

BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**CBS TABANLI BULANIK MANTIK YÖNTEMİ KULLANILARAK FIRTINA
ZARARI RİSK HARİTASININ GELİŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnanç TAŞ

Orman Mühendisliği Anabilim Dalı

TEMMUZ 2017

BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**CBS TABANLI BULANIK MANTIK YÖNTEMİ KULLANILARAK FIRTINA
ZARARI RİSK HARİTASININ GELİŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İnanç TAŞ
162082507**

Orman Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Abdullah Emin AKAY

TEMMUZ 2017

BTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 162082507 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi İnanç TAŞ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "CBS Tabanlı Bulanık Mantık Yöntemi Kullanılarak Fırtına Zararı Risk Haritasının Geliştirilmesi" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Abdullah Emin AKAY**
Bursa Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Mustafa YILMAZ**
Bursa Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Yrd. Doç. Dr. Sercan GÜLCİ**
Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Savunma Tarihi : **24.07.2017**

FBE Müdürü : **Doç. Dr. Murat ERTAŞ**
Bursa Teknik Üniversitesi/...../.....

TEŞEKKÜR

“CBS Tabanlı Bulanık Mantık Yöntemi Kullanılarak Fırtına Zararı Risk Haritasının Geliştirilmesi“ adlı bu çalışma Bursa Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Çalışmalarımın her aşamasında bana yardımcı olan ve katkılarını esirgemeyen, çok değerli hocam ve tez danışmanım sayın Prof. Dr. Abdullah Emin AKAY’a teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, tez jürimde yer alan ve tez ile ilgili görüşlerinden yararlandığım sayın Prof.Dr. Mustafa YILMAZ ve Yrd. Doç. Dr. Sercan GÜLCİ’ye teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans tez çalışmalarım boyunca yardımlarından dolayı meslektaşlarım G. Volkan ANDIÇ ve Tarık S. KARABENLİ’ye teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak tez çalışmalarım boyunca bana destek olan ve yardımlarını esirgemeyen sevgili aileme teşekkürlerimi sunarım.

İnanç TAŞ

ÖNSÖZ

Fırtına zararı ormanlarımızın sürdürülebilirliğine zarar veren önemli abiyotik faktörlerden biridir. Fırtına zararının engellenmesi veya minimize edilmesi için fırtına zararı riski üzerinde etkili olan faktörlerin belirlenmesi ve fırtına zararı riski taşıyan ormanlık alanların risk haritalarının geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu çalışma kapsamında, CBS tabanlı matematiksel model (Bulanık Mantık) kullanılarak fırtına zararı risk haritası geliştirilmiştir. Model uygulamasında, 2015 yılı kış aylarında fırtına zararının yoğun olarak görüldüğü Tavşanlı Orman İşletme Müdürlüğü sınırlarında yer alan Alabarda Orman İşletme Şefliği değerlendirilmiştir.

Tez çalışması süresince arazi çalışmaları sırasında gerekli desteği sağlayan Alabarda Orman İşletme Şefliği'ne katkılarından dolayı teşekkür ediyorum. Çalışma alanına ait sayısal verilerin temininde her türlü desteği sağlayan Tavşanlı Orman İşletme Müdürlüğü'ne ve bölgeye ait iklim bilgilerini temin ettiğim Eskişehir Meteoroloji Bölge Müdürlüğü'ne teşekkürlerimi sunuyorum.

Temmuz 2017

İnanç TAŞ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
KISALTMALAR	ix
SEMBOLLER	x
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xii
ÖZET.....	xiv
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ	1
1.1 Fırtına Zararları	2
1.1.1 Fırtına zararı türleri	3
1.1.2 Fırtına zararını etkileyen faktörler	4
1.1.2.1 Ağaç türü.....	4
1.1.2.2 Ağaç yaşı.....	5
1.1.2.3 Kapalılık.....	5
1.1.2.4 Bonitet sınıfı.....	5
1.1.2.5 Topografik özellikler.....	6
1.1.2.6 İklim parametreleri.....	6
1.1.2.7 Toprak özellikleri	7
1.2 Fırtına Zararı Risk Tahmin Yöntemleri.....	7
1.2.1 Gözlemsel yöntem.....	7
1.2.2 Mekaniksel yöntemler.....	8
1.2.3 Ampirik modeller	8
1.2.3.1 CBS tabanlı ampirik modeller.....	8
1.3 Fırtına Zararlarına Karşı Alınabilecek Önlemler	9
1.3.1 Silvikültürel önlemler	9
1.3.2 Amenajman bakımından önlemler	11
1.3.3 Mekaniksel önlemler	11
1.4 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	12
2. LİTERATÜR ÖZETİ	13
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	20
3.1 Materyal	20
3.1.1 Çalışma alanı.....	20
3.1.2 Kullanılan yazılımlar.....	23
3.2 Yöntem	23
3.2.1 CBS veritabanı	23
3.2.1.1 Meşcere haritası	23
3.2.1.2 Topografik haritalar	23
3.2.1.3 İklim verileri.....	24
3.2.1.4 Jeoloji haritası	26

3.2.2 Risk faktörlerinin sınıflandırılması	26
3.2.2.1 Ağaç türü	26
3.2.2.2 Ağaç yaşı	26
3.2.2.3 Kapalılık	27
3.2.2.4 Bonitet sınıfı	28
3.2.2.5 Yükseklik	28
3.2.2.6 Eğim	28
3.2.2.7 Bakı	29
3.2.2.8 Rüzgâr	30
3.2.2.9 Yağış	30
3.2.2.10 Toprak derinliği	30
3.2.3 Risk faktörlerinin derecelendirilmesi ve ağırlıklandırılması	31
3.2.4 CBS tabanlı fırtına zararı risk modelinin geliştirilmesi	33
3.2.4.1 Bulanık mantık üyelikleri	33
3.2.4.2 Bulanık üyeliklerin durulaştırılması	37
3.2.5 Fırtına zararı risk haritasının doğruluğunun incelenmesi	39
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	40
4.1 Bulgular	40
4.1.1 CBS veritabanı bulguları	40
4.1.1.1 Meşcere özellikleri	40
4.1.1.2 Topografik özellikler	45
4.1.1.3 İklim verileri	45
4.1.1.4 Toprak özellikleri	48
4.1.2 Sınıflandırılan risk faktörlerinin dereceleri ve ağırlık yüzdeleri	49
4.1.2.1 Ağaç türü risk dereceleri ve ağırlık yüzdeleri	49
4.1.2.2 Ağaç yaşı risk dereceleri ve ağırlık yüzdeleri	49
4.1.2.3 Kapalılık risk dereceleri ve ağırlık yüzdeleri	50
4.1.2.4 Bonitet sınıfı risk dereceleri ve ağırlık yüzdeleri	50
4.1.2.5 Yükseklik risk dereceleri ve ağırlık yüzdeleri	51
4.1.2.6 Eğim risk dereceleri ve ağırlık yüzdeleri	51
4.1.2.7 Bakı risk dereceleri ve ağırlık yüzdeleri	52
4.1.2.8 Rüzgâr risk dereceleri ve ağırlık yüzdeleri	53
4.1.2.9 Yağış risk dereceleri ve ağırlık yüzdeleri	53
4.1.2.10 Toprak derinliği risk dereceleri ve ağırlık yüzdeleri	53
4.1.3 CBS tabanlı modelin bulanık mantık üyelikleri	54
4.1.3.1 Large üyelik tipi kullanılan faktörler	54
4.1.3.2 Near üyelik tipi kullanılan faktörler	60
4.1.3.3 Linear üyelik tipi kullanılan faktör	64
4.1.4 Fırtına zararı risk haritası	65
4.2 Tartışma	67
4.2.1 Fırtına zararı risk faktörleri	67
4.2.1.1 Ağaç türü faktörü	68
4.2.1.2 Ağaç yaşı faktörü	68
4.2.1.3 Kapalılık faktörü	68
4.2.1.4 Bonitet sınıfı faktörü	68
4.2.1.5 Topografik faktörler	69
4.2.1.6 İklim faktörleri	69
4.2.1.7 Toprak derinliği faktörü	69
4.2.2 CBS tabanlı fırtına zararı risk modeli	70
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	73

KAYNAKLAR	75
ÖZGEÇMİŞ.....	79



KISALTMALAR

AT	: Ağaç türü
AY	: Ağaç yaşı
B	: Bakı
Bo	: Bonitet sınıfı
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
E	: Eğim
GIS	: Geographical Information System
Ha	: Hektar
K	: Kapalılık
OİŞ	: Orman İşletme Şefliği
Ort.	: Ortalama
OÜH	: Olağan Üstü Hasıla
OT	: Orman toprağı
R	: Rüzgâr
RD	: Risk derecesi
st	: Saat
SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli
T	: Toprak derinliğı
Y	: Yükseklik
Ya	: Yağış

SEMBOLLER

h	: Yükseklik
n	: Faktör sayısı
P	: Yağış verisi
Po	: Ortalama yağış
r	: Ortalama risk derecesi
RD	: Risk derecesi



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Alabarda Orman İşletme Şefliği'ne Ait Bilgiler	20
Çizelge 3.2 : Fırtına Zararına İlişkin Bilgiler	22
Çizelge 3.3 : Tavşanlı ilçesine ait iklim verileri (1965-2016).....	25
Çizelge 3.4 : Ağaç türü sınıfları.....	27
Çizelge 3.5 : Ağaç yaşı sınıfları.....	27
Çizelge 3.6 : Kapalılık sınıfları.....	27
Çizelge 3.7 : Bonitet sınıfları.....	28
Çizelge 3.8 : Yükseklik sınıfları	28
Çizelge 3.9 : Eğim sınıfları.....	29
Çizelge 3.10 : Bakı sınıfları	29
Çizelge 3.11 : Rüzgâr sınıfları	30
Çizelge 3.12 : Yağış sınıfları	31
Çizelge 3.13 : Toprak derinliği sınıfları	31
Çizelge 3.14 : Amaç fonksiyonuna ait değişkenlerin derecelendirme tablosu.....	32
Çizelge 3.15: Değişkenlerin RD'ni belirlenmesi için kullanılan örnek veri tablosu.	32
Çizelge 3.16: Fırtına zararı faktörlerine ait her bir sınıf için risk derecesi aralıkları	33
Çizelge 3.17 : Birim alandaki OÜH'ya dayalı fırtına zararı sınıflandırması.....	39
Çizelge 4.1 : Arazi kullanım tipi alansal dağılımı	41
Çizelge 4.2 : Ağaç türü alansal dağılımı.....	42
Çizelge 4.3 : Ağaç yaşı alansal dağılımı.....	43
Çizelge 4.4 : Kapalılık alansal dağılımı.....	44
Çizelge 4.5 : Bonitet sınıfları alansal dağılımı	44
Çizelge 4.6 : Rüzgâr yönü ve hızı ile ilgili veriler.....	47
Çizelge 4.7 : Toprak derinliği alansal dağılımı	48
Çizelge 4.8 : Ağaç türleri RD'nin belirlenmesi için kullanılan veri tablosu	49
Çizelge 4.9 : Ağaç yaşı RD'nin belirlenmesi için kullanılan veri tablosu.....	50
Çizelge 4.10 : Kapalılık RD'nin belirlenmesi için kullanılan veri tablosu.....	50
Çizelge 4.11 : Bonitet sınıfı RD'nin belirlenmesi için kullanılan veri tablosu	51
Çizelge 4.12 : Yükseklik RD'nin belirlenmesi için kullanılan veri tablosu	51
Çizelge 4.13 : Eğim RD'nin belirlenmesi için kullanılan veri tablosu.....	52
Çizelge 4.14 : Bakı RD'nin belirlenmesi için kullanılan veri tablosu.....	52
Çizelge 4.15 : Rüzgâr RD'nin belirlenmesi için kullanılan veri tablosu.....	53
Çizelge 4.16 : Yağış RD'nin belirlenmesi için kullanılan veri tablosu	54
Çizelge 4.17 : Toprak derinliği RD'nin belirlenmesi için kullanılan veri tablosu	54
Çizelge 4.18 : Fırtına zararı risk dağılımı.....	65
Çizelge 4.19 : Fırtına zararı dağılımı.....	66
Çizelge 4.20 : Risk faktörlerinin toplam riskteki ağırlıkları.....	67
Çizelge 4.21: Risk haritasının bindirme oranları.....	71

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Fırtına devirmesi (Tavşanlı, 2015)	3
Şekil 1.2 : Fırtına kırması ve bükmesi (Tavşanlı, 2015).....	4
Şekil 3.1 : Çalışma alanının konumu.....	20
Şekil 3.2 : Çalışma alanının bölge müdürlüğündeki konumu	21
Şekil 3.3 : Çalışma alanı	21
Şekil 3.4 : Fırtına zararı görüntüleri (Alabarda OİŞ, 2015).....	22
Şekil 3.5 : Çalışma alanı orman alanı haritası	24
Şekil 3.6 : Çalışma alanı paftaları ve eşyüksekti çizgileri	24
Şekil 3.7 : Jeoloji haritası	26
Şekil 3.8 : Gaussian üyelik dağılımı (Esri, 2017).....	34
Şekil 3.9 : Small üyelik dağılımı (Esri, 2017)	35
Şekil 3.10 : Large üyelik dağılımı (Esri, 2017)	35
Şekil 3.11 : Near üyelik dağılımı (Esri, 2017).....	36
Şekil 3.12 : Linear üyelik dağılımı (Esri, 2017)	37
Şekil 3.13 : “GAMMA” ile diğer durulaştırma tipleri arasındaki ilişki (Esri, 2017)	39
Şekil 4.1 : Arazi kullanım tipi haritası.....	40
Şekil 4.2 : Ağaç türü veri katmanı	41
Şekil 4.3 : Ağaç yaşı veri katmanı	42
Şekil 4.4 : Kapalılık veri katmanı	43
Şekil 4.5 : Bonitet sınıfları veri katmanı.....	44
Şekil 4.6 : Çalışma alanı Sayısal Arazi Modeli	45
Şekil 4.7 : Çalışma alanı eğim haritası	46
Şekil 4.8 : Çalışma alanı bakı haritası	46
Şekil 4.9 : Çalışma alanı yağış veri katmanı	47
Şekil 4.10 : Toprak derinliği veri katmanı.....	48
Şekil 4.11 : Ağaç türü üyelik veri katmanı	55
Şekil 4.12 : Ağaç türü üyelik fonksiyonu	55
Şekil 4.13 : Ağaç yaşı üyelik veri katmanı	56
Şekil 4.14 : Ağaç yaşı üyelik fonksiyonu	56
Şekil 4.15 : Kapalılık üyelik veri katmanı	57
Şekil 4.16 : Kapalılık üyelik fonksiyonu	57
Şekil 4.17 : Bonitet sınıfı üyelik veri katmanı.....	58
Şekil 4.18 : Bonitet sınıfı üyelik fonksiyonu	58
Şekil 4.19 : Toprak derinliği üyelik veri katmanı.....	59
Şekil 4.20 : Toprak derinliği üyelik fonksiyonu	59
Şekil 4.21 : Yükseklik üyelik veri katmanı	60
Şekil 4.22 : Yükseklik üyelik fonksiyonu	60
Şekil 4.23 : Eğim üyelik veri katmanı	61
Şekil 4.24 : Eğim üyelik fonksiyonu	61
Şekil 4.25 : Bakı üyelik veri katmanı	62

Şekil 4.26 : Bakı üyelik fonksiyonu	62
Şekil 4.27 : Rüzgâr üyelik veri katmanı	63
Şekil 4.28 : Rüzgâr üyelik fonksiyonu	63
Şekil 4.29 : Yağış üyelik veri katmanı	64
Şekil 4.30 : Yağış üyelik fonksiyonu.....	64
Şekil 4.31 : Fırtına zararı risk haritası	65
Şekil 4.32 : Fırtına zararı haritası	66
Şekil 4.33 : Çok yüksek ve yüksek fırtına zararı olan alanların tahmini.....	71
Şekil 4.34 : Çok düşük ve düşük fırtına zararı olan alanların tahmini	72



CBS TABANLI BULANIK MANTIK YÖNTEMİ KULLANILARAK FIRTINA ZARARI RİSK HARİTASININ GELİŞTİRİLMESİ

ÖZET

Orman ağaçları üzerinde zarara neden olan abiyotik ve biyotik faktörler orman kaynaklarımızın sürdürülebilirliğini de önemli ölçüde tehdit etmektedir. Orman yangınları, fırtına, kar, çığ ve kuraklık gibi abiyotik faktörler arasında en etkili faktörlerden biri fırtına zararlarıdır. Ülkemizde fırtına zararları konusunda gerçekleştirilen bilimsel çalışmalar çok sınırlı sayıdadır. Oysa fırtına zararları çok farklı ağaç türleri üzerinde etkili olmakta ve birçok bölgede önemli zararlara neden olmaktadır. Fırtına zararının engellenmesi veya minimize edilmesi için fırtına zararı riski üzerinde daha fazla etkili olan faktörlerin belirlenmesi ve fırtına zararı riski taşıyan ormanlık alanların risk haritalarının geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu tez çalışması kapsamında, CBS tabanlı matematiksel model (Bulanık Mantık) kullanılarak fırtına zararı risk haritası üretilmiştir. Modelde, fırtınaların orman ağaçları üzerinde yaptığı zararların şiddetini etkileyen faktörler olarak ağaç türü, ağaç yaşı, kapalılık, bonitet sınıfı, topografik özellikler (yükseklik, eğim, bakı), iklim parametreleri (rüzgâr, yağış) ve toprak derinliği dikkate alınmıştır. Uygulama sahası olarak, 2015 yılı kış aylarında fırtına zararının yoğun olarak görüldüğü Tavşanlı Orman İşletme Müdürlüğü sınırlarında yer alan Alabarda Orman İşletme Şefliği değerlendirilmiştir. Modelin doğrulanması için fırtına zararı risk haritası ile İşletme Müdürlüğü tarafından fırtına zararı tespit edilen alanların dağılımı karşılaştırılmıştır. Bulanık Mantık yaklaşımı ile geliştirilen model çalışma alanının yarısından biraz fazlasının (%52,49) çok az derecede fırtına zararı riski altında olduğunu göstermiştir. Diğer taraftan çalışma alanının %28,12'si az risk altında, %19,19'u ise risk altında bölgeler olarak derecelendirilmiştir. Sahada çok küçük bir alan (39,47 ha) fırtına zararına karşı çok riskli olarak belirlenmiştir. Tavşanlı Orman İşletme Müdürlüğü kayıtlarındaki olağanüstü hasıla miktarları kullanılarak geliştirilen fırtına zararı haritasına göre, alanın %45,77'si çok düşük, %30,20'si ise düşük derecede fırtına zararı görmüştür. Çalışma alanının %23,72'si ise yüksek fırtına zararı gören bölgeler olarak belirlenmiştir. Sahada 60,13 ha'lık bir alanın çok yüksek oranda fırtına zararına maruz kaldığı tespit edilmiştir. Risk faktörlerinin ağırlıklandırılması yapılarak toplam fırtına zararı riski üzerindeki relatif etkileri incelendiğinde, en etkili faktörün rüzgâr yönü ve şiddeti olduğu, bunu eğim ve bonitet sınıfının takip ettiği belirlenmiştir. Çalışmada ayrıca fırtına zararlarının en aza indirilebilmesi için bazı silvikültür, amenajman ve teknik önlemler sunulmuştur. Sonuçlar, fırtına zararı risk haritası üretiminde CBS tabanlı matematiksel modellerin etkin ve yüksek doğrulukla kullanılabileceğini göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Bulanık Mantık, CBS, Fırtına zararı, Risk haritası

DEVELOPING THE RISK MAP OF WINTER STORM HAZARD USING GIS BASED FUZZY LOGIC METHOD

SUMMARY

Abiotic and biotic factors causing damages on forest trees also threaten sustainability of forest resources. The wind damage is one of the most effective factors among the abiotic factors such as forest fires, wind, snow, avalanche, and drought. In Turkey, there is a very limited number of studies conducted on wind damage. However, wind causes serious impacts on various tree species and damages in many regions. In order to prevent or minimize wind damage, it is crucial to determine the factors that affect wind damage and to develop risk maps for the forested areas with wind risk. In this thesis, a risk map of wind damage was developed by using a GIS based mathematical model (Fuzzy Logic). Tree species, tree age, crown density, site quality, topographical features (elevation, slope, aspect), climatic parameters (wind, precipitation), and soil depth were considered as the factors that influence the magnitude of wind damage on forest trees in the model. Alabarda Forest Enterprise Chief within the borders of Tavşanlı Forest Enterprise Directorate was selected as the study area due to high occurrence of storm damages in the region during winter 2015. For model verification, a risk map of wind damage was compared to the areal distribution of wind damage determined by the Enterprise Directorate. The model developed based on the Fuzzy Logic approach indicated that slightly more than half of the study area (52.49%) was under wind damage risk at a very low degree. On the other hand, 28.12% of the study area was under low wind damage risk while 19.19% was classified as a risky zone. A very small land in the study area (39.47 ha) was classified as a very risky zone. According to the wind damage map generated based on the amount of irregular production recorded by Tavşanlı Forest Enterprise Directorate, there was very low wind damage in 45.77% of the area while 30.20% encountered very low wind damage. It was specified that 23.72% of the area was subject to high wind damage. There was very high wind damage in the area of 60.13 ha. When weighting the risk factors to analyze their relative effects on overall wind damage risk, it was revealed that the most effective factors were wind direction and speed, followed by slope and site quality factors. In the study, some silvicultural, management, and technical suggestion measures were provided in order to minimize wind damage. The results indicated that GIS based mathematical models can be effectively and accurately used to generate a risk map of wind damages.

Keywords: Fuzzy Logic, GIS, Risk map, Wind damage

1. GİRİŞ

En önemli doğal kaynaklardan olan ormanların; biyoçeşitliliği geliştirme, toprak muhafazası ve su koruma gibi çok önemli fonksiyonları bulunmaktadır (Akbulak ve Özdemir, 2008). Bu fonksiyonların sürekliliğinin sağlanabilmesi için ormanların sosyal, ekonomik, çevresel ve sosyokültürel faktörleri dikkate alınarak planlanması gerekmektedir (Wilkie ve diğ., 2003). Son yıllarda ormanlar üzerinde etkili olan abiyotik ve biyotik faktörler orman kaynaklarının sürdürülebilirliğine önemli ölçüde etki etmekte ve vejetasyon üzerinde önemli biyolojik ve ekolojik zararlara yol açmaktadır. Abiyotik faktörlerin başında orman yangınları, fırtına, kar, çığ ve kuraklık gelmektedir (Teich ve Bebi, 2009; Lorz ve diğ., 2010).

Ülke ormanlarımız üzerinde etkili olan abiyotik zararların başında gelen fırtına zararları konusunda ülkemizde gerçekleştirilen bilimsel çalışmalar çok sınırlı sayıdadır. Bu konuda yürütülen ilk çalışmaların bazılarında, fırtına zararlarının biyotik zararlılarla olan ilişkileri, ülkemizde fırtına zararlarının boyutu ve fırtına zararlarına karşı alınması gerekli önlemler araştırılmıştır (Erdem, 1951; Defne, 1954). Acatay ve Gülen (1971) ormanlarda fırtına zararlarını incelenmiş ve fırtına zararlarının ormanlarda özellikle iğne yapraklı ağaçları ve yayvan köklü ağaçları etkilediğini belirtmişlerdir. Ayrıca, ülkemizde 1955-1964 yılları arasında meydana gelen fırtına zararları ele alınarak, bu yıllar arasında en büyük fırtına zararlarının Bolu, Zonguldak, Kastamonu ve Sinop Orman Bölge Müdürlüklerinde olduğu tespit edilmiştir.

Ülkemiz ormanlarında fırtına zararları farklı ağaç türleri üzerinde etkili olmakta ve birçok bölgede önemli kayıplara neden olmaktadır. Fırtına zararları genelde ağaçlarda kırılmalar ve devrilmeler şeklinde kendini göstermektedir. Bu konuda yürütülen çalışmalarda yayvan köklü göknar ağaçlarının daha fazla devrilme riski taşıdığı, karaçam ve sarıçamda ise daha çok kırılmaların gözlemlendiği belirtilmiştir (Ünal ve diğ., 2007). Genel olarak meşcere yapısı (tür, yaş, kapalılık, bonitet), topografik özellikler (yükseklik, eğim, bakı), iklim parametreleri (rüzgâr, yağış), toprak derinliği fırtına zararları üzerinde etkili olan ana faktörlerdendir.

