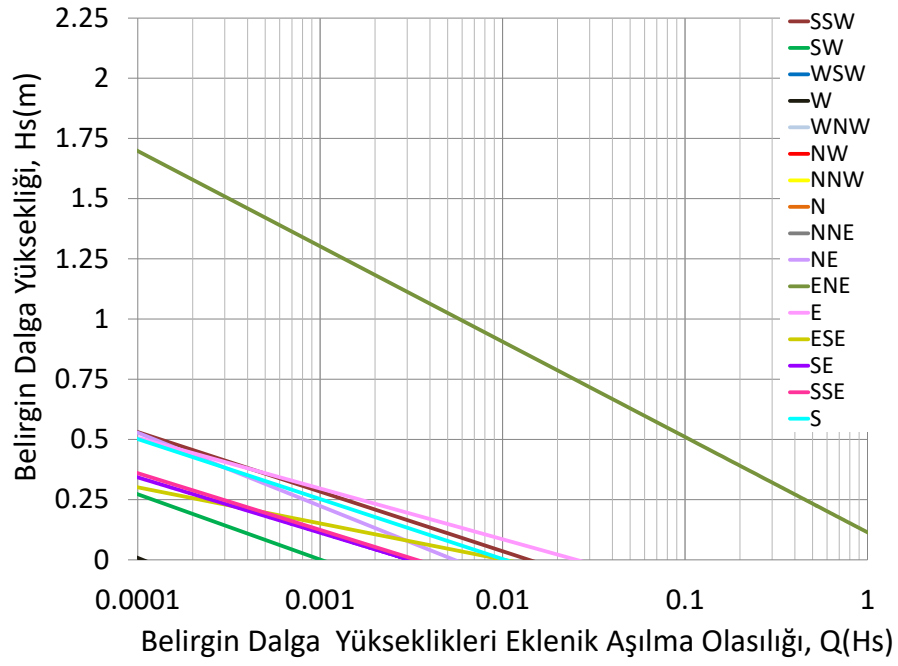
Yönler	Denklemler
N	$y = -0.134\ln(x) - 0.6681$
NNE	$y = -0.252\ln(x) - 0.7812$
NE	$y = -0.249\ln(x) - 0.3484$
ENE	$y = -0.201\ln(x) + 0.034$
E	$y = -0.087\ln(x) - 0.1975$
ESE	$y = -0.134\ln(x) - 0.6476$
SE	$y = -0.119\ln(x) - 0.6405$
SSE	$y = -0.182\ln(x) - 1.0257$
S	$y = -0.201\ln(x) - 0.893$
SSW	$y = -0.219\ln(x) - 0.4767$
SW	$y = -0.205\ln(x) - 0.304$
WSW	$y = -0.176\ln(x) - 0.739$
W	$y = -0.152\ln(x) - 0.9761$
WNW	$y = -0.132\ln(x) - 0.8815$
NW	$y = -0.128\ln(x) - 0.8413$
NNW	$y = -0.149\ln(x) - 1.1103$

NOKTA 25(40,53° N; 27,01° E)



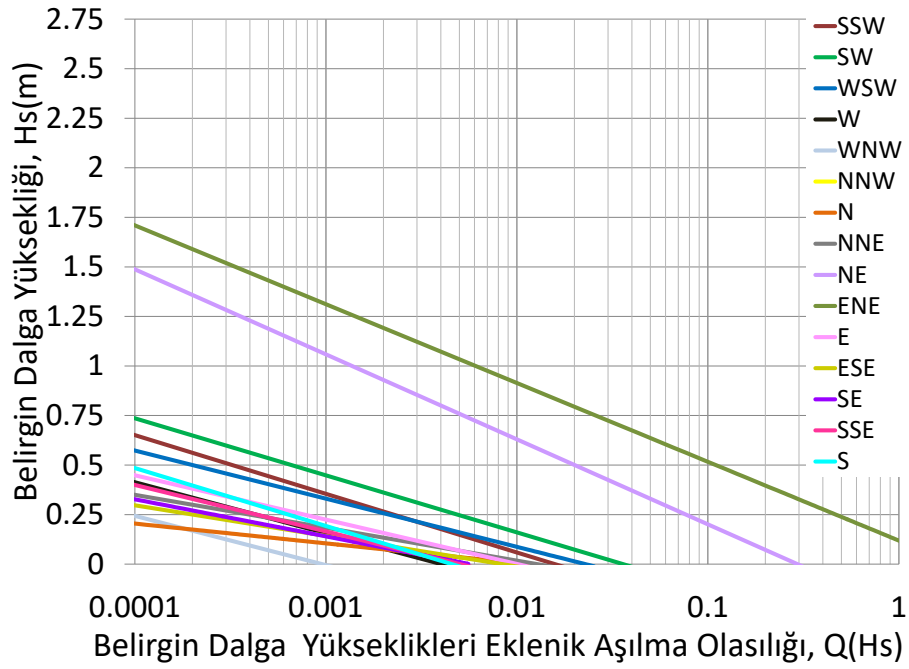
Yönler	Denklemler
NE	$y = -0.17\ln(x) - 0.8965$
ENE	$y = -0.159\ln(x) + 0.1225$
E	$y = -0.096\ln(x) - 0.3252$
ESE	$y = -0.109\ln(x) - 0.5266$
SE	$y = -0.108\ln(x) - 0.5692$
SSE	$y = -0.151\ln(x) - 0.859$
S	$y = -0.187\ln(x) - 0.8634$
SSW	$y = -0.178\ln(x) - 0.3925$
SW	$y = -0.187\ln(x) - 0.4391$
W	$y = -0.14\ln(x) - 1.3376$

NOKTA 26(40,44° N; 26,77° E)



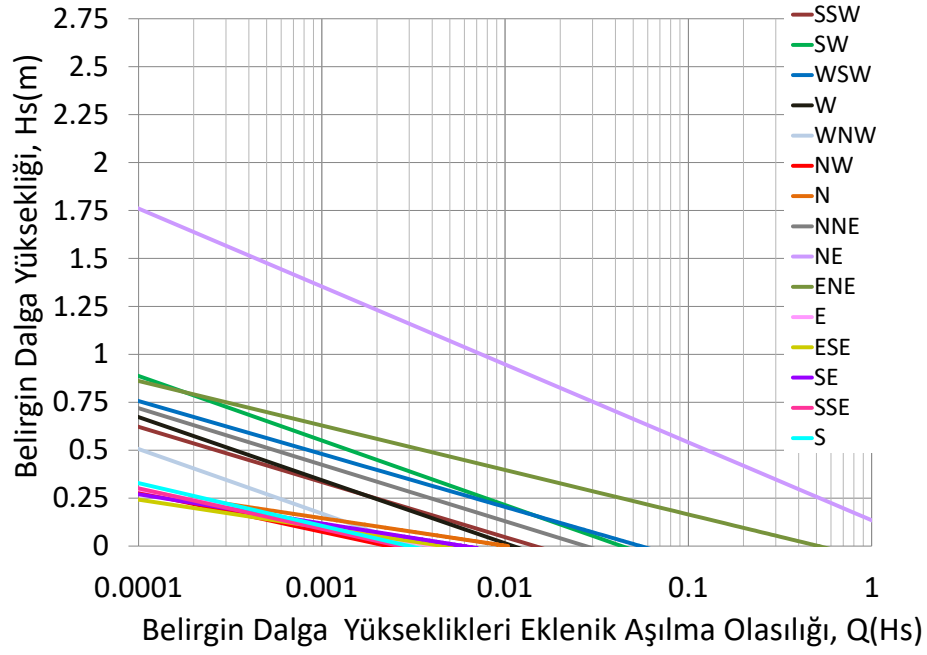
Yönler	Denklemler
NE	$y = -0.132\ln(x) - 0.6894$
ENE	$y = -0.172\ln(x) + 0.1143$
E	$y = -0.092\ln(x) - 0.3364$
ESE	$y = -0.065\ln(x) - 0.2983$
SE	$y = -0.1\ln(x) - 0.5765$
SSE	$y = -0.102\ln(x) - 0.5823$
S	$y = -0.108\ln(x) - 0.4947$
SSW	$y = -0.108\ln(x) - 0.4591$
SW	$y = -0.118\ln(x) - 0.8125$
WSW	$y = -0.174\ln(x) - 1.6308$
W	$y = -0.134\ln(x) - 1.2218$

NOKTA 27(40,44° N; 26,89° E)



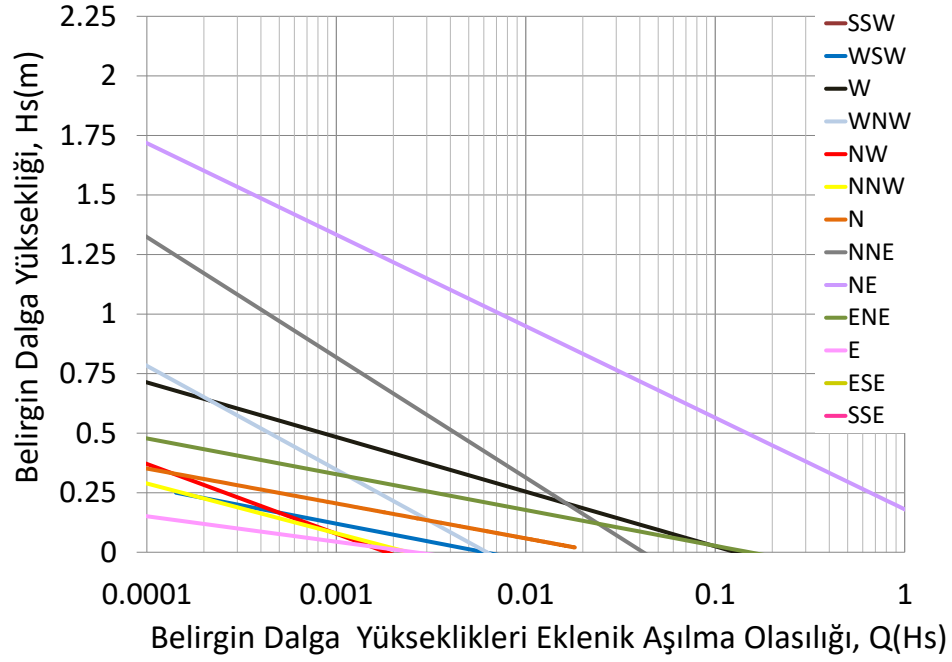
Yönler	Denklemler
N	$y = -0.043\ln(x) - 0.1941$
NNE	$y = -0.072\ln(x) - 0.314$
NE	$y = -0.186\ln(x) - 0.2276$
ENE	$y = -0.173\ln(x) + 0.119$
E	$y = -0.097\ln(x) - 0.4459$
ESE	$y = -0.067\ln(x) - 0.3206$
SE	$y = -0.081\ln(x) - 0.42$
SSE	$y = -0.102\ln(x) - 0.5389$
S	$y = -0.127\ln(x) - 0.6839$
SSW	$y = -0.129\ln(x) - 0.5325$
SW	$y = -0.125\ln(x) - 0.4154$
WSW	$y = -0.105\ln(x) - 0.3983$
W	$y = -0.112\ln(x) - 0.6168$
WNW	$y = -0.108\ln(x) - 0.7504$
NNW	$y = -0.995\ln(x) - 10.2$

NOKTA 28(40,44° N; 27,01° E)



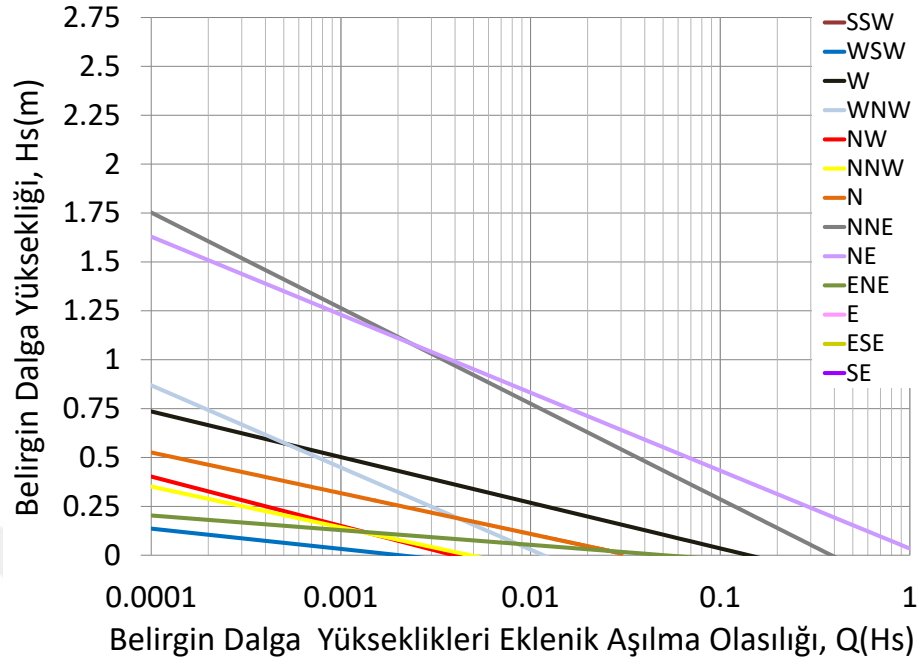
Yönler	Denklemler
N	$y = -0.062\ln(x) - 0.2851$
NNE	$y = -0.128\ln(x) - 0.4597$
NE	$y = -0.176\ln(x) + 0.1351$
ENE	$y = -0.101\ln(x) - 0.0667$
E	$y = -0.08\ln(x) - 0.4382$
ESE	$y = -0.063\ln(x) - 0.3396$
SE	$y = -0.066\ln(x) - 0.338$
SSE	$y = -0.092\ln(x) - 0.5428$
S	$y = -0.097\ln(x) - 0.5611$
SSW	$y = -0.125\ln(x) - 0.5286$
SW	$y = -0.146\ln(x) - 0.4586$
WSW	$y = -0.12\ln(x) - 0.3476$
W	$y = -0.143\ln(x) - 0.6427$
WNW	$y = -0.146\ln(x) - 0.8397$
NW	$y = -0.09\ln(x) - 0.5459$

NOKTA 29(40,44° N; 27,13° E)



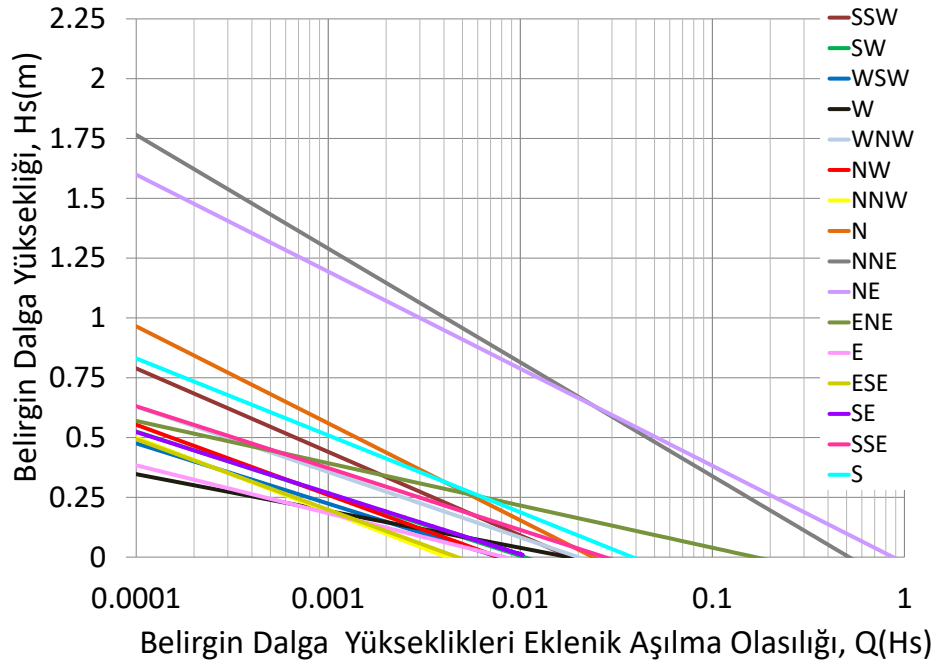
Yönler	Denklemler
N	$y = -0.064\ln(x) - 0.2351$
NNE	$y = -0.219\ln(x) - 0.6968$
NE	$y = -0.167\ln(x) + 0.1804$
ENE	$y = -0.065\ln(x) - 0.1231$
E	$y = -0.046\ln(x) - 0.2764$
WSW	$y = -0.067\ln(x) - 0.3402$
W	$y = -0.1\ln(x) - 0.2043$
WNW	$y = -0.189\ln(x) - 0.9612$
NW	$y = -0.127\ln(x) - 0.801$
NNW	$y = -0.091\ln(x) - 0.5473$

NOKTA 30(40,44° N; 27,25° E)



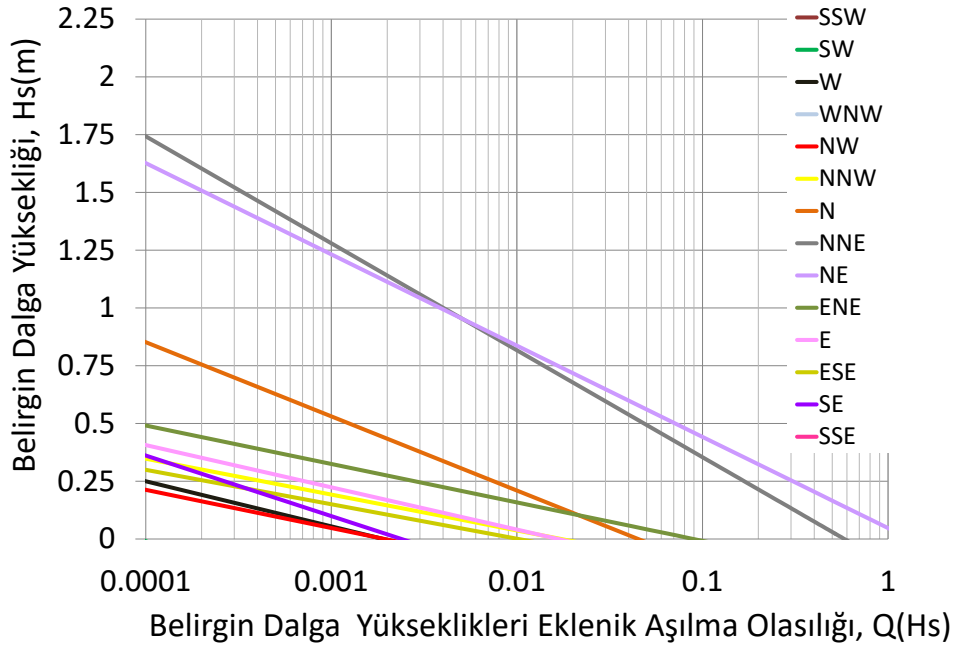
Yönler	Denklemler
N	$y = -0.09\ln(x) - 0.3075$
NNE	$y = -0.212\ln(x) - 0.2022$
NE	$y = -0.173\ln(x) + 0.0342$
ENE	$y = -0.033\ln(x) - 0.0967$
WSW	$y = -0.045\ln(x) - 0.2786$
W	$y = -0.101\ln(x) - 0.1982$
WNW	$y = -0.182\ln(x) - 0.8112$
NW	$y = -0.11\ln(x) - 0.606$
NNW	$y = -0.091\ln(x) - 0.4844$

NOKTA 31(40,44° N; 27,37° E)



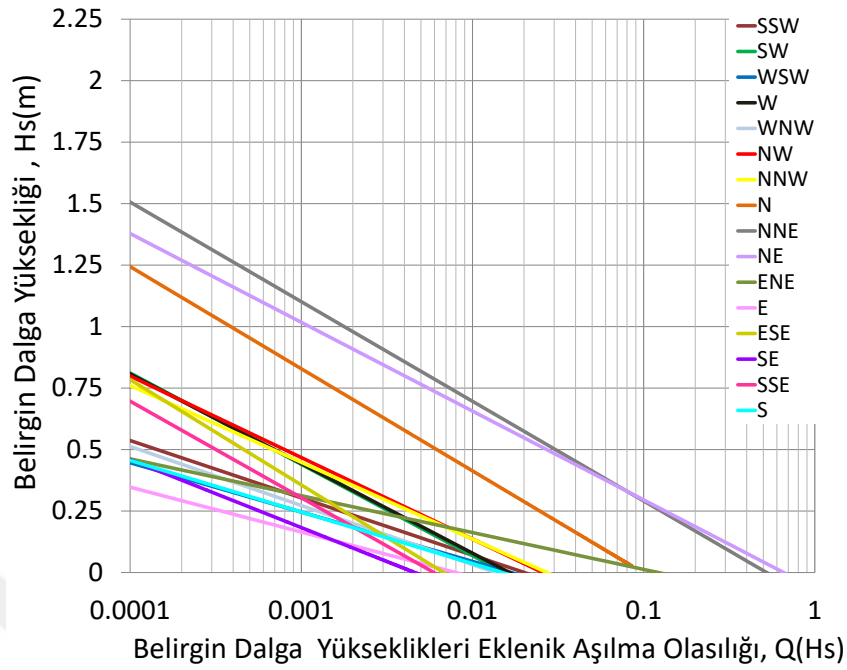
Yönler	Denklemler
N	$y = -0.176\ln(x) - 0.6567$
NNE	$y = -0.206\ln(x) - 0.1368$
NE	$y = -0.176\ln(x) - 0.0238$
ENE	$y = -0.077\ln(x) - 0.1372$
E	$y = -0.087\ln(x) - 0.4178$
ESE	$y = -0.128\ln(x) - 0.6864$
SE	$y = -0.111\ln(x) - 0.4983$
SSE	$y = -0.112\ln(x) - 0.403$
S	$y = -0.14\ln(x) - 0.4561$
SSW	$y = -0.151\ln(x) - 0.6064$
SW	$y = -0.113\ln(x) - 0.514$
WSW	$y = -0.109\ln(x) - 0.5322$
W	$y = -0.067\ln(x) - 0.269$
WNW	$y = -0.119\ln(x) - 0.4642$
NW	$y = -0.127\ln(x) - 0.6198$
NNW	$y = -0.134\ln(x) - 0.7339$

NOKTA 32(40,35° N; 27,37° E)



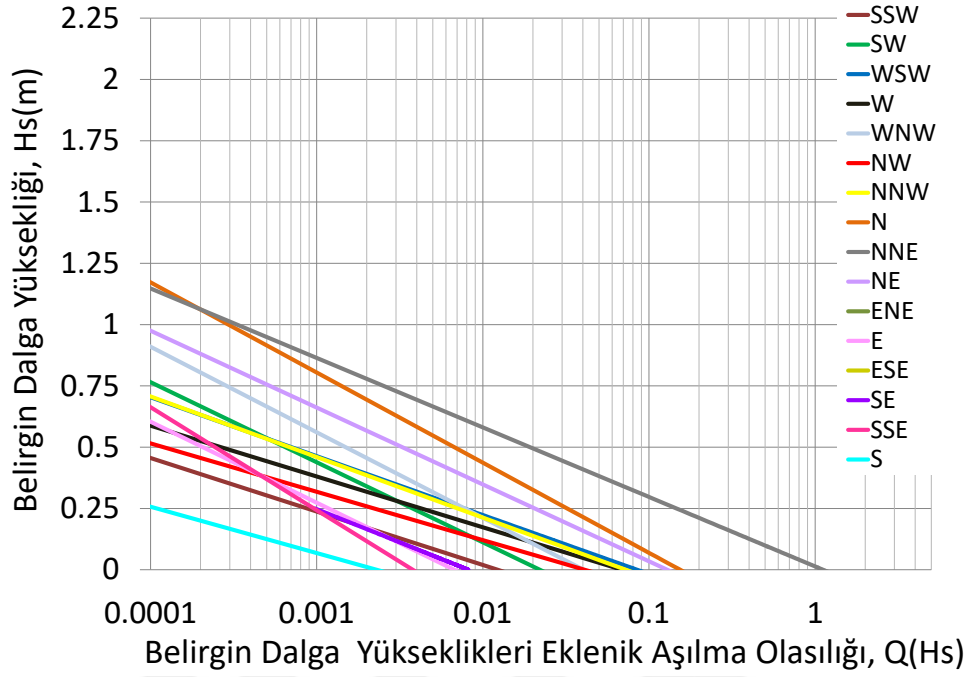
Yönler	Denklemler
N	$y = -0.139\ln(x) - 0.432$
NNE	$y = -0.201\ln(x) - 0.1086$
NE	$y = -0.171\ln(x) + 0.0474$
ENE	$y = -0.072\ln(x) - 0.1741$
E	$y = -0.079\ln(x) - 0.3252$
ESE	$y = -0.065\ln(x) - 0.2962$
SE	$y = -0.114\ln(x) - 0.6871$
SW	$y = -0.147\ln(x) - 1.3596$
W	$y = -0.085\ln(x) - 0.5303$
NW	$y = -0.072\ln(x) - 0.4487$
NNW	$y = -0.067\ln(x) - 0.2729$

NOKTA 33(40,35° N; 27,49° E)



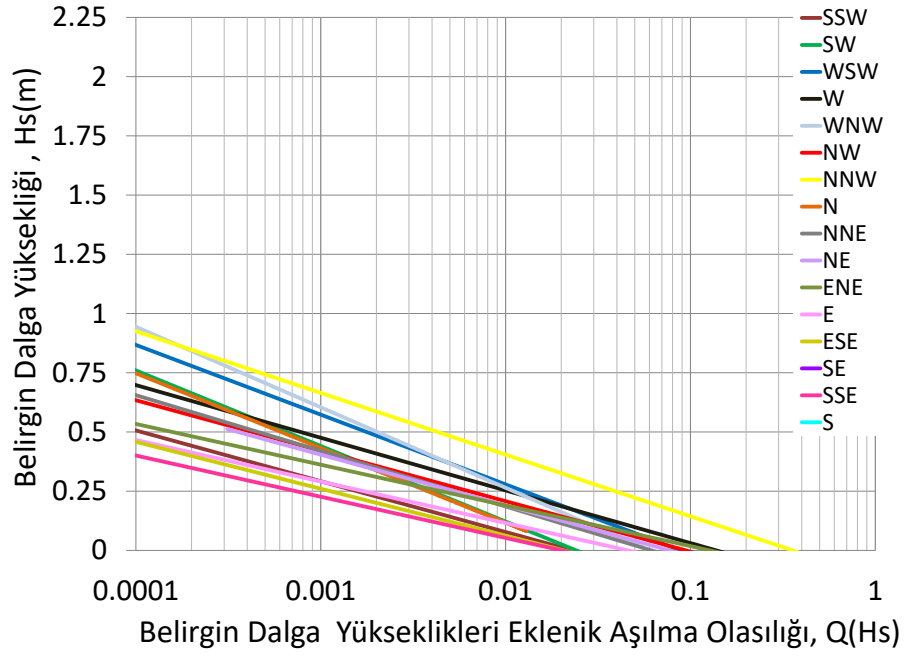
Yönler	Denklemler
N	$y = -0.18\ln(x) - 0.4169$
NNE	$y = -0.176\ln(x) - 0.1138$
NE	$y = -0.157\ln(x) - 0.0654$
ENE	$y = -0.065\ln(x) - 0.1368$
E	$y = -0.079\ln(x) - 0.3824$
ESE	$y = -0.186\ln(x) - 0.9284$
SE	$y = -0.12\ln(x) - 0.6445$
SSE	$y = -0.17\ln(x) - 0.8734$
S	$y = -0.091\ln(x) - 0.3828$
SSW	$y = -0.101\ln(x) - 0.3951$
SW	$y = -0.161\ln(x) - 0.6738$
WSW	$y = -0.087\ln(x) - 0.3556$
W	$y = -0.158\ln(x) - 0.6494$
WNW	$y = -0.104\ln(x) - 0.4476$
NW	$y = -0.144\ln(x) - 0.5265$
NNW	$y = -0.136\ln(x) - 0.4882$

NOKTA 34(40,35° N; 27,61° E)



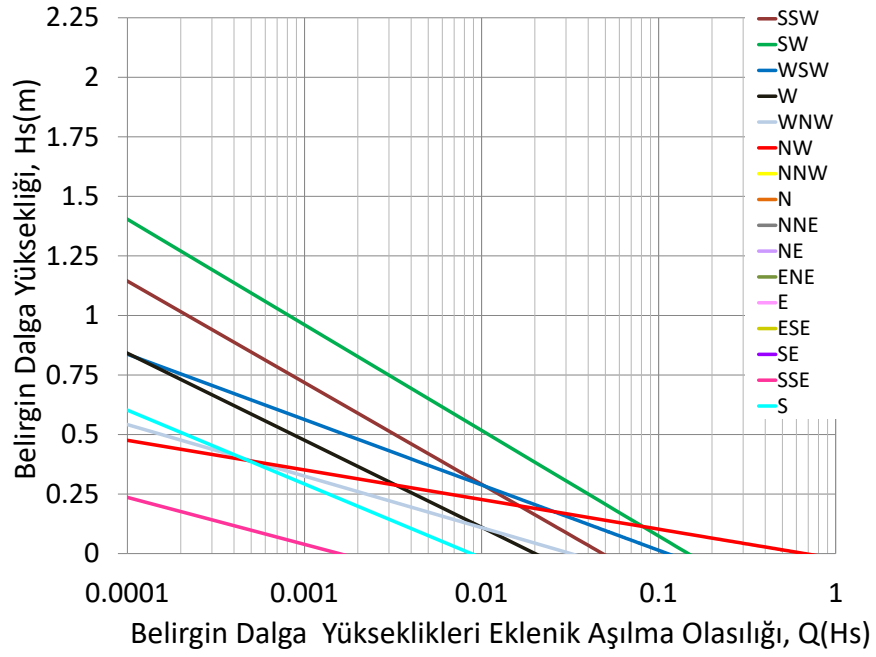
Yönler	Denklemler
N	$y = -0.16\ln(x) - 0.2987$
NNE	$y = -0.123\ln(x) + 0.0136$
NE	$y = -0.136\ln(x) - 0.2792$
E	$y = -0.143\ln(x) - 0.7172$
SE	$y = -0.118\ln(x) - 0.565$
SSE	$y = -0.182\ln(x) - 1.0173$
S	$y = -0.082\ln(x) - 0.4987$
SSW	$y = -0.095\ln(x) - 0.4169$
SW	$y = -0.142\ln(x) - 0.5411$
WSW	$y = -0.104\ln(x) - 0.2574$
W	$y = -0.09\ln(x) - 0.2412$
WNW	$y = -0.152\ln(x) - 0.4862$
NW	$y = -0.086\ln(x) - 0.2736$
NNW	$y = -0.107\ln(x) - 0.2817$

NOKTA 35(40,35° N; 27,73° E)



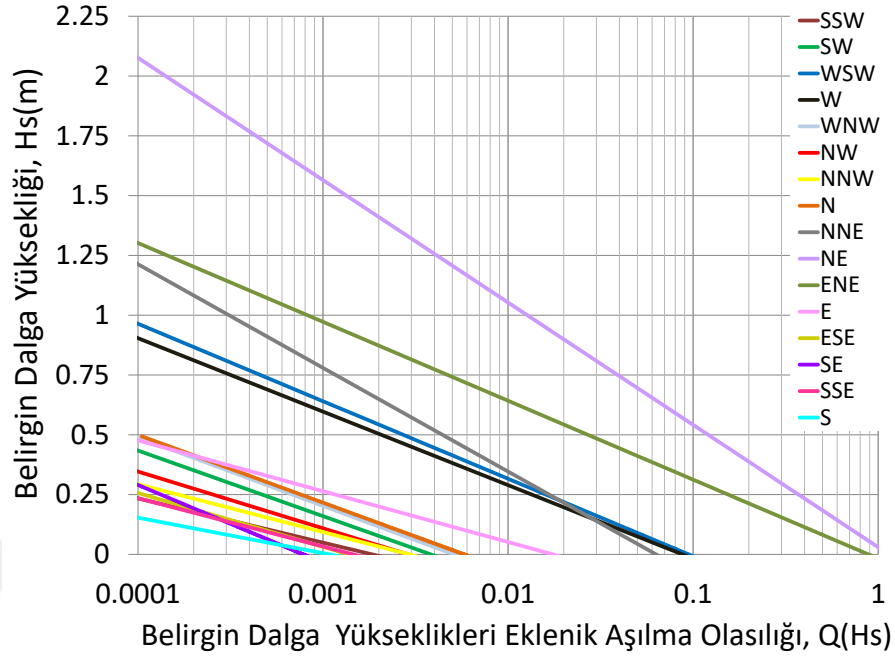
Yönler	Denklemler
N	$y = -0.137\ln(x) - 0.5126$
NNE	$y = -0.102\ln(x) - 0.2841$
NE	$y = -0.093\ln(x) - 0.238$
ENE	$y = -0.075\ln(x) - 0.1534$
E	$y = -0.076\ln(x) - 0.2341$
ESE	$y = -0.086\ln(x) - 0.3337$
SSE	$y = -0.076\ln(x) - 0.2948$
SSW	$y = -0.093\ln(x) - 0.3508$
SW	$y = -0.138\ln(x) - 0.5156$
WSW	$y = -0.128\ln(x) - 0.3095$
W	$y = -0.097\ln(x) - 0.1911$
WNW	$y = -0.148\ln(x) - 0.4147$
NW	$y = -0.093\ln(x) - 0.2182$
NNW	$y = -0.113\ln(x) - 0.1162$

NOKTA 36(40,44° N; 27,73° E)



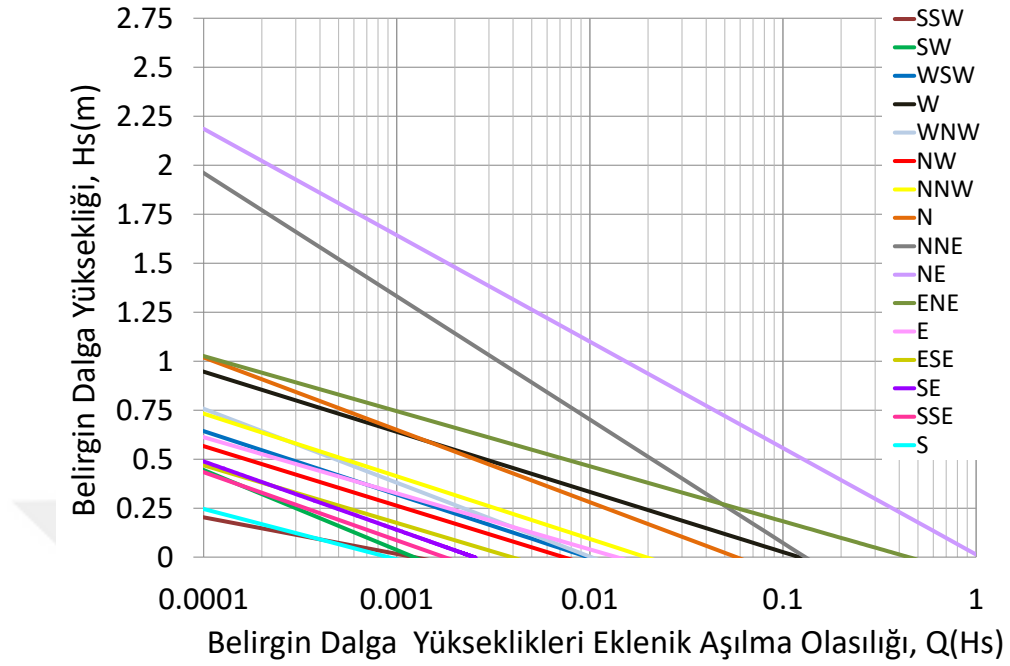
Yönler	Denklemler
SSE	$y = -0.086\ln(x) - 0.5525$
S	$y = -0.135\ln(x) - 0.6383$
SSW	$y = -0.185\ln(x) - 0.561$
SW	$y = -0.192\ln(x) - 0.3691$
WSW	$y = -0.119\ln(x) - 0.2605$
W	$y = -0.159\ln(x) - 0.6198$
WNW	$y = -0.094\ln(x) - 0.3235$

NOKTA 37(40,53° N; 27,73° E)



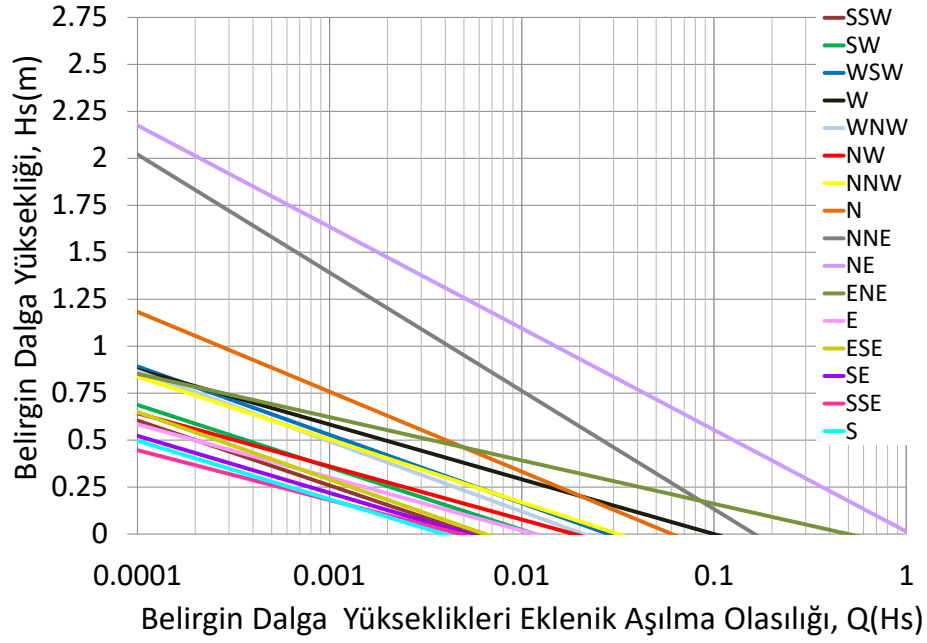
Yönler	Denklemler
N	$y = -0.123\ln(x) - 0.6333$
NNE	$y = -0.188\ln(x) - 0.5197$
NE	$y = -0.222\ln(x) + 0.0301$
ENE	$y = -0.143\ln(x) - 0.0172$
E	$y = -0.092\ln(x) - 0.3736$
ESE	$y = -0.098\ln(x) - 0.6439$
SE	$y = -0.141\ln(x) - 1.0098$
SSE	$y = -0.088\ln(x) - 0.5727$
S	$y = -0.064\ln(x) - 0.44$
SSW	$y = -0.08\ln(x) - 0.5061$
SW	$y = -0.119\ln(x) - 0.6629$
WSW	$y = -0.141\ln(x) - 0.3314$
W	$y = -0.133\ln(x) - 0.3245$
WNW	$y = -0.125\ln(x) - 0.6578$
NW	$y = -0.103\ln(x) - 0.6027$
NNW	$y = -0.087\ln(x) - 0.5063$

NOKTA 38(40,53° N; 27,85° E)



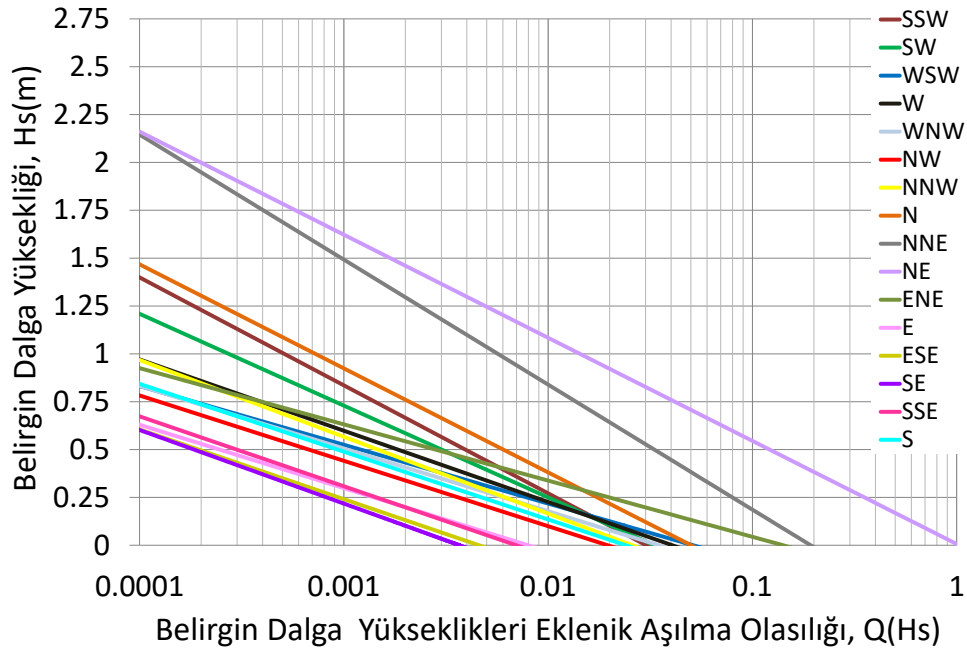
Yönler	Denklemler
N	$y = -0.16\ln(x) - 0.4587$
NNE	$y = -0.273\ln(x) - 0.5565$
NE	$y = -0.236\ln(x) + 0.0138$
ENE	$y = -0.122\ln(x) - 0.098$
E	$y = -0.124\ln(x) - 0.5329$
ESE	$y = -0.128\ln(x) - 0.7071$
SE	$y = -0.151\ln(x) - 0.906$
SSE	$y = -0.151\ln(x) - 0.9568$
S	$y = -0.112\ln(x) - 0.7823$
SSW	$y = -0.081\ln(x) - 0.5418$
SW	$y = -0.177\ln(x) - 1.1864$
WSW	$y = -0.14\ln(x) - 0.6493$
W	$y = -0.133\ln(x) - 0.2806$
WNW	$y = -0.164\ln(x) - 0.7519$
NW	$y = -0.132\ln(x) - 0.649$
NNW	$y = -0.139\ln(x) - 0.5468$

NOKTA 39(40,53° N; 27,97° E)



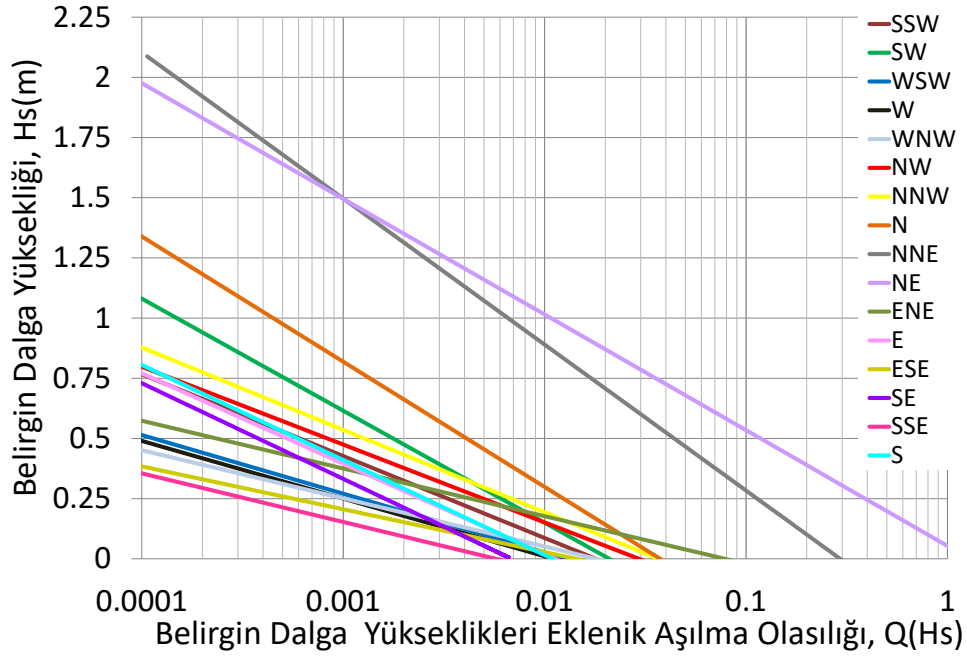
Yönler	Denklemler
N	$y = -0.185\ln(x) - 0.5179$
NNE	$y = -0.273\ln(x) - 0.4962$
NE	$y = -0.235\ln(x) + 0.014$
ENE	$y = -0.1\ln(x) - 0.0695$
E	$y = -0.123\ln(x) - 0.5471$
ESE	$y = -0.156\ln(x) - 0.787$
SE	$y = -0.132\ln(x) - 0.6921$
SSE	$y = -0.115\ln(x) - 0.6161$
S	$y = -0.135\ln(x) - 0.7495$
SSW	$y = -0.15\ln(x) - 0.7775$
SW	$y = -0.144\ln(x) - 0.6417$
WSW	$y = -0.158\ln(x) - 0.563$
W	$y = -0.127\ln(x) - 0.292$
WNW	$y = -0.162\ln(x) - 0.6283$
NW	$y = -0.123\ln(x) - 0.489$
NNW	$y = -0.146\ln(x) - 0.5018$

NOKTA 40(40,53° N; 28,09° E)



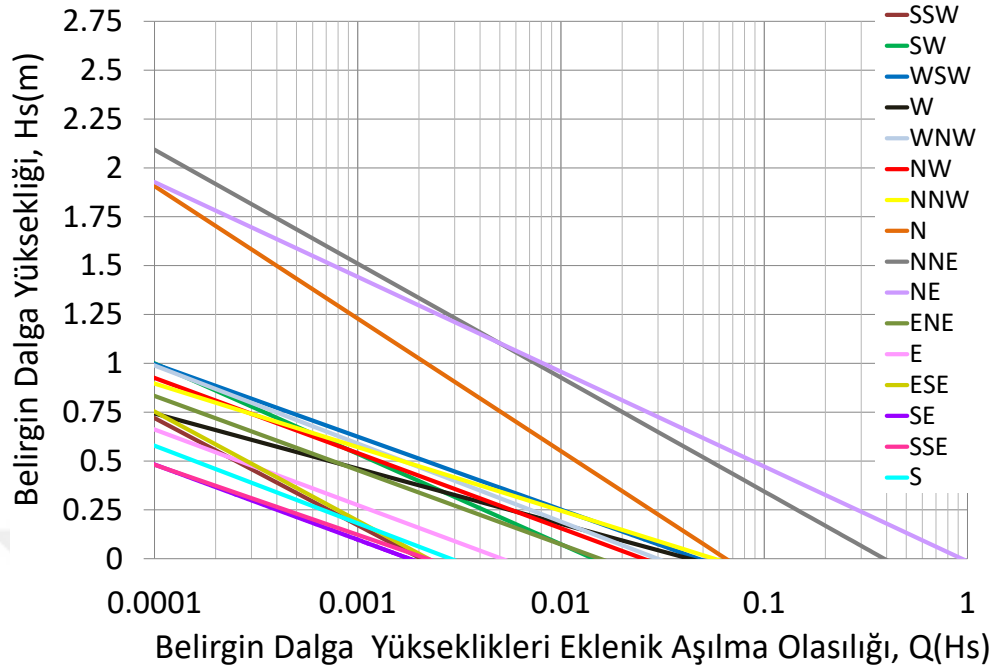
Yönler	Denklemler
N	$y = -0.236\ln(x) - 0.7064$
NNE	$y = -0.284\ln(x) - 0.4667$
NE	$y = -0.234\ln(x) + 0.0068$
ENE	$y = -0.128\ln(x) - 0.2495$
E	$y = -0.144\ln(x) - 0.6947$
ESE	$y = -0.158\ln(x) - 0.8511$
SE	$y = -0.167\ln(x) - 0.936$
SSE	$y = -0.159\ln(x) - 0.787$
S	$y = -0.154\ln(x) - 0.573$
SSW	$y = -0.245\ln(x) - 0.8564$
SW	$y = -0.208\ln(x) - 0.7095$
WSW	$y = -0.133\ln(x) - 0.3958$
W	$y = -0.162\ln(x) - 0.518$
WNW	$y = -0.142\ln(x) - 0.4772$
NW	$y = -0.148\ln(x) - 0.5833$
NNW	$y = -0.174\ln(x) - 0.6372$

NOKTA 41(40,44° N; 28,09° E)