Fırtına zararlarının en aza indirilebilmesi için silvikültür, amenajman ve teknik alanda önlemler önerilmektedir. Silvikültürel boyutta meşcerenin kış aylarında biyolojik olarak fırtına zararlarına karşı daha dayanıklı olması sağlanmalıdır. Fırtınalara karşı güvenli bir blok oluşturmak için uygun ağaç türlerinden orman perdeleri tesisi edilmektedir. Diğer taraftan, fırtına zararlarına karşı orman amenajman boyutunda gerekli zamansal ve konumsal tedbirler alınmalıdır. Fırtına riski yüksek olan meşcerelerde zamansal olarak idare süresi daha kısa tutulmalı, konumsal olarak ise idare hatlarının hakim fırtına yönünde veya 45 derecelik açı yapacak şekilde planlanması gerekmektedir. Fırtına riski taşıyan alanlarda, kesim yönlerinin hakim fırtına yönüne aksi taraftan başlayıp, fırtına yönüne doğru devam etmelidir. Bazı riskli bölgelerde lokal olarak meşcere kenarlarındaki ağaçların kökleri üzerine taşlar yığmak, ağaçların dal ve tepelerini tedbir amaçlı kesmek suretiyle teknik önlemler alınabilmektedir (Erdem, 1951).

1.1 Fırtına Zararları

Rüzgârlar, yeryüzüne hemen hemen paralel olarak hareket eden hava akımlarıdır ve hız ve yönleri itibariyle karakterize edilmektedirler. Rüzgâr hızı hava basınçları arasındaki farka bağlı olarak değişirken, rüzgâr yönü ise alçak ve yüksek basınç lokasyonlarına göre şekillenir. Ayrıca, dünyanın dönüşü ve morfolojik yapısı da rüzgâr yönü üzerinde etkilidir (Acatay ve Gülen, 1971). Rüzgârlar ormana oksijen ve karbondioksit gibi gazlar taşımak, bitkilerde tozlaşmayı gerçekleştirmek ve kanatlı ağaç tohumlarını uzak yerlere taşıyarak ormanın yayılışına etki etmek gibi birçok faydalı görevi üstlenmektedirler. Ancak, yüksek hızla ve sürekli olarak aynı yönden estiklerinde çeşitli orman zararlarına neden olmaktadır.

Saniyedeki hızları 15-28 m arasında olan rüzgârlar ise fırtına olarak tanımlanmaktadır. Fırtınalar oluşum itibariyle rüzgârlara benzerlik gösterebilirler de ormanlar üzerine etkileri oldukça farklıdır. Fırtınalar özellikle iğne yapraklı türlerde önemli zararlara neden olmaktadır. Zararın şiddeti hızına, sürekli ve periyodik darbeler halinde esmesine bağlıdır. Fırtınalar darbeler halinde estiklerinde orman ağaçları üzerinde büyük zararlara neden olmaktadır. (Çanakçıoğlu, 1993).

1.1.1 Fırtına zararı türleri

Fırtınalar, özellikle iğne yapraklı orman ağaçlarının tepe kısmını etkileyerek, kökleri gevşetip kaldırırlar ve ağaçların bir yöne eğilmesine neden olurlar. Çok kuvvetli fırtınalar ağaç köklerini gevşettikten sonra esmeye devam ederlerse ağaçları kökünden sökerek devirirler. Bu tür zararlara “fırtına devirmesi” denir (Şekil 1.1). Fırtına devirmesi genellikle yayvan kök yapan orman ağaçlarında ve toprak derinliğinin yetersiz olduğu sahalarda görülmektedir (Acatay ve Gülen, 1971). Fırtınalar sürekli ve kuvvetli yağışlardan sonra meydana gelirse, gevşemiş toprak üzerinde bulunan ağaçlarda fazla miktarda devirme zararı görülmektedir (Çanakçıoğlu, 1993).

Ağaç köklerinin gövdelere oranla rüzgâra daha fazla mukavemet gösterdiği durumlarda ise devrilme olaylarından ziyade ağacın gövde, tepe ve dallarında kırılmalar görülmektedir. Bu tür zararlara “fırtına kırması” adı verilir (Şekil 1.2). Bazı durumlarda fırtına gövdeleri esneklik sınırından daha fazla bükerek ve şeklini bozar. Bu tür zararlara “fırtına bükmesi” denir. Fırtınalar genellikle tek bir ağaçtan ziyade meşcerenin tamamında veya bir bölümünde zarara neden olurlar. Zararın durumuna göre devrik olan alanlarda “saha devirmesi”, kırık olan alanlarda ise “saha kırması” söz konusu olur (Acatay ve Gülen, 1971).



Şekil 1.1 : Fırtına devirmesi (Tavşanlı, 2015)



Şekil 1.2 : Fırtına kırması ve bükmesi (Tavşanlı, 2015)

Fırtınalar orman ağaçlarında kırık, çatlak veya şekil bozulmalarına yol açarak onlardan elde edilecek ürünlerde kalite ve hacim kayıplarına neden olurlar. Fırtına zararları sonucunda gençleştirme sahalarında ek masraflar ortaya çıkmakta ve bazı durumlarda amenajman planlarının yenilenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca, fırtına sonucu geniş boş sahaların oluşması, yabani ot istilasını kolaylaştırmakta, böcek zararları ve yangın riskini arttırmaktadır (Çanakçıoğlu, 1993).

1.1.2 Fırtına zararını etkileyen faktörler

Fırtınaların orman ağaçları üzerinde yaptığı zararların şiddetini etkileyen en önemli faktörler ağaç türü, ağaç yaşı, kapalılık, bonitet sınıfı, topografik özellikler (yükseklik, eğim, bakı), iklim parametreleri (rüzgâr, yağış) ve toprak derinliği gibi özelliklerdir.

1.1.2.1 Ağaç türü

Kışın ibrelerini dökmeyen iğne yapraklı türler, yapraklı türlere oranla fırtınaya karşı daha hassastırlar (Atay, 1990; Foster ve Boose, 1995). Ayrıca, odunlarının kısmen daha dayanıklı olması ve köklerinin daha derine gidebilmesi nedeniyle yapraklı türler fırtınalara karşı daha dayanıklıdır (Çanakçıoğlu, 1993). İbrelili türlerde fırtınaya karşı direnç dayanıklı türden dayanıksız türe doğru: melez, ardıç, sedir, çam, göknar ve ladin şeklinde sıralanabilir. Yapraklı türlerde benzer bir sıralama: meşe, ceviz, akasya, ıhlamur, kızılağaç, dişbudak, gürgen, kavak ve kayın şeklindedir. Yapraklı-ibrelili karışık veya çam-ladin gibi ibrelili karışık meşcerelerde fırtına zararına direnç daha fazladır (Acatay ve Gülen, 1971).

Fırtına zararlarına karşı en dirençli yapraklı ağaç meşedir. Fırtınaların baltalıklarda zarar yaptığı hemen hiç görülmezken, korulu baltalıklarda da zarara ender rastlanmaktadır. Kuru ormanları ise fırtına zararlarına karşı baltalıklara göre daha hassastır. Siper kesim işletmeleri fırtınaya karşı en hassas işletme türüdür. Bununla birlikte kuru ormanlarında seçme işletmesi uygulanan alanlar fırtınaya daha dirençlidir. Kızılcıcamda uygulanan tıraşlama işletmelerinde ise seçme işletmelerinin aksine fırtınaya karşı direnç düşmektedir. Küme kesimlerinde hassasiyet, siper kesim ve seçme işletmeler arasında gösterilebilir. Bunların dışında kenar şerit kesimlerinde ise açılan kenarda hassasiyet artarken, meşcerenin diğer taraflarında azalmaktadır.

1.1.2.2 Ağaç yaşı

Fırtına zararı tehlikesi ağaç yaşına bağlı olarak artmaktadır (Atay, 1987; Foster, 1988). Genellikle fırtına zararları 50 yaşını aşmış meşcerelerde görülür. Ayrıca, kök çürüklüğü ve diğer gövde kusurları bulunan yaşlı ağaçlar fırtına zararlarından daha çok etkilenmektedir (Moore, 2000). Genç meşcerelerde ağaçların daha esnek ve boyutlarının daha küçük olması fırtına zararı riskini azaltmaktadır. Ancak, yayvan köklü türlerde, olağanüstü fırtınalarda ve gevşek toprak şartlarında genç meşcerelerde fırtına zararı görülebilmektedir (Acatay ve Gülen, 1971).

1.1.2.3 Kapalılık

Kapalı ve sık meşcrelerde büyüyen ağaçlarda tepe ve köklerin gelişebileceği yer sınırlı olduğundan, fırtına direnci seyrek meşcerelerde yetişen ağaçlara göre daha zayıftır (Mitchell, 2000). Çok yukarıdan başlayan tepe ve zayıf kök sistemine sahip kapalı meşcerelerde, ağaçların fırtınaya karşı korunması kenar ağaçlar tarafından sağlanmaktadır. Fırtınanın herhangi bir kenardan giriş yapması durumunda, tüm meşcere önemli ölçüde risk altında kalır. Tek başına büyüyen ağaçlar, gelişmiş kök sistemleri, kısa ve alt tarafı genişlemiş gövde yapıları ve çok aşağıdan başlayan tepeleri sayesinde fırtınaya karşı daha dirençlidirler (Atay, 1987; Çanakçıoğlu, 1993).

1.1.2.4 Bonitet sınıfı

Bonitet, bir yerin ürün ve hizmet üretim gücü olarak tanımlanır. Değişik bonitetteki alanlarda, farklı verim elde edilir ve bonitet iyileştikçe verim fazlalaşır (Eler, 2002). Fırtına zararları ile bonitet sınıfları arasında yakın bir ilişki olduğu bildirilmiştir

(Harris, 1989). Meşcere yaşı sabit kalmak koşuluyla, bonitet iyileştikçe ağaç boyundaki artış fırtına zararı riskini yükseltmektedir (Peltola ve Kellomaki, 1993). Bazı çalışmalarda ağaç boyu ve çapının oranı fırtına zararı riskini belirleyen faktör olarak değerlendirilmiştir. Bu orandaki artışın fırtına riskini arttırmakta olduğu bildirilmiştir (Jull, 2001).

1.1.2.5 Topografik özellikler

Fırtına zararlarında etkili olan rüzgâr şiddeti ve hızı tahrip ettiği ağaçların bulunduğu lokasyonun topografik özellikleri ile yakından ilişkilidir (Lanquaye, 1999). Fırtına zararları konusunda yapılan çalışmalarda temel topografik özellikler olarak yükseklik, eğim ve bakı değerlendirilmiştir (Quine, 1995; Mitchell ve diğ, 2001; Kramer ve diğ, 2001). Schmoeckel ve Kottmeler (2008) yürüttükleri bir çalışmada, düşük yüksekliklerde (<150 m) fırtına zararının az olduğunu, belirli bir yüksekliğe kadar (1000 m) zararın görüldüğünü ve daha yüksek kesimlerde ise ağaçların sürekli fırtına ve diğer çevresel etkiler altında yetiştiği için fırtınaya karşı daha dirençli olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca, en yüksek fırtına zararı riskinin %20-30 eğim gruplarında olduğu, daha düşük eğim gruplarında ise zararın daha düşük seyrettiği belirtilmiştir. Çok dik arazilerde yine benzer şekilde fırtına zararının çok düşük olduğu görülmüştür. Schütz ve diğ. (2006) arazi eğiminin artması ile fırtına zararı arasında ters orantı olduğunu bildirmiştir. Bakı dikkate alındığında ise özellikle kuzeybatı, kuzey ve güneydoğu bakıların daha fazla fırtına zararına maruz kaldığı, bunları kuzeydoğu, güney ile batı ve doğu bakılarının takip ettiği kaydedilmiştir (Schmoeckel ve Kottmeler, 2008).

1.1.2.6 İklim parametreleri

Rüzgâr yönü ve şiddeti orman ağaçlarında fırtına zararını etkileyen en önemli iklim parametreleridir. Özellikle saatteki hızı 54 km/saat ve üzeri fırtınalar önemli boyutta fırtına zararına neden olma potansiyeline sahiptir (Acatay ve Gülen, 1971). Fırtınanın uzun zaman devam etmesi durumunda daha fazla ağaç kökü hasar görmekte ve tahribat artmaktadır. Bu sırada meydana gelebilecek kar yükü ve don oluşumu, tepe çatısında kütle birikimine ve gövde elastikiyetinin kaybına neden olarak ağaçların fırtına zararına karşı hassasiyetlerini arttıracaktır (Lanquaye, 1999).

Fırtına öncesi sürekli ve kuvvetli yağış almış arazilerde, toprağın gevşemesi özellikle fırtına devriklerinin oluşmasına büyük katkı sağlamaktadır (Çanakçıoğlu, 1993).

Karların erimesiyle birlikte ıslanan toprak da devrik oluşumlarına katkı sağlar. Bu da mevsimlerin fırtına zararları üzerine etkisi olduğunu göstermektedir. Ülkemizde fırtına zararı açısından en riskli dönemler toprağın su ile doygun olduğu ilkbahar veya kış sonudur (Acatay ve Gülen, 1971).

1.1.2.7 Toprak özellikleri

Toprak yapısı fırtına zararı üzerinde önemli rol oynamaktadır. Sığ ve gevşek topraklarda taban suyunun da fazla olduğu yerlerde fırtına zararı daha fazla gerçekleşmektedir. Fırtına öncesi yağan yağmurla ıslanan ve su içeriği artan topraklar fırtına devirmesi riskini arttırmaktadır (Acatay ve Gülen, 1971; Atay, 1990). Ağaç köklerinin fırtınaya karşı direnci sıkışmış tınlı orman topraklarında daha fazla olurken, killi topraklarda zemine tutunamayan kökler direnci zayıflatmaktadır (Coutts, 1983). Derin ve su geçirgenliği yüksek topraklarda yetişen ormanlarda, ağaçların kök sistemleri güçlü ve direnci yüksek olmaktadır (Rizzo ve Harrington, 1998). Diğer taraftan, gevşek yapıya sahip ve madensel maddeler bakımında yetersiz olan alanlarda kurulan ormanlarda fırtına zararı daha fazla görülmektedir. Bunda ağaçlarda meydana gelen kök çürüklükleri de etkili olmaktadır (Çanakçıoğlu, 1993).

1.2 Fırtına Zararı Risk Tahmin Yöntemleri

Fırtına zararı riskinin tahmin edilmesinde kullanılan üç temel yöntem bulunmaktadır: gözlemsel yöntemler, mekaniksel yöntemler ve ampirik yöntemler (Lanquaye, 1999). Bu yöntemler, zararın miktarının veya riskinin belirlenmesinde fırtına zararı üzerinde etkili olan faktörlerin bir kısmını veya tamamını dikkate almaktadır.

1.2.1 Gözlemsel yöntem

Gözlemsel yöntemde fırtına zararı riski sahada gözlemlenen risk faktörlerinin sayısının artışına paralel olarak yükselmektedir (Stathers ve diğ, 1994). Bu yöntemde sahadaki ağaçlarda asimetrik kökler, orantısız olarak gelişim gösteren tepe çatısı, kök çürükleri gibi kriterler gözlemlenir. Bu kriterlerden birkaçına sahip olan ağaçlar belirlenerek, buldukları meşcereler için fırtına zararı göstergeleri olarak kabul edilirler.

1.2.2 Mekaniksel yöntemler

Mekanik yöntem fırtına zararı riskini zarara neden olabilecek kritik rüzgâr hızı eşğine ve bu şiddette bir fırtınanın belirli bir alanda gerçekleşme ihtimaline bağlı olarak hesaplamaktadır (Lanquaye, 1999). Bu yöntem, herhangi bir ormanlık alanda farklı bölgelerin fırtına zararı riskinin belirlenerek, her bölge için özel stratejiler geliştirilmesine imkan sağlayabilmektedir (Talkkari ve diğ., 2000). Mekanik yöntemin kullanıldığı bir çalışmada, Smith ve diğ. (1987) fırtına zararı kayıplarına karşı siyah ladin meşceresinde optimum ağaç boyunu araştırmıştır. Ladinlerin muhtemel fırtınalara karşı dayanıklılığını belirlemek için dikili ağaç gövdeleri vinç yardımıyla çekilerek kritik direnç eşikleri tespit edilmiştir. Daha sonra, tepe çatısı ve ağaç boyu değerleri yardımıyla bu kritik eşik değerini aşabilecek rüzgâr hızı hesaplanmıştır.

1.2.3 Ampirik modeller

Ampirik modeller örnek bir sahadaki fırtına zararı riskini ve şiddetini bu sahadaki faktörlere bağlı olarak tahmin etmektedir. Logistic regresyon modelinin kullanıldığı bir çalışmada, örnek bir meşcere üzerindeki fırtına ve kar zararı sahadaki ağaçların, meşcerenin ve muhitin özelliklerine dayanarak tahmin edilmiştir (Fridman ve Valinger, 1988). Sonuçlar modelin zarara uğrayan ve zarar görmemiş alanları yüksek doğrulukta belirlediğini göstermiştir. Bu kapsamda yapılan çalışmalarda, ampirik modellerin kompleks ve değişken yapıya sahip olan ve ayrıca topografyanın ve toprak özelliklerinin heterojen olduğu meşcerelerde daha uygun olduğunu belirtilmiştir (Lanquaye, 1999).

1.2.3.1 CBS tabanlı ampirik modeller

Farklı bilim dallarına ait çalışmalarda etkin bir araç olarak kullanılan CBS teknikleri, fırtına zararı risk analizinde ampirik modellere entegre olarak kullanılabilir (Wright ve Quine, 1993; Moore ve Somerville, 1998; Lekes ve Dandul, 2000). ArcGIS, Idrisi, Erdas ve MapCalc gibi gelişmiş CBS yazılımları kullanılarak birçok karar değişkeninin bir arada değerlendirilmesi ve hassas konumsal verilerin analizleri gerçekleştirilmektedir. Aynı temel mantıkla çalışan bu yazılımlar vektör veya raster tabanlı olarak uygunluk modellerinin oluşturulmasına olanak sağlamaktadır. Bu modeller kullanılarak farklı ölçüt ve değerlere sahip karar değişkenleri veya fonksiyonlar matematiksel ifadelerle ilişkilendirilmektedir (Dursun, 2016).

Birçok farklı faktörün bir arada değerlendirilmesini gerektiren kompleks problemlerin gerçeğe en yakın çözümünde CBS tabanlı matematiksel modeller sıklıkla tercih edilmektedir. Özellikle ileri seviye uygunluk modellerinin oluşturulmasında CBS ile entegre olabilen Regresyon Modelleri ve Bulanık Mantık gibi gelişmiş matematiksel yöntemler etkili sonuçlar vermektedir (Chang, 2004).

Bulanık Mantık yöntemi özellikle doğa bilimleri alanında CBS tabanlı sınıflandırmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Aydın ve Eker, 2012). Bu yöntem, karmaşık verilerin maksimum ve minimum değerleri arasındaki belirsizliklerin ortadan kaldırılmasında doğruya en yakın tahminleri sunmaktadır. Çözüm aşamasında, üyeliklerinin oluşturulması ile tanımlı sınıflandırmalara ait verilerin kesin olarak ayırdığı eşik değerlerin öncesinde ve sonrasında gösterdiği hassasiyeti arttırarak etkin modeller oluşturulmaktadır (Sasilka ve diğ, 2004). Üyelikleri 0 ile 1 arasındaki sayı çiftleri değerlendiren Bulanık Mantık yöntemi, en doğru, en doğruya yakın, doğru, doğruya yakın, yanlış yakın, yanlış gibi sürekli bir fonksiyonun serilerini ifade edebilmektedir. Karar değişkenlerinin CBS ortamında 0 ile 1 arasında bulanık mantık içerisinde üyeliklerinin değerlendirilmesinde, özellikle ArcGIS yazılımlarının eklentileri yaygın olarak kullanılmaktadır.

1.3 Fırtına Zararlarına Karşı Alınabilecek Önlemler

Ormanlarda fırtına zararlarına karşı alınacak önlemler silvikültürel açıdan, amenajman bakımından ve mekaniksel önlemler olarak sınıflandırılabilir (Çanakçıoğlu, 1993). Bu tedbirler alınırken meşcere yapısı, yetişme muhiti özellikleri, ağaç türü ve toprak yapısı gibi birçok faktör dikkate alınmalıdır. Zira alınacak önlemler değişkenlik gösteren koşullarda ve farklı türler üzerinde benzer etkiler göstermeyecektir.

1.3.1 Silvikültürel önlemler

Kenar meşcerelerde rüzgâr perdesi (orman perdesi) kurmak ve bunun devamlılığını sağlamak fırtına zararlarına karşı oldukça önemlidir (Atay, 1987; Çanakçıoğlu, 1993). Perde ağaçları, rüzgâr etkilerine alışkın, zayıf gövdeli, çekme ve destek kökleri ile sağlam bir şekilde toprağa tutunmuş ağaçlardır. Gövdesi tamamen dallarla kaplanmış olan bu ağaçların açık taraflarındaki ağırlık rüzgâra karşı koymalarında oldukça etkilidir.

Orman perdesi doğal ve yapay olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Doğal orman perdeleri, kenarlarda 5-10 m genişlikteki bir kısmı serbest bulundurmak suretiyle oluşturulur. Burada perdeyi meşceredeki doğal türler oluşturur. Yapay orman perdeleri ise rüzgâra dayanıklı olan meşe ve çam gibi türlerden seçilerek, meşcere kenarlarına 40-50 m derinlikte şeritler şeklinde tesis edilirler (Acatay ve Gülen, 1971).

Fırtına riski bulunan bölgelerde ladin gibi sığ köklü ağaç türleri saf olarak yetiştirilmemelidir. Bu bölgelerde ladin meşcerelerine çam, göknar veya kayın karıştırılmalıdır. Ayrıca, karışık meşcerelerde fırtına zararına karşı dayanıklı türlere daha çok yer verilmelidir. Örnek olarak, kayın meşcerelerine meşe, dişbudak, sedir, çam veya göknar karıştırılmalıdır. Riskli bölgelerde karışık yaşlılığı sağlayacak işletme türleri uygulanmalıdır. Bunun için seçme ormanına komşu ve fırtınaya dayanıklı olan, büyük ve küçük gruplar halinde karışık küme kesimleri söz konusu olabilir (Çanakçıoğlu, 1993).

Tek başına büyümüş olan ağaçlar sürekli rüzgâr altında gelişirler. Yetiştikleri süre boyunca çekme kökleri gelişir ve toprağa tutunmaları kolaylaşır. Ağırlık merkezleri toprağa yakındır (Atay, 1987). Sık meşcerelerde ise bunun aksine alansal olarak ağaç fazla yayılım yapamadığı için dar bir alanla yetinmek zorunda kalır. Dolayısıyla kökler iyi gelişmez ve dolgun bir gövde yaparlar. Dallar sadece tepe tacında yoğunlaşmış olduğundan ağırlık merkezleri de yüksektedir. Bunun sonucunda ise devrilme riskleri tek başına büyümüş olan ağaçlardan oldukça fazladır. Bu tip ağaçlar rüzgâra karşı toplu olarak direnç göstermek zorundadır. Kapalılığın kırılması meşcereyi rüzgâra karşı dayanıksız hale getireceği için abartılı şekilde olmamalıdır (Acatay ve Gülen, 1971).

Toprak nemi ve su tutma özelliği devrik oluşumlarında çok önemlidir. Özellikle ıslak alanlarda, taban suyunun fazla olduğu yerlerde ve anakayanın yüzeye yakın olduğu durumlarda yayvan köklü ağaç türleri seçilmemelidir. Islak alanlara rüzgâra dayanıklı türler getirilirken bile çok dikkatli olunmalıdır. Bu tip yerlerde ormandan alınacak hasılat da düşük tutulmalıdır. Bunların dışında meşcere kenarları ferahlandırılmalı ve kenar ağaçların güçlenmesi sağlanmalıdır (Acatay ve Gülen, 1971; Atay, 1987).