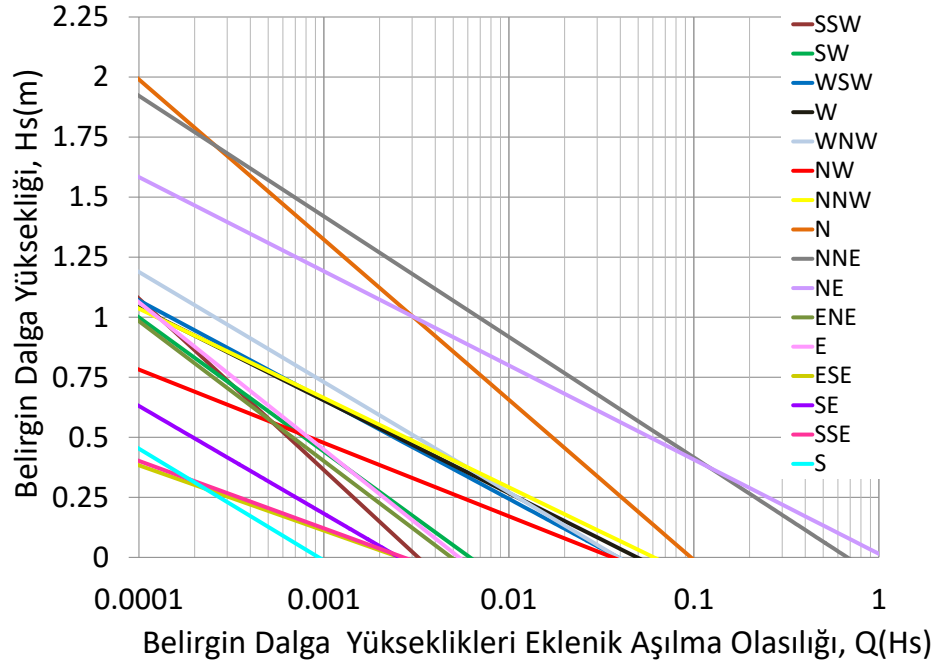
Yönler	Denklemler
N	$y = -0.226\ln(x) - 0.7415$
NNE	$y = -0.263\ln(x) - 0.3228$
NE	$y = -0.209\ln(x) + 0.0538$
ENE	$y = -0.086\ln(x) - 0.2189$
E	$y = -0.163\ln(x) - 0.7308$
ESE	$y = -0.077\ln(x) - 0.3285$
SE	$y = -0.173\ln(x) - 0.8599$
SSE	$y = -0.088\ln(x) - 0.4523$
S	$y = -0.172\ln(x) - 0.7748$
SSW	$y = -0.148\ln(x) - 0.5933$
SW	$y = -0.202\ln(x) - 0.7817$
WSW	$y = -0.106\ln(x) - 0.4604$
W	$y = -0.104\ln(x) - 0.4681$
WNW	$y = -0.087\ln(x) - 0.3482$
NW	$y = -0.14\ln(x) - 0.4955$
NNW	$y = -0.149\ln(x) - 0.4914$

NOKTA 42(40,44° N; 28,21° E)



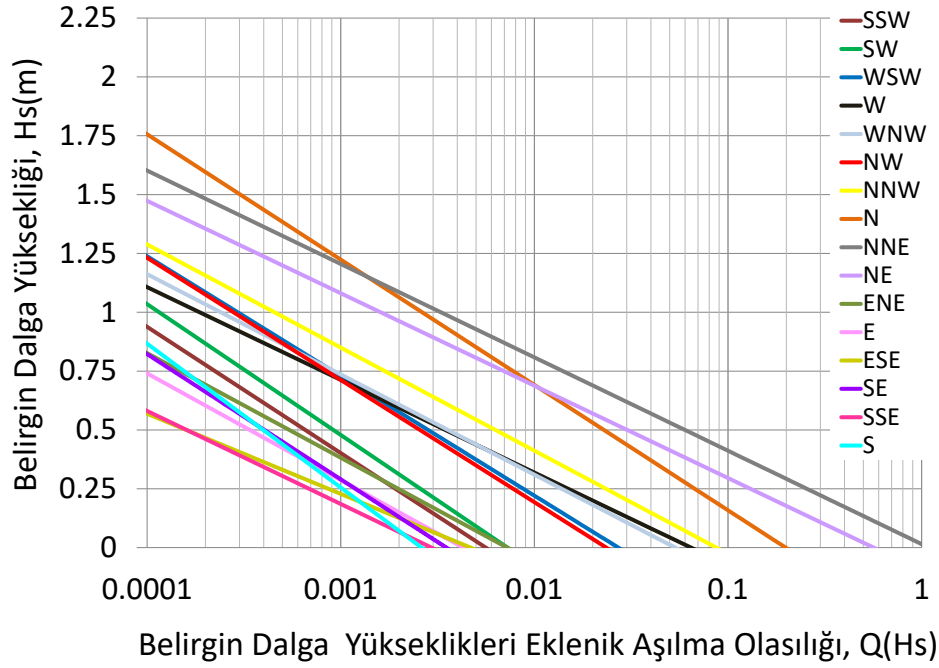
Yönler	Denklemler
N	$y = -0.295\ln(x) - 0.806$
NNE	$y = -0.253\ln(x) - 0.2389$
NE	$y = -0.211\ln(x) - 0.0133$
ENE	$y = -0.165\ln(x) - 0.6874$
E	$y = -0.168\ln(x) - 0.8873$
ESE	$y = -0.243\ln(x) - 1.483$
SE	$y = -0.167\ln(x) - 1.0562$
SSE	$y = -0.156\ln(x) - 0.9527$
S	$y = -0.172\ln(x) - 1.0093$
SSW	$y = -0.238\ln(x) - 1.4745$
SW	$y = -0.201\ln(x) - 0.8514$
WSW	$y = -0.162\ln(x) - 0.4934$
W	$y = -0.123\ln(x) - 0.3864$
WNW	$y = -0.174\ln(x) - 0.6094$
NW	$y = -0.167\ln(x) - 0.6136$
NNW	$y = -0.141\ln(x) - 0.4052$

NOKTA 43(40,44° N; 28,33° E)



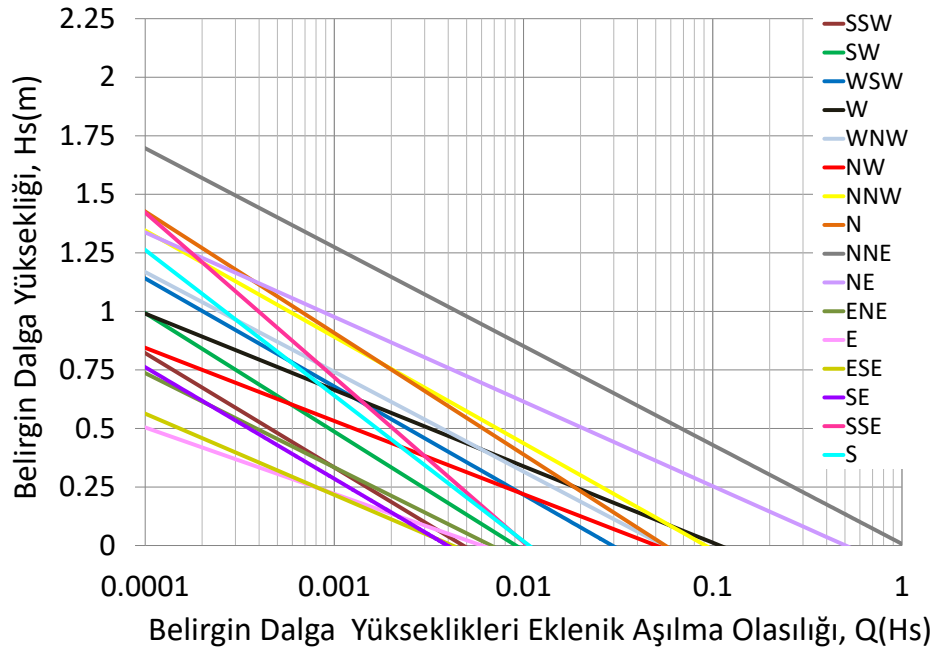
Yönler	Denklemler
N	$y = -0.29\ln(x) - 0.6775$
NNE	$y = -0.218\ln(x) - 0.0855$
NE	$y = -0.17\ln(x) + 0.015$
ENE	$y = -0.253\ln(x) - 1.3464$
E	$y = -0.267\ln(x) - 1.3923$
ESE	$y = -0.118\ln(x) - 0.704$
SE	$y = -0.195\ln(x) - 1.1627$
SSE	$y = -0.122\ln(x) - 0.7215$
S	$y = -0.202\ln(x) - 1.41$
SSW	$y = -0.31\ln(x) - 1.778$
SW	$y = -0.242\ln(x) - 1.2343$
WSW	$y = -0.179\ln(x) - 0.5822$
W	$y = -0.168\ln(x) - 0.5044$
WNW	$y = -0.199\ln(x) - 0.646$
NW	$y = -0.133\ln(x) - 0.4395$
NNW	$y = -0.162\ln(x) - 0.4525$

NOKTA 44(40,44° N; 28,45° E)



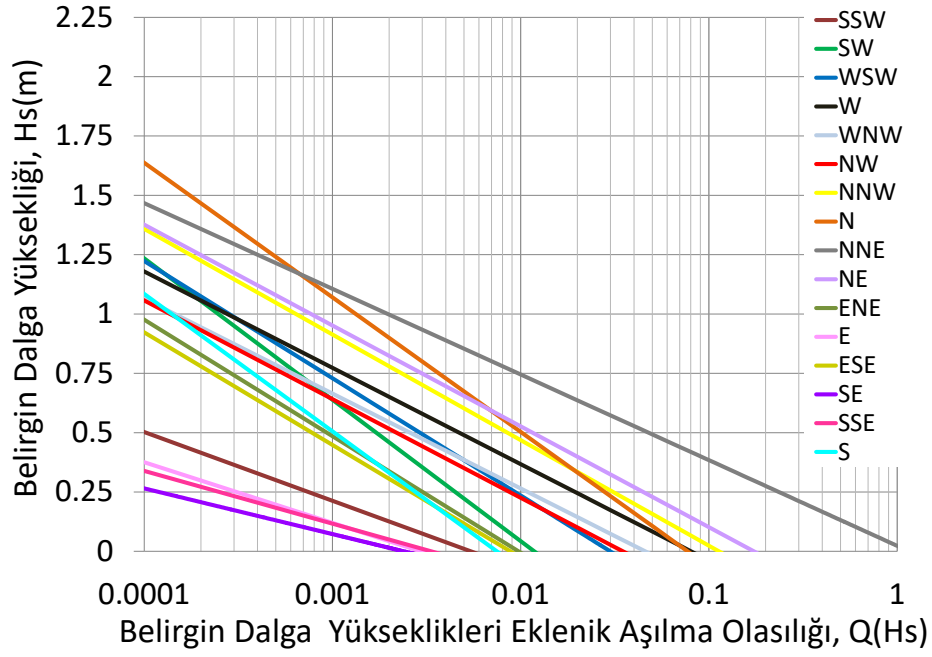
Yönler	Denklemler
N	$y = -0.231\ln(x) - 0.3737$
NNE	$y = -0.172\ln(x) + 0.015$
NE	$y = -0.171\ln(x) - 0.0971$
ENE	$y = -0.193\ln(x) - 0.9509$
E	$y = -0.197\ln(x) - 1.0734$
ESE	$y = -0.148\ln(x) - 0.7923$
SE	$y = -0.231\ln(x) - 1.3049$
SSE	$y = -0.172\ln(x) - 1.0002$
S	$y = -0.265\ln(x) - 1.5778$
SSW	$y = -0.233\ln(x) - 1.2067$
SW	$y = -0.241\ln(x) - 1.1883$
WSW	$y = -0.221\ln(x) - 0.7961$
W	$y = -0.171\ln(x) - 0.4691$
WNW	$y = -0.185\ln(x) - 0.5418$
NW	$y = -0.225\ln(x) - 0.8451$
NNW	$y = -0.19\ln(x) - 0.464$

NOKTA 45(40,44° N; 28,57° E)



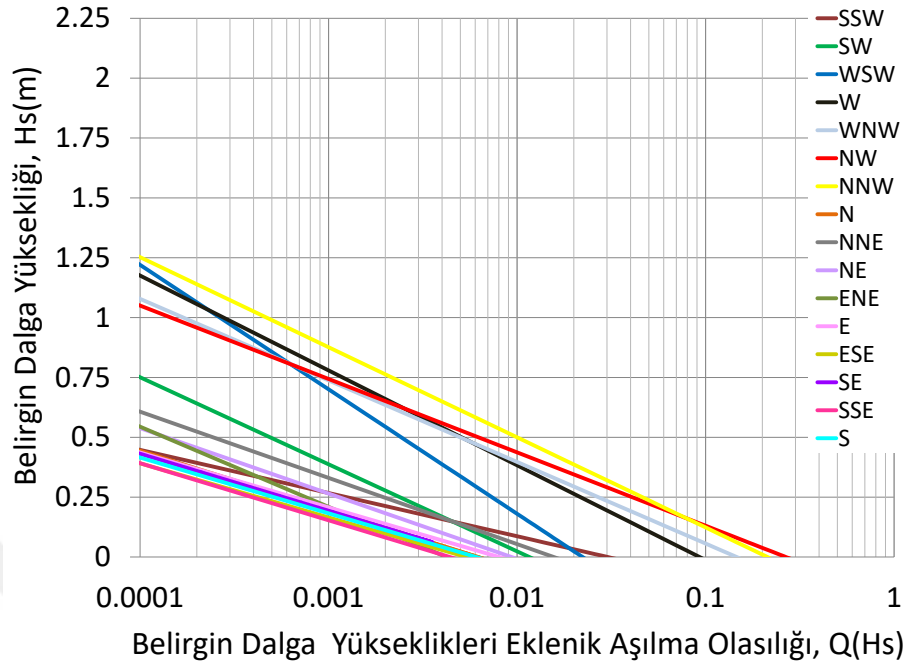
Yönler	Denklemler
N	$y = -0.225\ln(x) - 0.6488$
NNE	$y = -0.183\ln(x) + 0.0072$
NE	$y = -0.157\ln(x) - 0.1074$
ENE	$y = -0.175\ln(x) - 0.8743$
E	$y = -0.123\ln(x) - 0.6294$
ESE	$y = -0.151\ln(x) - 0.8236$
SE	$y = -0.207\ln(x) - 1.145$
SSE	$y = -0.306\ln(x) - 1.3934$
S	$y = -0.27\ln(x) - 1.2255$
SSW	$y = -0.212\ln(x) - 1.1327$
SW	$y = -0.22\ln(x) - 1.0335$
WSW	$y = -0.201\ln(x) - 0.7071$
W	$y = -0.142\ln(x) - 0.3139$
WNW	$y = -0.185\ln(x) - 0.5364$
NW	$y = -0.136\ln(x) - 0.4059$
NNW	$y = -0.197\ln(x) - 0.4714$

NOKTA 46(40,44° N; 28,69° E)



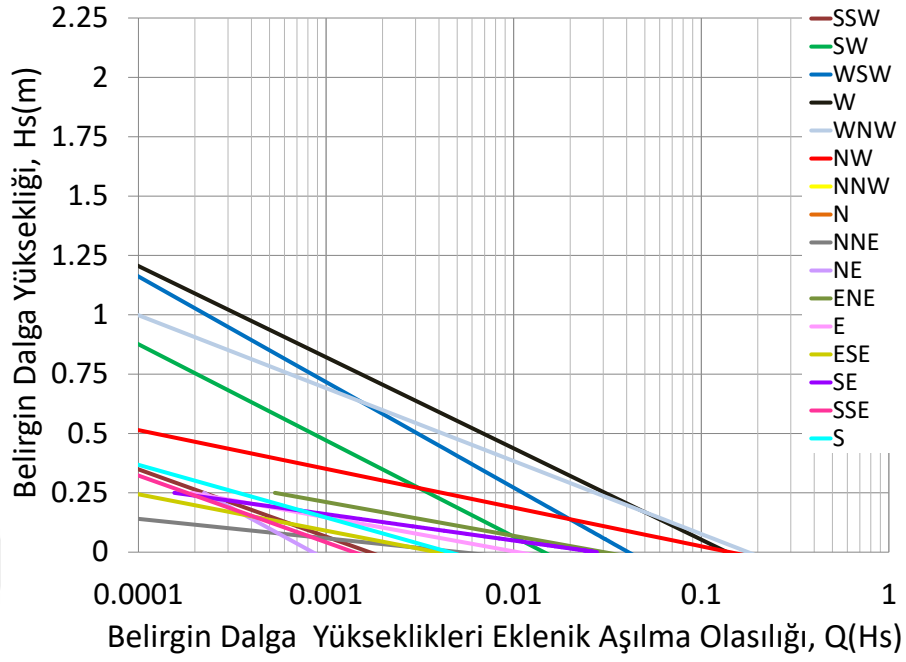
Yönler	Denklemler
N	$y = -0.246\ln(x) - 0.6307$
NNE	$y = -0.157\ln(x) + 0.0232$
NE	$y = -0.184\ln(x) - 0.3231$
ENE	$y = -0.213\ln(x) - 0.9875$
E	$y = -0.111\ln(x) - 0.6465$
ESE	$y = -0.206\ln(x) - 0.9743$
SE	$y = -0.084\ln(x) - 0.5044$
SSE	$y = -0.097\ln(x) - 0.5499$
S	$y = -0.251\ln(x) - 1.2312$
SSW	$y = -0.126\ln(x) - 0.6562$
SW	$y = -0.259\ln(x) - 1.1485$
WSW	$y = -0.215\ln(x) - 0.7526$
W	$y = -0.176\ln(x) - 0.4445$
WNW	$y = -0.174\ln(x) - 0.5352$
NW	$y = -0.181\ln(x) - 0.6054$
NNW	$y = -0.193\ln(x) - 0.4212$

NOKTA 47(40,44° N; 28,81° E)



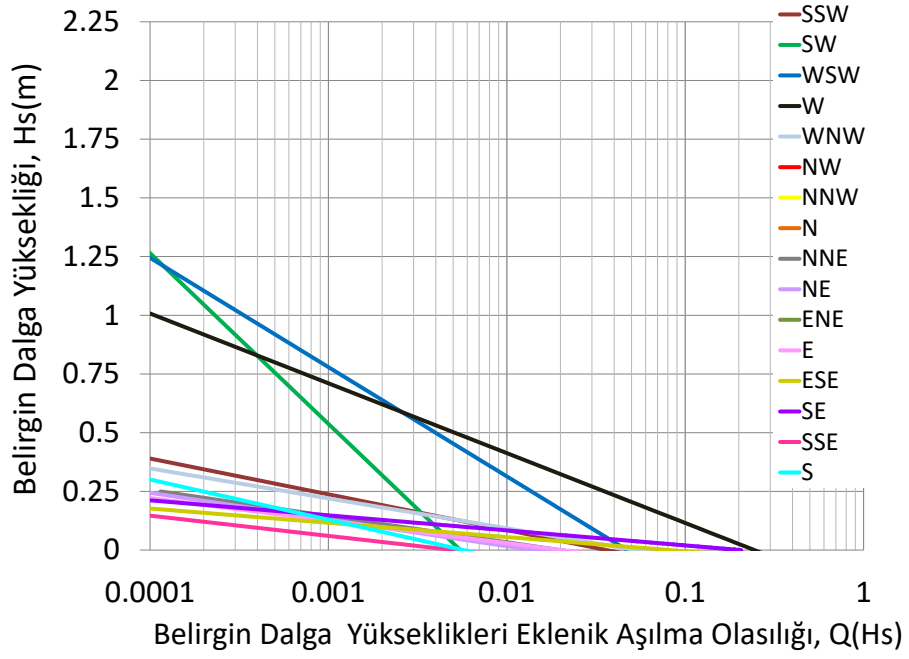
Yönler	Denklemler
N	$y = -0.108\ln(x) - 0.5463$
NNE	$y = -0.12\ln(x) - 0.4992$
NE	$y = -0.119\ln(x) - 0.5541$
ENE	$y = -0.145\ln(x) - 0.795$
E	$y = -0.1\ln(x) - 0.4799$
ESE	$y = -0.098\ln(x) - 0.5125$
SE	$y = -0.103\ln(x) - 0.5213$
SSE	$y = -0.104\ln(x) - 0.5618$
S	$y = -0.101\ln(x) - 0.5161$
SSW	$y = -0.078\ln(x) - 0.2739$
SW	$y = -0.158\ln(x) - 0.703$
WSW	$y = -0.226\ln(x) - 0.8588$
W	$y = -0.172\ln(x) - 0.4087$
WNW	$y = -0.148\ln(x) - 0.2842$
NW	$y = -0.133\ln(x) - 0.1757$
NNW	$y = -0.163\ln(x) - 0.2526$

NOKTA 48(40,44° N; 28,93° E)



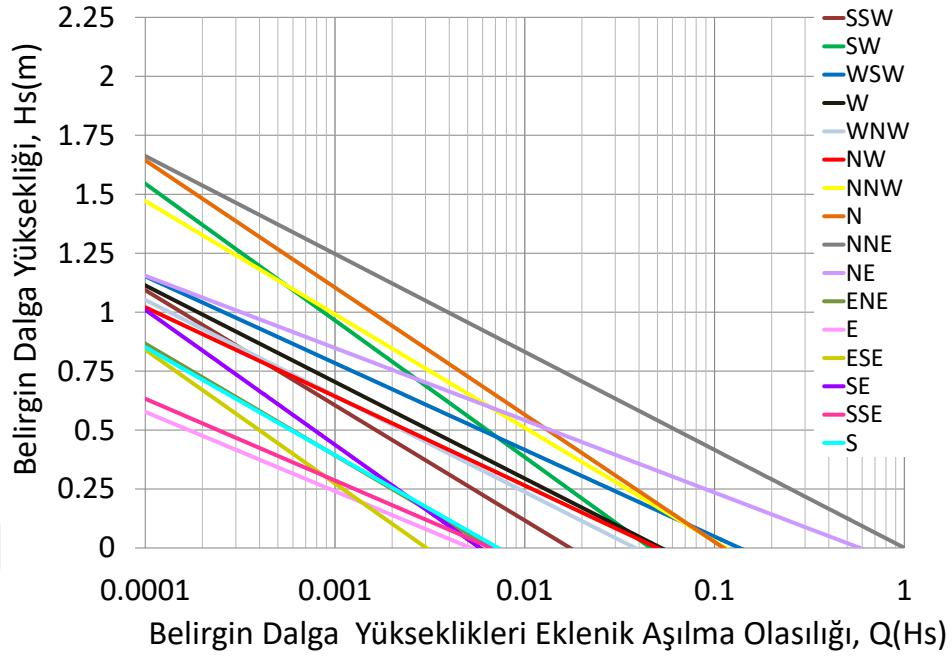
Yönler	Denklemler
NNE	$y = -0.036\ln(x) - 0.1873$
NE	$y = -0.187\ln(x) - 1.3253$
ENE	$y = -0.062\ln(x) - 0.2165$
E	$y = -0.062\ln(x) - 0.2839$
ESE	$y = -0.067\ln(x) - 0.369$
SE	$y = -0.048\ln(x) - 0.1727$
SSE	$y = -0.122\ln(x) - 0.8013$
S	$y = -0.096\ln(x) - 0.5201$
SSW	$y = -0.123\ln(x) - 0.7845$
SW	$y = -0.176\ln(x) - 0.7447$
WSW	$y = -0.193\ln(x) - 0.6177$
W	$y = -0.167\ln(x) - 0.3311$
WNW	$y = -0.133\ln(x) - 0.2306$
NW	$y = -0.071\ln(x) - 0.1383$
NNW	$y = -0.242\ln(x) - 2.2933$

NOKTA 49(40,44° N; 29,05° E)