1.3.2 Amenajman bakımından önlemler

Ormanlarımızın fırtına zararlarından korunabilmesi için ilgili olan alanlarda rüzgâr ve fırtına ilişkisi detaylı bir şekilde incelenmelidir. Özellikle rüzgâr yönü ve şiddeti saptanarak rüzgârın karakteri tespit edilmelidir. Yapılacak olan amenajman planlarında gözlem sonuçları ve elde edilen yersel bilgiler göz önünde bulundurulmalıdır. (Acatay ve Gülen, 1971).

Amenajman bakımında alınacak önlemler özellikle saf ve eşit yaşlı ladin ve çam ormanları için daha önemlidir. Fırtına riski taşıyan bölgelerde, yaşın da ilerlemesiyle fırtına zararı hassasiyeti, hasta ve çürük ağaçların miktarı artacağından, idare süresi kısa tutulmalıdır (Eraslan, 1971).

Risk altındaki ormanlar rüzgâr yönüne uygun olarak bölmelere ayrılmalıdır. Bu kapsamda yol şebekesi, idare çizgileri ile küçük, düzenli ve kesime uygun parçalara bölünmelidir. Kesimlere fırtına tehlikesi olmayan bölümlerden başlamalı ve ana rüzgâr yönünün tersine ilerlemelidir (Çanakçıoğlu, 1993).

Kesimler öndeki meşcerenin koruması altında yapılabilmesi için meşcereler birbiri ardı sıra kesilebilecek şekilde dizilmelidir. Bu amaçla belirli yaş sınıfı basamakları dikkate alınarak, bir meşcere kesime uygun hale geldiğinde kesilen bölgenin ön ve arkasında bulunan meşcereler perdesiz kalmamalıdır (Eraslan, 1971).

Fırtına zararı altındaki bölgelerde fırtınaya karşı yeterince sağlamlaştırılmamış kesim cephelerini birden açıkta bırakmamak için erkenden çözme kesimi olarak tabir edilen uygulama yapılmalıdır. Bu kesim metodunda, meşcereyi ilerde kesimin başlayacağı yerden geçmek üzere kesim cephesine paralel 10-20 m genişliğinde şerit halinde bir kesimle ayırmak amaçlanır. Çözme kesimleri kapsamında açılan alanlar derhal ağaçlandırılır (Çanakçıoğlu, 1993).

Traşlama işletmelerinde kesim çizgilerinde içeriye veya dışarıya çıkmış köşeler fırtınada zarar göreceğinden, kesim cephelerinin düz bir hat halinde olması sağlanmalıdır. Böylece fırtınaların kesim cephesi düzgün olmayan meşcerelerin içerisine doğru ilerleme riski minimize edilecektir (Çanakçıoğlu, 1993).

1.3.3 Mekaniksel önlemler

Fırtına zararı riskinin yüksek olduğu meşcereleri kuvvetlendirmek için meşcere kenarları boyunca ağaçların kökleri üzerine ağaçtan bir ıskara yapıldıktan sonra,

üzerine duvar şeklinde taşlar yığılmalıdır. Ayrıca, tepelerin bir kısmını kesmek, tepeleri zincirle bağlamak ve rüzgâr yönünde olan bazı dalları kesmek gibi mekanik önlemler uygulanabilmektedir (Acatay, 1966).

Zararlı böcek türlerinin üremelerini engellemek için, fırtına zararı gören yerlerde kırık ve devrikler alandan hızla uzaklaştırılmalıdır. İmkanların elverişsiz olduğu yerlerde ise devrilen ağaçların kabukları soyulmalıdır (Acatay ve Gülen, 1971).

1.4 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Ülke ormanlarımız üzerinde etkili olan abiyotik zararların başında gelen fırtına zararlarına karşı gerekli mücadelenin yapılmasında öncelikli olarak fırtına riski taşıyan alanların haritalandırılması büyük önem taşımaktadır. Son yıllarda çok kriterli karar destek sistemleri ile entegre olabilen CBS tekniklerinde meydana gelen gelişmeler, çok sayıda faktörün konumsal analizini ve koşullu olarak değerlendirilmesini gerektiren risk haritalarının hızlı ve etkin olarak geliştirilmesini mümkün hale getirmiştir. Bu konuda gerçekleştirilen literatür taraması sonucunda, fırtına zararı risk haritalaması ile ilgili uluslararası platformda çeşitli çalışmaların bulunduğu, ancak ülkemizde fırtına zararı risk haritası konusunda yürütülen herhangi bir bilimsel araştırmaya rastlanmamıştır.

Bu yüksek lisans tezinin amacı; özellikle kış aylarında orman ağaçlarında meydana gelen ve ağaçlarda devrilme, kırılma ve bükülmelere neden olan fırtına zararlarına ait risk haritasının CBS tabanlı matematiksel model (Bulanık Mantık) kullanarak geliştirmektir. Çalışma kapsamında, 2015 yılı kış aylarında fırtına zararının yoğun olarak görüldüğü Kütahya Orman Bölge Müdürlüğü'ne bağlı Tavşanlı Orman İşletme Müdürlüğü sınırlarında yer alan Alabarda Orman İşletme Şefliği'nin fırtına risk haritası üretilmiştir. Daha sonra, verifikasyon amaçlı olarak fırtına zararı risk haritası ile İşletme Müdürlüğü tarafından fırtına zararı tespit edilen alanların dağılımı karşılaştırılmıştır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Beş farklı yöntem kullanılarak yapılan bir çalışmada, Ruel ve diğ. (1997) rüzgâr devriği etkilerini karşılaştırmıştır. Seçilen yöntemler rüzgâr tüneli simülasyonu, rüzgâr davranışına dayalı iki sayısal ve iki deneysel modeldir. Bu beş yöntem ile elde edilen sonuçların korelasyonu değerlendirilmiş ve farklılıklar görülmüştür. Karşılaştırmalar, Doğu Kanada'daki Laurentian Hills'te 5 yıllık bir süre boyunca kıyıdaş tampon şeritlerdeki rüzgârların kontrolü ile yapılmıştır. Bu bölgede iklim oldukça soğuk ve vejetasyon süresi kısadır. Uygulanan beş yöntemde de farklı yollar izlenmiştir. Her yöntem içerisinde pusula, klinometre, rüzgâr sensörleri gibi farklı araç gereçler kullanılarak rüzgârın yön ve şiddeti incelenmiştir. Her yöntem için elde edilen rüzgâr hızlarının ortalamaları değerlendirilmiş ve bu veriler üzerinden kıyaslamalar yapılmıştır. Ayrıca sayısal modellerde rüzgâr yönü de tahmin edildiği için diğer yöntemlere göre daha avantajlı oldukları görülmüştür. Diğer yandan yöntemlerde ortak bir birim kullanmadığından, sonuçların doğrudan karşılaştırılması anlamsız görülmüştür.

Miller ve diğ. (2000) tarafından yapılan bir çalışmada World Wide Web (WWW) ile erişilebilen; rüzgâr, yangın ve kar gibi orman zararı yapan etmenler için geliştirilen tahmin modellerini gösteren bir paket program üretilmiştir. Yapılan çalışmada bu modellere nasıl ortak bir erişim sağlandığı üzerinde durulmuştur. Rüzgâr, kar ve yangın Avrupa'daki orman endüstrisi için önemli ekonomik sorunlardan biridir. Avrupa'da abiyotik zararların ormanlar üzerine etkisini araştırmak üzere birçok model geliştirilmiştir. Her model farklı veriler üzerinden farklı girdi ve çıktılar vermektedir. Bu modellerin birleşimiyle ortak bir çerçeve oluşturulmuş ve kullanıcıların buna erişimi sağlanmıştır. Sonuç olarak kullanıcılar bu çerçeve sayesinde çeşitli ülkelerdeki farklı zararlar için interaktif bir hesaplama imkânı sunmuştur. WWW uygulaması araştırma yapılırken her bir bileşene erişimi kolaylaştırmaktadır. Yapılan çalışma sayesinde modellere erişim ekonomik ve ulaşılabilir olmaktadır. Düşük maliyetli bilgisayar donanımı kullanan yerel veya uluslararası kullanıcılar için kolay bir erişim kaynağı olmaktadır. WWW bağlantılı modellerin, CBS ile işlevselliklerinin düşük olması ise bir dezavantajdır. Özetle, farklı modellerin tek bir erişim noktasında sunulması yaklaşımıyla ilgili bir çalışma ortaya konmuştur.

British Columbia'nın Fraser Basin'deki Nechako ve Fraser platolarında yapılan bir çalışmada Jull (2001), Douglas Göknaı (*Pseudotsuga menziesii* var. *Glauca*) üzerinde fırtına devriklerini konu alan bir dizi silvikültürel işlemleri gözlemlemiştir. Bu ağaç türünde oluşan fırtına zararları ve fırtına devriklerinin azaltılması için göz önünde bulundurulacak önlemler saptanmış ve incelemesi yapılmıştır. Çalışma kapsamında Douglas Göknaı türüne özel fırtına devriği yönetimi uygulamaları ve rüzgâr hasarlarının etkilerinin ölçülmesi amaçlanmıştır. 1994 ve 1997 yılları arasında yapılan 8 kesim izlenmiş ve bu kesimler 10-100 hektarlık alanlarda yapılmıştır. Çalışmada Schwarz (1998) tarafından tanımlanan analitik örnekleme yaklaşımı kullanılmıştır. İki aşamalı bu çalışmada ilk olarak hasat sonrası bırakılan ağaç nüfusu ve rüzgâr hasarının başlangıç seviyeleri saptanmıştır. Diğer aşamada ise Douglas Göknaılarına hasattan sonraki süreçte etki eden rüzgâr zararları incelenmiş ve model üzerindeki değişikliklerin incelenmesi için transeksiyonların yıllık gözlemleri yapılmıştır. Gözlemler hasat yapılan her kesim bloğu için bir yıl veya daha kısa süre içinde başlamış ve hasat sonrası rüzgâr zararları gözlemlenmiştir. Ekim 2000 sonlarında çalışma sonucu kesim bloklarında oluşan zarar %4-32 arasında değişirken, tüm çalışma blokları ve alanları için ortalama zarar %10-11 civarında bulunmuştur. Bu zararın %90'ı devrik, kalan kısmı ise rüzgâr kırması şeklinde meydana gelmiştir. Rüzgâr hasarlarının çap ile negatif, boy ile pozitif korelasyonu saptanmış, ağaç çapı arttıkça rüzgâr zararının düştüğü belirlenmiştir.

Weyerhaeuser'ın kuzey adası Timberlands'daki Campbell Nehri'nin güneybatısında yapılan Montane Alternative Silvicultural Systems (MASS) adlı bir çalışmada Beese (2001), silvikültürel sistemlerin biyolojik etkilerini araştırmıştır. Çalışmada tıraşlama kesim, küme kesimi, yeşil ağaç bırakma ve siper ağaçları altında kalan ormanlardaki rüzgâr etkileri incelenmiştir. Çalışmanın amacı rüzgâr devriklerinin sayısallaştırılması ve karakterize edilmesidir. Örnek alınan alanda *Thuja plicata*, *Chamaecyparis nootkatensis*, *Tsuga heterophylla* ve *Abies amabilis* gibi türler bulunmaktadır. Uygulamada siper ağacı, küme kesimi ve yeşil ağaç bırakma yöntemleri denenmiştir. Bu üç sistem üçer kopya halinde 94 hektarlık alanda dokuz parçaya dağıtılmıştır. Alanlar 8,6-11,5 ha arasında değişmektedir. Bu alternatif sistemlerle kıyaslanması için de ek olarak 69 ha büyüklüğünde bir alan 2 yıllık dönem boyunca tıraşlanmıştır. Küme kesimlerinde şeritler halinde müdahaleler yapılmış, bir tarafın zararlılardan korunması gerçekleştirilerek gençliğin getirilmesi

ve tohum düşmesi sağlanmıştır. Yeşil ağaç koruma ile yaban hayatı durakları oluşturulmuş ve estetik görünüm kazandırılması amaçlanmıştır. Siper ağaçları ise kar, rüzgâr, sıcaklık aşırılıklarına karşı gençliği korumakta, yaban hayatı ve estetik değerler için yapısal çeşitliliği arttırmaktadır. Çalışma sonucu MASS bölgesi, rüzgâr devriği için yüksek riskli bir yer olarak görülmemiş ancak altı yıl sonrasında büyük kayıplar olmuştur. Rüzgâr devrikleri, küme kesimlerinin kenarları boyunca beklenenden daha düşük çıkmıştır. Bu sonuç küme halindeki korumalarda tek ağaç korumasına göre rüzgâr devriği oranının düşük olduğunu göstermektedir.

Sieben (2001) tarafından yürütülen bir çalışmada Environment Canada İklim İstasyonları tarafından toplanan çok sayıdaki saatlik rüzgâr verilerinin analizi kullanılarak aşırı rüzgâr olaylarının haritalaması için teknikler geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu sayede etkili rüzgârlara maruz kalan alanlar belirlenmiş ve haritalanması sağlanmıştır. Risk alanlarının bulunması, etkili rüzgârların hâkim olduğu yerler tespit edilerek gelecekte kurulabilecek olan rüzgâr türbinlerinin konumlandırılması da düşünülmüştür. Çeşitli analizler ile kayıtları olmayan 100 yıllık rüzgâr olayları tahmin edilmek istenmiştir.

Burton (2001) tarafından yapılan bir çalışmada Kuzeybatı British Columbia'nın Alt Boreal Ladin bölgesinin nemli ve soğuk kısımlarında yaşlı ormanlarda meşcere kenarlarındaki rüzgâr devrikleri analiz edilmiştir. Çalışmada; açık alanlarla bitişik kenarlardaki rüzgâr devriklerinin önemi, büyüklüğü ve kapsamı, farklı ağaç türleri için rüzgâr duyarlılığını gösterebilecek boyut veya büyüme eşiklerini tanımlamak ve bu alanda bakım çalışmalarıyla rüzgâr geçişlerini azaltacak çalışmaların yapılması amaçlanmıştır. Örnek alanı olarak Morice ve Bulkley orman bölgelerinin alt boreal ladin kısmında göknar, melez ve beyaz ladin hâkim olan yaşlı ve eski ormanlarla sınırlandırılmıştır. Alan çeşitli şekillerde ve boyutlarda bloklara ayrılarak çalışmalar sürdürülmüştür. Çalışma süresi boyunca alanlardaki bozulmalar ve devrikler incelenmiştir. Ağaçlarda kök çürüklüğü ve kök kırılması olduğu gözlenmiştir. Zarar gören ağaç hacmi Burton tarafından allometrik denklemler kullanılarak tahmin edilmiştir. Çalışma sonucunda devrilen ağaçların hemen hemen yarısı yerden sökülmüş, yarısına yakın bir kısmı ise kökleri tabaka şeklinde topraktan ayrılmış ve az bir miktarda ise kök çürüklüğü gözlemlenmiştir. Ladin ağaçlarının çam ve göknara göre daha çok etkilendiği ve devrilen ağaçlarda genellikle çapa göre boyların fazla olduğu incelenmiştir. Ormandaki kenar etkileri ve rüzgâr kanallarının

oluşan zararda etkilerinin fazla olduğu ve kenar etkilerine karşı önlemler alınması gerektiği bildirilmiştir.

Tıraşlama kesim alanlarında biyolojik çeşitliliğin korunması amacıyla bazı kaynaklar bırakılmaktadır. Fakat bu alanlarda önemli derecede rüzgâr etkileri oluşabilmektedir. Dolayısıyla bu alanlarda böcek zararı riski artmakta ve ağaçların ahşap kalitesinde düşüşler meydana gelebilmektedir. DeLong ve diğ. (2001) tarafından yapılan bir çalışmada, bu tip alanlardaki rüzgâr devriği riskleri araştırılmıştır. British Columbia'da yapılan çalışmada, rüzgâr devriğini azaltmak adına yaban hayatı için bırakılan meşcere yamaçları ve nehir kıyılarındaki rüzgârları etkileyen faktörlerin değerlendirilmesini içeren dört farklı çalışma özetlenmiştir. Rüzgâr devriğini etkileyen faktörler; kesim zamanı, alan boyutları, toplam ağaç yoğunluğu, ağaçların çapı, ortalama nem ve orta eğim pozisyonudur. Rüzgâr devriğini azaltmak için bazı temel ilkeler belirtilmiştir ancak özellikle rastgele kesimlerde kalan bireylerin yönetimi için daha spesifik bilgilerin gerekli olduğu düşünülmüştür. Çalışma alanını inceleyen dört bağımsız yöntemin bulguları, rüzgârın varlığı-yokluğu ve seviyesi ile ilişkili belirli mekânsal veya biyofiziksel özelliklerin olup olmadığını belirlemek için elde edilen verileri ortaya koymaktadır. Tüm projeler için farklı şekillerde veriler toplanmıştır, ancak ortak bağımsız faktörler değerlendirilmiş ve devrikler, her veri kümesi için ayakta kalanların yüzdesi olarak ifade edilmiştir. Projelerin ortak amacı, rüzgâr devriği riskini azaltmak amacıyla, tıraşlama kesimlerinde kaynakların düzenlenmesi için rehberlik etmektir.

Kuzey Vancouver Adası'ndaki akarsu yatakları boyunca rüzgâr devriği sürekli olarak görülmektedir. Bu durum izole haldeki tek ağaçlardan küçük ağaç gruplarına kadar değişik alanlarda meydana gelebilir. Rollerson ve McGourlick (2001) tarafından yapılan bir çalışmada, bu alanlardaki rüzgâr etki dağılımı ile çeşitli çevresel ve yönetimsel faktörler değerlendirilmiş, rüzgâr devrikleri ile arasındaki ilişki incelenmiştir. Nehir yataklarında rüzgâr devriğini etkileyen faktörler; uygulanan bakım, şerit genişliği, kök derinliği, kenar rüzgârların etkisi, ağaç türü ve yükseklikleri gibi faktörlerdir. Bunlarla birlikte oluşan devriklerin, diğer ekolojik değerler üzerine olumsuz etkileri olabileceği, endişeye yol açmaktadır. Bunun sonucunda rüzgâr devriklerinin nerelerde olabileceği önceden tahmin edilerek, nehir yatakları boyunca oluşabilecek rüzgâr devriklerini hafifletme yöntemleri geliştirilmek istenmiştir. Örnek alanlar daha çok nehir kıyılarından alınmış ve iki kış

fırtınası yaşamışlardır. Çalışma, Batı Orman Ürünleri Şirketi'nin Port McNeill, Holberg ve Jeune Landing işletme alanlarını kapsamaktadır. Nehir kıyı şeritleri farklı jeomorfolojik ve geometrik şekillerle tabakalar haline getirilmiştir. Bu katmanlar çeşitli kriterlere dayandırılarak oluşturulmuştur. Çalışma sonucunda iki taraflı nehir şeritlerinin tek taraflı olanlara göre daha dayanıksız olduğu görülmüştür. Devrik ağaç sayısı da yaklaşık iki katı kadardır. Kenar veya şerit durumu rüzgâr devriği miktarında önemli bir etkiye sahiptir. Rüzgâr devrikleri, köklenme derinliği, rüzgâra maruz kalma ve ağaç yüksekliği artışlarıyla birlikte artma eğilimi göstermektedir. Ayrıca bu çalışmada, sedir türünün hâkim olduğu alanların göknar türüne göre rüzgâra karşı daha dayanıklı olduğu tespit edilmiştir.

Fırtına devrikleri; iklim, biyofizik ve yönetim faktörlerinin karmaşık etkileşimlerinden kaynaklanmaktadır. Bu faktörler arasındaki ilişkiyi belgelemek, hasarın tahmini ve daha düşük riskli hasat planlarının tasarlanmasını mümkün kılar. Mitchell ve diğ. (2001) bir çalışmada Kuzey Vancouver Adası'ndaki Port McNeill Ağaç Çiftliği'ne ait orman örtüsü haritaları, ekosistem ve arazi haritaları, topoğrafik haritalar ve rüzgâr olaylarına ait hava fotoğrafları birleştirilmiştir. Rüzgâr enerjisi risk modellemesi için iki temel yaklaşım vardır. Bunlar mekanik ve ampirik yaklaşımlardır. Fırtına devriği risk tahmininin ampirik modelleri British Columbia'daki çeşitli arazi ve yönetim koşullarına oldukça uygundur. Ampirik yaklaşımda, regresyon modelleri, örnekleme birimlerindeki rüzgâr hasarının varlığını veya büyüklüğünü çevre ve yönetim özellikleriyle ilişkilendirir. Coğrafi Bilgi Sistemleri, topoğrafik ve yönetim değişkenlerinin hesaplanmasını ve model oluşturma için gerekli olan geniş veri kümelerinin derlenmesini sağlar. Bu çalışma sonunda elde edilen lojistik regresyon modelleri, test bölümlerinin % 71-76'sında hasarı doğru olarak tahmin etmiş ve test verilerinde ki-kare testleri kullanılarak yeterince başarılı olduğu saptanmıştır. Sonuç olarak, rüzgâr hasarının hava fotoğrafları ve stand seviyesi değişkenlerini kullanarak oluşturdukları regresyon modelleri, Port McNeill bölgesinde kesim blokları kenarlarına zarar verme ihtimalini yeterince iyi tahmin etmiştir.

Zeng ve diğ. (2007) tarafından yapılan bir çalışmada kıta ormanlarındaki kısa ve uzun vadeli rüzgâr hasar riskini değerlendirmek için CBS tabanlı karar destek sistemi oluşturulmuştur. Çalışmada ArcGIS 8.2 programına bir orman büyüme modeli olan "SIMA" ve mekanik rüzgâr hasar modeli olan "HWIND" entegre edilerek

yapılmıştır. Sistem ArcGIS 8.2 programına yerleştirilmiş bir araç çubuğu şeklindedir. Bu sistemde orman boşlukları, kenarları, orman büyüme dinamikleri ve yönetimi sonucu oluşan değişim zamansal olarak takip edilmektedir. Farklı kullanıcı arabirimleri SIMA için orman büyümesinin simülasyonlarını oluşturmuş, boşlukları ve kenarları izlemiş ve rüzgâr hasarı riskini sergilemiştir. Simülasyonun tamamını kontrol etmek ve sonuçlarını görebilmek için ise başlatma arabirimi yapılmıştır. HWIND ise rüzgâr yükü altındaki ağaçların mekanik davranışlarını tanımlamak için kullanılmıştır. Modelin girdileri, ağaç türü, ortalama ağaç yüksekliği, ortalama çap-boy oranı, kenar yoğunluğu ve boşluk boyutlarıdır. Bu karar destek sisteminde ormanların risk değerlendirmeleri sayısal veriler ve haritalar olarak gösterilebilmektedir. Karar destek sisteminin rüzgâr hasar riski dinamiklerini tanımlamada nasıl kullanılabileceğini göstermek için Orta Finlandiya'da bulunan bir ormanlık alan kullanılmıştır. Bu alanda çoğunlukla sarıçam ve Avrupa ladini hâkim ancak huş ağaçları ve geniş yapraklı ağaçlar da bulunmaktadır. Mevcut orman alanının gelişimi, 20 yıllık bir süre boyunca orman büyümesi ve rüzgâr hasarı riski açısından simüle edilmiştir. Sonuç olarak bu model rüzgâr hasarı risklerini öngörmeye yardımcı olabilir ancak mekânsal veriler sürekli güncel kalmalıdır. Çalışmada 10 m boy ve 9 cm çapa sahip direklik ağaçlar, yanıtıcı bir şekilde risk stoğu olarak sınıflandırılmıştır. Ayrıca kullanıcı hataları da sonuçları etkilemektedir.

Ilgaz Dağları'nda yapılmış olan bir çalışmada Ünal ve diğ., (2007), fırtına ve kar devriklerini silvikültürel ve entomolojik açıdan incelemişlerdir. Yapılan araştırmada zarar gören bireylerin derin kök yapamadığı, ibreli ağaçlardan oluştuğu ve meşcere yapısının tek ağaç türü yoğunluğunda olduğu belirtilmiştir. Çalışma alanı milli park içerisinde bulunduğu için, burada uygulanan koruma odaklı işletme sistemi sonucu zarar gören bireylerin alandan uzaklaştırılmamış olması ve daha önce yapılmış olan silvikültürel müdahaleler sonucu çeşitli zararlılar açısından uygun koşullar meydana gelmiştir. Alanda göknar ve sarıçam karışımı mevcutken, zamanla sarıçam aleyhinde yapılan kaçak kesimler sonucu göknar yoğunluğu artmış, meşcere saflaştığı için fırtına ve böcek zararlarına daha yatkın hale gelmiştir. Öte yandan, anakayanın yüksek olması sonucu ağaç kökleri derine inememiş ve sığ kökler meydana gelmiştir. Saf meşcerelerin oluşmasıyla birlikte sadece iğne yapraklardan oluşan örtü tabakası geç çürüdüğü için toprağın asitlik düzeyi artmış ve mineral bakımından fakirleşmiştir. Dolayısıyla alan fırtına devriği, kar kırması, mantar ve özellikle kabuk

böceği zararlarına karşı hassaslaşmıştır. Bu alanda meşcere karışımının arttırılması, zarar görmüş ancak asimilasyon organları bulunan bireylerin alanda bırakılması, devrik ağaçların çıkarılması veya kabuklarının soyularak alanda bırakılması öngörülmüşdür.

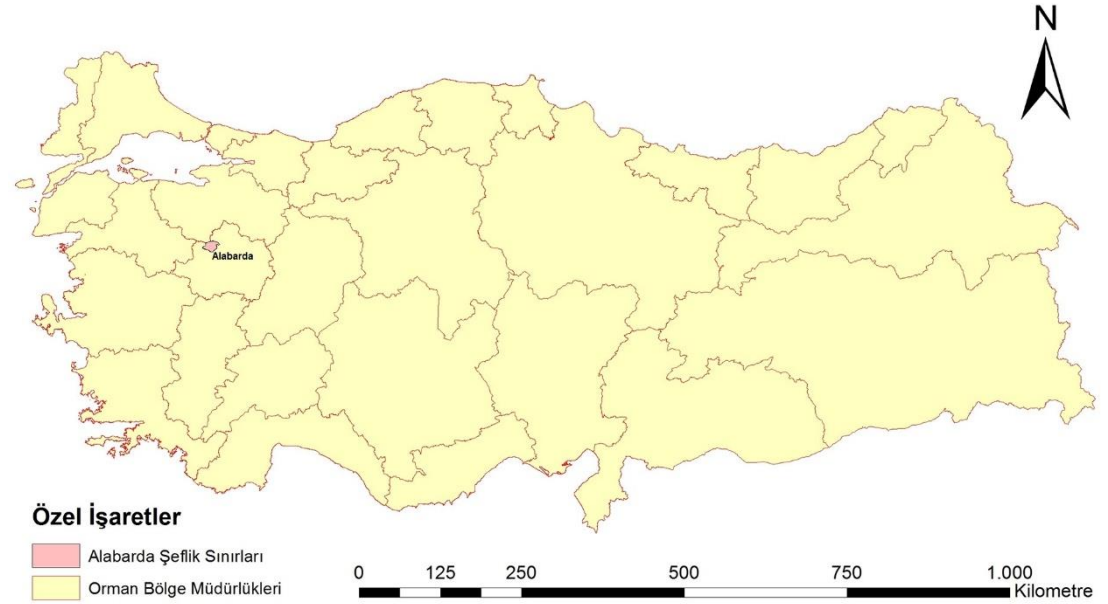


3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

3.1.1 Çalışma alanı

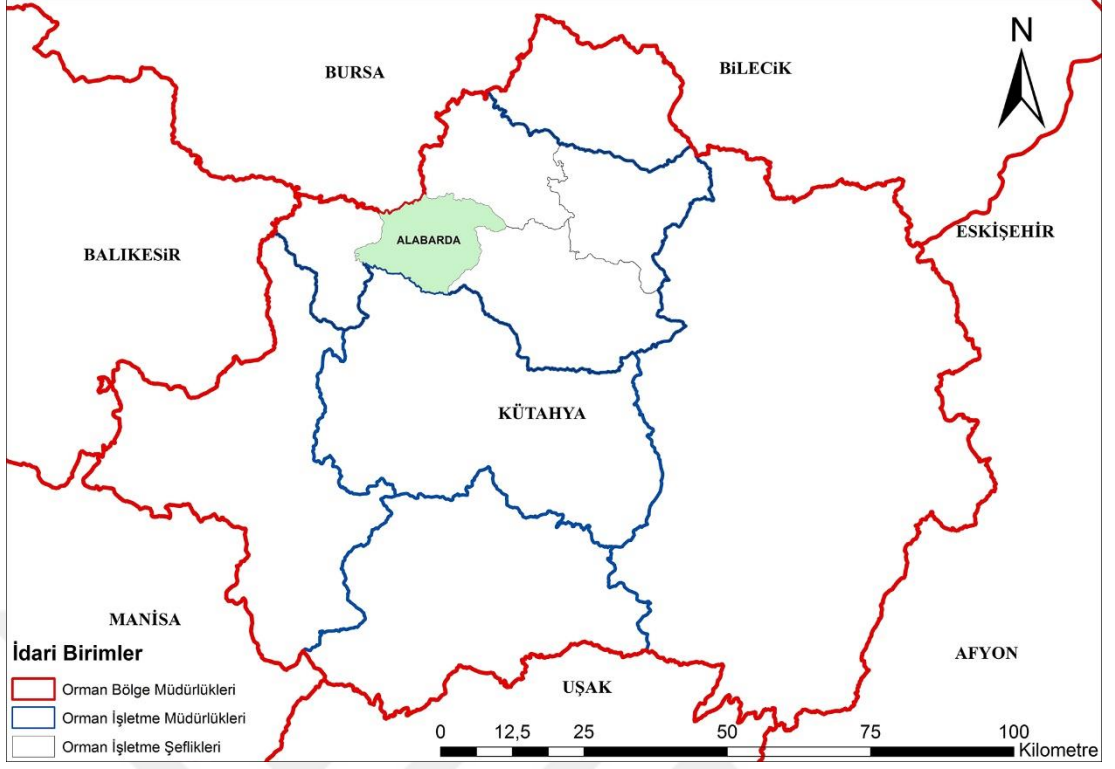
Çalışma, Kütahya Orman Bölge Müdürlüğü, Tavşanlı Orman İşletme Müdürlüğü, Alabarda Orman İşletme Şefliği sınırları içerisinde yapılmıştır (Şekil 3.1). Alana ait orman varlığı ve ağaç serveti Çizelge 3.1’de verilmiştir. Çalışma alanında hakim olan ağaç türleri; Karaçam, Kızılçam ve az miktarda Meşe ile diğer yapraklı türlerdir. Ortalama yükseklik ve eğim sırasıyla 900 m ve %25’dir. Çalışma alanının, Kütahya Orman Bölge Müdürlüğü sınırlarındaki konumu Şekil 3.2’de ve çalışma alanına ait harita ise Şekil 3.3’te verilmiştir.



Şekil 3.1 : Çalışma alanının konumu

Çizelge 3.1 : Alabarda Orman İşletme Şefliği’ne Ait Bilgiler

İşletme Şefliği	Koru		Baltalık		Ormanlık Alan (ha)	Ormansız Alan (ha)	Toplam Alan (ha)
	Normal (ha)	Bozuk (ha)	Normal (ha)	Bozuk (ha)			
Alabarda	16711,0	2204,0	-	483,0	19398,0	6348,5	25746,5



Şekil 3.2 : Çalışma alanının bölge müdürlüğündeki konumu



Şekil 3.3 : Çalışma alanı

Alabarda Şefliği'nin çalışma alanı olarak seçilmesinin nedeni; 2015 kış aylarında yoğun fırtına zararına maruz kalması ve bunun sonucu olarak çok yüksek miktarda olağanüstü hasılaya konu olmasıdır (Şekil 3.4). Çalışma kapsamında incelenen bölgede meydana gelmiş olan fırtına zararlarına ait veriler Alabarda Şefliği'nden alınan bilgiler doğrultusunda alana gidilerek incelenmiştir.

Meydana gelen fırtına devriklerine ilişkin olağanüstü kesimler işletme şefliği çalışanları tarafından yapılmış ve verileri bölme bazında kayıt altına alınmıştır. Şeflik sınırları içerisinde belirlenen olağan üstü hasıla (OÜH) bilgileri Çizelge 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.4 : Fırtına zararı görüntüleri (Alabarda OİŞ, 2015)

Çizelge 3.2 : Fırtına Zararına İlişkin Bilgiler

Meşcere Tipi	Alan (ha)	2015 OÜH (m ³)	2016 OÜH (m ³)	Toplam OÜH (m ³)
Çk	6717,7	94391,0	45170,0	139561,0
Çz	2977,5	5126,0	21975,0	27101,0
Çk-Çz	3141,1	12810,0	13786,0	26596,0
Çk-Çz-M	96,7	1901,0	0,0	1901,0
Çk-M	60,7	2049,0	0,0	2049,0
Toplam	12993,7	116277,0	80931,0	197208,0

3.1.2 Kullanılan yazılımlar

Yapılan çalışma kapsamında, her bir fırtına zararı faktörü için sayısal haritaların üretilmesi, sayısal haritaların sınıflandırılması ve komusal verilerin değerlendirilmesi amacıyla ArcGIS 10.4.1 yazılımı kullanılmıştır. ArcGIS 10.4.1 yazılımı sayesinde, sayısallaştırılan haritalar üzerinde çeşitli dönüşümler yapılmış ve bunlar için “ArcMAP” modülü ve bu modül altındaki çeşitli araçlar kullanılmıştır. CBS tabanlı matematiksel modelin (Bulanık Mantık) veri girişinde ve faktörlere ait sayısal veri katmanlarının sınıflandırılmasında “Microsoft Excel” yazılımından yararlanılmıştır.

3.2 Yöntem

3.2.1 CBS veritabanı

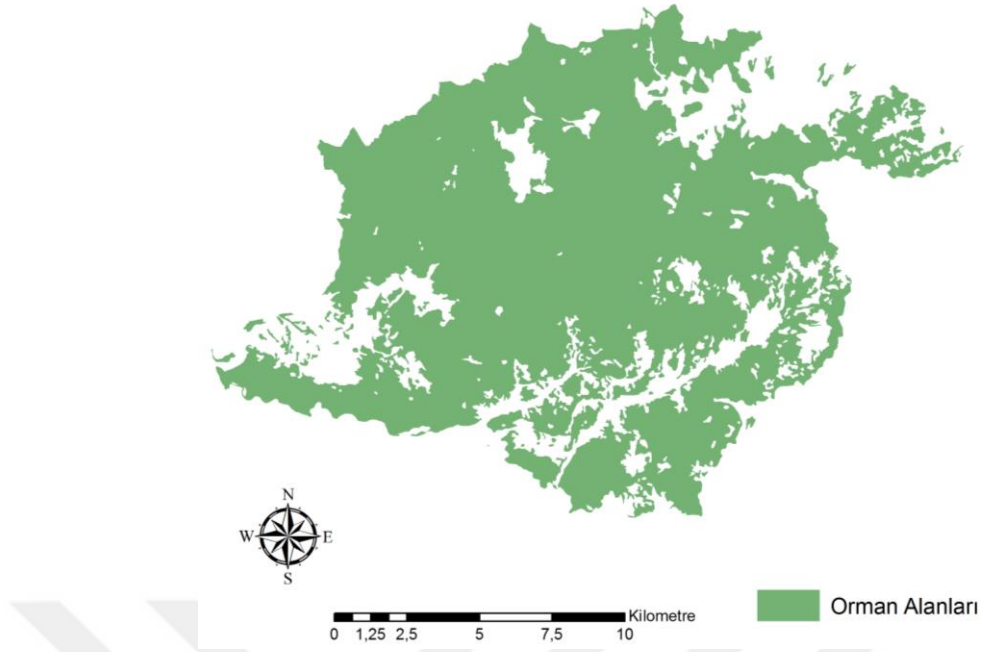
Fırtına zararı risk faktörleri olarak belirlenen değişkenlere ait sayısal veri katmanlarının üretilmesi için “ArcGIS 10.4.1” yazılımı ortamında CBS veritabanı oluşturulmuştur. Bu kapsamda, Tavşanlı Orman İşletme Müdürlüğü’nden temin edilen sayısal meşcere haritaları, topografik haritalar, Eskişehir Meteoroloji Bölge Müdürlüğü’nden alınmış iklim verileri ve Maden Tetkik Arama kurumuna ait web sitesinden indirilen jeoloji haritası altlık olarak kullanılmıştır. Veri katmanları, raster veri formatında ve 10 m x 10 m çözünürlüğünde kaydedilmiştir.

3.2.1.1 Meşcere haritası

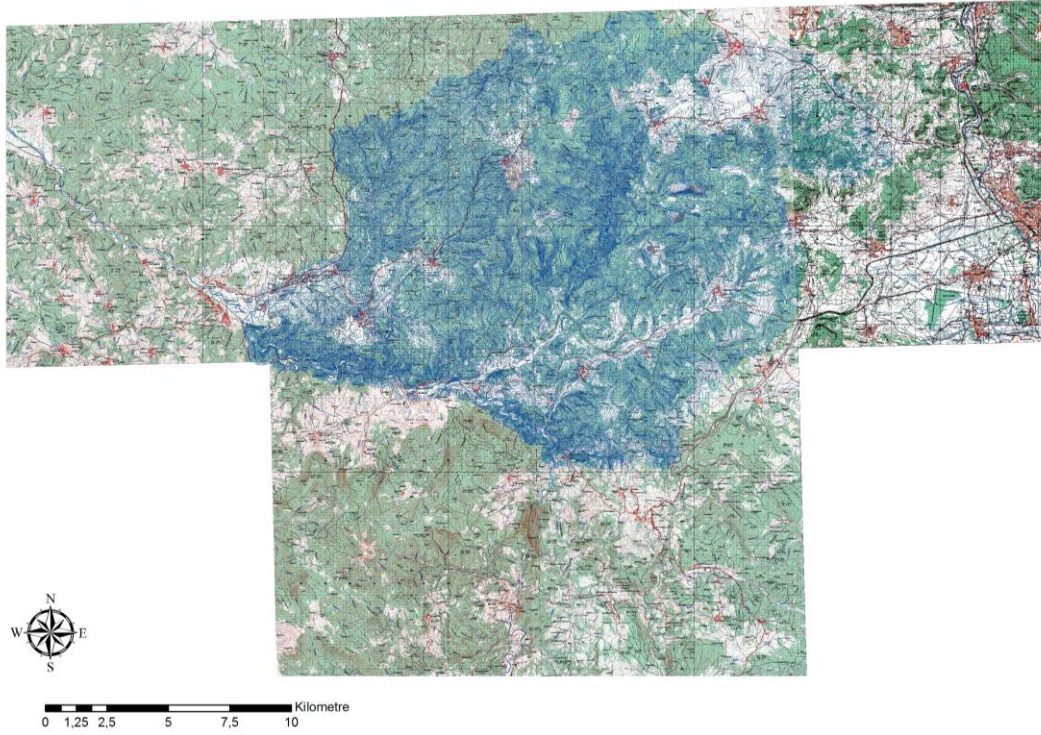
Alabarda Orman İşletme Şefliğine ait sayısal meşcere haritası kullanılarak, çalışmaya konu olan ormanlık alana ait ağaç türü, ağaç yaşı, kapalılık ve bonitet sınıfı gibi veri katmanları üretilmiştir. İlk olarak, çalışma alanı arazi kullanım tipi haritası geliştirilmiş ve “Export Data” aracı ile orman alanı içinde kalan bölgeleri temsil eden veri katmanı elde edilmiştir (Şekil 3.5). Orman alanları haritası daha sonra üretilecek tüm veri katmanlarının sınırını teşkil etmiştir.

3.2.1.2 Topografik haritalar

Çalışma alanına ait topografik haritalar kullanılarak, Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) ve daha sonra SYM tabanlı eğim ve bakı haritaları üretilmiştir. SYM üretiminde çalışma alanı sınırlarında kalan 1:25000 ölçekli paftalar (Kütahya I22d4, I22d3, I22c4, I22c3, J22a2, J22b1) kullanılarak sayısallaştırılan eşyükselti eğrileri haritasından yararlanılmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.5 : Çalışma alanı orman alanı haritası



Şekil 3.6 : Çalışma alanı paftaları ve eşyüksekti çizgileri

3.2.1.3 İklim verileri

Alabarda Orman İşletme Şefliği'ne ait iklim verileri Eskişehir Meteoroloji Bölge Müdürlüğü'nden elde edilen Tavşanlı verilerinden uyarlanmıştır. Alınan veriler içerisinde; sıcaklık, yağış, rüzgâr ve nem ile ilgili bilgiler mevcuttur (Çizelge 3.3).

Çizelge 3.3 : Tavşanlı ilçesine ait iklim verileri (1965-2016)

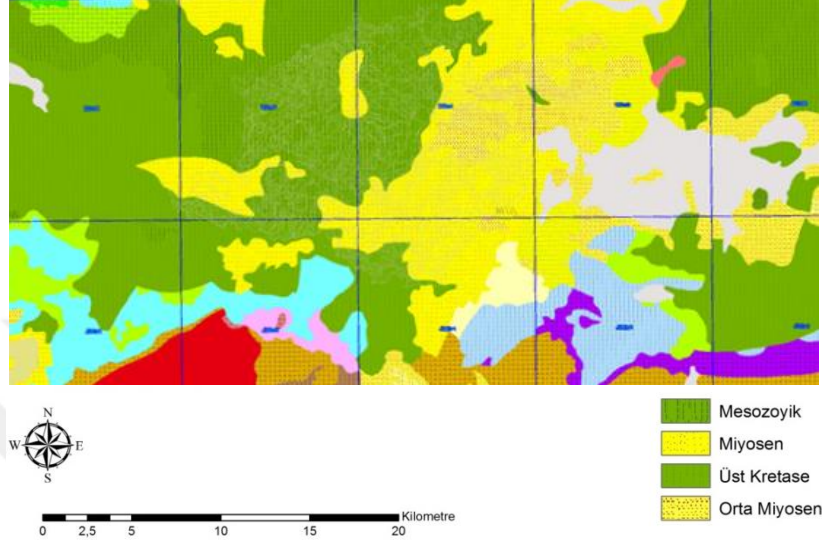
Parametre	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Ort. Sıcaklık (°C)	1,2	2,5	5,6	10,3	15,1	19,0	21,7	21,4	17,2	12,1	7,1	3,0
Ort. Nem (%)	76,9	73,1	68,8	65,6	64,0	60,6	57,3	58,5	61,8	67,5	71,3	77,1
Top. Yağış Ort. (mm)	46,7	37,8	41,2	43,1	41,4	26,2	18,7	15,6	19,8	35,9	43,2	54,4
Maks. Yağış (mm)	34,8	45,3	41,3	31,8	69,8	41,6	36,8	107,5	30,2	59,5	42,7	48,3
Ort. Rüzgâr Hızı (m/sn)	2,0	2,0	2,0	1,9	1,8	1,7	1,8	1,7	1,5	1,5	1,6	1,9
Maks. Rüzgâr Hızı (m/sn) ve Yönü	23,3 S	31,2 S	24,2 S	27,0 W	22,0 SE	18,4 NW	19,0 SW	29,6 S	19,8 W	22,0 N	21,2 SW	20,1 SW
Fırtınalı Günler Sayısı Ort.	0,2	0,3	0,3	0,4	0,2	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1
Kuvvetli Rüzgârlı Günler Sayısı Ort.	2,2	2,6	3,7	3,9	2,9	2,7	3,1	3,0	2,0	1,5	1,7	1,6
N Yönlü Rüzgâr Top.	1308	1369	1447	1736	1818	2596	3794	3472	2007	1853	1295	1351
N Yönünde Rüzgârın Ort. Hızı (m/sn)	1,7	1,8	2,0	2,0	2,2	2,3	2,7	2,7	2,2	1,8	1,6	1,6
NE Yönlü Rüzgâr Top.	2110	2306	1761	1526	1360	1239	1494	1653	1671	2131	1891	2082
NE Yönünde Rüzgârın Ort. Hızı (m/sn)	1,7	1,7	1,6	1,5	1,6	1,7	1,9	1,7	1,6	1,5	1,4	1,7
E Yönlü Rüzgâr Top.	8840	6326	5021	3821	3833	3525	3713	4344	4855	6184	6858	8587
E Yönünde Rüzgârın Ort. Hızı (m/sn)	2,1	2,0	1,7	1,5	1,5	1,3	1,5	1,5	1,4	1,5	1,6	2,1
SE Yönlü Rüzgâr Top.	2542	2357	2364	2146	2397	2314	2661	2734	2642	2504	2643	2470
SE Yönünde Rüzgârın Ort. Hızı (m/sn)	1,7	1,7	1,7	1,4	1,2	1,1	1,2	1,2	1,1	1,2	1,4	1,7
S Yönlü Rüzgâr Top.	1467	1313	1331	1398	1468	1246	1209	1082	940	1039	1180	1129
S Yönünde Rüzgârın Ort. Hızı (m/sn)	1,7	1,8	1,7	1,8	1,4	1,3	1,3	1,2	1,1	1,2	1,4	1,6
SW Yönlü Rüzgâr Top.	1811	2177	2679	2648	2190	1790	1427	1651	1783	2032	1766	1698
SW Yönünde Rüzgârın Ort. Hızı (m/sn)	1,6	2,0	2,2	2,2	1,9	1,6	1,5	1,5	1,6	1,6	1,6	1,7
W Yönlü Rüzgâr Top.	3485	3417	5070	5185	5460	4447	3965	3765	3828	4068	3370	3365
W Yönünde Rüzgârın Ort. Hızı (m/sn)	1,6	1,7	2,0	2,0	2,0	1,9	1,8	1,8	1,8	1,5	1,5	1,6
NW Yönlü Rüzgâr Top.	1112	1387	1930	2236	2774	2782	3173	3122	2446	1870	1434	1290
NW Yönünde Rüzgârın Ort. Hızı (m/sn)	1,6	1,7	2,1	2,0	2,2	2,3	2,3	2,2	2,0	1,6	1,4	1,5

Rüzgâr verileri için ana ve ara yönler istikametinde esen rüzgârların maksimum hızları dikkate alınmıştır. Yağış verileri (P) en yakın meteoroloji istasyonu ortalama yağış (P_0) ve SYM tabanlı yükseklik (h) yardımıyla bulunmuştur (Özyuvacı, 1999):

$$P = P_0 \pm 0,54 * h \quad (1)$$

3.2.1.4 Jeoloji haritası

Çalışma alanına ilişkin toprak haritasının geliştirilebilmesi için Maden Tetkik Arama kurumuna ait web sitesinden indirilen jeoloji haritasından yararlanılmıştır (Şekil 3.7). Bu veriler kullanılarak daha sonra toprak derinliği haritası üretilmiştir.



Şekil 3.7 : Jeoloji haritası

3.2.2 Risk faktörlerinin sınıflandırılması

Çalışma kapsamında değerlendirilen fırtına zararı risk faktörleri kullanılarak Alabarda Orman İşletme Şefliğindeki ormanlık alanın fırtına zararı risk haritası üretilmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında, ağaç türü sekiz, ağaç yaşı altı, kapalılık dört, bonitet altı, yükseklik yedi, eğim 10, bakı 10, rüzgâr 10, yağış dokuz ve toprak derinliği dört sınıfa ayrılarak değerlendirilmiştir.

3.2.2.1 Ağaç türü

Alabarda Orman İşletme Şefliği meşcere tipi haritası dikkate alınarak ağaç türü (AT) faktörü sekiz sınıfa ayrılmıştır. Sınıflandırma fırtına zararına karşı en yüksek dirence sahip yapraklı türlerden başlayarak daha düşük dirence sahip tür karışımlarına ve türlere doğru devam etmiştir (Çizelge 3.4).