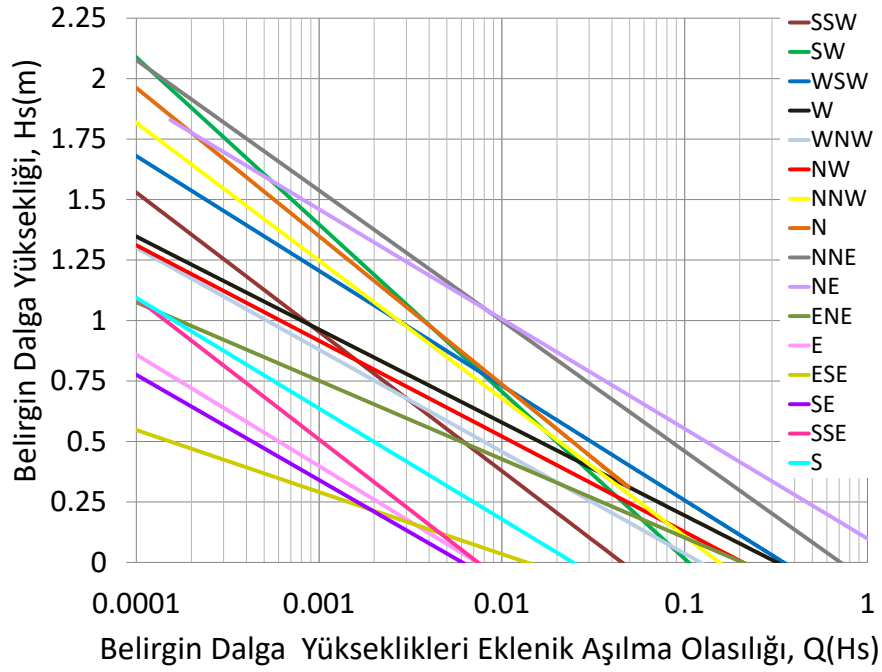
Yönler	Denklemler
NNE	$y = -0.048\ln(x) - 0.1895$
NE	$y = -0.049\ln(x) - 0.2109$
E	$y = -0.042\ln(x) - 0.1626$
ESE	$y = -0.026\ln(x) - 0.0658$
SE	$y = -0.028\ln(x) - 0.0439$
SSE	$y = -0.037\ln(x) - 0.1982$
S	$y = -0.074\ln(x) - 0.3829$
SSW	$y = -0.066\ln(x) - 0.219$
SW	$y = -0.316\ln(x) - 1.6428$
WSW	$y = -0.202\ln(x) - 0.6164$
W	$y = -0.129\ln(x) - 0.1817$
WNW	$y = -0.055\ln(x) - 0.1626$

NOKTA 50(40,53° N; 28,69° E)



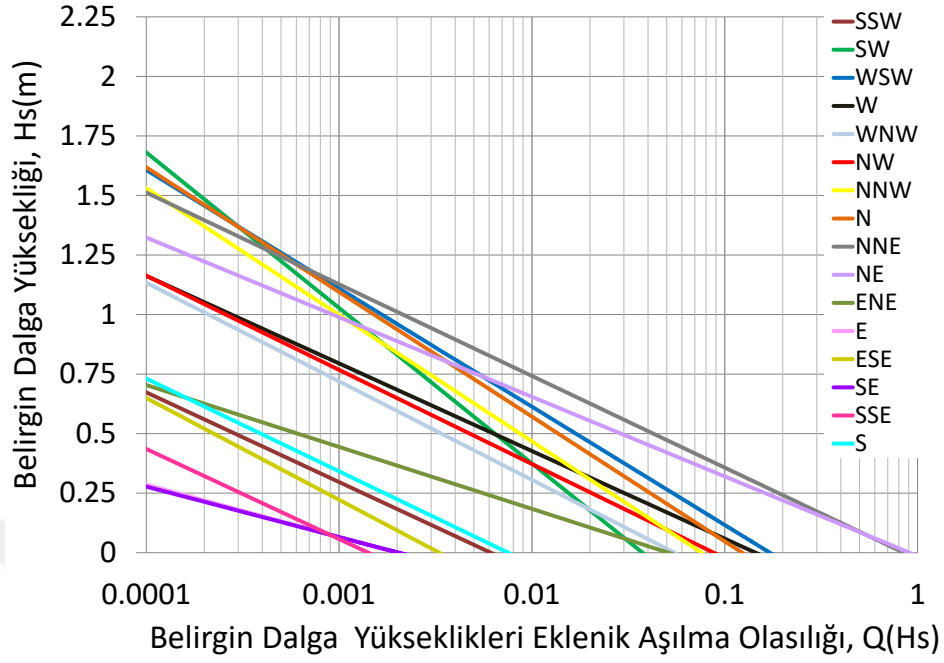
Yönler	Denklemler
N	$y = -0.234\ln(x) - 0.5135$
NNE	$y = -0.18\ln(x) + 0.0008$
NE	$y = -0.133\ln(x) - 0.0716$
ENE	$y = -0.206\ln(x) - 1.029$
E	$y = -0.146\ln(x) - 0.7684$
ESE	$y = -0.246\ln(x) - 1.4283$
SE	$y = -0.249\ln(x) - 1.2797$
SSE	$y = -0.151\ln(x) - 0.7544$
S	$y = -0.199\ln(x) - 0.9793$
SSW	$y = -0.212\ln(x) - 0.8597$
SW	$y = -0.252\ln(x) - 0.7753$
WSW	$y = -0.16\ln(x) - 0.3194$
W	$y = -0.178\ln(x) - 0.5243$
WNW	$y = -0.177\ln(x) - 0.5774$
NW	$y = -0.164\ln(x) - 0.4915$
NNW	$y = -0.209\ln(x) - 0.4523$

NOKTA 51(40,62° N; 28,69° E)



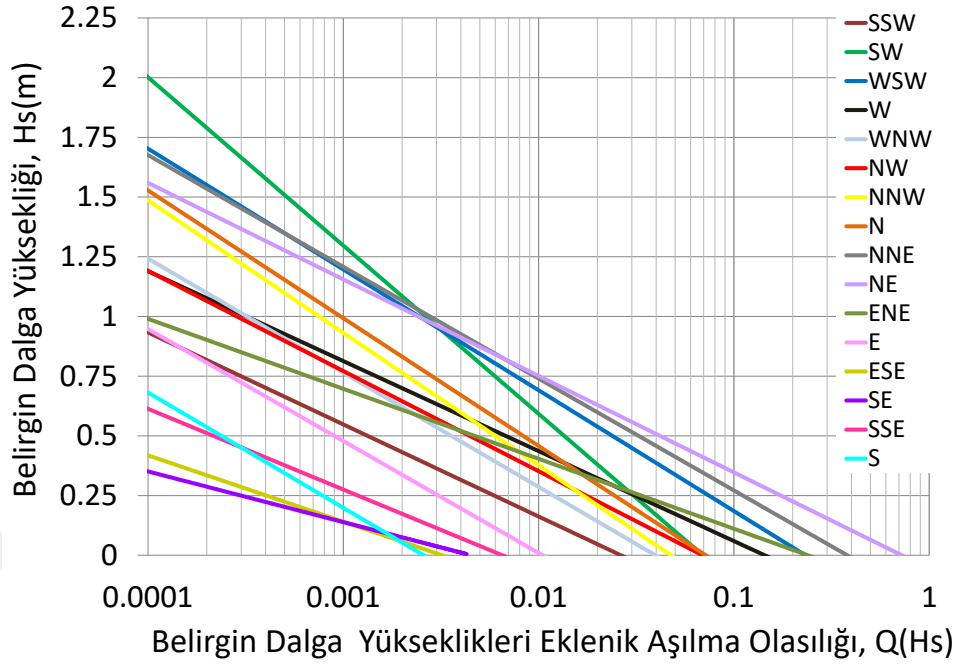
Yönler	Denklemler
N	$y = -0.266\ln(x) - 0.4896$
NNE	$y = -0.234\ln(x) - 0.0792$
NE	$y = -0.197\ln(x) + 0.0987$
ENE	$y = -0.141\ln(x) - 0.2215$
E	$y = -0.2\ln(x) - 0.9838$
ESE	$y = -0.111\ln(x) - 0.4779$
SE	$y = -0.189\ln(x) - 0.9639$
SSE	$y = -0.254\ln(x) - 1.2465$
S	$y = -0.199\ln(x) - 0.7364$
SSW	$y = -0.25\ln(x) - 0.7725$
SW	$y = -0.3\ln(x) - 0.6754$
WSW	$y = -0.206\ln(x) - 0.2175$
W	$y = -0.167\ln(x) - 0.1901$
WNW	$y = -0.183\ln(x) - 0.3845$
NW	$y = -0.172\ln(x) - 0.2691$
NNW	$y = -0.247\ln(x) - 0.462$

NOKTA 52(40,62° N; 28,81° E)



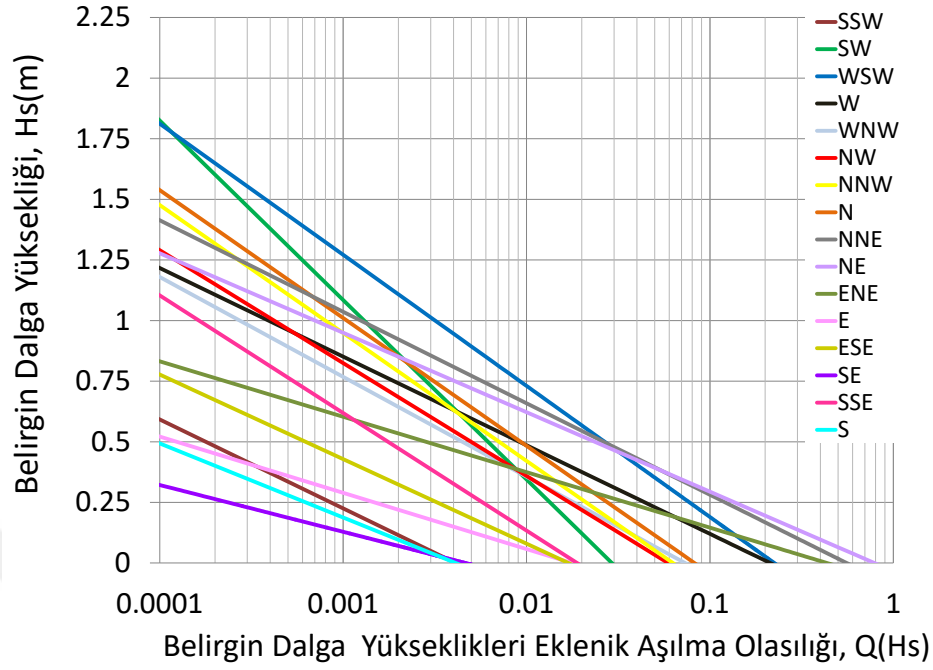
Yönler	Denklemler
N	$y = -0.227\ln(x) - 0.4756$
NNE	$y = -0.167\ln(x) - 0.0276$
NE	$y = -0.145\ln(x) - 0.014$
ENE	$y = -0.113\ln(x) - 0.3363$
ESE	$y = -0.186\ln(x) - 1.0601$
SSE	$y = -0.164\ln(x) - 1.0775$
S	$y = -0.169\ln(x) - 0.8271$
SSW	$y = -0.164\ln(x) - 0.8337$
SW	$y = -0.284\ln(x) - 0.9315$
WSW	$y = -0.216\ln(x) - 0.3805$
W	$y = -0.16\ln(x) - 0.3089$
WNW	$y = -0.18\ln(x) - 0.5217$
NW	$y = -0.172\ln(x) - 0.4175$
NNW	$y = -0.231\ln(x) - 0.595$

NOKTA 53(40,71° N; 28,81° E)



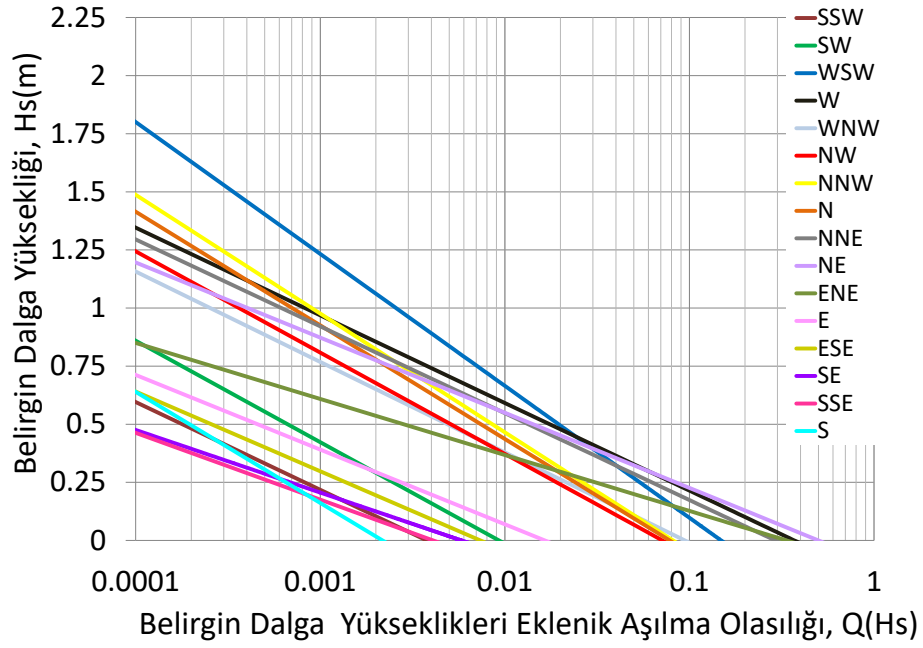
Yönler	Denklemler
N	$y = -0.232\ln(x) - 0.612$
NNE	$y = -0.203\ln(x) - 0.1963$
NE	$y = -0.175\ln(x) - 0.0566$
ENE	$y = -0.127\ln(x) - 0.1819$
E	$y = -0.204\ln(x) - 0.928$
ESE	$y = -0.121\ln(x) - 0.6928$
SE	$y = -0.092\ln(x) - 0.4972$
SSE	$y = -0.147\ln(x) - 0.7386$
S	$y = -0.21\ln(x) - 1.2485$
SSW	$y = -0.167\ln(x) - 0.6085$
SW	$y = -0.306\ln(x) - 0.8163$
WSW	$y = -0.22\ln(x) - 0.3204$
W	$y = -0.164\ln(x) - 0.3172$
WNW	$y = -0.208\ln(x) - 0.6702$
NW	$y = -0.182\ln(x) - 0.4866$
NNW	$y = -0.241\ln(x) - 0.7328$

NOKTA 54(40,71° N; 28,93° E)



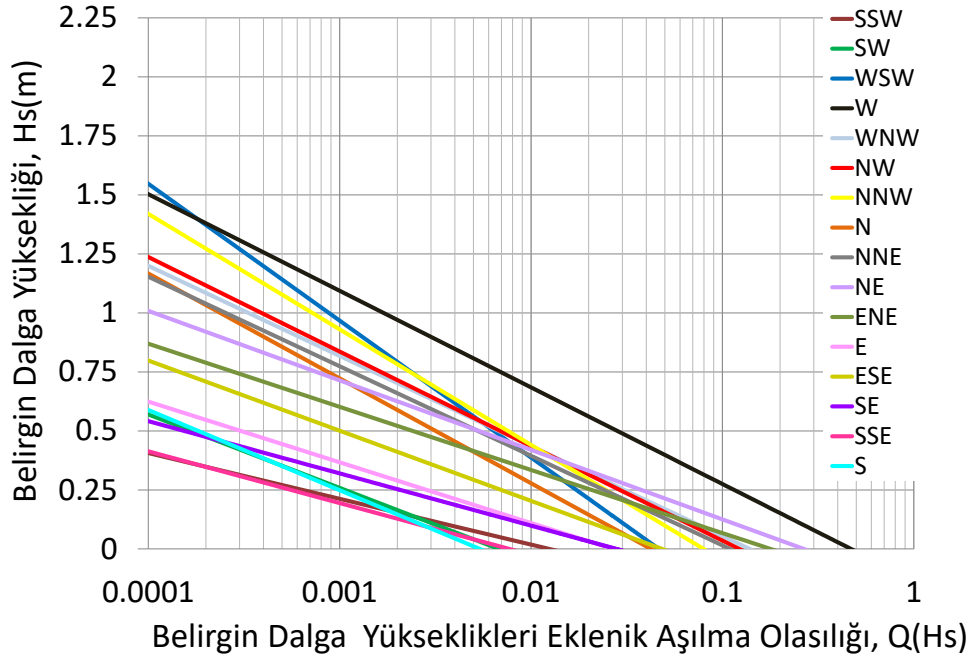
Yönler	Denklemler
N	$y = -0.229\ln(x) - 0.5718$
NNE	$y = -0.164\ln(x) - 0.0959$
NE	$y = -0.142\ln(x) - 0.0337$
ENE	$y = -0.099\ln(x) - 0.0827$
E	$y = -0.101\ln(x) - 0.4064$
ESE	$y = -0.151\ln(x) - 0.6179$
SE	$y = -0.084\ln(x) - 0.4504$
SSE	$y = -0.211\ln(x) - 0.8364$
S	$y = -0.133\ln(x) - 0.7288$
SSW	$y = -0.159\ln(x) - 0.8747$
SW	$y = -0.322\ln(x) - 1.1362$
WSW	$y = -0.235\ln(x) - 0.351$
W	$y = -0.159\ln(x) - 0.2452$
WNW	$y = -0.179\ln(x) - 0.4678$
NW	$y = -0.202\ln(x) - 0.5718$
NNW	$y = -0.229\ln(x) - 0.6339$

NOKTA 55(40,71° N; 29,05° E)



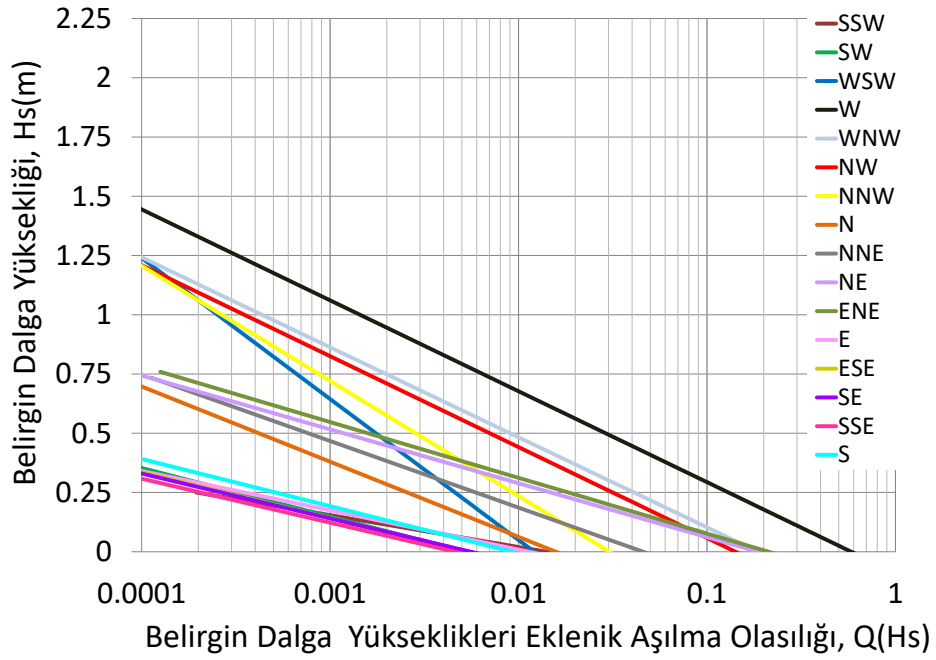
Yönler	Denklemler
N	$y = -0.212\ln(x) - 0.5409$
NNE	$y = -0.162\ln(x) - 0.2$
NE	$y = -0.14\ln(x) - 0.0972$
ENE	$y = -0.105\ln(x) - 0.1139$
E	$y = -0.14\ln(x) - 0.5729$
ESE	$y = -0.149\ln(x) - 0.7309$
SE	$y = -0.117\ln(x) - 0.602$
SSE	$y = -0.125\ln(x) - 0.6859$
S	$y = -0.208\ln(x) - 1.2729$
SSW	$y = -0.164\ln(x) - 0.9148$
SW	$y = -0.19\ln(x) - 0.8865$
WSW	$y = -0.246\ln(x) - 0.4699$
W	$y = -0.164\ln(x) - 0.1628$
WNW	$y = -0.169\ln(x) - 0.3985$
NW	$y = -0.189\ln(x) - 0.4995$
NNW	$y = -0.222\ln(x) - 0.5559$

NOKTA 56(40,71° N; 29,17° E)



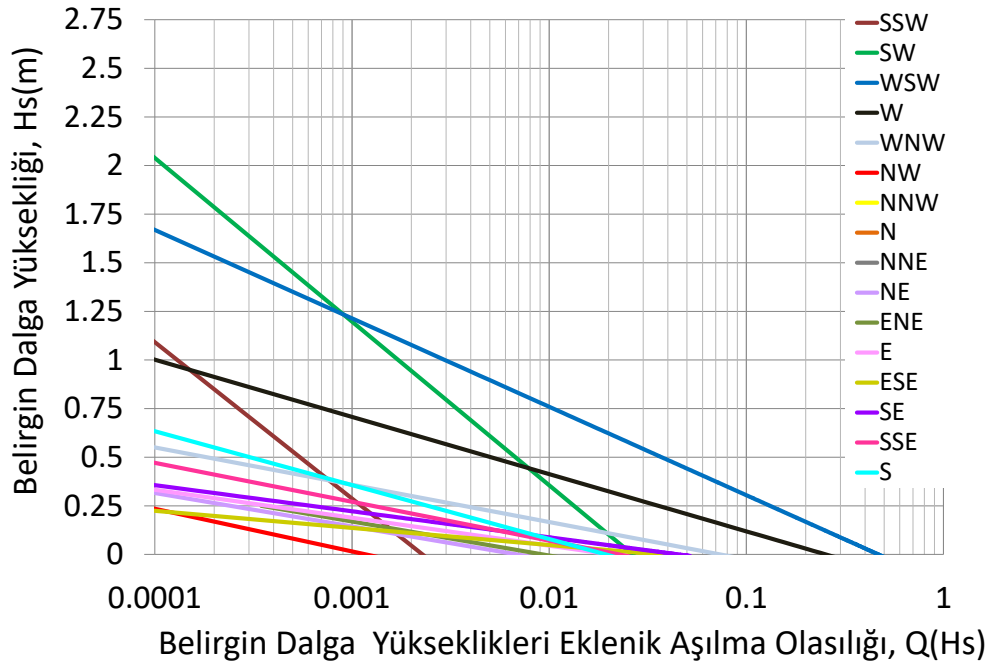
Yönler	Denklemler
N	$y = -0.193\ln(x) - 0.6102$
NNE	$y = -0.165\ln(x) - 0.3641$
NE	$y = -0.139\ln(x) - 0.2142$
ENE	$y = -0.116\ln(x) - 0.2$
E	$y = -0.112\ln(x) - 0.4045$
ESE	$y = -0.129\ln(x) - 0.3909$
SE	$y = -0.096\ln(x) - 0.3438$
SSE	$y = -0.095\ln(x) - 0.463$
S	$y = -0.148\ln(x) - 0.771$
SSW	$y = -0.084\ln(x) - 0.37$
SW	$y = -0.135\ln(x) - 0.6747$
WSW	$y = -0.252\ln(x) - 0.7723$
W	$y = -0.178\ln(x) - 0.1342$
WNW	$y = -0.166\ln(x) - 0.3276$
NW	$y = -0.174\ln(x) - 0.3651$
NNW	$y = -0.212\ln(x) - 0.5375$

NOKTA 57(40,71° N; 29,29° E)