3.2.2.2 Ağaç yaşı

Çalışma alanı ormanlık alanları meşcere tipi haritasındaki bilgilerden yararlanılarak altı ağaç yaşı sınıfına (AY) ayrılmıştır. Periyot uzunluğu olarak da anılan yaş sınıfı aralıkları 10 yıl olarak alınmıştır (Çizelge 3.5).

Çizelge 3.4 : Ağaç türü sınıfları

Ağaç türü sınıfları	Ağaç Türleri/Karışımları
1	Meşe
2	Diğer Yapraklılar
3	Kayın
4	Kızılçam
5	Kızılçam+Karaçam
6	Karaçam+Kızılçam+Meşe
7	Karaçam+Kızılçam
8	Karaçam

Çizelge 3.5 : Ağaç yaşı sınıfları

Ağaç yaşı sınıfları	Periyot (yıl)
1	1-10
2	11-20
3	21-30
4	31-40
5	41-50
6	>50

3.2.2.3 Kapalılık

Meşcere tipi haritasına göre şeflik sınırlarındaki orman alanları dört kapalılık sınıfına (K) ayrılmıştır (boşluklu kapalı, gevşek kapalı, orta kapalı, tam kapalı) (Çizelge 3.6). Fırtına zararı riski meşcere tepe kapalılığına bağlı olarak artış göstermektedir.

Çizelge 3.6 : Kapalılık sınıfları

Kapalılık sınıfları	Tepe kapalılığı (%)
1	0-10
2	11-40
3	41-70
4	>70

3.2.2.4 Bonitet sınıfı

Çalışma alanı ormanlık alanları meşcere tipi haritasındaki bilgilerden yararlanılarak altı bonitet sınıfına (Bo) ayrılmıştır (Çizelge 3.7). Bonitet sınıfı yükseldikçe fırtına zararı riski de yükselmektedir.

Çizelge 3.7 : Bonitet sınıfları

Bonitet sınıfları	Bonitet Durumu
1	Bozuk
2	I
3	II
4	III
5	IV
6	V

3.2.2.5 Yükseklik

Çalışma alanına ait eşyüksekti eğrilerinde yararlanılarak SYM geliştirilmiştir. Daha sonra, yükseklik değerleri 200 m aralıklı toplam beş yükseklik sınıfına (Y) ayrılmıştır (Çizelge 3.8). Fırtına zararı riski 1000 m'ye kadar artış gösterirken, daha yüksek rakımlarda bu risk giderek azalmaktadır (Schmoeckel ve Kottmeler, 2008).

Çizelge 3.8 : Yükseklik sınıfları

Yükseklik sınıfları	Yükseklik aralıkları (m)
1	0-200
2	200-400
3	400-600
4	600-800
5	800-1000
6	1000-1200
7	1200-1400

3.2.2.6 Eğim

SYM kullanılarak arazi eğimi katmanı geliştirilmiş ve eğim değerleri %10 aralıklı 10 eğim sınıfına (E) ayrılmıştır (Çizelge 3.9). Literatüre göre fırtına riski %30 eğime kadar artarken, daha dik alanlarda zarar riski düşmektedir (Schütz ve diğ, 2006).

Çizelge 3.9 : Eğim sınıfları

Eğim sınıfları	Eğim aralıkları (%)
1	0-10
2	10-20
3	20-30
4	30-40
5	40-50
6	50-60
7	60-70
8	70-80
9	80-90
10	>90

3.2.2.7 Bakı

Çalışma alanına ait bakı haritası SYM kullanılarak geliştirilmiştir. Fırtına zararları konusunda yapılan çalışmalar dikkate alınarak bakı (B) 10 farklı sınıfa ayrılmıştır (Çizelge 3.10).

Çizelge 3.10 : Bakı sınıfları

Bakı sınıfları	Bakı (Derece)	Bakı (Yönler)
1	< 0	Düz
2	0-22,5	K
3	22,5-67,5	KD
4	67,5-112,5	D
5	112,5-157,5	GD
6	157,5-202,5	D
7	202,5-247,5	GB
8	247,5-292,5	B
9	292,5-337,5	KB
10	337,5-360	K

3.2.2.8 Rüzgâr

Çalışma alanına ait rüzgâr verileri Eskişehir Meteoroloji Bölge Müdürlüğü'nden elde edilen Tavşanlı verilerinden uyarlanmıştır. Bu verilerden özellikle maksimum rüzgâr hızlarının yönü dikkate alınarak bakı haritası tabanlı bir rüzgâr veri katmanı geliştirilmiştir. Daha sonra, aynı bakıda olduğu gibi rüzgâr (R) 10 farklı sınıfa ayrılmıştır (Çizelge 3.11).

Çizelge 3.11 : Rüzgâr sınıfları

Rüzgâr sınıfları	Bakı (Derece)	Bakı (Yönler)
1	< 0	Düz
2	0-22,5	K
3	22,5-67,5	KD
4	67,5-112,5	D
5	112,5-157,5	GD
6	157,5-202,5	D
7	202,5-247,5	GB
8	247,5-292,5	B
9	292,5-337,5	KB
10	337,5-360	K

3.2.2.9 Yağış

Yağış sınıfları (Ya) verisi yine Eskişehir Meteoroloji Bölge Müdürlüğü'nden elde edilen Tavşanlı verilerinden yararlanılarak geliştirilmiştir (Çizelge 3.12). Fırtına zararı riski yağış miktarına bağlı olarak artış göstermektedir. Ortalama yağış miktarı arazi yüksekliği değerleri kullanılarak tahmin edilebilmektedir.

3.2.2.10 Toprak derinliği

Maden Tetkik Arama kurumuna ait web sitesinden indirilen jeoloji haritasından yararlanılarak tahmini toprak derinliği veri katmanı üretilmiştir. Buna göre çalışma alanı dört toprak derinliği sınıfına (T) ayrılmıştır (Çizelge 3.13). Toprak derinliği azaldıkça fırtına zararı riski artış göstermektedir.

Çizelge 3.12 : Yağış sınıfları

Yağış sınıfları	Yağış aralığı (mm)
1	< 300
2	300-350
3	350-400
4	400-450
5	450-500
6	500-550
7	550-600
8	600-650
9	> 650

Çizelge 3.13 : Toprak derinliği sınıfları

Toprak derinliği sınıfları	Toprak derinliği
1	Derin
2	Orta
3	Düşük
4	Sığ

3.2.3 Risk faktörlerinin derecelendirilmesi ve ağırlıklandırılması

Fırtına risk faktörleri kendi içerisinde sınıflandırıldıktan sonra, her bir sınıf için literatürden elde edilen bilgiler doğrultusunda 1'den 10'a kadar fırtına zararı risk derecesi verilmiştir. Bu kapsamda, 1 en iyi değeri (en düşük risk) ifade ederken, 10 en kötü değeri (en yüksek risk) ifade etmektedir. Risk faktörlerine ait her bir sınıfa araştırmacının kısıtlanmayacağı şekilde esneklik sağlamak amacıyla maksimum ve minimum derecelendirmeler yapılmıştır. Matematiksel olarak ifade edilemeyen ancak belirgin sınıflarda sözlü olarak belirlenmiş değerlerin de tespit edilmesi ve CBS tabanlı modele (Bulanık Mantık) katılımının sağlanması için amaç fonksiyonunda karar değişkeni olarak atanacak risk faktörleri için dört adet risk derecesi (RD) tanımlanmıştır (Çizelge 3.14). Daha sonra, maksimum ve minimum risk derecelerinin aritmetik ortalaması alınarak sınıflara ait ortalama risk derecesi değerleri hesaplanmıştır. Risk derecelerinin ortalamaları, değerlendirilen risk faktörlerinin fonksiyonlarının geliştirilmesi amacıyla ağırlıklandırılmıştır (3.15).

Çizelge 3.14 : Amaç fonksiyonuna ait değişkenlerin derecelendirme tablosu

Derece	Fırtına Riski	Açıklama
1-3	Çok Az Riskli	Fırtına zararı riskinin çok az olduğu konum
4-6	Az Riskli	Fırtına zararı riskinin az olduğu konum
7-8	Riskli	Fırtına zararı riskinin olduğu konum
9-10	Çok Riskli	Fırtına zararı riskinin çok daha fazla olduğu konum

Çizelge 3.15 : Değişkenlerin RD'nin belirlenmesi için kullanılan örnek veri tablosu

Sınıflar	Kod	Risk Derecesi (RD)		RD (Ortalama)	RD (%)
		Maksimum	Minimum		
Ortalama					

Fırtına risk faktörlerinin her bir sınıfına ait ağırlıklandırılmış değerleri, regresyon eşitliği tahmin modeli ile “MS Excel” ortamında hesaplanmıştır. R^2 değeri en yüksek çıkan aşağıdaki eşitlik, amaç fonksiyonlarını ortaya koymak amacıyla kullanılmıştır (Eastman ve diğ, 1995).

$$y = 10,63x - (n - 1) \quad (2)$$

$$R^2 = 1$$

Fırtına zararı faktörlerine (n=10) ait her bir sınıf için belirlenen ortalama değer (r) aşağıdaki model yardımıyla yüzdelik (%) ifadelere dönüştürülmüştür.

$$RD = 10,63r - 9 \quad (3)$$

CBS veritabanında her bir fırtına risk faktörü için üretilen raster veri katmanları, MS Excel ortamında hesaplanan RD'lere ait yüzdelik ağırlık değerleri dikkate alınarak yeniden sınıflandırılmıştır (Çizelge 3.16). Bu işlem ArcGIS 10.4.1 yazılımının Konumsal Analiz (Spatial Analysis) eklentisi altında bulunan sınıflandırma (Reclass by ASCII File) yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3.16 : Fırtına zararı faktörlerine ait her bir sınıf için risk derecesi aralıkları

RD	RD(%)	Fırtına Riski
1	1,63	
2	12,26	Çok Az Riskli
3	22,89	
4	33,52	
5	44,15	Az Riskli
6	54,78	
7	65,41	
8	76,04	Riskli
9	86,67	
10	97,30	Çok Riskli

3.2.4 CBS tabanlı fırtına zararı risk modelinin geliştirilmesi

Birçok farklı faktörün bir arada değerlendirilmesini gerektiren kompleks problemlerin gerçeğe en yakın çözümünde CBS tabanlı matematiksel modeller kullanılmaktadır. Özellikle ileri seviye uygunluk modellerinin oluşturulmasında CBS ile entegre olabilen Bulanık Mantık gibi gelişmiş matematiksel yöntemler etkili sonuçlar vermektedir (Chang, 2004). Bu çalışmada, fırtına zararı risk faktörlerinin maksimum ve minimum değerleri arasındaki belirsizliklerin ortadan kaldırılması ve doğruya en yakın risk tahmininin yapılabilmesi amacıyla Bulanık Mantık yöntemi kullanılmıştır.

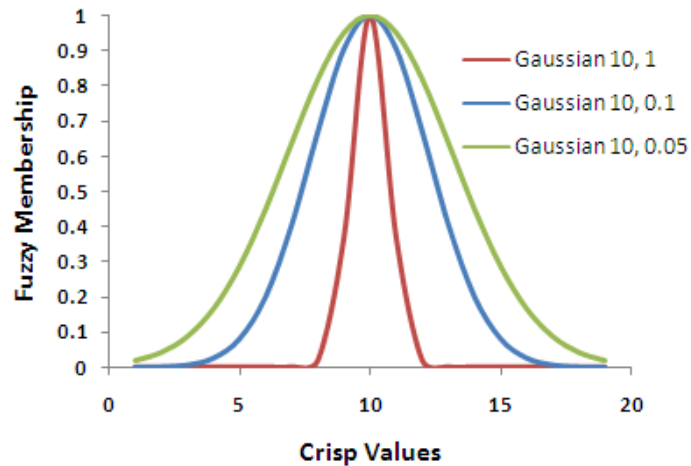
3.2.4.1 Bulanık mantık üyelikleri

Bulanık mantık yaklaşımında, ana bileşen bulanık kümeler olup, üyelik fonksiyonları ile ayırt edilmektedirler. Bulanık mantık üyeliklerinin oluşturulması sayesinde, tanımlı sınıflandırmalara ait verilerin kesin olarak ayırdığı eşik değerlerin öncesinde ve sonrasında gösterdiği hassasiyet artırılarak etkin modeller oluşturulabilmektedir (Sasilka ve diğ, 2004). Üyelikleri 0 ile 1 arasında sayı çiftleri olarak değerlendiren bu yöntem, “evet, hayır, var, yok, doğru, yanlış” gibi kesin kümeleme mantığının yerine, “en doğru, en doğruya yakın, doğru, doğruya yakın, yanlışla yakın, yanlış” gibi sürekli bir fonksiyonun serilerini ifade edebilmektedir (Brooks ve diğ, 2010). Bulanık mantık üyelik fonksiyonları hedef uygulama alanına göre; Üçgen ve Yamuklar (linear üyelik fonksiyonu), Gaussian, Near, Cauchy, S ve Z şeklinde

sigmoid (Small-Large) ve Tek darbe gibi grafiksel fonksiyonlara ayrılmıştır (Derinpınar ve Aydınöğlu, 2015).

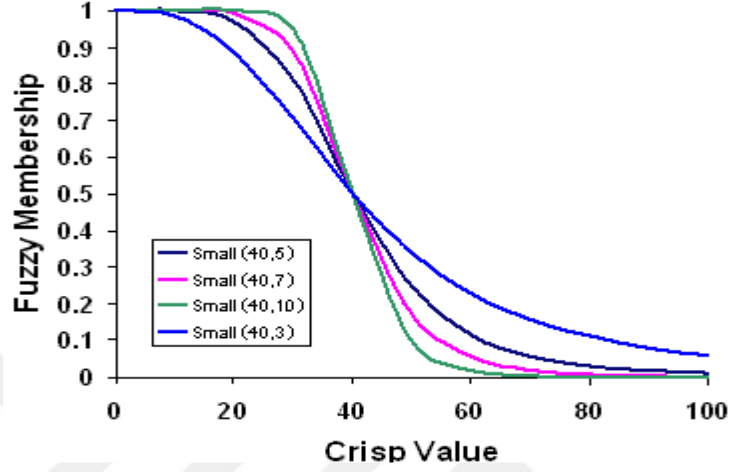
Karar değişkenlerinin CBS ortamında 0 ile 1 arasında bulanık mantık içerisinde üyeliklerinin değerlendirilmesinde, ArcGIS ve ILWIS gibi CBS yazılımları kullanılabilir (Yanar, 2003; ESRI, 2017; ILWIS, 2013). Bu çalışmada, fırtına zararı risk faktörlerine ait verileri belirtilen bir kümeye üye olma olasılığına bağlı olarak 0'dan 1'e kadar bir ölçekte yeniden sınıflandırmak veya dönüştürmek amacıyla, "ArcGIS 10.4.1" yazılımının "Spatial Analyst" eklentisinde bulunan araçlardan Bulanık Üyelik (Fuzzy Membership) kullanılmıştır. Belirtilen kümenin kesinlikle üyesi olmayan değerlere "0", kesinlikle belirtilen kümeye üye olan değerlere ise "1" atanmıştır. Ayrıca 0 ile 1 arasındaki olasılıkların tümü, olası üyeliliğin belirli bir seviyesine atanmaktadır. Fırtına zararı risk faktörleri için en uygun üyelikler "ArcGIS 10.4.1" ortamında kullanılan yedi bulanık üyelik tipinden seçilmiştir: "Gaussian", "Small", "Large", "Near", "MSSmall", "MSLarge", Linear (Esri, 2017).

a) Gaussian üyelik tipi: Bu üyelik tipinde, üyelik fonksiyonu orijinal değerleri normal dağılıma dönüştürmektedir. Normal dağılımın orta noktası veri için ideal noktayı temsil eder ve değeri 1'dir (şekil 3.8). Orta noktadan her iki tarafa doğru uzaklaştıkça üyelik değerleri azalır ve 0'a düşer. Dağılımda varsayılan basamak değeri 0,1'dir ve 0,01-1 arasında değişir.



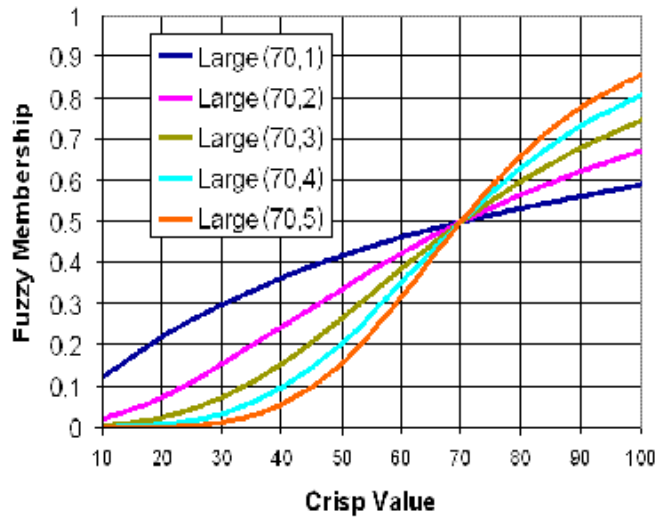
şekil 3.8 : Gaussian üyelik dağılımı (Esri, 2017)

b) Small üyelik tipi: Bulanık kümede düşük değere sahip üyeliklerin daha fazla olması durumunda “Small” üyelik dönüşüm fonksiyonu kullanılmaktadır. Orta nokta üyelik değeri 0,5’dir. Orta nokta değerinden daha yüksek değere sahip üyelik bulunma ihtimali daha az, daha düşük değere sahip üyelik bulunma ihtimali ise daha fazladır (Şekil 3.9). Dağılımda varsayılan basamak değeri 5’dir.



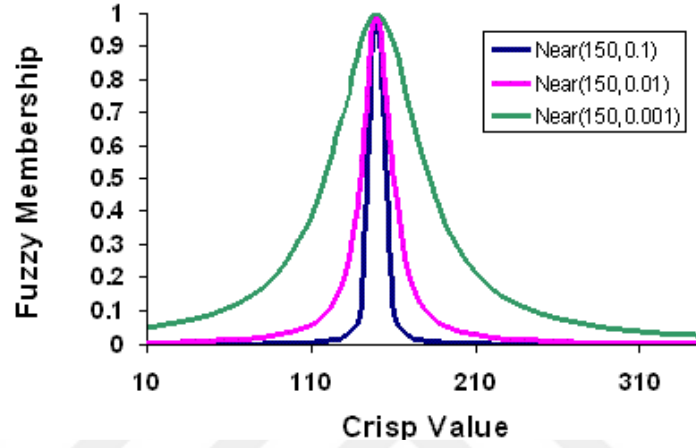
Şekil 3.9 : Small üyelik dağılımı (Esri, 2017)

c) Large üyelik tipi: Bulanık kümede yüksek değere sahip üyeliklerin daha fazla olması durumunda “Large” üyelik dönüşüm fonksiyonu kullanılmaktadır. Orta nokta üyelik değeri 0,5’dir. Orta nokta değerinden daha düşük değere sahip üyelik bulunma ihtimali daha az, daha yüksek değere sahip üyelik bulunma ihtimali ise daha fazladır (Şekil 3.10). Dağılımda varsayılan basamak değeri 5’dir.



Şekil 3.10 : Large üyelik dağılımı (Esri, 2017)

d) Near üyelik tipi: Bu üyelik tipi üyeliklerin belirli bir değere yakın olması durumunda çok daha kullanışlıdır. Dağılımın orta noktası veri için ideal noktayı temsil eder ve değeri 1'dir (Şekil 3.11). Orta noktadan her iki tarafa doğru uzaklaştıkça üyelik değerleri azalır ve 0'a düşer (Şekil 3.11). Dağılımda varsayılan basamak değeri 0,1'dir ve 0,001-0,1 arasında değişir. "Gaussian" üyelik tipi ile benzerlik göstermekle birlikte, üyelik değeri düşme oranı daha hızlıdır.

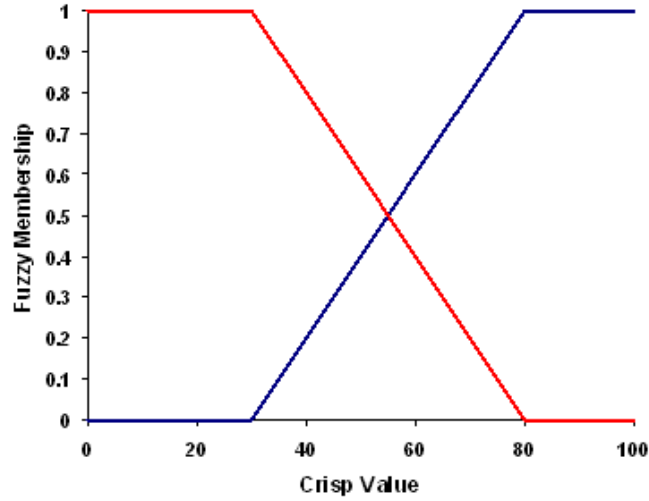


Şekil 3.11 : Near üyelik dağılımı (Esri, 2017)

e) MSSmall üyelik tipi: Küçük değerlerin daha fazla üyeliği olan verisetinde, üyelik fonksiyonu ortalamaya ve standart sapmaya dayanarak hesaplanmaktadır. Sonuçlar, ortalama ve standart sapmanın çarpanları nasıl tanımlandığına bağlı olarak "Small" üyeliğine benzerlik göstermektedir. Bulanık kümede çok düşük değere sahip üyeliklerin daha fazla olması durumunda "MSSmall" üyelik tipinin kullanılması daha uygun olmaktadır. Dağılımda varsayılan basamak değeri 1'dir.

f) MSLarge üyelik tipi: Bu üyelik tipi "Large" üyelik tipine benzerdir, ancak üyelik fonksiyonu belirtilen ortalama ve standart sapmaya dayanarak belirlenir. Bulanık kümede yüksek değere sahip üyeliklerin daha fazla olması durumunda "MSLarge" üyelik tipinin kullanılması daha uygundur. Dağılım basamak değeri 1'dir.

g) Linear üyelik tipi: "Linear" üyelik tipinde, kullanıcı tanımlı minimum ve maksimum değerler arasında doğrusal bir fonksiyon tanımlıdır. Minimumun altında kalan en düşük üyelik değeri 0 (kesinlikle üye değil), en büyük üyelik değeri ise 1 (kesinlikle üye)'dir. Şekil 3.12'de yer alan mavi hat pozitif eğimli doğrusal dönüşümü temsil etmekte olup, minimum ve maksimum değerler sırasıyla 30 ve 80'dir. Değeri 30'un altında kalanlar 1, yüksek olanlar 0 değerini alır (Şekil 3.12).