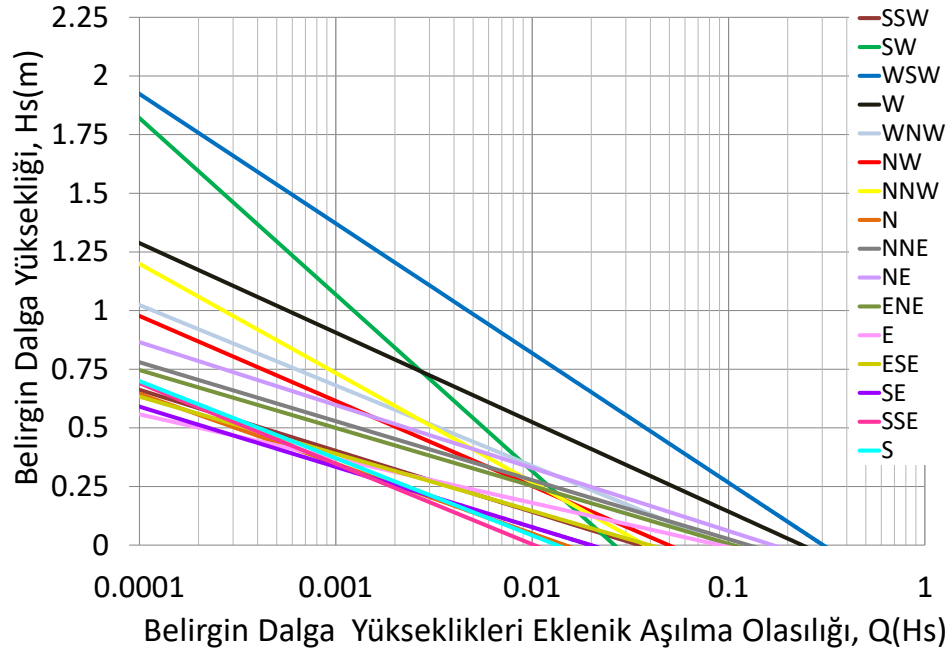
Yönler	Denklemler
N	$y = -0.138\ln(x) - 0.5721$
NNE	$y = -0.122\ln(x) - 0.3764$
NE	$y = -0.099\ln(x) - 0.1661$
ENE	$y = -0.102\ln(x) - 0.1586$
E	$y = -0.072\ln(x) - 0.3221$
ESE	$y = -0.085\ln(x) - 0.4441$
SE	$y = -0.082\ln(x) - 0.4277$
SSE	$y = -0.081\ln(x) - 0.4339$
S	$y = -0.087\ln(x) - 0.4059$
SSW	$y = -0.058\ln(x) - 0.2494$
SW	$y = -0.089\ln(x) - 0.4669$
WSW	$y = -0.258\ln(x) - 1.1409$
W	$y = -0.167\ln(x) - 0.0902$
WNW	$y = -0.165\ln(x) - 0.2771$
NW	$y = -0.167\ln(x) - 0.3258$
NNW	$y = -0.211\ln(x) - 0.7386$

NOKTA 58(40,80° N; 29,29° E)



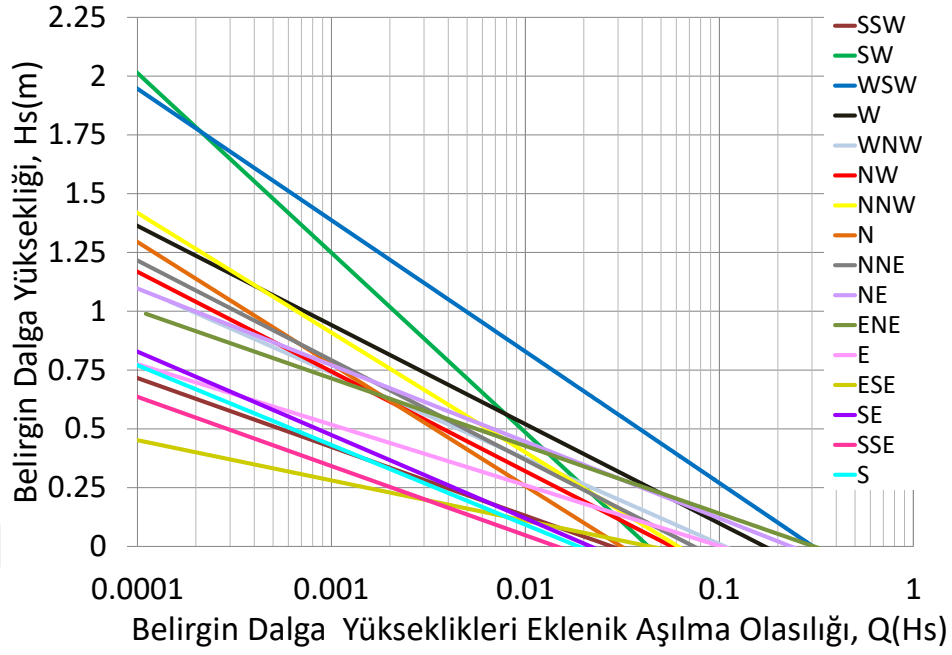
Yönler	Denklemler
NE	$y = -0.075\ln(x) - 0.3716$
ENE	$y = -0.076\ln(x) - 0.3557$
E	$y = -0.062\ln(x) - 0.2428$
ESE	$y = -0.038\ln(x) - 0.1272$
SE	$y = -0.058\ln(x) - 0.1802$
SSE	$y = -0.087\ln(x) - 0.3294$
S	$y = -0.12\ln(x) - 0.4747$
SSW	$y = -0.349\ln(x) - 2.1238$
SW	$y = -0.365\ln(x) - 1.327$
WSW	$y = -0.197\ln(x) - 0.15$
W	$y = -0.128\ln(x) - 0.1755$
WNW	$y = -0.083\ln(x) - 0.2174$
NW	$y = -0.095\ln(x) - 0.6429$

NOKTA 59(40,80° N; 29,17° E)



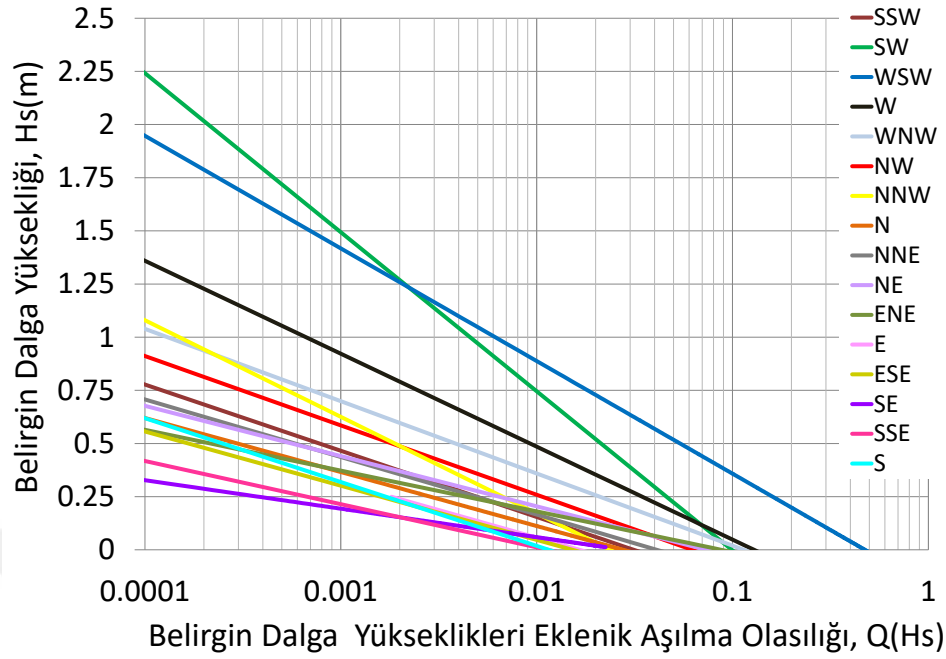
Yönler	Denklemler
N	$y = -0.129\ln(x) - 0.5468$
NNE	$y = -0.109\ln(x) - 0.2254$
NE	$y = -0.117\ln(x) - 0.2081$
ENE	$y = -0.107\ln(x) - 0.2409$
E	$y = -0.081\ln(x) - 0.1919$
ESE	$y = -0.106\ln(x) - 0.3419$
SE	$y = -0.112\ln(x) - 0.437$
SSE	$y = -0.149\ln(x) - 0.6831$
S	$y = -0.143\ln(x) - 0.6159$
SSW	$y = -0.113\ln(x) - 0.3783$
SW	$y = -0.327\ln(x) - 1.1894$
WSW	$y = -0.24\ln(x) - 0.2863$
W	$y = -0.166\ln(x) - 0.2385$
WNW	$y = -0.149\ln(x) - 0.3477$
NW	$y = -0.157\ln(x) - 0.4728$
NNW	$y = -0.202\ln(x) - 0.6629$

NOKTA 60(40,80° N; 29,05° E)



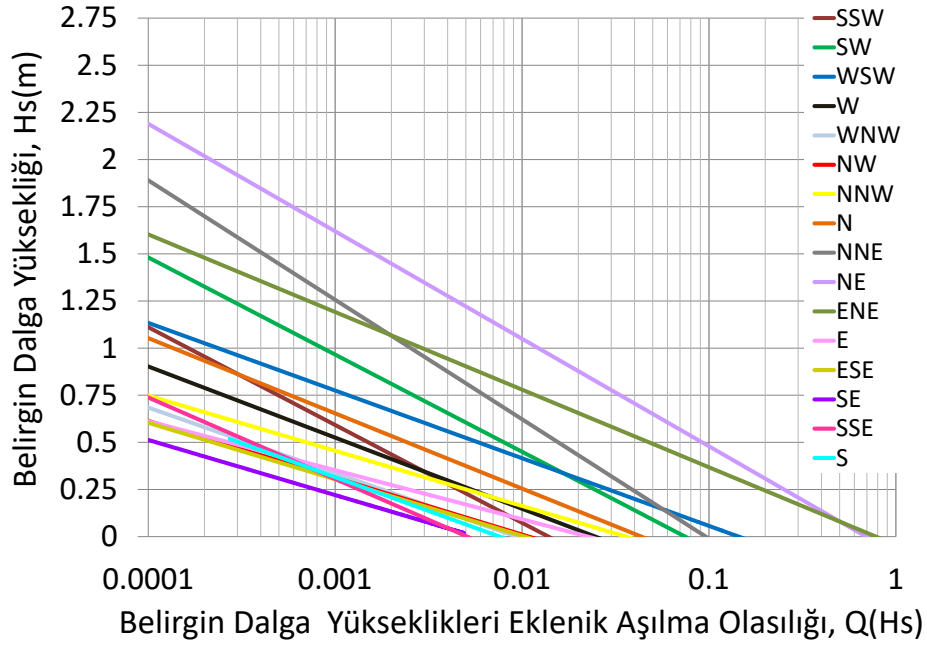
Yönler	Denklemler
N	$y = -0.225\ln(x) - 0.7815$
NNE	$y = -0.184\ln(x) - 0.4802$
NE	$y = -0.141\ln(x) - 0.206$
ENE	$y = -0.125\ln(x) - 0.1474$
E	$y = -0.112\ln(x) - 0.2558$
ESE	$y = -0.074\ln(x) - 0.2325$
SE	$y = -0.154\ln(x) - 0.5897$
SSE	$y = -0.128\ln(x) - 0.5418$
S	$y = -0.147\ln(x) - 0.5856$
SSW	$y = -0.127\ln(x) - 0.4553$
SW	$y = -0.332\ln(x) - 1.0441$
WSW	$y = -0.243\ln(x) - 0.2893$
W	$y = -0.183\ln(x) - 0.3235$
WNW	$y = -0.158\ln(x) - 0.3536$
NW	$y = -0.184\ln(x) - 0.5283$
NNW	$y = -0.221\ln(x) - 0.6174$

NOKTA 61(40,89° N; 29,05° E)



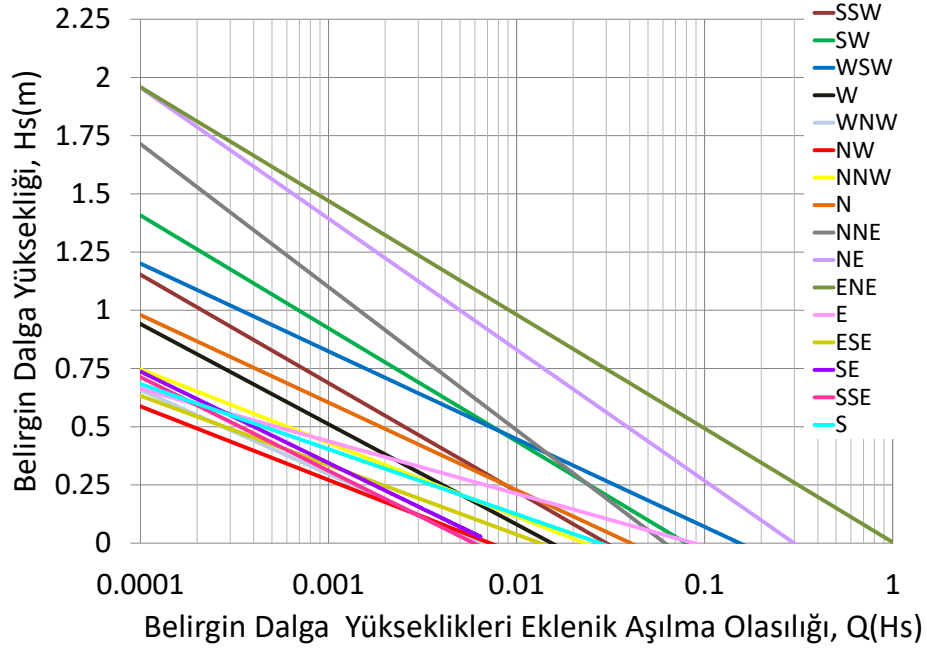
Yönler	Denklemler
N	$y = -0.11\ln(x) - 0.3958$
NNE	$y = -0.118\ln(x) - 0.3749$
NE	$y = -0.103\ln(x) - 0.2682$
ENE	$y = -0.083\ln(x) - 0.2024$
E	$y = -0.113\ln(x) - 0.4639$
ESE	$y = -0.111\ln(x) - 0.4627$
SE	$y = -0.058\ln(x) - 0.2081$
SSE	$y = -0.088\ln(x) - 0.3938$
S	$y = -0.13\ln(x) - 0.5815$
SSW	$y = -0.135\ln(x) - 0.4683$
SW	$y = -0.325\ln(x) - 0.75$
WSW	$y = -0.23\ln(x) - 0.1713$
W	$y = -0.19\ln(x) - 0.3887$
WNW	$y = -0.148\ln(x) - 0.3203$
NW	$y = -0.142\ln(x) - 0.393$
NNW	$y = -0.197\ln(x) - 0.7373$

NOKTA 62(40,62° N; 27,85° E)



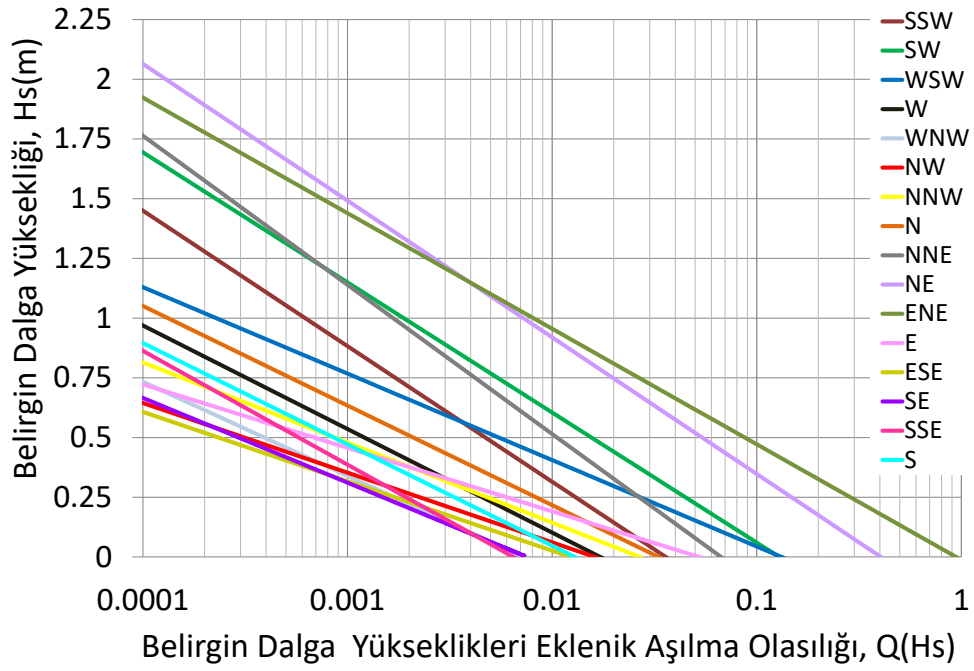
Yönler	Denklemler
N	$y = -0.173\ln(x) - 0.5428$
NNE	$y = -0.275\ln(x) - 0.6437$
NE	$y = -0.248\ln(x) - 0.0902$
ENE	$y = -0.179\ln(x) - 0.0434$
E	$y = -0.113\ln(x) - 0.4279$
ESE	$y = -0.13\ln(x) - 0.5946$
SE	$y = -0.127\ln(x) - 0.6558$
SSE	$y = -0.188\ln(x) - 0.9905$
S	$y = -0.156\ln(x) - 0.7595$
SSW	$y = -0.225\ln(x) - 0.9628$
SW	$y = -0.224\ln(x) - 0.5802$
WSW	$y = -0.156\ln(x) - 0.3014$
W	$y = -0.164\ln(x) - 0.6064$
WNW	$y = -0.151\ln(x) - 0.7051$
NW	$y = -0.131\ln(x) - 0.5912$
NNW	$y = -0.127\ln(x) - 0.4218$

NOKTA 63(40,71° N; 27,73° E)



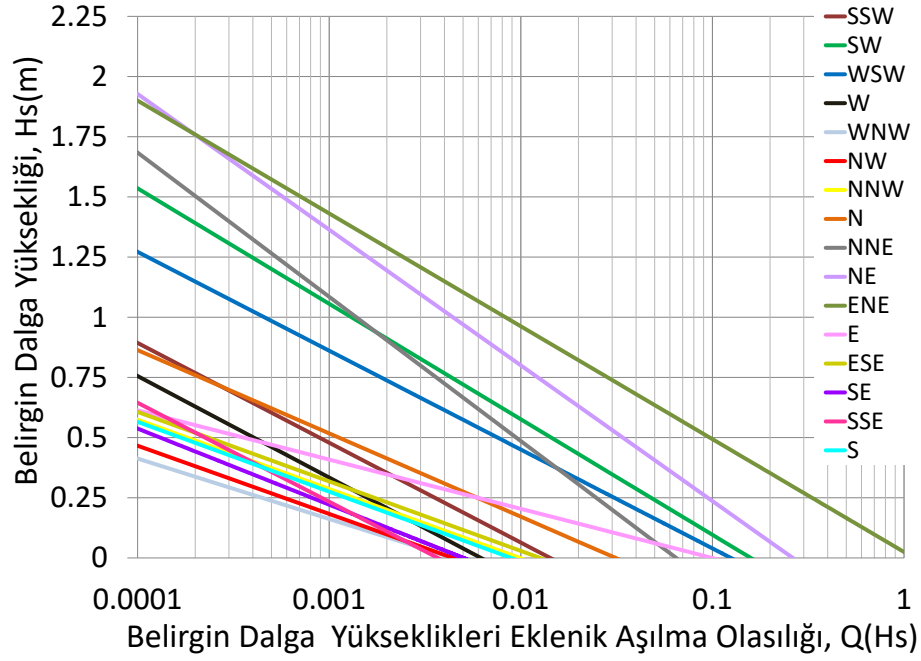
Yönler	Denklemler
N	$y = -0.163\ln(x) - 0.5235$
NNE	$y = -0.267\ln(x) - 0.7433$
NE	$y = -0.244\ln(x) - 0.2948$
ENE	$y = -0.212\ln(x) + 0.004$
E	$y = -0.098\ln(x) - 0.2379$
ESE	$y = -0.129\ln(x) - 0.5587$
SE	$y = -0.17\ln(x) - 0.8333$
SSE	$y = -0.175\ln(x) - 0.8959$
S	$y = -0.121\ln(x) - 0.4351$
SSW	$y = -0.202\ln(x) - 0.7084$
SW	$y = -0.211\ln(x) - 0.5329$
WSW	$y = -0.164\ln(x) - 0.3066$
W	$y = -0.187\ln(x) - 0.7797$
WNW	$y = -0.157\ln(x) - 0.7872$
NW	$y = -0.137\ln(x) - 0.6767$
NNW	$y = -0.137\ln(x) - 0.5164$

NOKTA 64(40,71° N; 27,85° E)



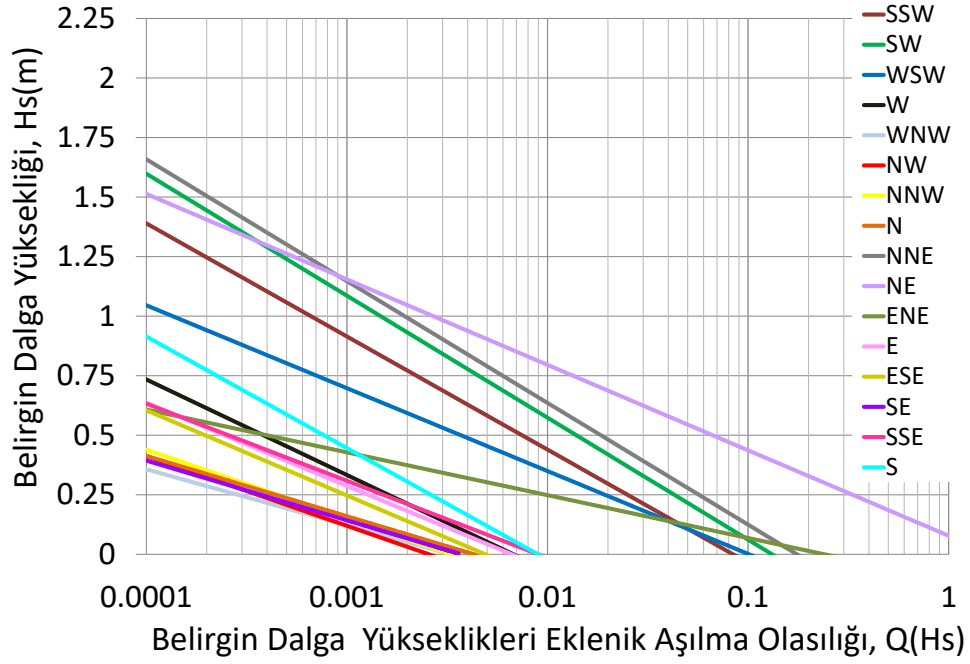
Yönler	Denklemler
N	$y = -0.181\ln(x) - 0.6165$
NNE	$y = -0.271\ln(x) - 0.7331$
NE	$y = -0.249\ln(x) - 0.2249$
ENE	$y = -0.21\ln(x) - 0.0122$
E	$y = -0.115\ln(x) - 0.3404$
ESE	$y = -0.126\ln(x) - 0.5546$
SE	$y = -0.154\ln(x) - 0.7526$
SSE	$y = -0.207\ln(x) - 1.0434$
S	$y = -0.184\ln(x) - 0.8005$
SSW	$y = -0.246\ln(x) - 0.8193$
SW	$y = -0.237\ln(x) - 0.4845$
WSW	$y = -0.157\ln(x) - 0.318$
W	$y = -0.188\ln(x) - 0.7654$
WNW	$y = -0.171\ln(x) - 0.8425$
NW	$y = -0.127\ln(x) - 0.5221$
NNW	$y = -0.146\ln(x) - 0.5264$

NOKTA 65(40,71° N; 27,61° E)



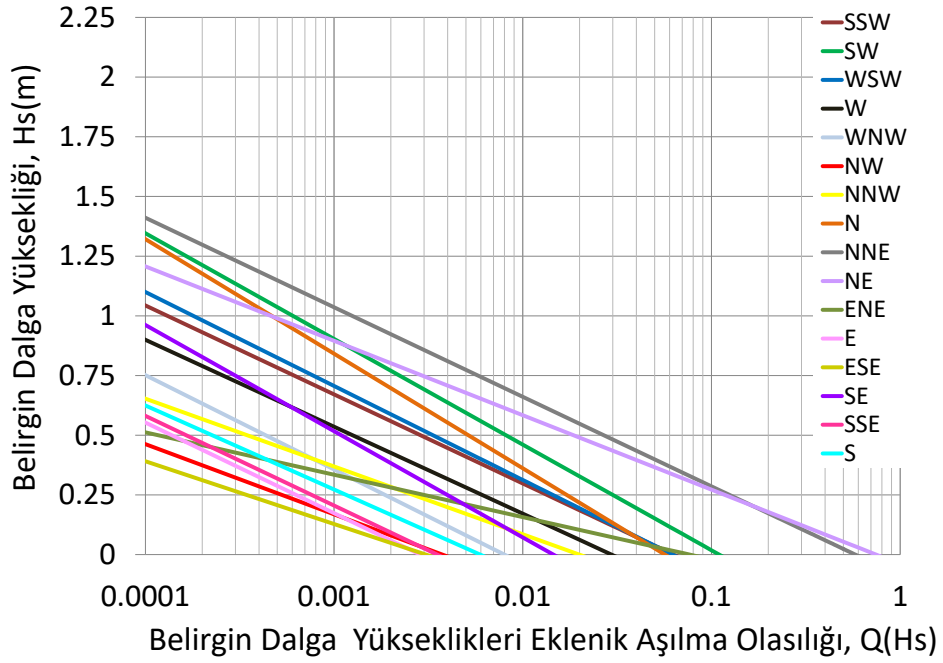
Yönler	Denklemler
N	$y = -0.15\ln(x) - 0.5204$
NNE	$y = -0.26\ln(x) - 0.7118$
NE	$y = -0.245\ln(x) - 0.3268$
ENE	$y = -0.204\ln(x) + 0.0251$
E	$y = -0.089\ln(x) - 0.2045$
ESE	$y = -0.125\ln(x) - 0.5481$
SE	$y = -0.137\ln(x) - 0.7265$
SSE	$y = -0.179\ln(x) - 1.0003$
S	$y = -0.126\ln(x) - 0.5939$
SSW	$y = -0.18\ln(x) - 0.7653$
SW	$y = -0.208\ln(x) - 0.3832$
WSW	$y = -0.178\ln(x) - 0.3706$
W	$y = -0.183\ln(x) - 0.9309$
WNW	$y = -0.109\ln(x) - 0.5906$
NW	$y = -0.123\ln(x) - 0.6669$
NNW	$y = -0.125\ln(x) - 0.5763$