Şekil 3.12 : Linear üyelik dağılımı (Esri, 2017)

3.2.4.2 Bulanık üyeliklerin durulaştırılması

Durulaştırma (defuzzification) esas itibariyle faktörlerin bulanık mantıktaki üyeliklerinin bindirilmesi (overlay) ve böylece çözüm alanından tek değer elde etme işlemidir. Bulanık ifadelerin bulunduğu değişkenlerin bulanık mantıkla değerlendirilmesine olanak sağlayan kurallar ilk defa Mamdani (1976) tarafından geliştirilmiştir. Durulaştırma işleminin gerçekleştirilmesinde günümüzde çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu çalışmada, “ArcGIS 10.4.1” yazılımının “Spatial Analyst” eklentisi altında bulunan araçlardan Bulanık Bindirme (Fuzzy Overlay) kullanılarak, fırtına zararı risk haritasının üretilmesi için beş durulaştırma tipi değerlendirilmiştir: “AND”, “OR”, “PRODUCT”, “SUM”, ve “GAMMA” (Esri, 2017).

a) AND durulaştırma tipi: Bu yöntem her bir hücre için minimum değere sahip veri setini dikkate almaktadır. Bütün faktörlerin bulanık mantıktaki üyelikleri için en düşük ortak değer belirlenmesinde uygun bir yöntemdir. “AND” tipi bindirme ile en kötü durum senaryosunu temsil eden değer yüzeyi oluşturulabilmektedir (Derinpınar ve Aydınöglü, 2015). “AND” durulaştırma tipinde aşağıdaki fonksiyon kullanılmaktadır (Esri, 2017):

$$fuzzyAndValue = \min(arg1, \dots, argn) \quad (4)$$

b) OR durulaştırma tipi: Bu yöntem her bir hücre için maksimum değere sahip veri setini dikkate almaktadır. Herhangi bir faktör için en yüksek üyelik değerinin

belirlenmesinde uygun bir yöntemdir. “OR” durulaştırma tipinde aşağıdaki fonksiyon kullanılmaktadır (Esri, 2017):

$$fuzzyOrValue = \max(arg1, \dots, argn) \quad (5)$$

c) PRODUCT durulaştırma tipi: Bu yöntemde, her bir hücre için bütün faktörlerin bulanık üyelik değerleri çarpılmaktadır. Nihai durulaştırılmış değerler çok küçük değerler alacağından, faktörler arasındaki korelasyonun ortaya konulması güçleşmektedir. “PRODUCT” durulaştırma tipinde aşağıdaki fonksiyon kullanılmaktadır (Esri, 2017):

$$fuzzyProductValue = \text{product}(arg1, \dots, argn) \quad (6)$$

d) SUM durulaştırma tipi: Bu yöntemde, her bir hücre için bütün faktörlerin bulanık üyelik değerleri toplanmaktadır. Sonuçta elde edilen toplam değerler artan doğrusal kombine bir fonksiyondur. “SUM” durulaştırma yöntemi “Weighted Overlay” ve “Weighted Sum” yöntemlerindeki gibi cebirsel toplama dayalı bir yaklaşım değildir. “SUM” durulaştırma tipinde aşağıdaki fonksiyon kullanılmaktadır (Esri, 2017):

$$fuzzySumValue = 1 - \text{product}(1 - arg1, \dots, 1 - argn) \quad (7)$$

e) GAMMA durulaştırma tipi: “GAMMA” durulaştırma tipi “PRODUCT” ve “SUM” durulaştırma yöntemlerinin cebirsel bir ürünüdür. Genelleştirilmiş fonksiyon aşağıdaki gibidir (Esri, 2017):

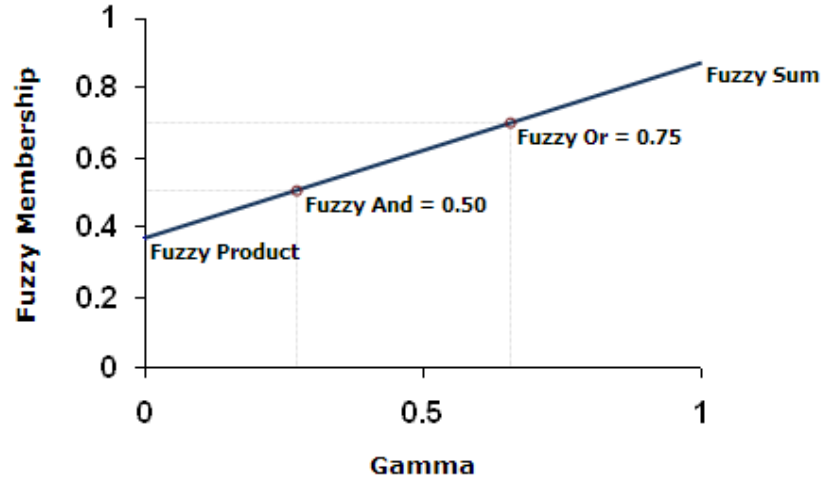
$$\mu(x) = (FuzzySum)^\gamma * (FuzzyProduct)^{1-\gamma} \quad (8)$$

“GAMMA” durulaştırma tipinde aşağıdaki spesifik fonksiyon kullanılmaktadır:

$$fuzzyGammaValue = \text{pow}(1 - ((1 - arg1) * (1 - arg2) * \dots), Gamma) * \quad (9)$$

$$\text{pow}(arg1 * arg2 * \dots, 1 - Gamma)$$

Durulaştırma sonucu, gamma 1 değerini alırsa “SUM” tipi ile, 0 değerini alırsa “PRODUCT” tipi ile aynı olmaktadır. “GAMMA” bu iki tip durulaştırmanın dezavantajlarını ortadan kaldırmak amaçlı tercih edilmektedir. Şekil 3.13 “GAMMA” ile diğer durulaştırma yöntemleri arasındaki ilişkiyi göstermektedir.



Şekil 3.13 : “GAMMA” ile diğer durulaştırma tipleri arasındaki ilişki (Esri, 2017)

3.2.5 Fırtına zararı risk haritasının doğruluğunun incelenmesi

Fırtına zararı risk haritasının doğruluğunun değerlendirilebilmesi için İşletme Müdürlüğü kayıtlarındaki 2015 yılında fırtına zararı tespit edilen bölmeler ve bu bölmelerdeki olağanüstü hasıla miktarları kullanılmıştır. Öncelikle her bir bölmedeki olağanüstü hasıla (OÜH) miktarı bölmenin alanına bölünerek her bir bölme için birim alandaki fırtına zararı (FZ) tahmin edilmiştir:

$$FZ_{bölme} (m^3/ha) = OÜH_{bölme} (m^3) / Alan_{bölme}(ha) \quad (10)$$

Meşcere tipi veri katmanına ait öznitelik tablosunda yeni bir alan oluşturularak, her bölme için birim alandaki fırtına zararı değerleri girilmiştir. Daha sonra, birim alandaki fırtına zararı sınıflandırılarak, fırtına zararı haritası üretilmiştir. Sınıflandırmada kullanılan değerler ve tahmini aralıklar Çizelge 3.17’de gösterilmiştir. Son olarak, mevcut OÜH verilerine dayalı bu fırtına zararı haritası ile CBS tabanlı matematiksel model kullanılarak geliştirilen fırtına zararı risk haritası karşılaştırılmıştır.

Çizelge 3.17: Birim alandaki OÜH’ya dayalı fırtına zararı sınıflandırması

Fırtına Zararı Sınıfları	OÜH (m ³ /ha)
Çok Düşük	< 5
Düşük	5-15
Yüksek	15-55
Çok Yüksek	>55

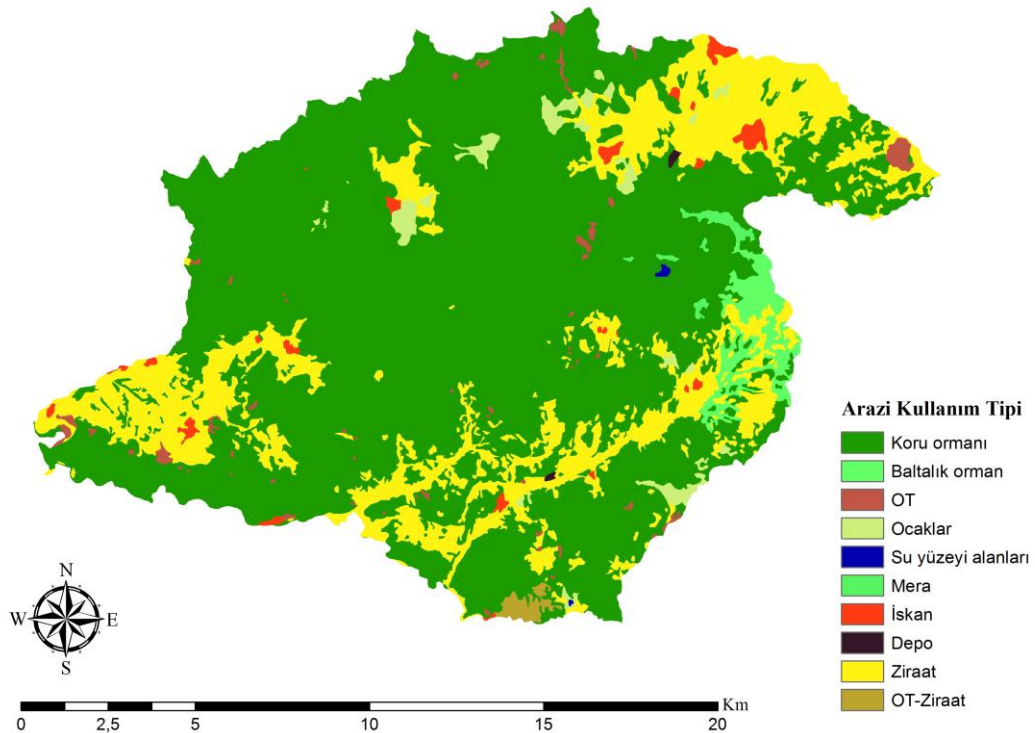
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Bulgular

4.1.1 CBS veritabanı bulguları

4.1.1.1 Meşcere özellikleri

Alabarda Orman İşletme Şefliğine ait sayısal meşcere haritası yardımıyla çalışma alanının arazi kullanım tipi haritası geliştirilmiştir (Şekil 4.1). Sonuçlar çalışma alanının büyük bir bölümünün (%73,46) kuru ormanıyla kaplı olduğunu ve bunu tarım alanlarının (%20,42) takip ettiğini göstermiştir (Çizelge 4.1). Kuru ormanları ve baltalık ormanlar “Reclassify” aracıyla birleştirilerek sadece orman alanlarını temsil eden veri katmanı üretilmiştir. Buna göre, çalışma alanındaki orman alanı 19434,58 ha olarak tespit edilmiştir. Daha sonra, çalışmaya konu olan ormanlık alana ait ağaç türü, ağaç yaşı, kapalılık ve bonitet sınıfı veri katmanları üretilmiştir.

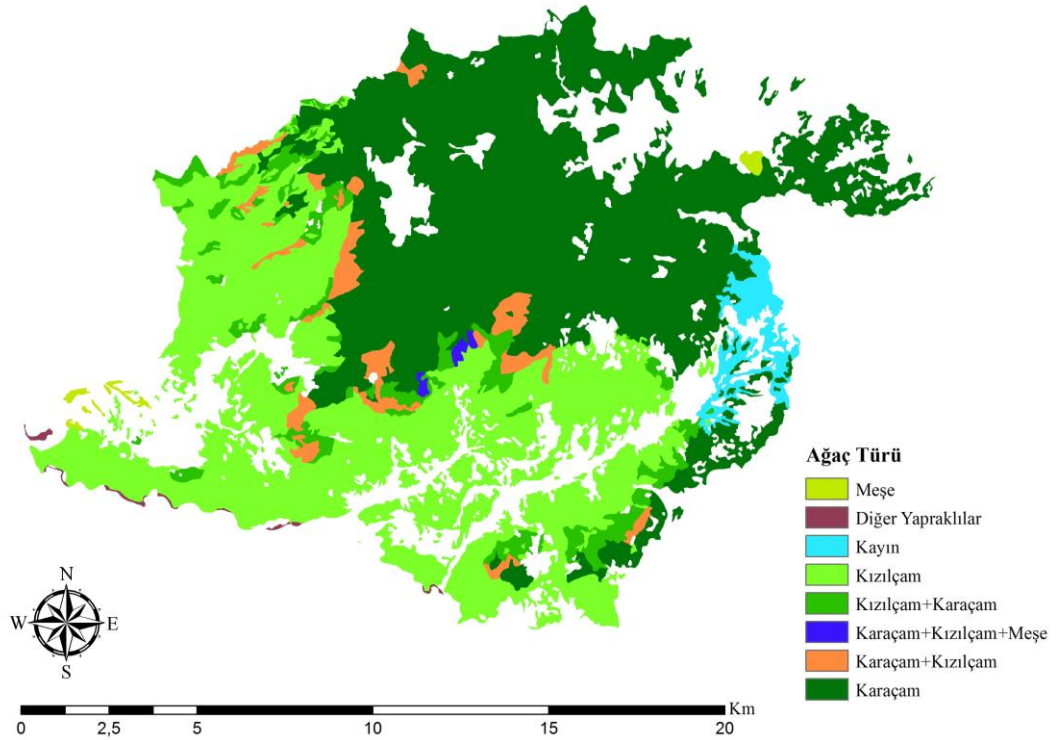


Şekil 4.1 : Arazi kullanım tipi haritası

Çizelge 4.1 : Arazi kullanım tipi alansal dağılımı

Arazi Kullanım Tipleri	Alan (ha)	Alan (%)
Koru Ormanı	18949,07	73,46
Baltalık Orman	485,51	1,88
Orman Toprağı (OT)	235,30	0,91
Ocaklar	402,99	1,56
Su Yüzeyi Alanları	11,83	0,05
Mera	90,08	0,35
İskan	240,80	0,93
Depo	16,19	0,06
Ziraat	5266,44	20,42
OT-Ziraat	96,80	0,38
Toplam	25795,01	100,00

Ağaç türü veri katmanına göre çalışma alanında saf ve karışık türlerden oluşan sekiz meşcere tipi bulunduğu görülmüştür (Şekil 4.2). Saf karaçam meşcereleri en geniş alanı kaplarken (%48,40), bunu saf kızılçam meşcereleri takip etmiştir (%38,76) (Çizelge 4.2).

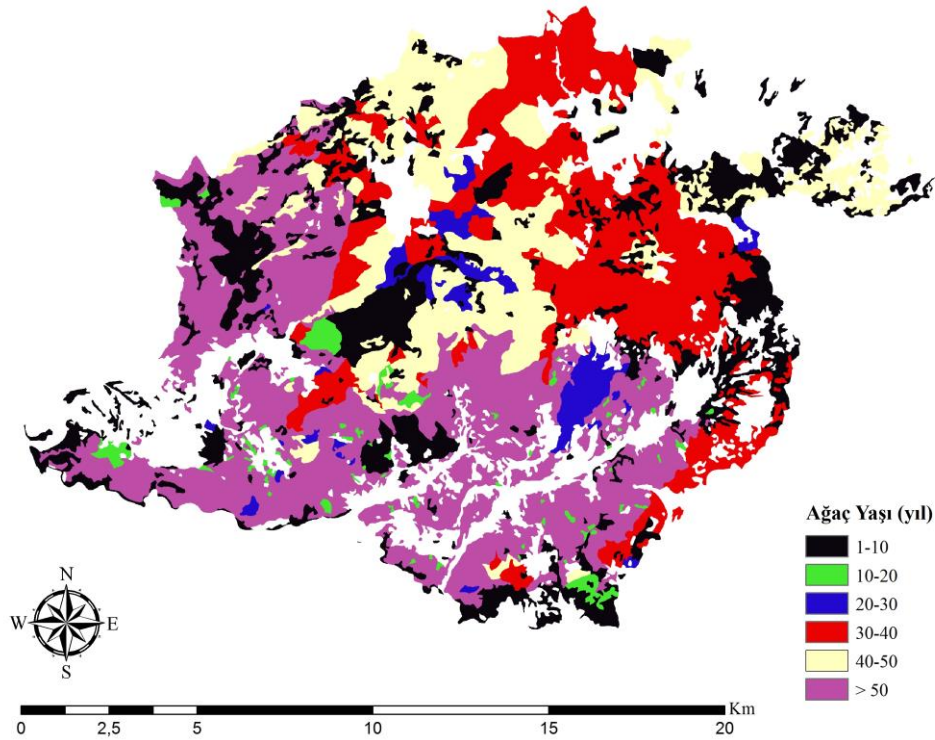


Şekil 4.2 : Ağaç türü veri katmanı

Çizelge 4.2 : Ağaç türü alansal dağılımı

Ağaç Türleri	Alan (ha)	Alan (%)
Meşe	84,05	0,43
Diğer Yapraklılar	44,85	0,23
Kayın	485,51	2,50
Kızılcām	7532,00	38,76
Kızılcām+Karaçam	1123,92	5,78
Karaçam+Kızılcām+Meşe	47,89	0,25
Karaçam+Kızılcām	710,43	3,66
Karaçam	9405,93	48,40
Toplam	19434,58	100,00

Çalışma alanı sınırlarında yer alan meşcereler altı yaş sınıfına ayrılmıştır. Ağaç yaşı veri katmanı Şekil 4.3’de verilmiştir. 50-60 yaşındaki meşcereler en geniş alanı kaplarken (%32,35), bunu 30-40 yaşındaki meşcereler takip etmiştir (%22,37) (Çizelge 4.3).

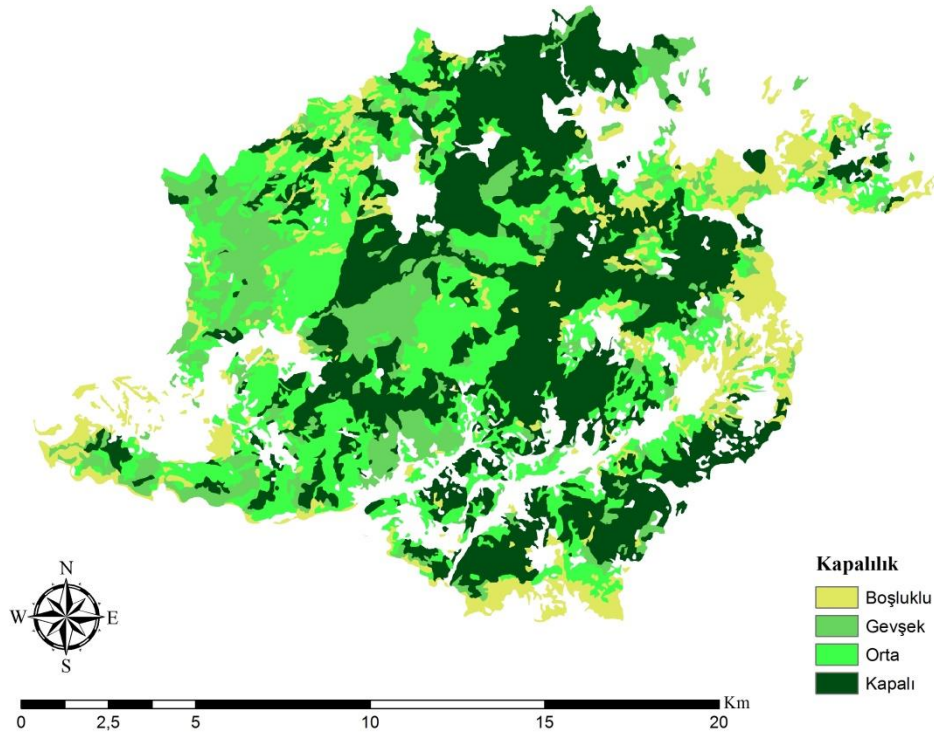


Şekil 4.3 : Ağaç yaşı veri katmanı

Çizelge 4.3 : Ağaç yaşı alansal dağılımı

Ağaç Yaşı	Alan (ha)	Alan (%)
1-10	4203,38	21,63
11-20	358,76	1,85
21-30	685,70	3,53
31-40	4348,48	22,37
41-50	3550,97	18,27
>50	6287,29	32,35
Toplam	19434,58	100,00

Çalışma alanındaki ormanlık alanların kapalılık dereceleri incelendiğinde, meşcereler dört kapalılık sınıfına ayrılmıştır. Kapalılık veri katmanı Şekil 4.4’de verilmiştir. Tam kapalı meşcereler en geniş alanı kaplarken (%41,36), bunu orta kapalı meşcereler takip etmiştir (%28,95) (Çizelge 4.4).

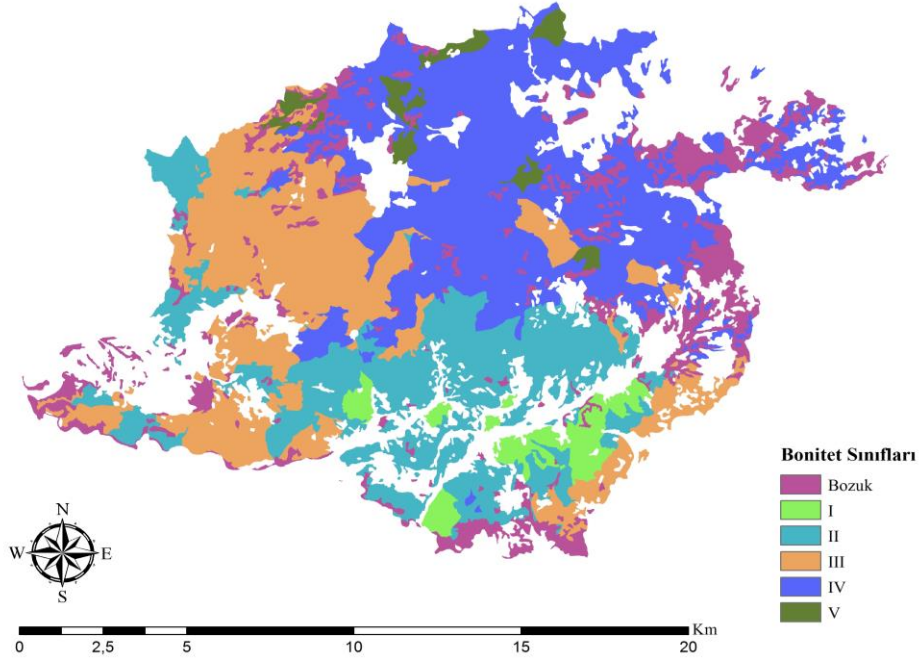


Şekil 4.4 : Kapalılık veri katmanı

Çizelge 4.4 : Kapalılık alansal dağılımı

Kapalılık	Alan (ha)	Alan (%)
Boşluklu (0-10)	2790,65	14,36
Gevşek (10-40)	2979,49	15,33
Orta (40-70)	5625,58	28,95
Kapalı (>70)	8038,86	41,36
Toplam	19434,58	100,00

Son olarak, sayısal meşcere haritası kullanılarak bonitet sınıfları veri katmanı üretilmiştir (Şekil 4.5). Çalışma alanındaki ormanlarda en yaygın görülen bonitet sınıfı 4. Sınıftır ve bunu sırasıyla 3. ve 2. sınıflar takip etmektedir (Çizelge 4.5).



Şekil 4.5 : Bonitet sınıfları veri katmanı

Çizelge 4.5 : Bonitet sınıfları alansal dağılımı

Bonitet Sınıfları	Alan (ha)	Alan (%)
Bozuk	2790,65	14,36
I	743,94	3,83
II	4100,80	21,10
III	4731,36	24,35
IV	6586,19	33,89
V	481,64	2,48
Toplam	19434,58	100,00

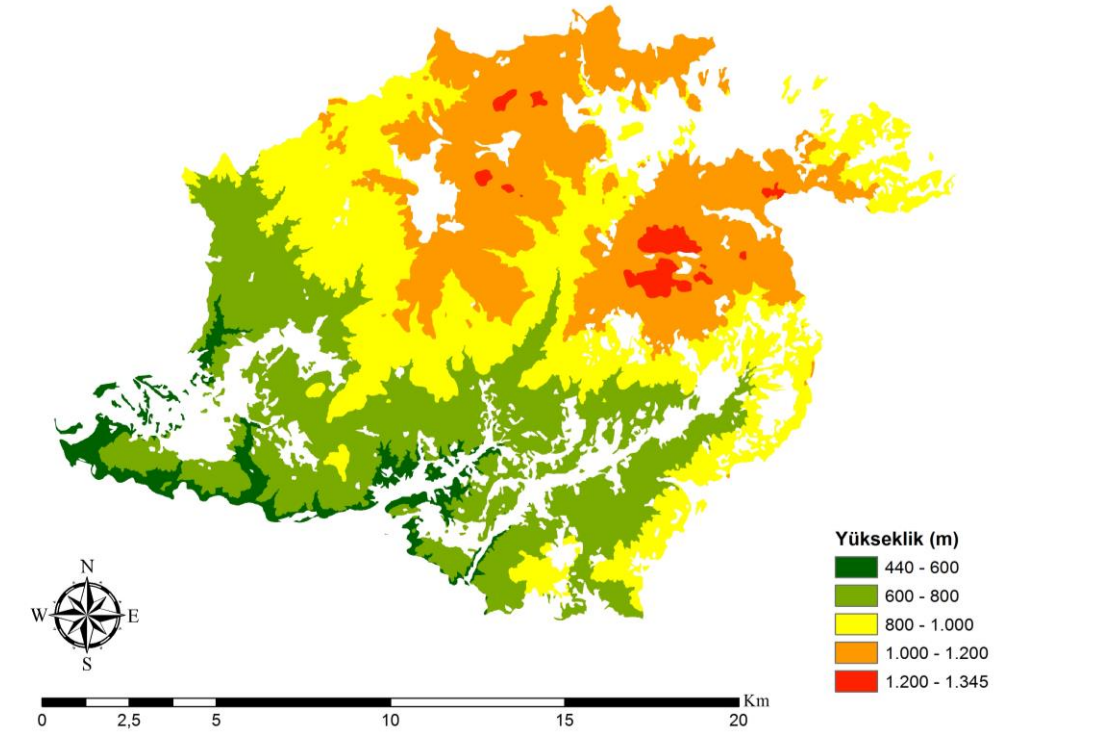
4.1.1.2 Topografik özellikler

Çalışma alanına ait SYM geliştirilmiş ve daha sonra SYM tabanlı eğim ve bakı haritaları üretilmiştir. Şekil 4.6’da çalışma alanındaki ormanlık alanlara ait SYM görülmektedir.. Buna göre ormanlık alanlarda ortalama rakım 885 m olup, 440 m ile 1345 m arasında değişmektedir. Minimum yükseklik 440 m’den başladığından, ilk iki sınıf (0-200 m ve 200-400 m) atlanarak SYM toplam beş sınıfa indirgenmiştir.

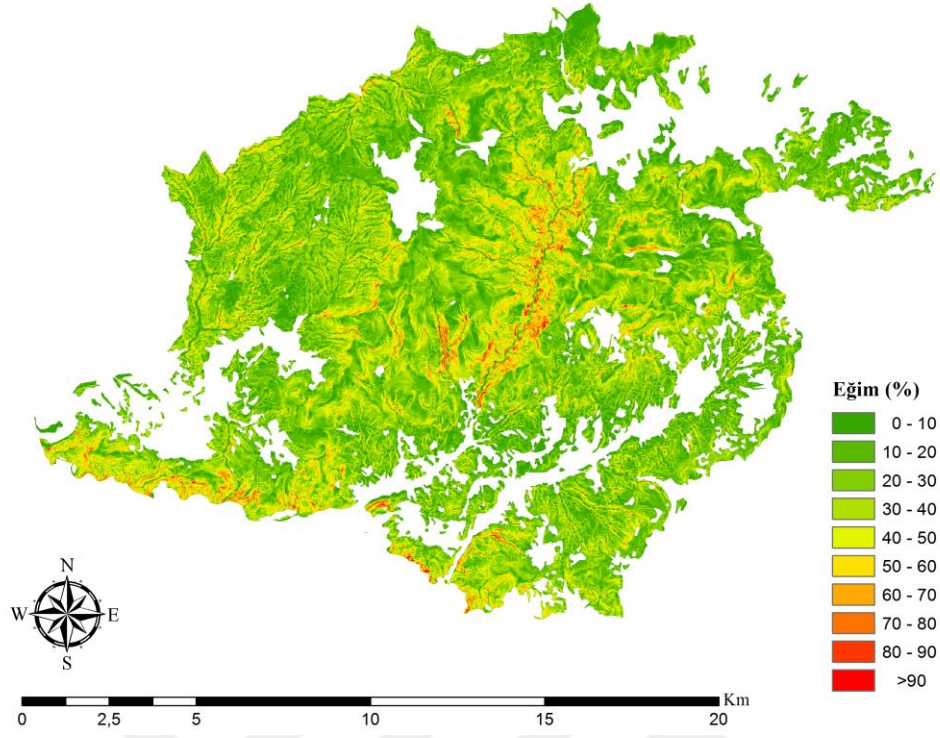
ArcGIS eklentilerinden “3D Analyst” altında “Raster Surface” araçlarından “Slope” kullanılarak, çalışma alanı ormanlarının eğim haritası geliştirilmiştir (Şekil 4.7). Buna göre, orman alanlarında ortalama eğim %26 olup, %0-155 arasında değişmektedir. Yine “Raster Surface” araçlarından “Aspect” kullanılarak, ormanlık alanların bakı haritası üretilmiştir (Şekil 4.8).

4.1.1.3 İklim verileri

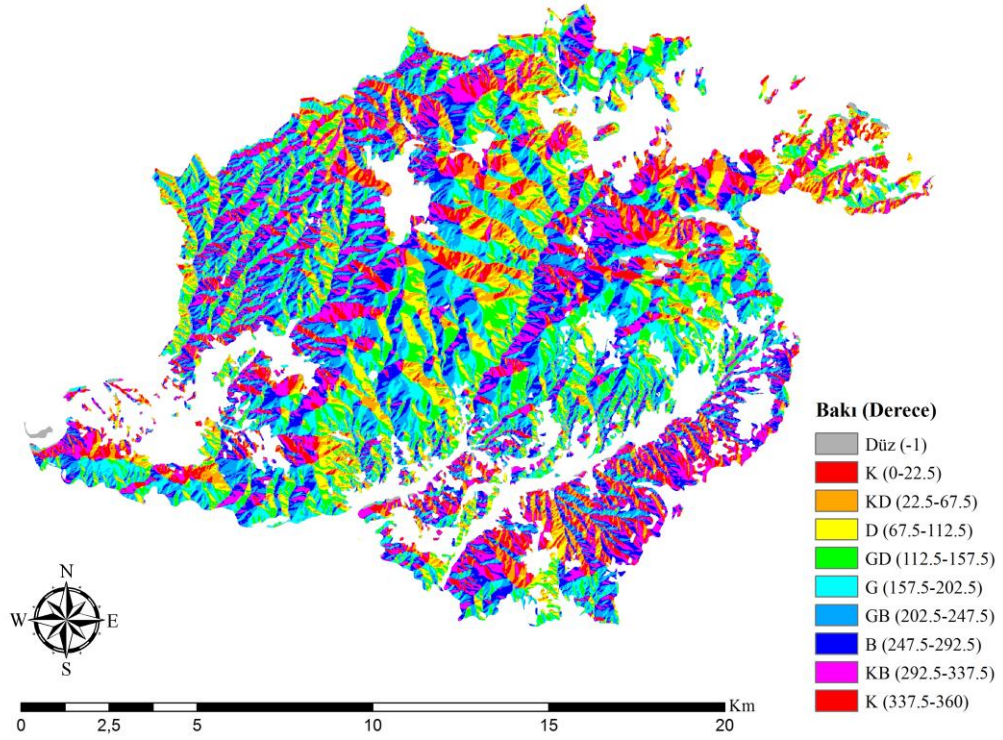
İklim verileri kapsamında rüzgâr ve yağış veri katmanları üretilmiştir. Rüzgâr veri katmanı için gerekli rüzgâr yönü ve rüzgâr hızı (km/saat) ile ilgili veriler Eskişehir Meteoroloji Bölge Müdürlüğü’nden elde edilen Tavşanlı verilerinden uyarlanmıştır (Çizelge 4.6). Bakı veri katmanından yararlanarak ana ve ara yönler istikametinde esen rüzgârların özellikle maksimum hızları dikkate alınmıştır.



Şekil 4.6: Çalışma alanı Sayısal Arazi Modeli



Şekil 4.7: Çalışma alanı eğim haritası

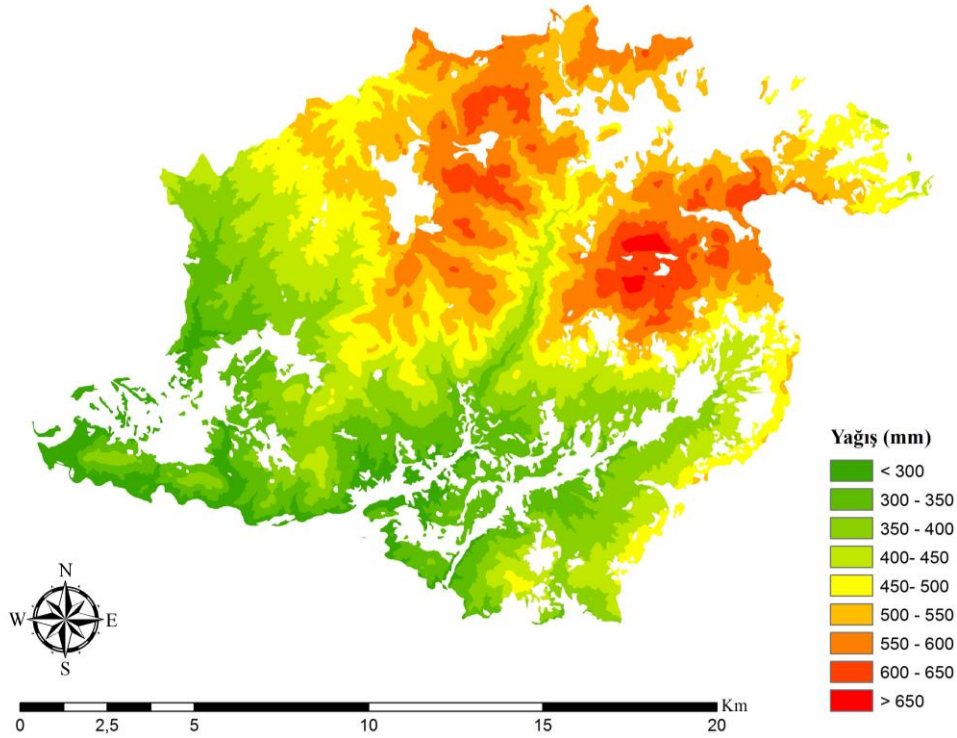


Şekil 4.8: Çalışma alanı bakı haritası

Çizelge 4.6: Rüzgâr yönü ve hızı ile ilgili veriler

Bakı (Derece)	Yönler	Rüzgâr Hızı (km/saat)	Mak. Hız (km/saat)
<0	Düz	4,00	19,00
0-22,5	K	7,38	22,00
22,5-67,5	KD	5,88	21,00
67,5-112,5	D	5,91	22,00
112,5-157,5	GD	4,98	22,00
157,5-202,5	D	5,25	29,60
202,5-247,5	GB	6,30	20,10
247,5-292,5	B	6,36	27,00
292,5-337,5	KB	6,87	19,10
337,5-360	K	7,38	22,00

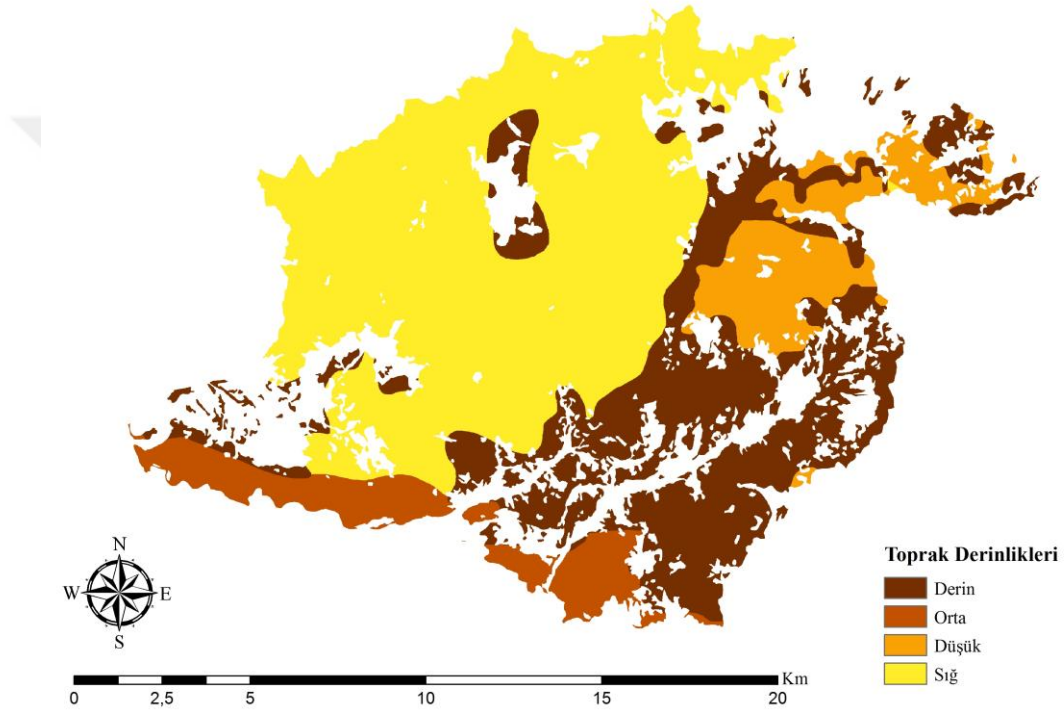
Ormanlık alanların yağış verileri, alana en yakın meteoroloji istasyonundan elde edilen ortalama yağış verisinden ve çalışma alanına ait SYM'den yararlanılarak yüksekliğe bağlı olarak hesaplanmıştır. Çalışma alanı ortalama yağış veri katmanı Şekil 4.9'da verilmiştir.



Şekil 4.9: Çalışma alanı yağış veri katmanı

4.1.1.4 Toprak özellikleri

Maden Tetkik Arama kurumuna ait web sitesinden indirilen jeoloji haritasından yararlanılarak çalışma alanına ait toprak haritası geliştirilmiştir. Daha sonra, toprak derinliğinin fırtına zararı riski üzerindeki etkisini modele entegre etmek için toprak derinliği veri katmanı üretilmiştir (Şekil 4.10). Sonuçlar, çalışma alanının yarısından biraz fazlasının sığ topraklara sahip olduğunu, alanına yaklaşık %30'unun ise derin toprak yapısı bulunduğu görülmüştür (Çizelge 4.7).



Şekil 4.10 : Toprak derinliği veri katmanı

Çizelge 4.7 : Toprak derinliği alansal dağılımı

Toprak Derinliği	Alan (ha)	Alan (%)
Derin	5813,25	29,91
Orta	1582,32	8,14
Düşük	1804,96	9,29
Sığ	10234,05	52,66
Toplam	19434,58	100,00

4.1.2 Sınıflandırılan risk faktörlerinin dereceleri ve ağırlık yüzdeleri

Fırtına zararı risk faktörlerini temsil eden veri katmanları CBS ortamında sınıflandırıldıktan sonra, literatürden elde edilen bilgiler doğrultusunda her bir sınıf için 1'den 10'a kadar fırtına zararı risk derecesi atanmıştır. Daha sonra, maksimum ve minimum risk derecelerinin aritmetik ortalaması alınarak her bir sınıf için ortalama risk derecesi hesaplanmıştır. Risk faktörü fonksiyonlarının geliştirilmesi amacıyla risk dereceleri ağırlıklandırılmıştır. Son olarak, fırtına zararı risk faktörlerine ait veri katmanları yüzdelerle ağırlık değerleri dikkate alınarak yeniden sınıflandırılmıştır.

4.1.2.1 Ağaç türü risk dereceleri ve ağırlık yüzdeleri

Çalışma alanında ağaç türleri sekiz sınıfa ayrılmıştır. Çizelge 4.8'de, RD yüzdeleri fırtına zararına karşı en az risk taşıyan türden en hassas türe doğru sıralanmıştır.

Çizelge 4.8 : Ağaç türleri RD'nin belirlenmesi için kullanılan veri tablosu

Sınıflar	Kod	Risk Derecesi (RD)		RD (Ortalama)	RD (%)
		Maksimum	Minimum		
Meşe	1	2	1	1,500	6,945
Diğer Yapraklılar	2	3	2	2,500	17,575
Kayın	3	4	3	3,500	28,205
Kızılcım	4	5	4	4,500	38,835
Kızılcım+Karaçam	5	6	5	5,500	49,465
Karaçam+Kızılcım+Meşe	6	6	6	6,000	54,780
Karaçam+Kızılcım	7	7	6	6,500	60,095
Karaçam	8	10	8	9,000	86,670
Ortalama				4,875	42,820

4.1.2.2 Ağaç yaşı risk dereceleri ve ağırlık yüzdeleri

Çalışma alanında ağaç yaşı altı sınıfa ayrılmıştır. Çizelge 4.9'da, RD yüzdeleri fırtına zararına karşı en az risk taşıyan sınıftan en hassas sınıfa doğru sıralanmıştır.

Çizelge 4.9 : Ağaç yaşı RD'nin belirlenmesi için kullanılan veri tablosu

Sınıflar	Kod	Risk Derecesi (RD)		RD (Ortalama)	RD (%)
		Maksimum	Minimum		
1-10	1	1	1	1,000	1,630
11-20	2	3	2	2,500	17,575
21-30	3	4	3	3,500	28,205
31-40	4	6	5	5,500	49,465
41-50	5	8	7	7,500	70,725
>50	6	10	9	9,500	91,985
Ortalama				4,917	43,264

4.1.2.3 Kapalılık risk dereceleri ve ağırlık yüzdeleri

Çalışma alanında kapalılık dört sınıfa ayrılmıştır. Çizelge 4.10'da, RD yüzdeleri fırtına zararına karşı en az risk taşıyan sınıftan en hassas sınıfa doğru sıralanmıştır.

Çizelge 4.10 : Kapalılık RD'nin belirlenmesi için kullanılan veri tablosu

Sınıflar	Kod	Risk Derecesi (RD)		RD (Ortalama)	RD (%)
		Maksimum	Minimum		
0-10	1	2	1	1,500	6,945
11-40	2	5	3	4,000	33,520
41-70	3	8	6	7,000	65,410
>70	4	10	8	9,000	86,670
Ortalama				5,375	48,136

4.1.2.4 Bonitet sınıfı risk dereceleri ve ağırlık yüzdeleri

Çalışma alanında bonitet sınıfları altı sınıfa ayrılmıştır. Çizelge 4.11'de, RD yüzdeleri fırtına zararına karşı en az risk taşıyan sınıftan en hassas sınıfa doğru sıralanmıştır.

Çizelge 4.11 : Bonitet sınıfı RD'nin belirlenmesi için kullanılan veri tablosu

Sınıflar	Kod	Risk Derecesi (RD)		RD (Ortalama)	RD (%)
		Maksimum	Minimum		
Bozuk	1	2	1	1,500	6,945
I	2	3	2	2,500	17,575
II	3	4	3	3,500	28,205
III	4	6	4	5,000	44,150
IV	5	8	6	7,000	65,410
V	6	10	8	9,000	86,670
			Ortalama	4,750	41,492

4.1.2.5 Yükseklik risk dereceleri ve ağırlık yüzdeleri

Çalışma alanında yükseklik beş sınıfa ayrılmıştır. Çizelge 4.12'de, RD yüzdeleri fırtına zararına karşı en az risk taşıyan sınıftan en hassas sınıfa doğru sıralanmıştır.

Çizelge 4.12 : Yükseklik RD'nin belirlenmesi için kullanılan veri tablosu

Sınıflar	Kod	Risk Derecesi (RD)		RD (Ortalama)	RD (%)
		Maksimum	Minimum		
400-600	1	5	4	4,500	38,835
600-800	2	7	6	6,500	60,095
800-1000	3	10	8	9,000	86,670
1000-1200	4	8	7	7,500	70,725
1200-1400	5	6	5	5,500	49,465
			Ortalama	5,214	46,428

4.1.2.6 Eğim risk dereceleri ve ağırlık yüzdeleri

Çalışma alanında eğim 10 sınıfa ayrılmıştır. Çizelge 4.13'de, RD yüzdeleri fırtına zararına karşı en az risk taşıyan sınıftan en hassas sınıfa doğru sıralanmıştır.

Çizelge 4.13 : Eğim RD'nin belirlenmesi için kullanılan veri tablosu

Sınıflar	Kod	Risk Derecesi (RD)		RD (Ortalama)	RD (%)
		Maksimum	Minimum		
0-10	1	4	1	2,500	17,575
10-20	2	7	5	6,000	54,780
20-30	3	10	8	9,000	86,670
30-40	4	10	7	8,500	81,355
40-50	5	7	4	5,500	49,465
50-60	6	4	3	3,500	28,205
60-70	7	6	4	5,000	44,150
70-80	8	3	2	2,500	17,575
80-90	9	2	1	1,500	6,945
>90	10	1	1	1,000	1,630
Ortalama				4,500	38,835

4.1.2.7 Bakı risk dereceleri ve ağırlık yüzdeleri

Çalışma alanında bakı 10 sınıfa ayrılmıştır. Çizelge 4.14'de, RD yüzdeleri bakı sınıfları için gösterilmiştir.

Çizelge 4.14 : Bakı RD'nin belirlenmesi için kullanılan veri tablosu

Sınıflar	Kod	Risk Derecesi (RD)		RD (Ortalama)	RD (%)
		Maksimum	Minimum		
Düz	1	3	1	2,000	12,260
GB	2	6	4	5,000	44,150
B	3	7	5	6,000	54,780
G	4	7	6	6,500	60,095
GD	5	8	7	7,500	70,725
K	6	9	7	8,000	76,040
KB	7	10	8	9,000	86,670
K	8	9	7	8,000	76,040
KD	9	7	6	6,500	60,095
D	10	7	5	6,000	54,780
Ortalama				6,450	59,564

4.1.2.8 Rüzgâr risk dereceleri ve ağırlık yüzdeleri

Çalışma alanında rüzgâr etkisi 10 sınıfa ayrılmıştır. Çizelge 4.15’de, RD rüzgâr sınıflarına göre gösterilmiştir.

Çizelge 4.15 : Rüzgâr RD’nin belirlenmesi için kullanılan veri tablosu

Sınıflar	Kod	Risk Derecesi (RD)		RD (Ortalama)	RD (%)
		Maksimum	Minimum		
Düz	1	2	1	1,500	6,945
KD	2	4	3	3,500	28,205
K	3	5	4	4,500	38,835
D	4	5	4	4,500	38,835
GD	5	10	8	9,000	86,670
B	6	8	5	6,500	60,095
G	7	5	4	4,500	38,835
K	8	5	4	4,500	38,835
GB	9	3	2	2,500	17,575
KB	10	2	1	1,500	6,945
Ortalama				4,250	36,178

4.1.2.9 Yağış risk dereceleri ve ağırlık yüzdeleri

Çalışma alanında yağış 9 sınıfa ayrılmıştır. Çizelge 4.16’da, RD yüzdeleri fırtına zararına karşı en az risk taşıyan sınıftan en hassas sınıfa doğru sıralanmıştır.

4.1.2.10 Toprak derinliği risk dereceleri ve ağırlık yüzdeleri

Çalışma alanında toprak derinliği dört sınıfa ayrılmıştır. Çizelge 4.17’de, RD yüzdeleri fırtına zararına karşı en az risk taşıyan sınıftan en hassas sınıfa doğru sıralanmıştır.