NOKTA 66(40,62° N; 27,49° E)



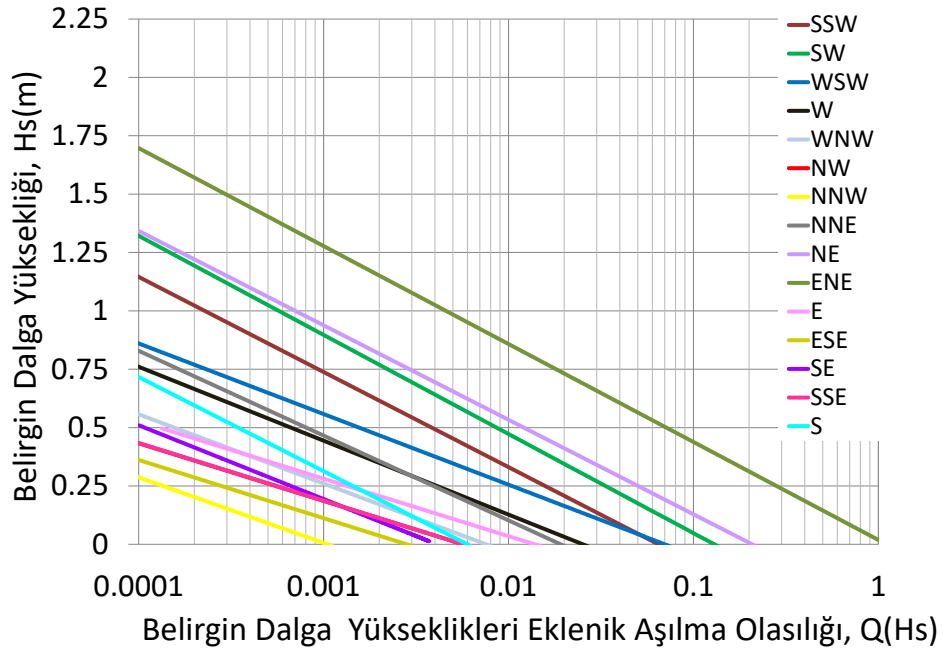
Yönler	Denklemler
N	$y = -0.11\ln(x) - 0.6012$
NNE	$y = -0.222\ln(x) - 0.3871$
NE	$y = -0.156\ln(x) + 0.0778$
ENE	$y = -0.078\ln(x) - 0.1115$
E	$y = -0.152\ln(x) - 0.7601$
ESE	$y = -0.155\ln(x) - 0.8265$
SE	$y = -0.109\ln(x) - 0.61$
SSE	$y = -0.141\ln(x) - 0.6624$
S	$y = -0.203\ln(x) - 0.9595$
SSW	$y = -0.206\ln(x) - 0.5107$
SW	$y = -0.222\ln(x) - 0.4509$
WSW	$y = -0.151\ln(x) - 0.3463$
W	$y = -0.174\ln(x) - 0.8704$
WNW	$y = -0.102\ln(x) - 0.5843$
NW	$y = -0.127\ln(x) - 0.7584$
NNW	$y = -0.126\ln(x) - 0.7185$

NOKTA 67(40,53° N; 27,49° E)



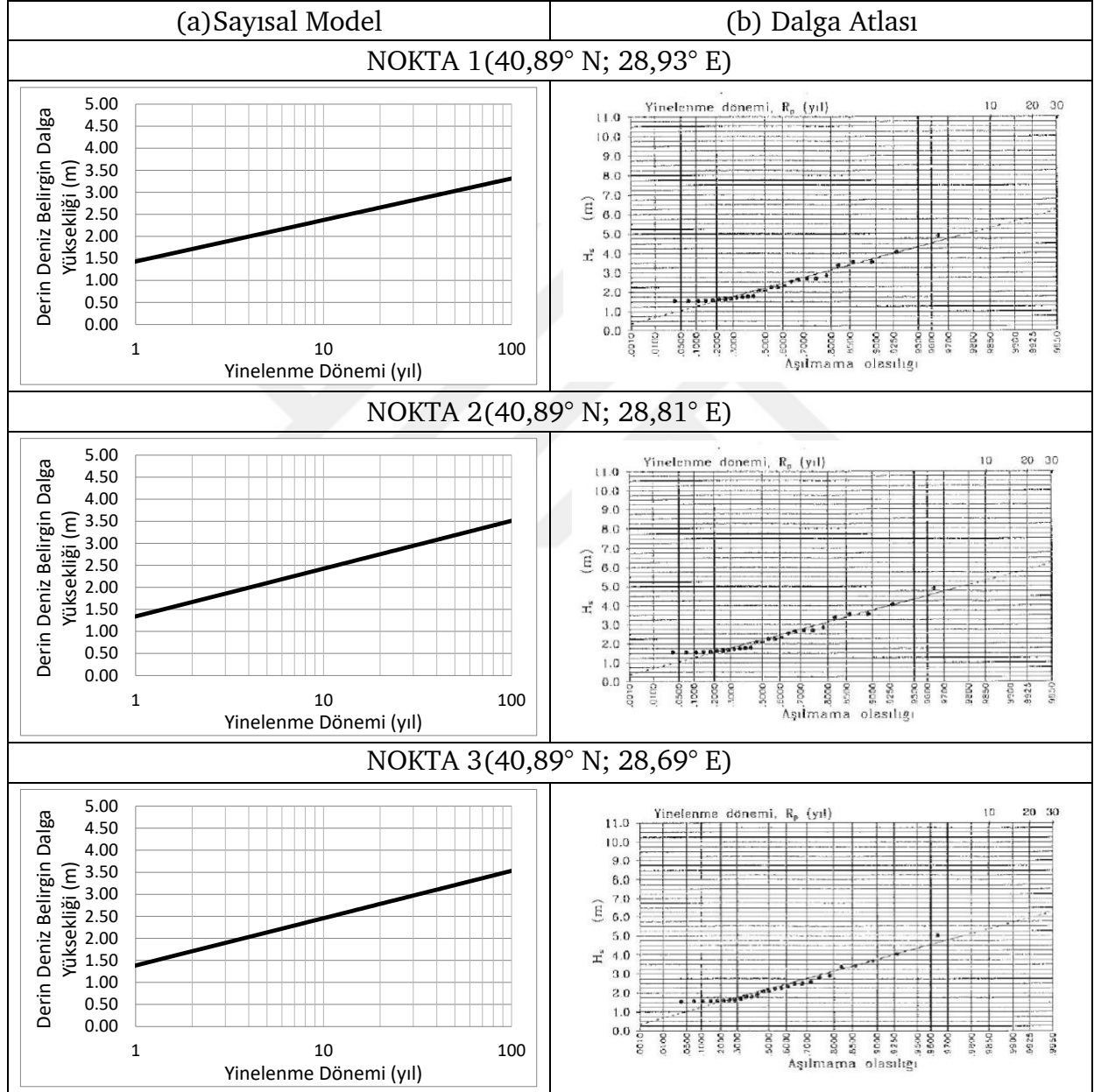
Yönler	Denklemler
N	$y = -0.208\ln(x) - 0.5979$
NNE	$y = -0.163\ln(x) - 0.0889$
NE	$y = -0.135\ln(x) - 0.0396$
ENE	$y = -0.077\ln(x) - 0.1978$
E	$y = -0.165\ln(x) - 0.9652$
ESE	$y = -0.114\ln(x) - 0.6611$
SE	$y = -0.193\ln(x) - 0.8171$
SSE	$y = -0.163\ln(x) - 0.9214$
S	$y = -0.153\ln(x) - 0.7834$
SSW	$y = -0.162\ln(x) - 0.4473$
SW	$y = -0.192\ln(x) - 0.4242$
WSW	$y = -0.171\ln(x) - 0.4743$
W	$y = -0.158\ln(x) - 0.5567$
WNW	$y = -0.171\ln(x) - 0.8279$
NW	$y = -0.128\ln(x) - 0.7135$
NNW	$y = -0.123\ln(x) - 0.4827$

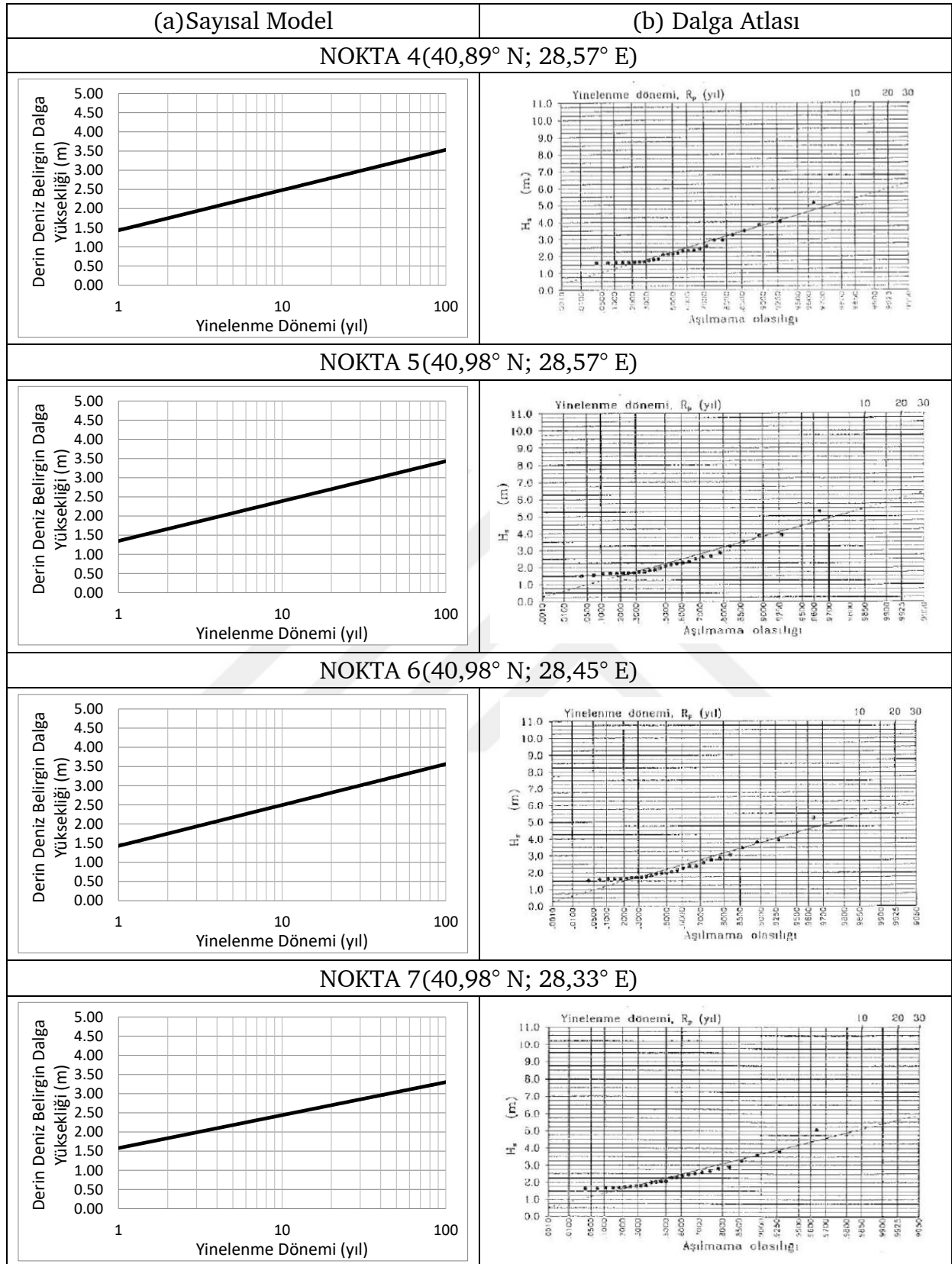
NOKTA 68(40,53° N; 27,61° E)

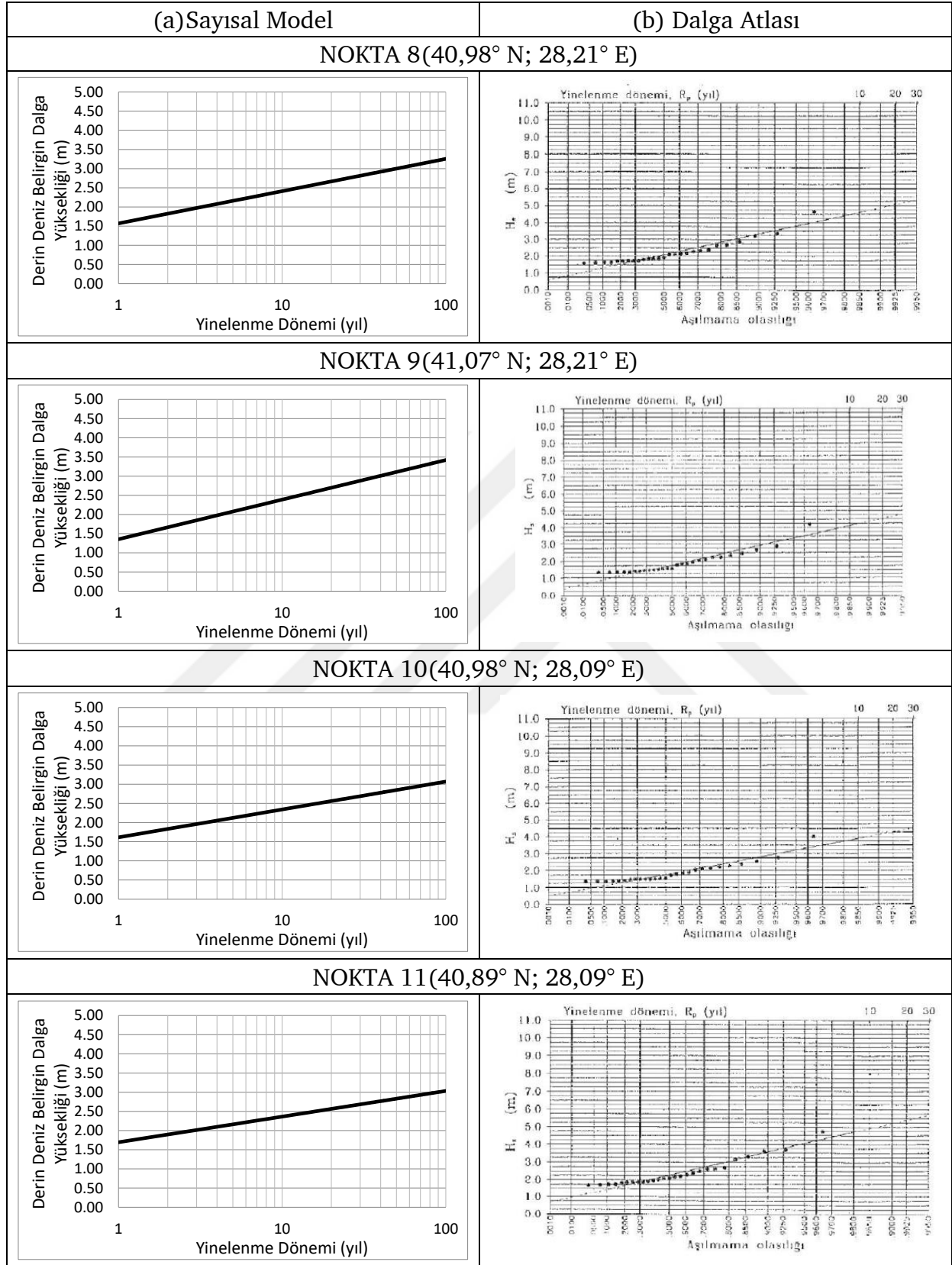


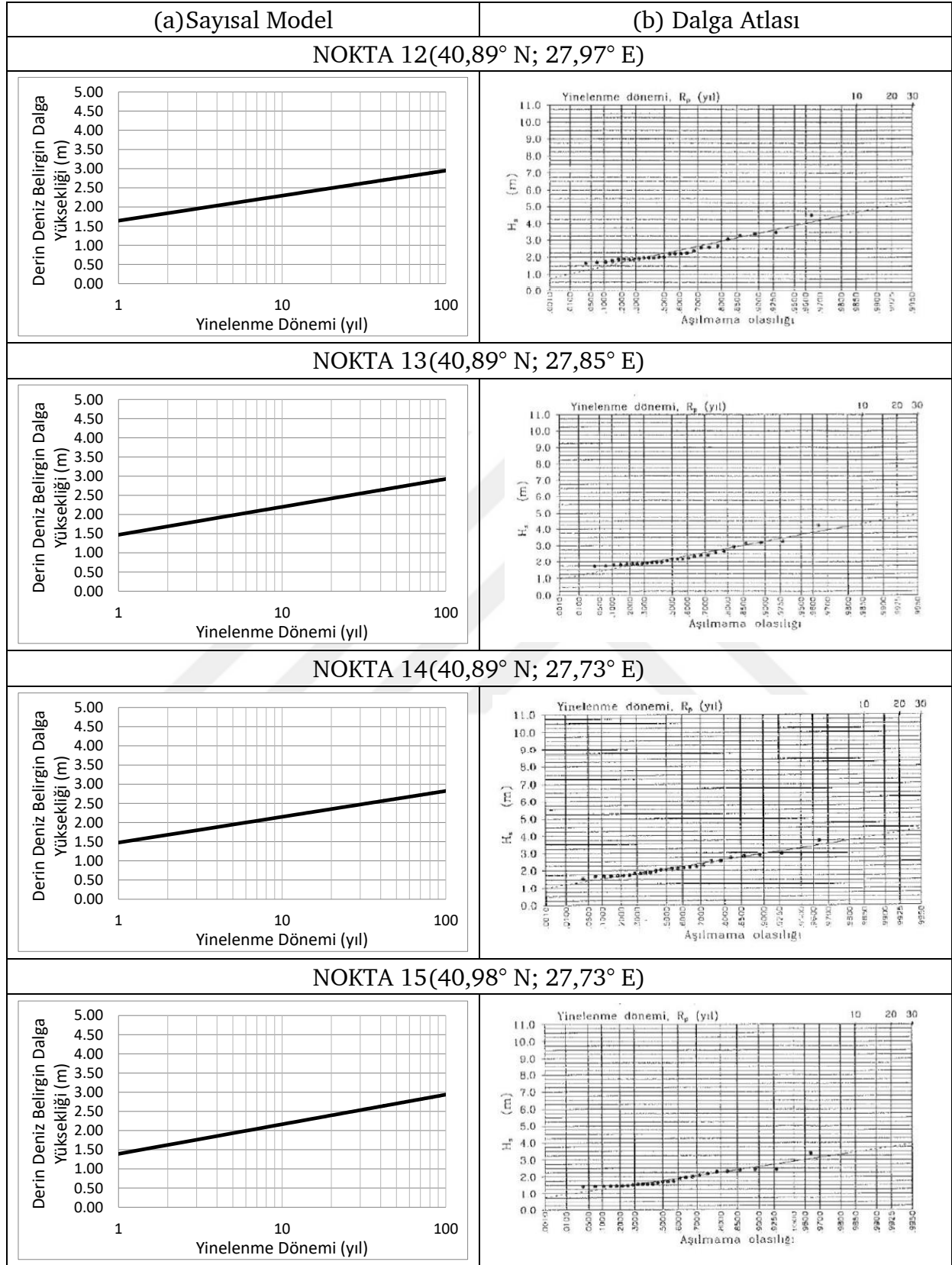
Yönler	Denklemler
NNE	$y = -0.158\ln(x) - 0.6236$
NE	$y = -0.176\ln(x) - 0.2759$
ENE	$y = -0.182\ln(x) + 0.0191$
E	$y = -0.107\ln(x) - 0.458$
ESE	$y = -0.108\ln(x) - 0.6364$
SE	$y = -0.137\ln(x) - 0.7551$
SSE	$y = -0.107\ln(x) - 0.5552$
S	$y = -0.175\ln(x) - 0.8957$
SSW	$y = -0.177\ln(x) - 0.4843$
SW	$y = -0.184\ln(x) - 0.3764$
WSW	$y = -0.131\ln(x) - 0.3491$
W	$y = -0.137\ln(x) - 0.5057$
WNW	$y = -0.129\ln(x) - 0.6284$
NW	$y = -0.107\ln(x) - 0.5543$
NNW	$y = -0.122\ln(x) - 0.8366$

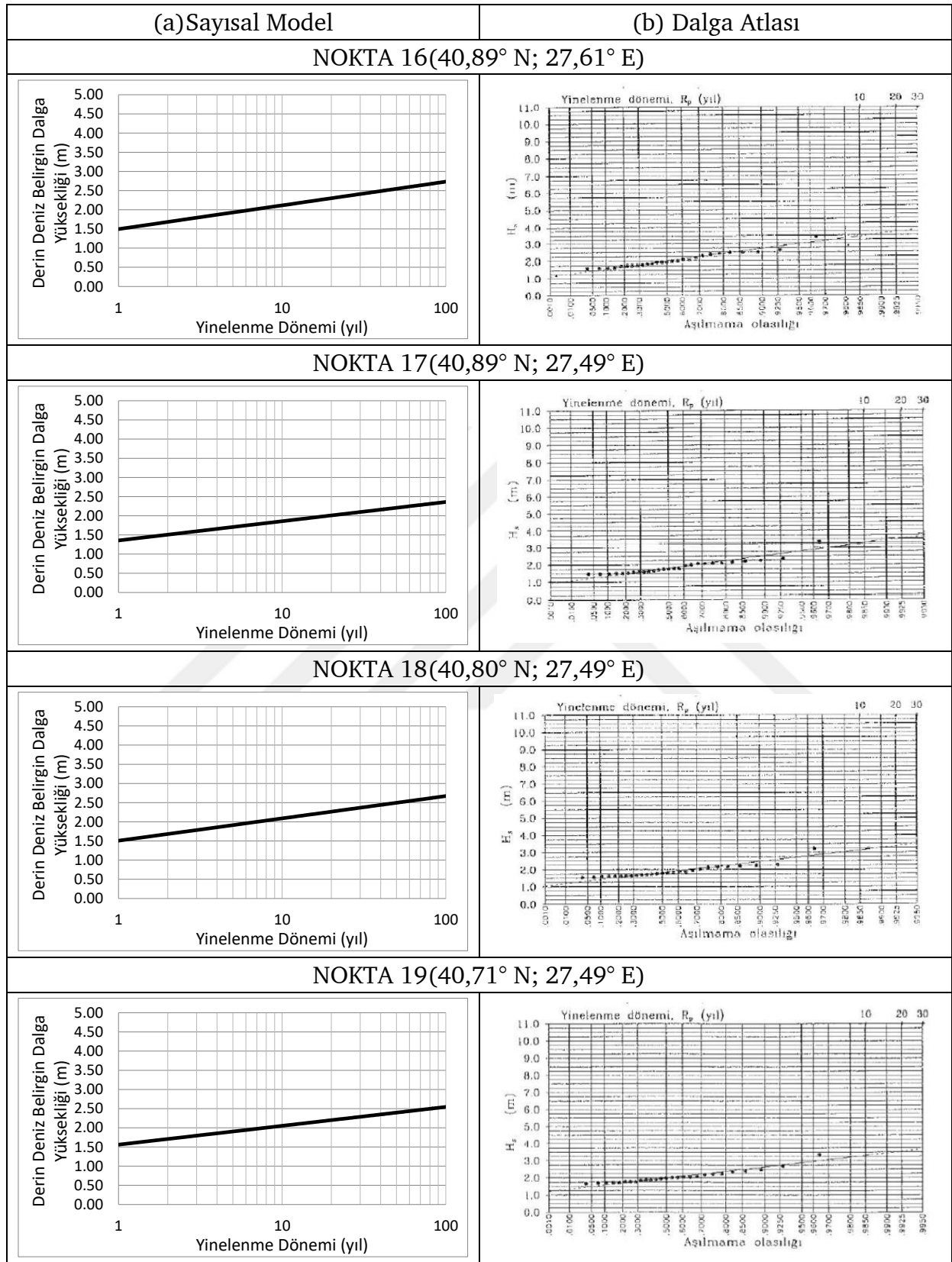
MARMARA DENİZİ'NİN DERİN DENİZ EN BÜYÜK BELİRGİN DALGA YÜKSEKLİĞİ İSTATİSTİĞİ

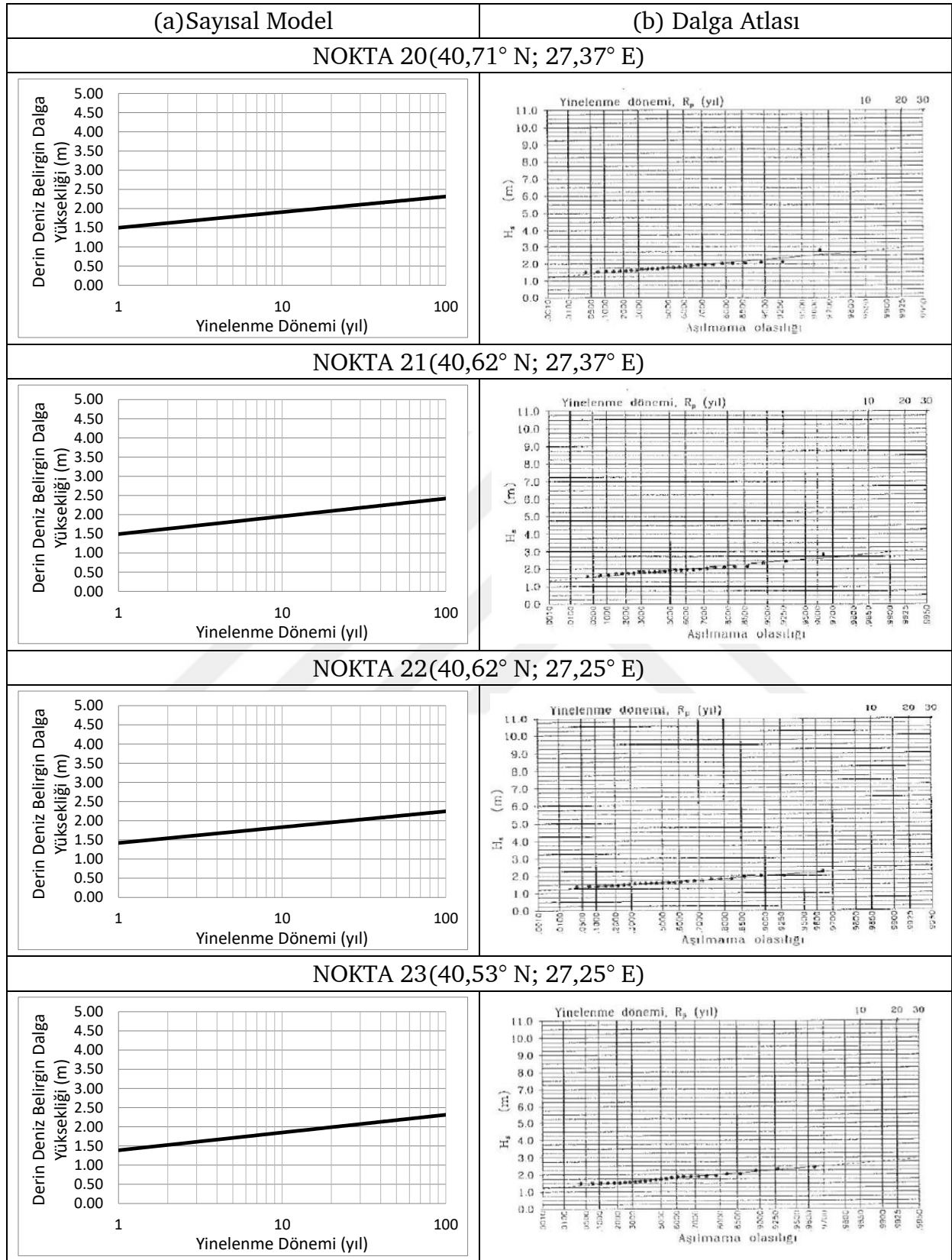


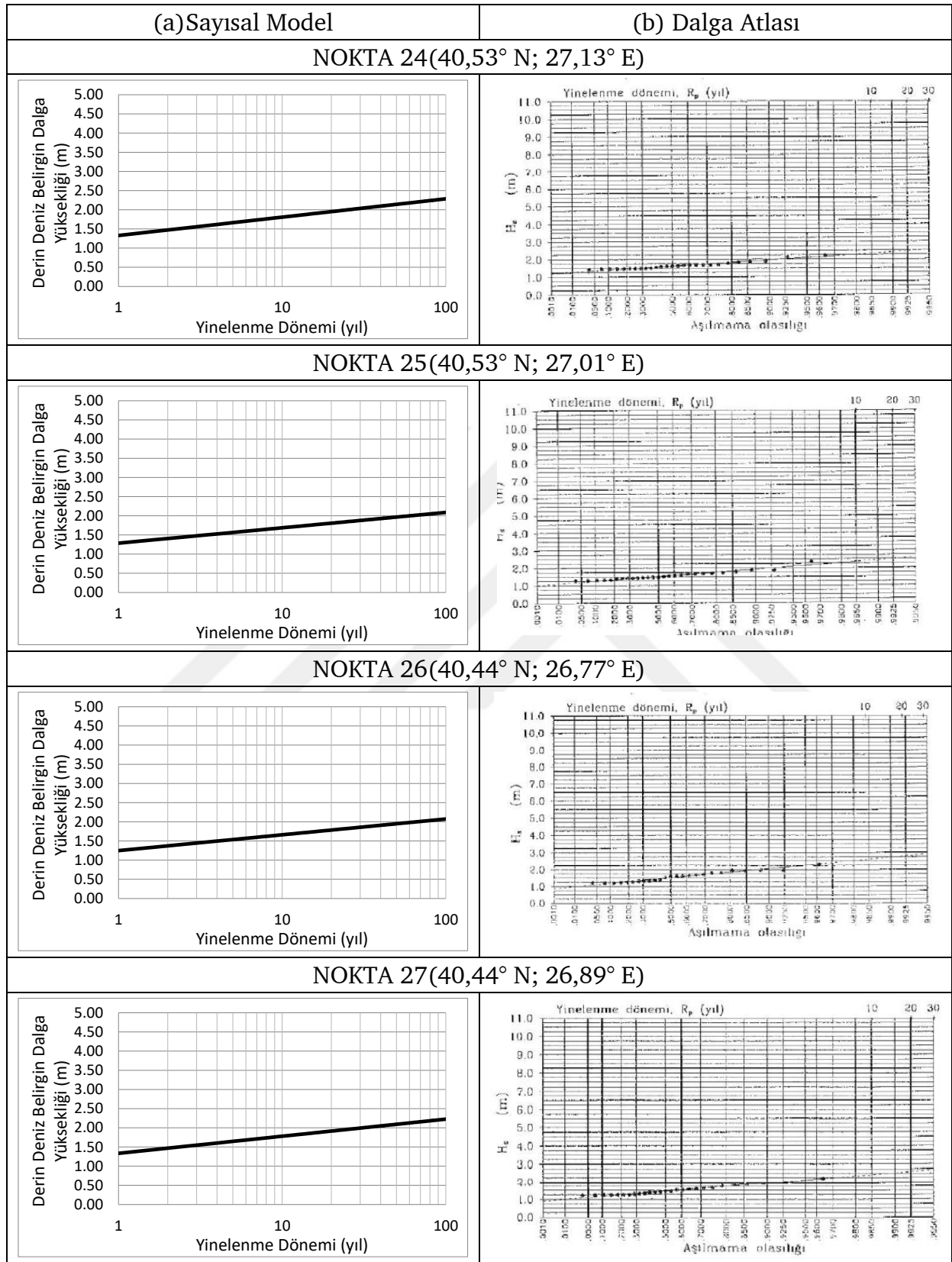


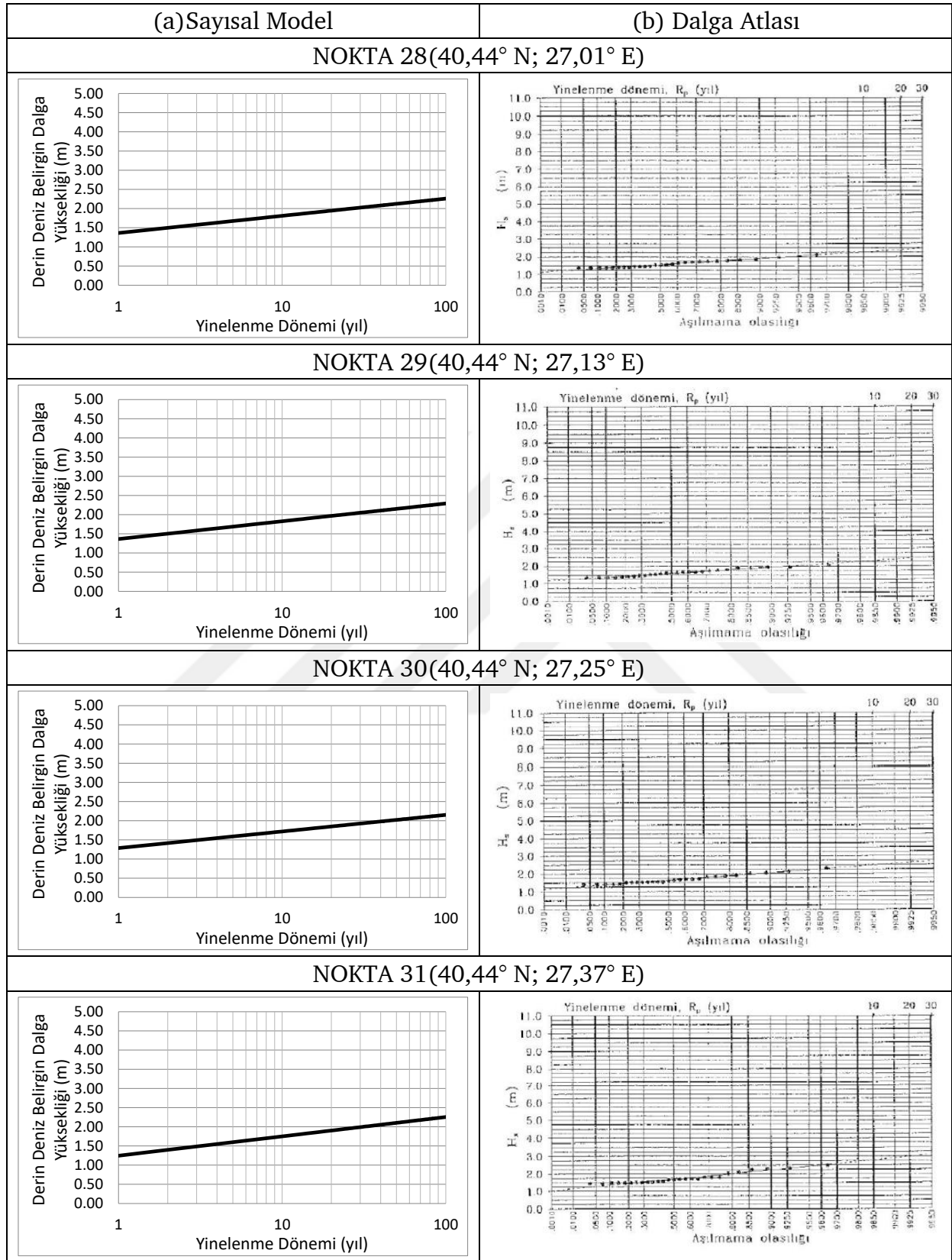


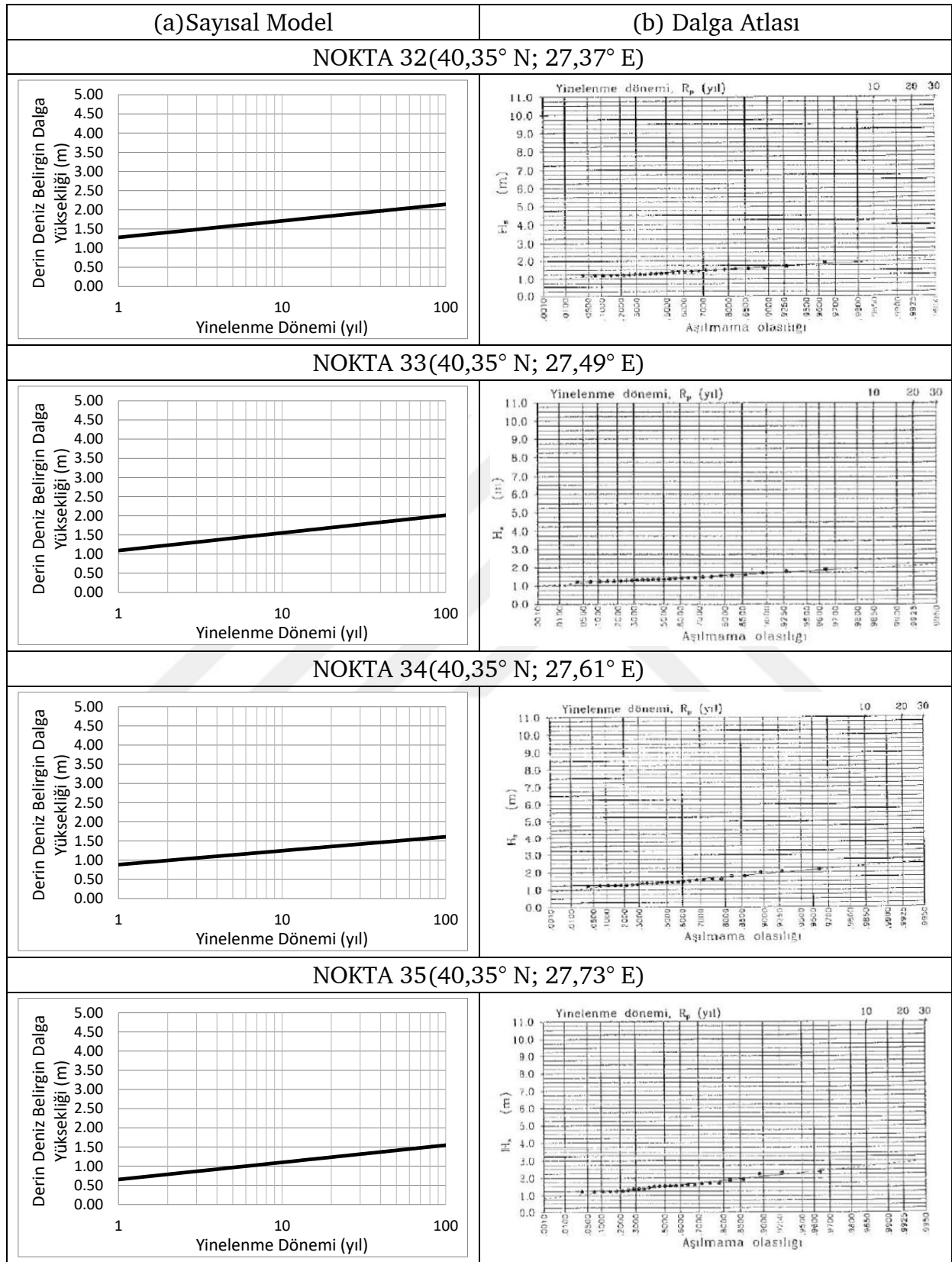


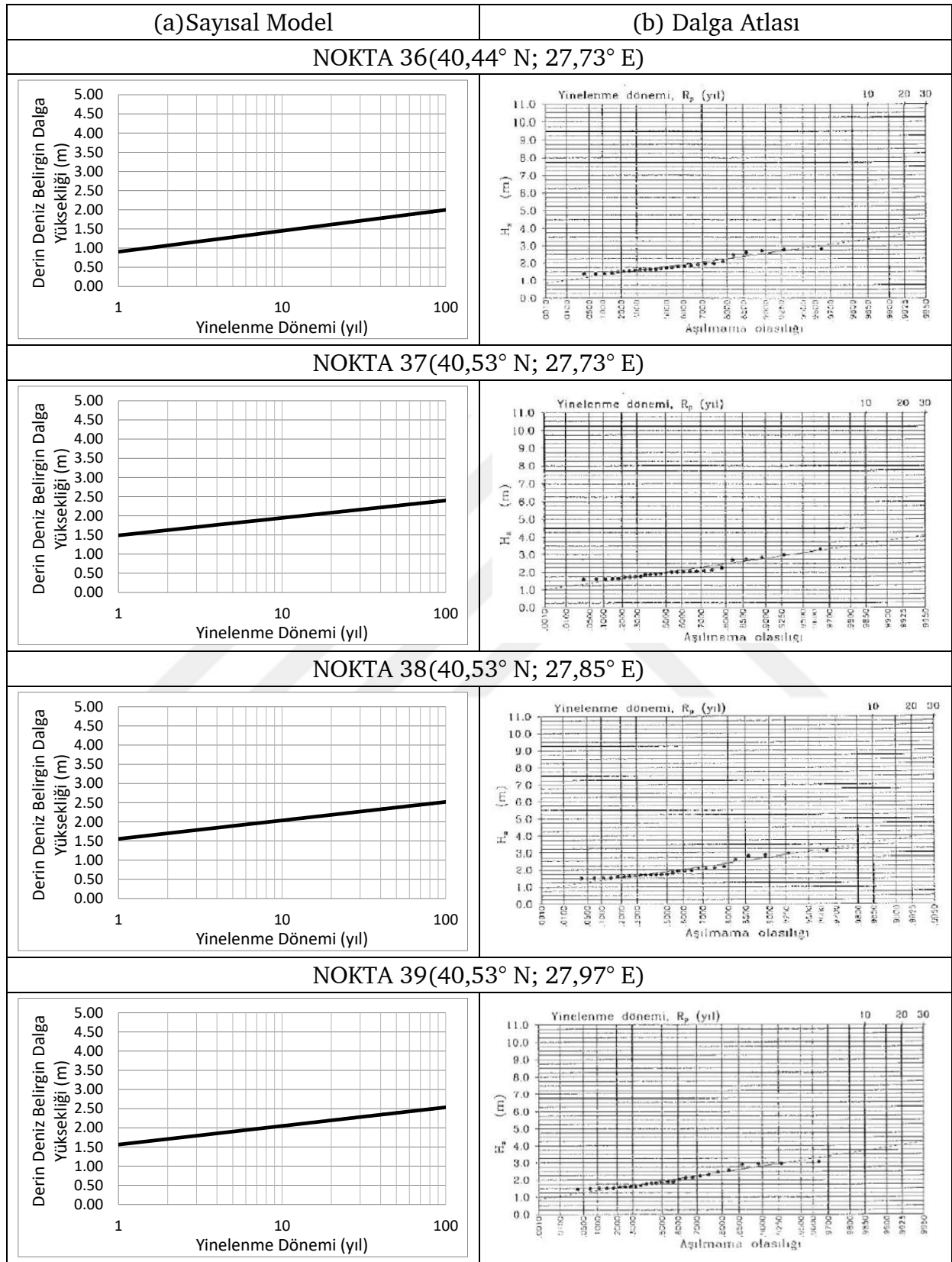


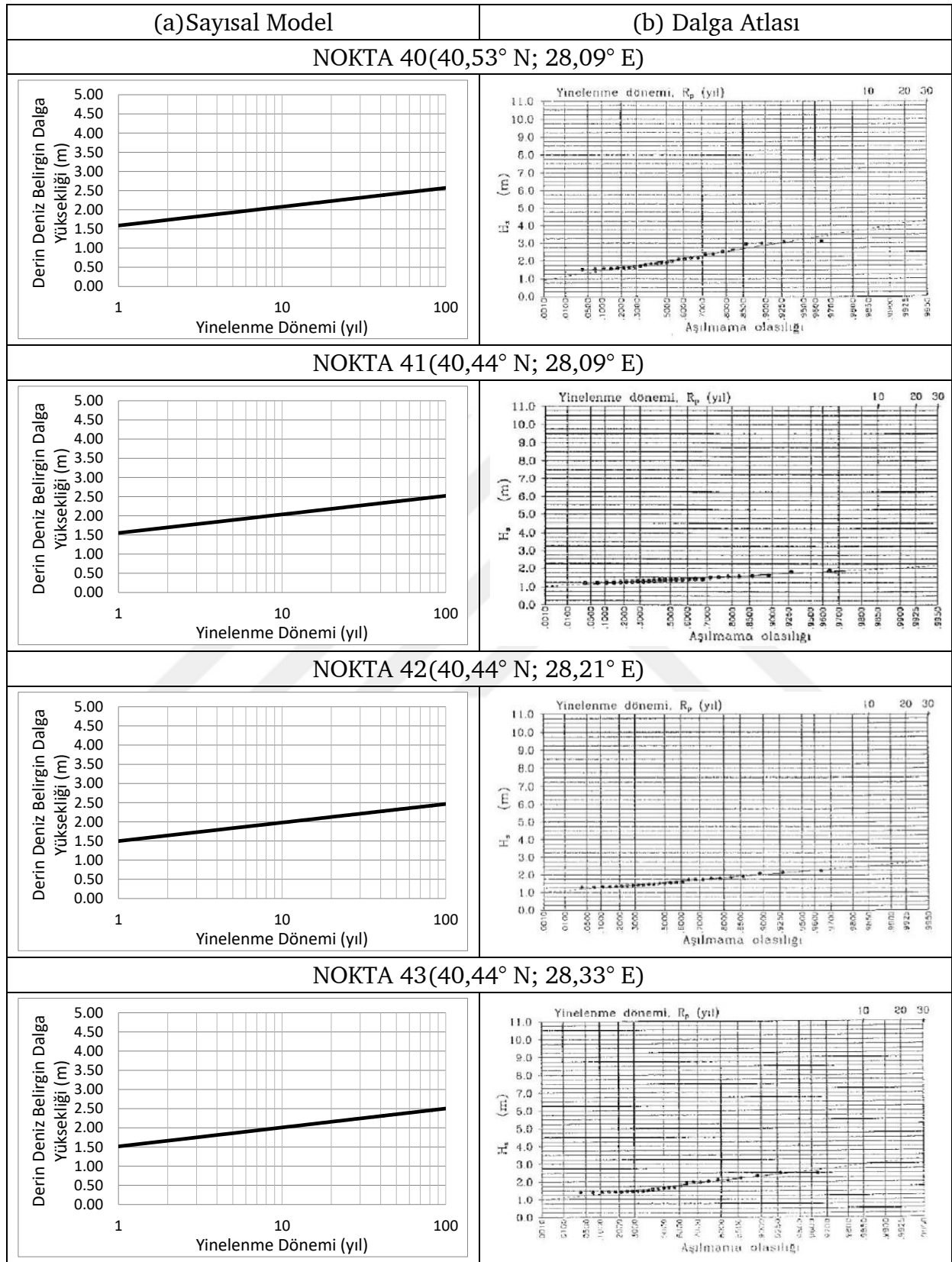


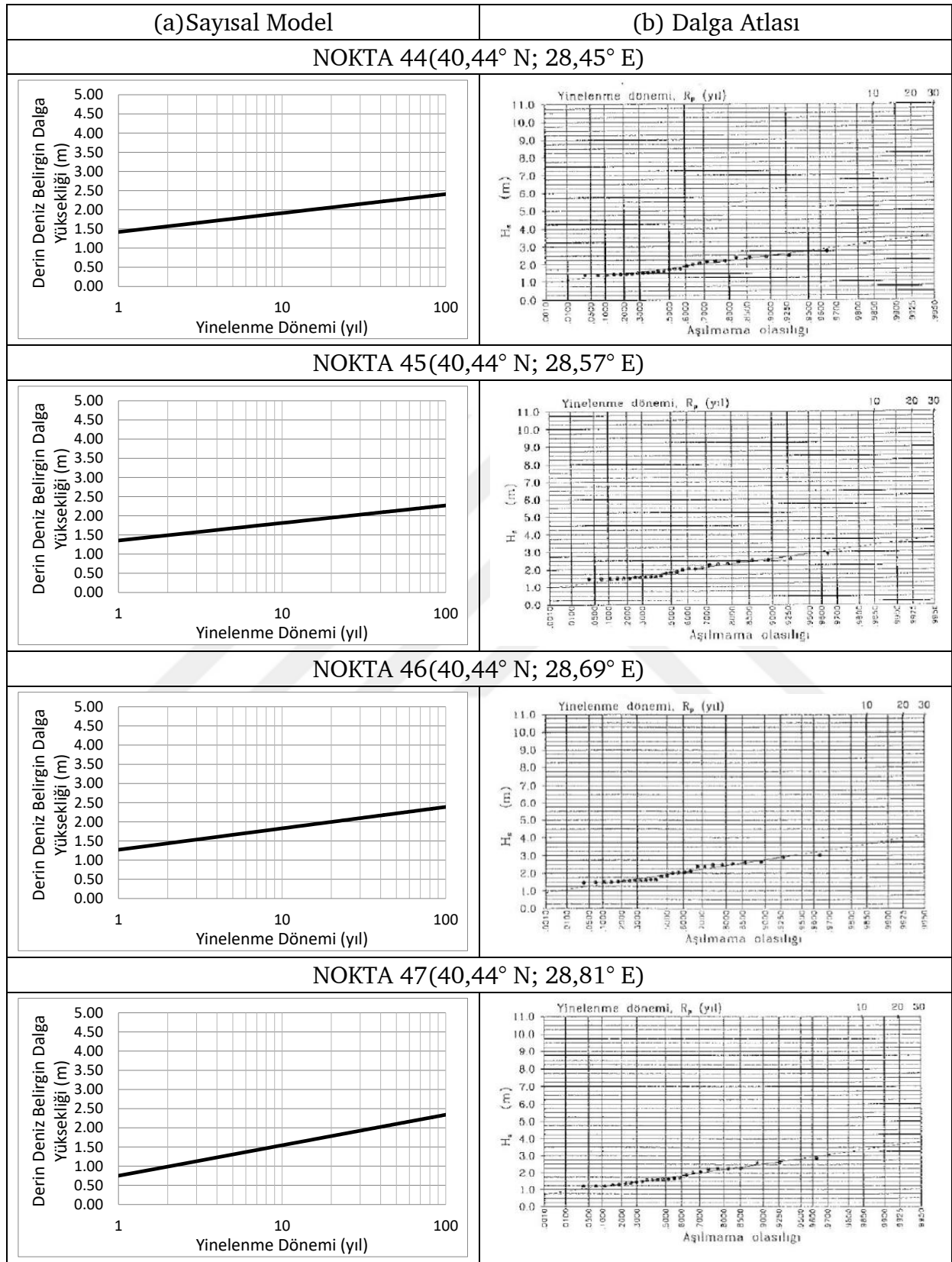


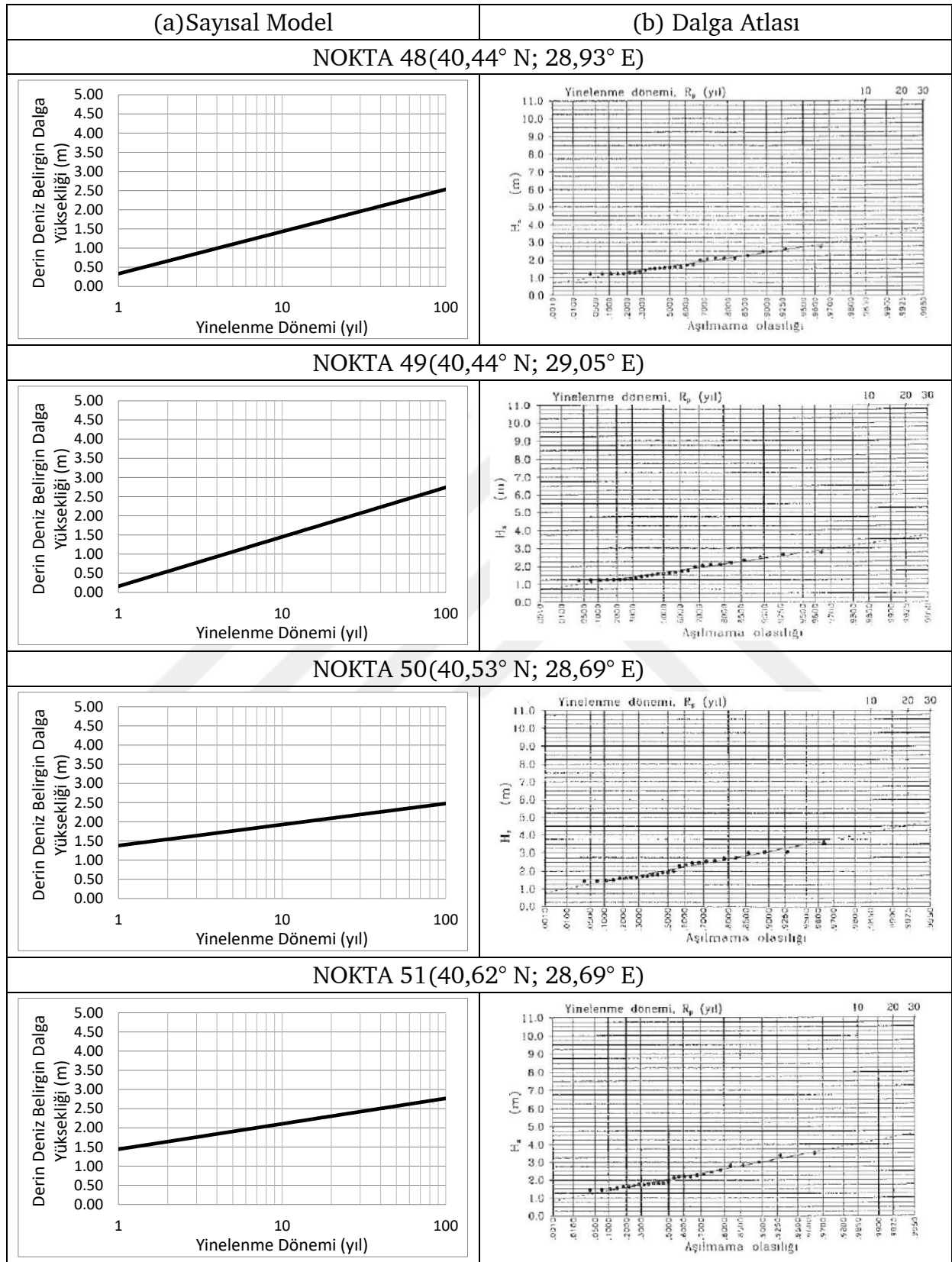


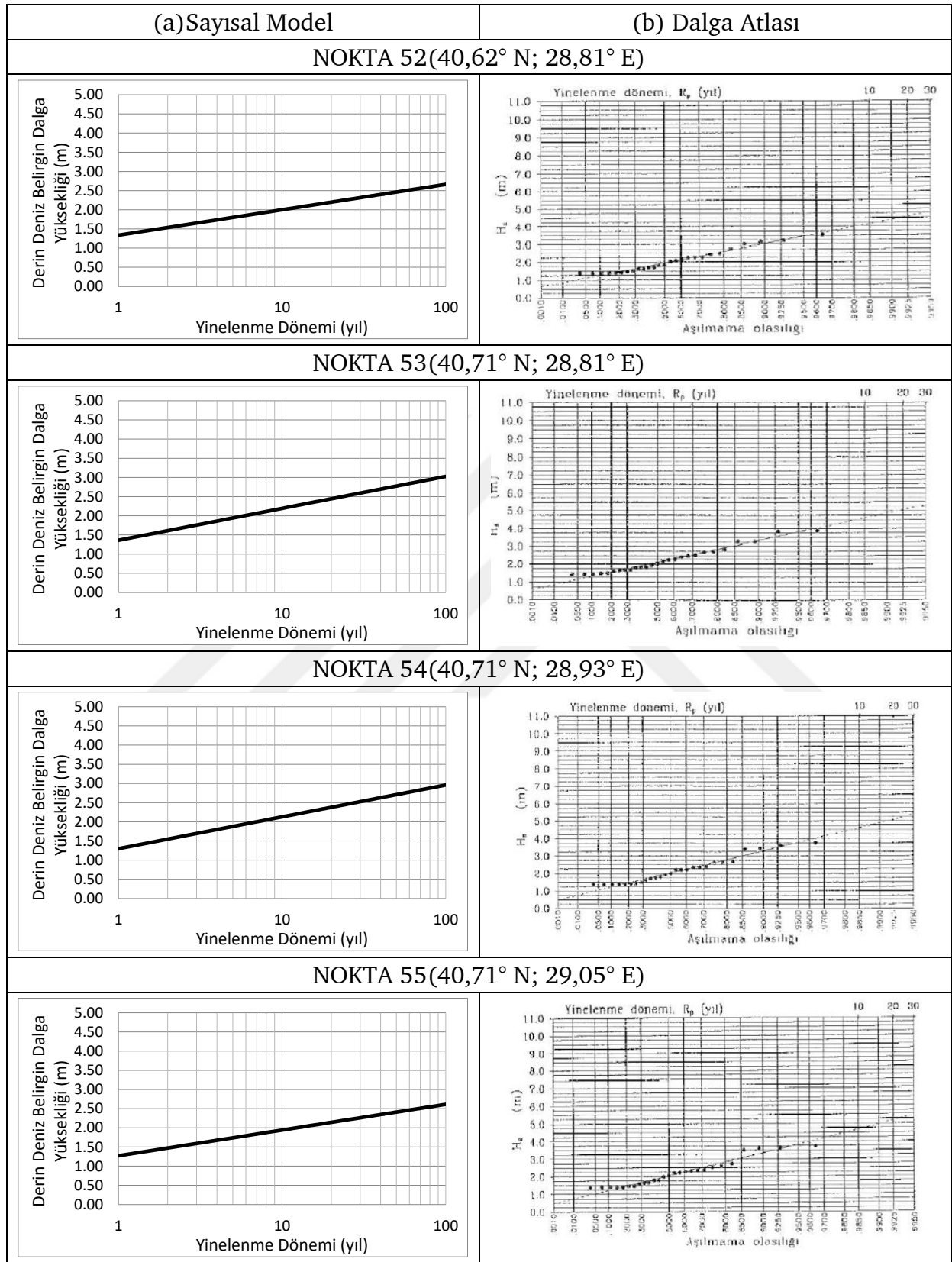


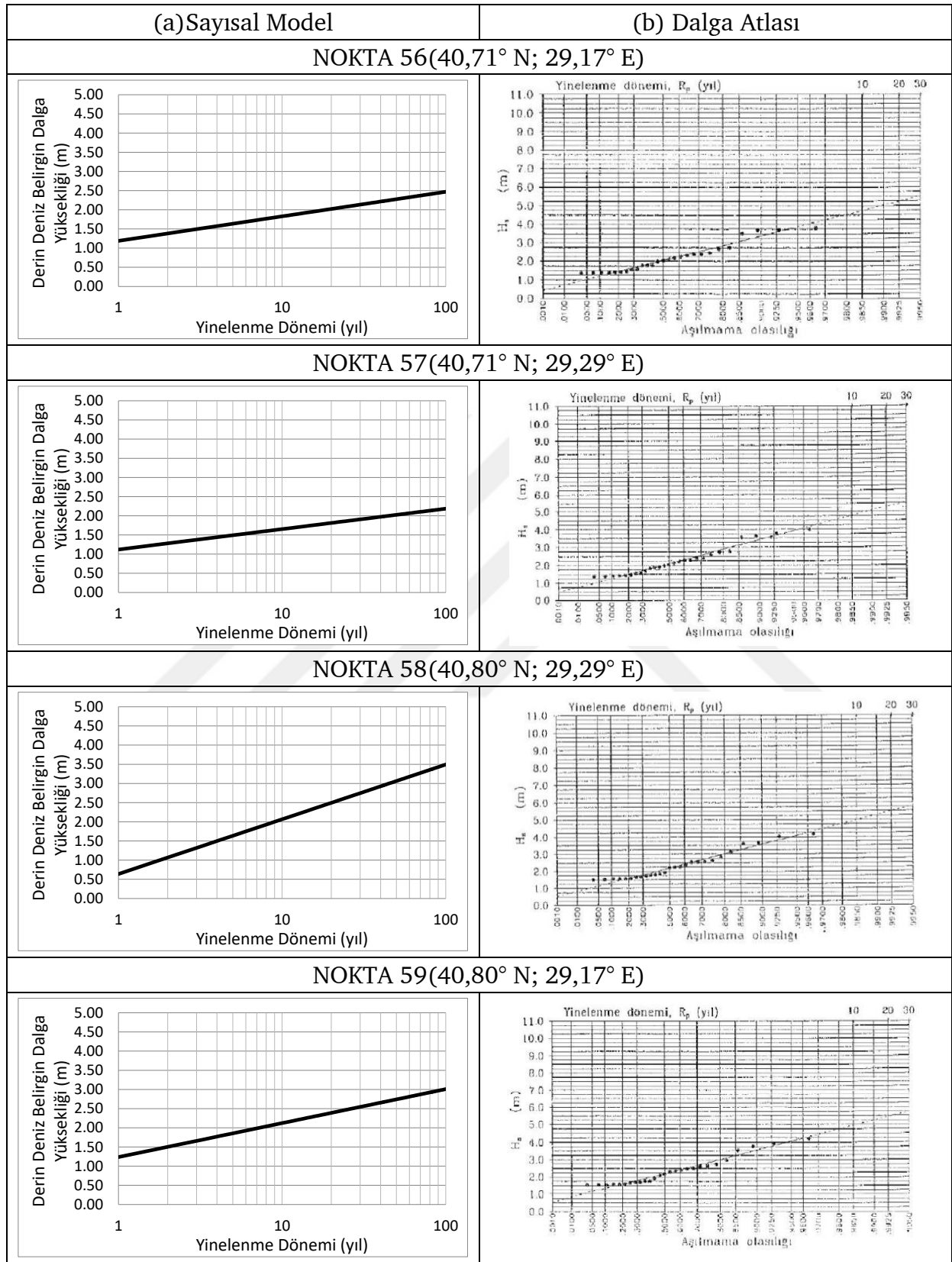


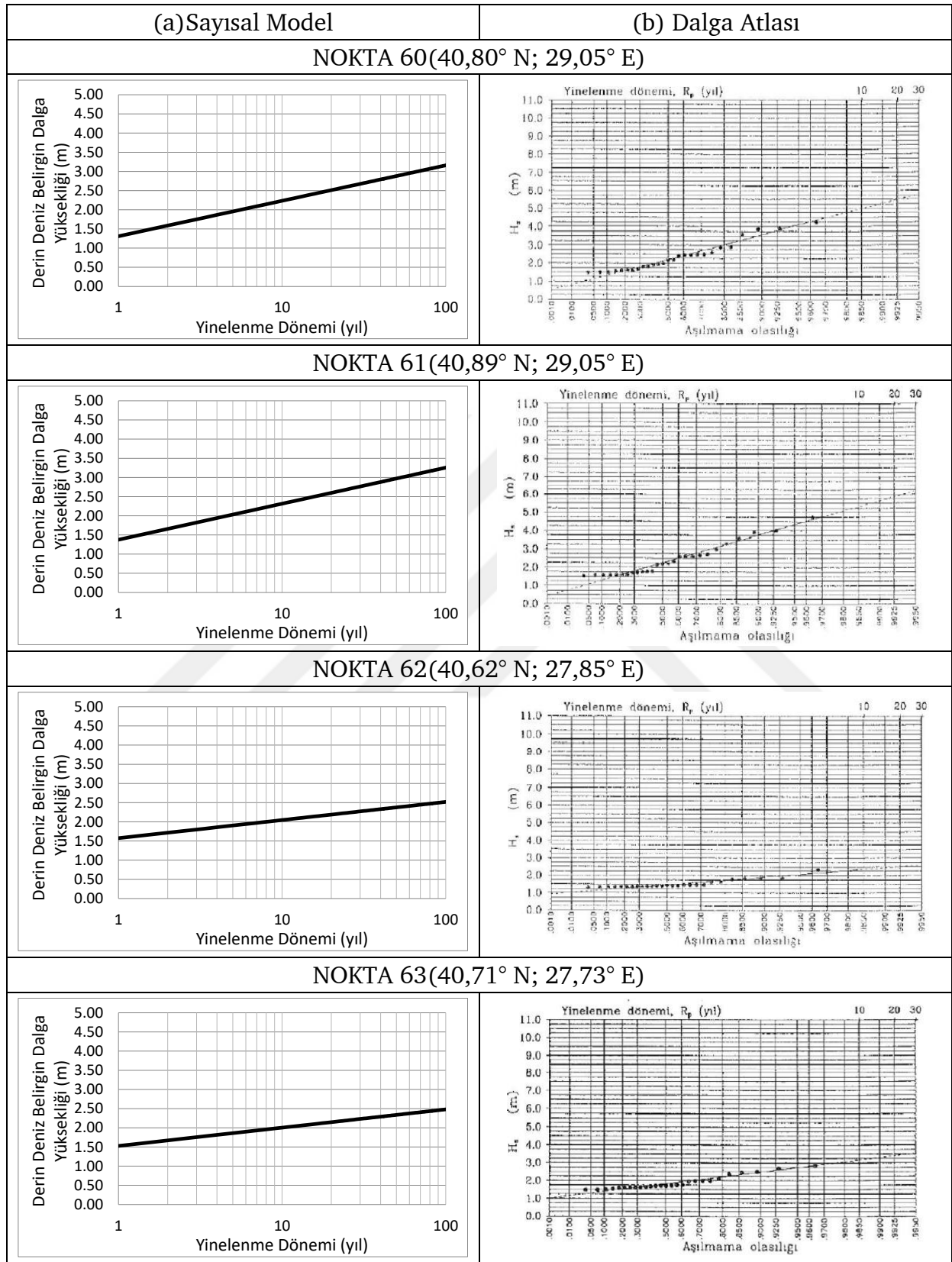


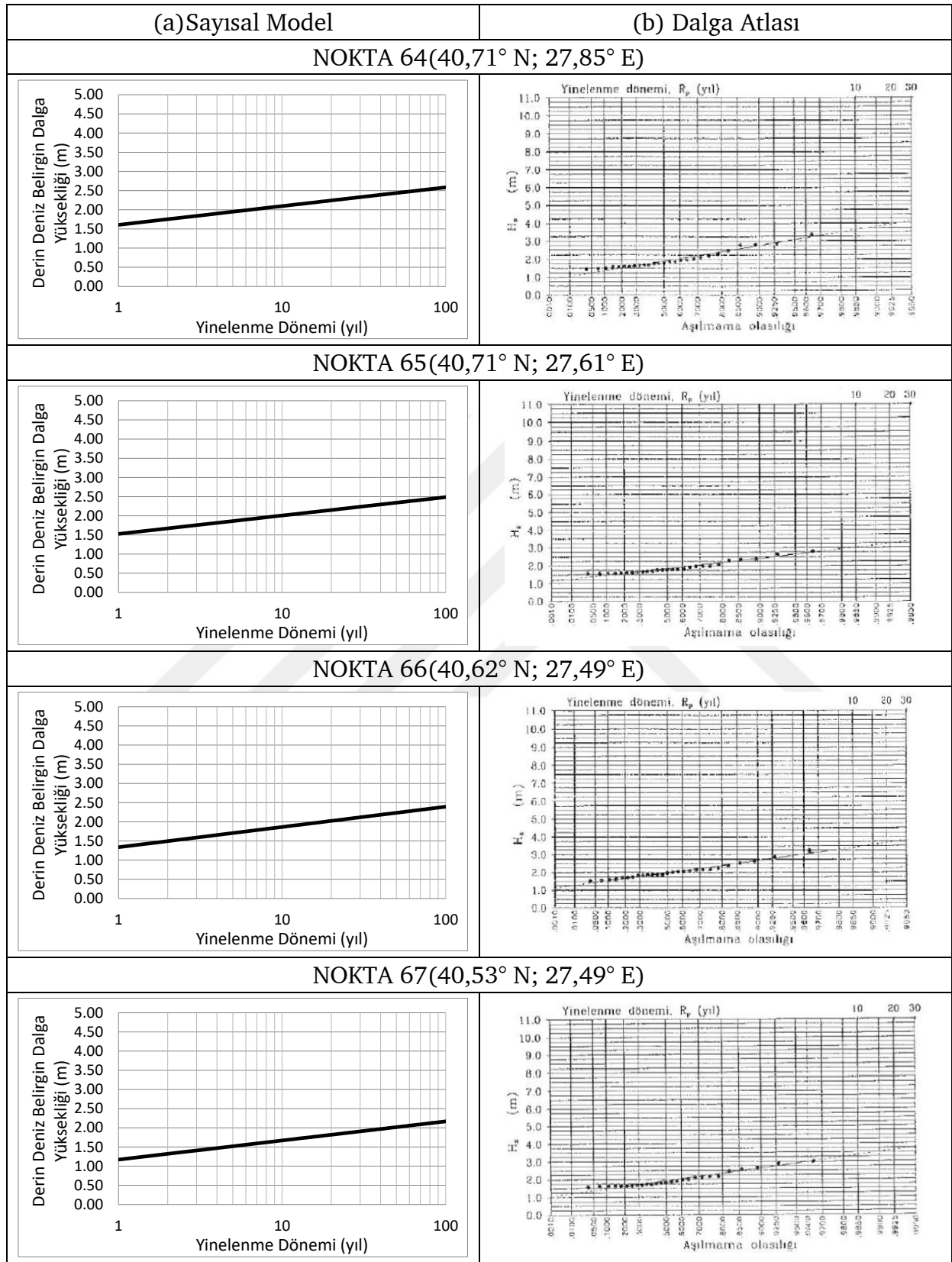


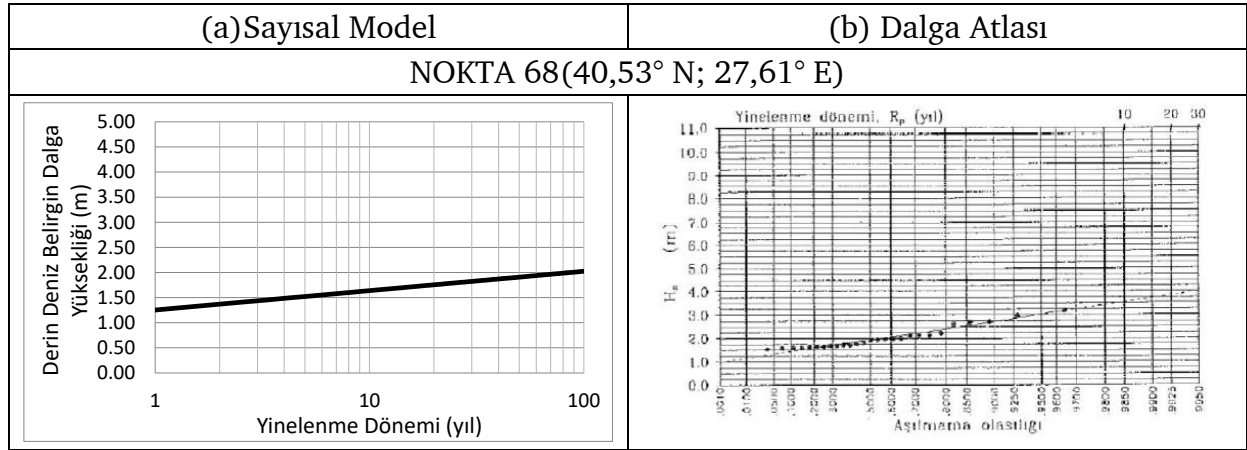












TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. Işın H., Güner H. A. A., Yüksel Y., The Analysis of 40-Year Wind and Wave Characteristics, 11th International 100% Renewable Energy Conference, İstanbul, 2021.