Çizelge 4.16 : Yağış RD'nin belirlenmesi için kullanılan veri tablosu

Sınıflar	Kod	Risk Derecesi (RD)		RD (Ortalama)	RD (%)
		Maksimum	Minimum		
< 300	1	2	1	1,500	6,945
300-350	2	3	2	2,500	17,575
350-400	3	4	3	3,500	28,205
400-450	4	5	4	4,500	38,835
450-500	5	6	5	5,500	49,465
500-550	6	7	6	6,500	60,095
550-600	7	8	7	7,500	70,725
600-650	8	9	8	8,500	81,355
> 650	9	10	9	9,500	91,985
Ortalama				5,500	49,465

Çizelge 4.17 : Toprak derinliği RD'nin belirlenmesi için kullanılan veri tablosu

Sınıflar	Kod	Risk Derecesi (RD)		RD (Ortalama)	RD (%)
		Maksimum	Minimum		
Derin	1	10	9	9,500	91,985
Orta	2	8	7	7,500	70,725
Düşük	3	6	4	5,000	44,150
Sığ	4	3	1	2,000	12,260
Ortalama				6,000	54,780

4.1.3 CBS tabanlı modelin bulanık mantık üyelikleri

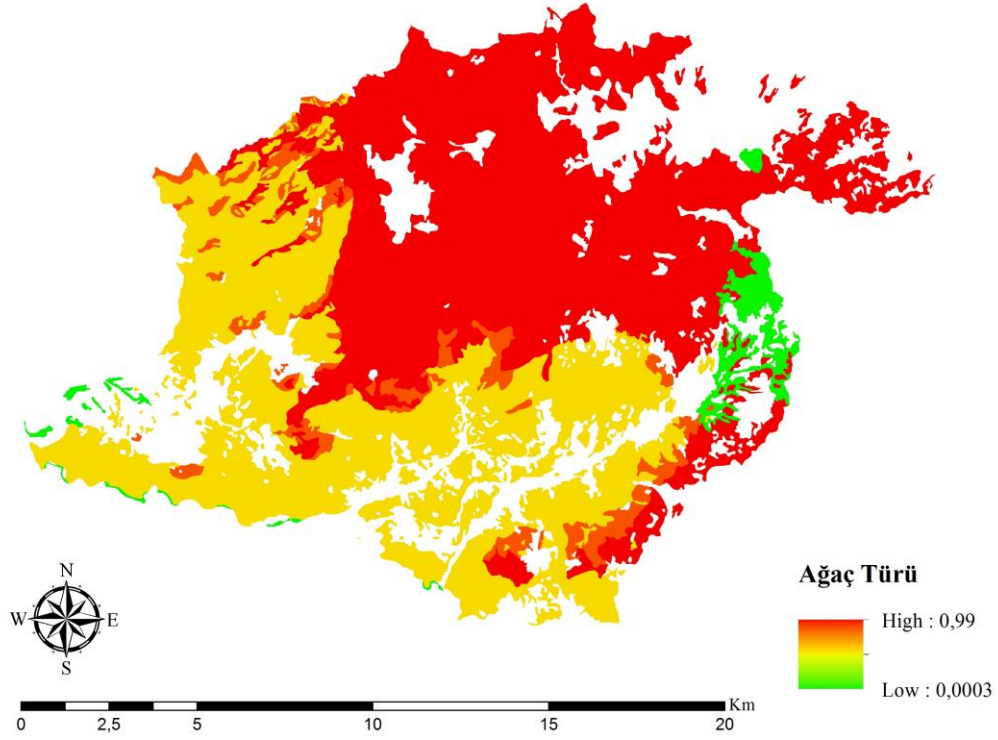
Fırtına zararı risk faktörlerine ait verileri belirtilen bir kümeye üye olma olasılığına bağlı olarak 0'dan 1'e kadar bir ölçekte yeniden sınıflandırmak veya dönüştürmek amacıyla, "ArcGIS 10.4.1" yazılımının "Spatial Analyst" eklentisinde bulunan araçlardan Bulanık Üyelik (Fuzzy Membership) kullanılmıştır.

4.1.3.1 Large üyelik tipi kullanılan faktörler

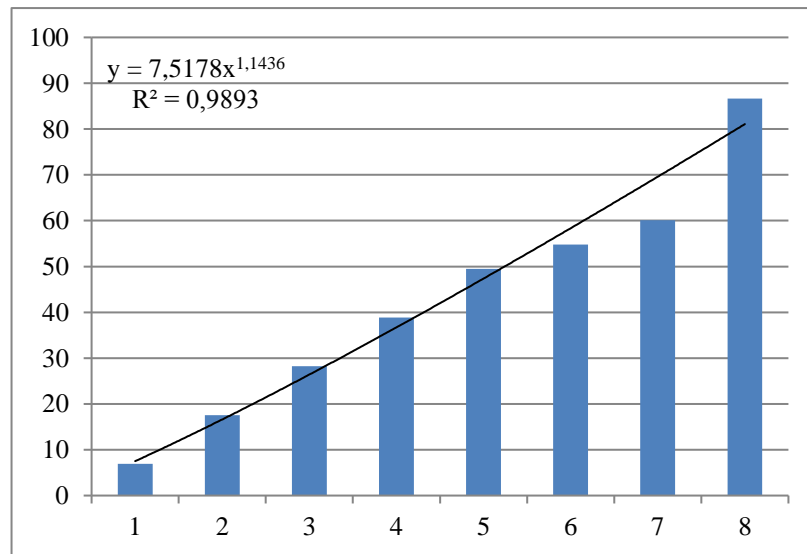
Risk faktörlerinin yüzdelik değerlerini temsil eden raster veri katmanlarında, büyük yüzdelik değerlerin bulanık kümede daha fazla üyeliğe sahip olması nedeniyle ağaç

türü, ağaç yaşı, kapalılık, bonitet sınıfı ve toprak derinliği için “Large” üyelik tipi kullanılmıştır.

a) Ağaç türü: Sekiz farklı sınıf değerlendirilerek bulanık üyeliğe dahil edilen ağaç türü veri katmanı Şekil 4.11’de gösterilmiştir. Ağaç türü faktörünün üyelik fonksiyonunda Eğilim/Regresyon türü üsseldir (Şekil 4.12).

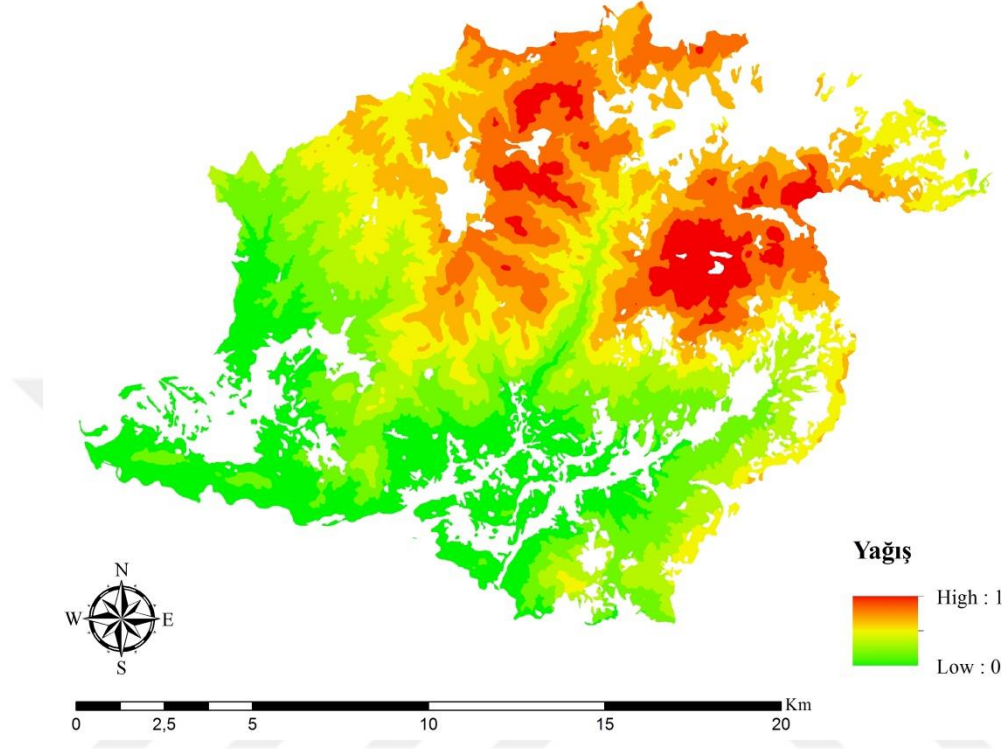


Şekil 4.11 : Ağaç türü üyelik veri katmanı

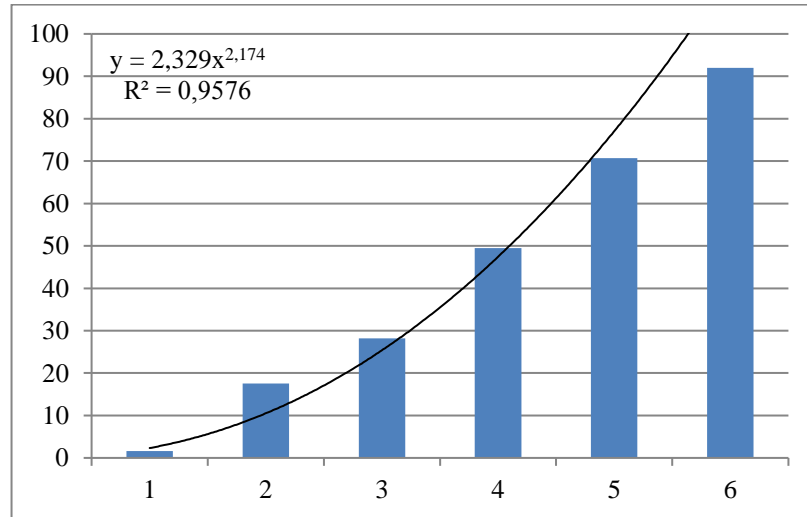


Şekil 4.12 : Ağaç türü üyelik fonksiyonu

b) Ağaç yaşı: Altı farklı sınıf değerlendirilerek bulanık üyeliğe dahil edilen ağaç yaşı veri katmanı Şekil 4.13’de gösterilmiştir. Ağaç yaşı faktörünün üyelik fonksiyonunda Eğilim/Regresyon türü üsseldir (Şekil 4.14).

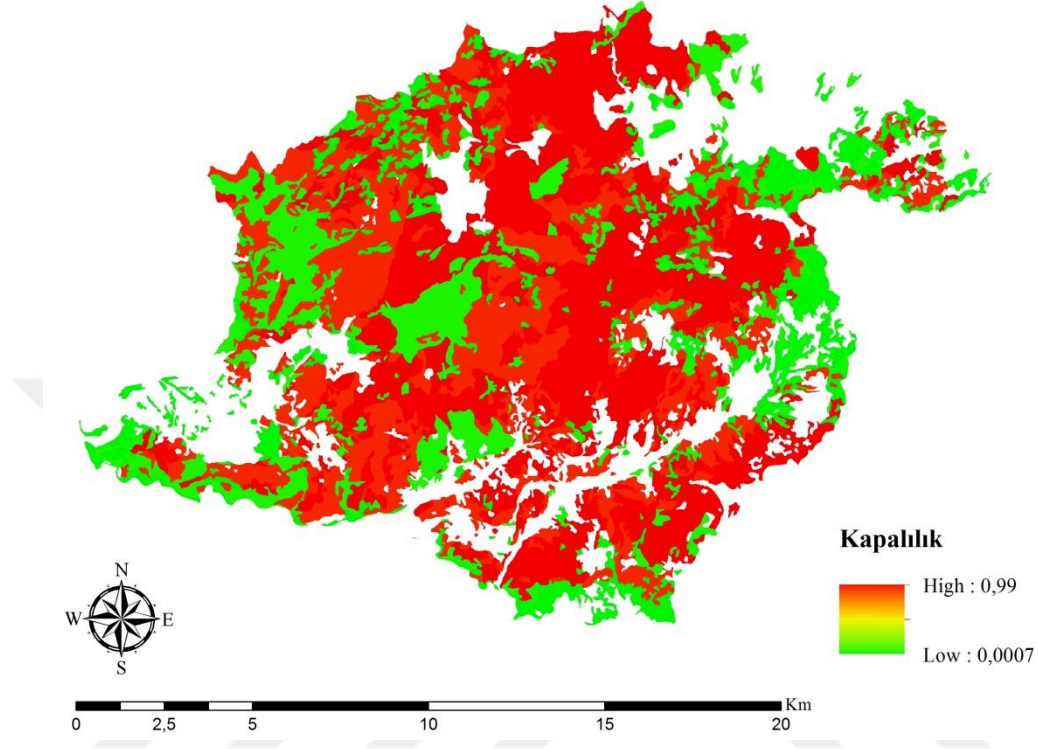


Şekil 4.13 : Ağaç yaşı üyelik veri katmanı

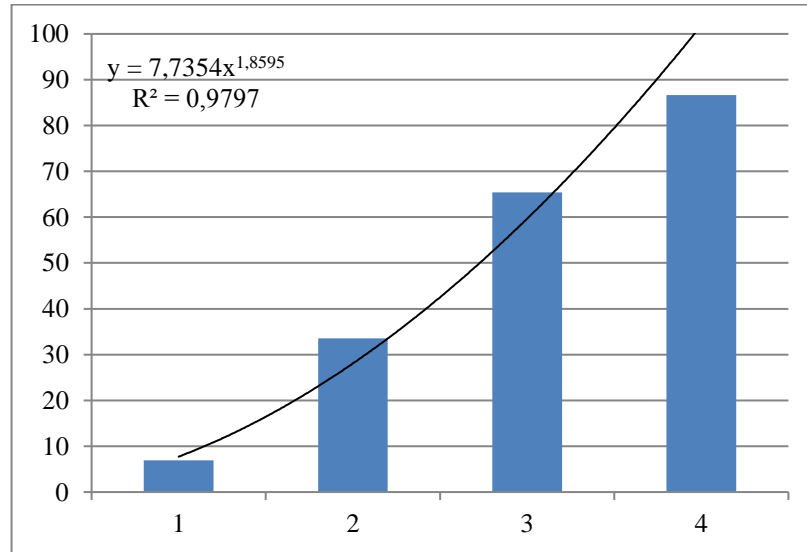


Şekil 4.14 : Ağaç yaşı üyelik fonksiyonu

c) Kapalılık: Dört farklı sınıf değerlendirilerek bulanık üyeliğe dahil edilen kapalılık veri katmanı Şekil 4.15’de gösterilmiştir. Kapalılık faktörünün üyelik fonksiyonunda Eğilim/Regresyon türü üsseldir (Şekil 4.16).

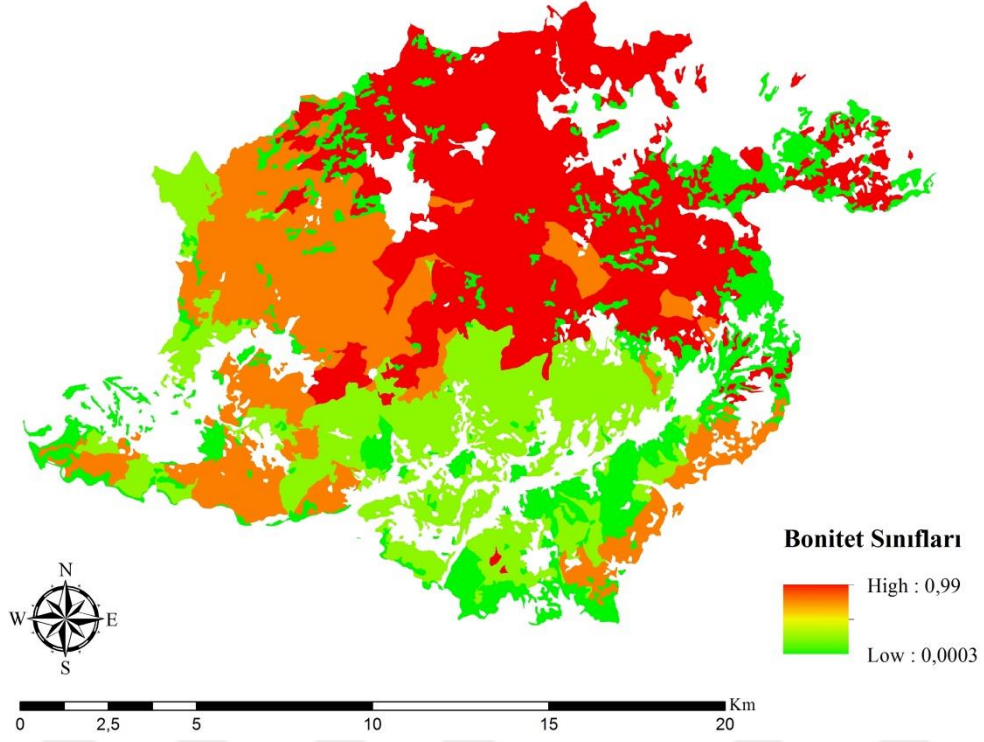


Şekil 4.15 : Kapalılık üyelik veri katmanı

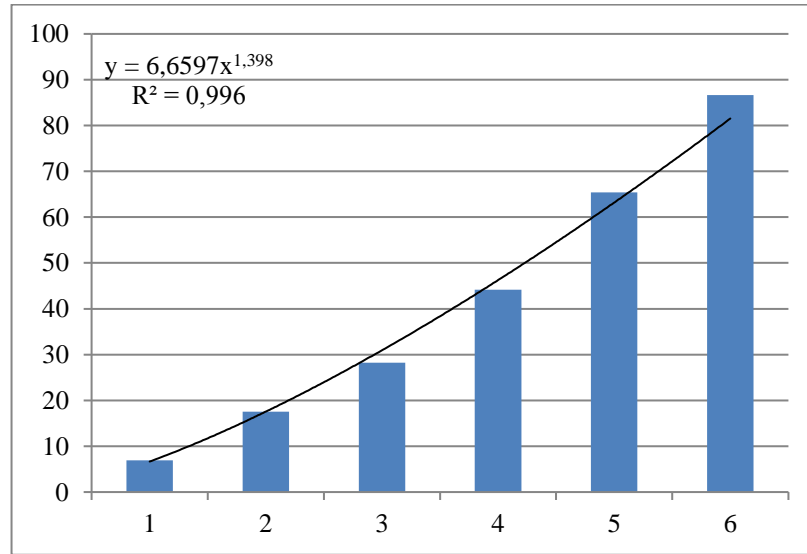


Şekil 4.16 : Kapalılık üyelik fonksiyonu

d) Bonitet sınıfı: Altı farklı sınıf değerlendirilerek bulanık üyelik değerleri dahil edilen bonitet sınıfı veri katmanı Şekil 4.17’de gösterilmiştir. Bonitet sınıfı faktörünün üyelik fonksiyonunda Eğilim/Regresyon türü üsseldir (Şekil 4.18).

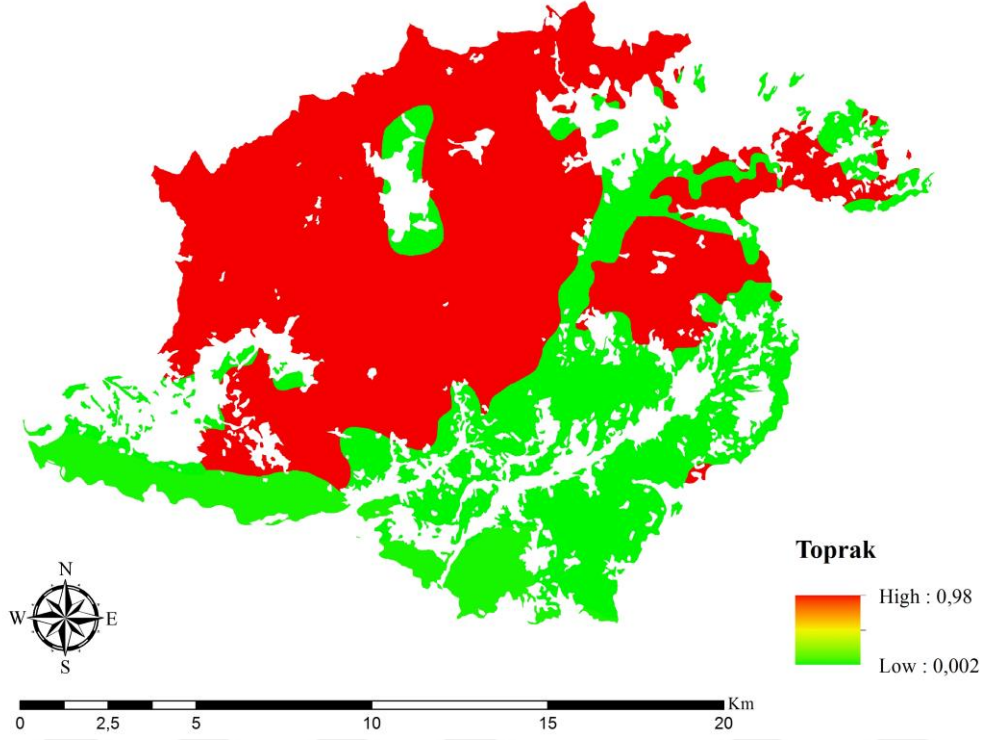


Şekil 4.17 : Bonitet sınıfı üyelik veri katmanı

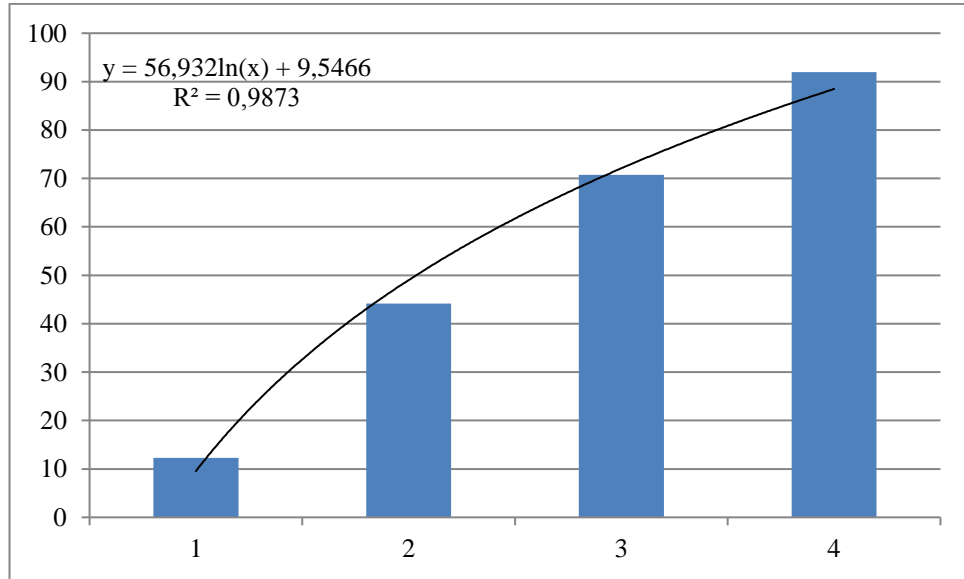


Şekil 4.18 : Bonitet sınıfı üyelik fonksiyonu

e) Toprak derinliği: Dört farklı sınıf değerlendirilerek bulanık üyeliğe dahil edilen toprak derinliği veri katmanı Şekil 4.19'da gösterilmiştir. Bonitet sınıfı faktörünün üyelik fonksiyonunda Eğilim/Regresyon tőrü logaritmiktir (Şekil 4.20).



Şekil 4.19 : Toprak derinliği üyelik veri katmanı

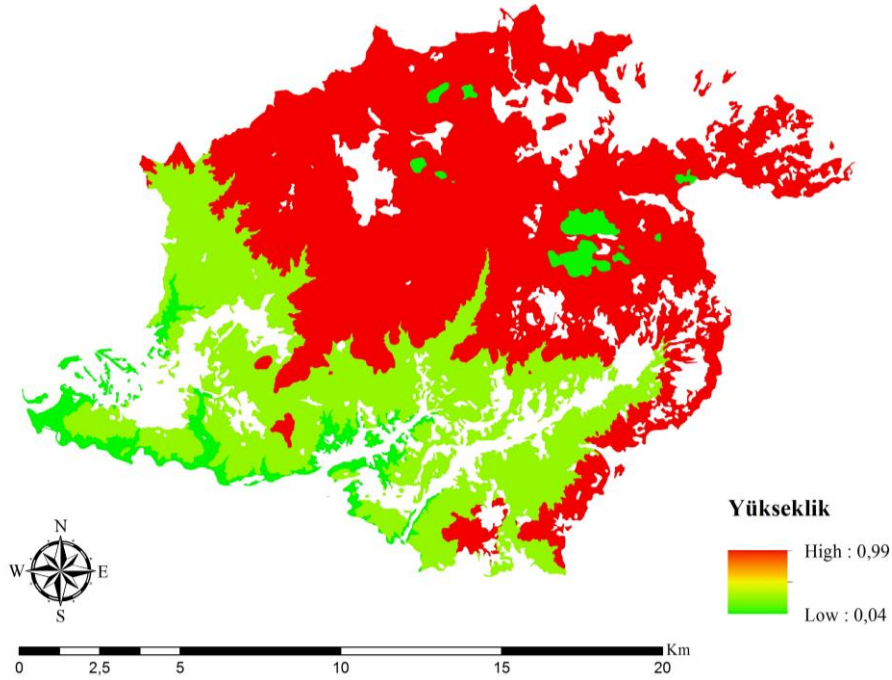


Şekil 4.20 : Toprak derinliği üyelik fonksiyonu

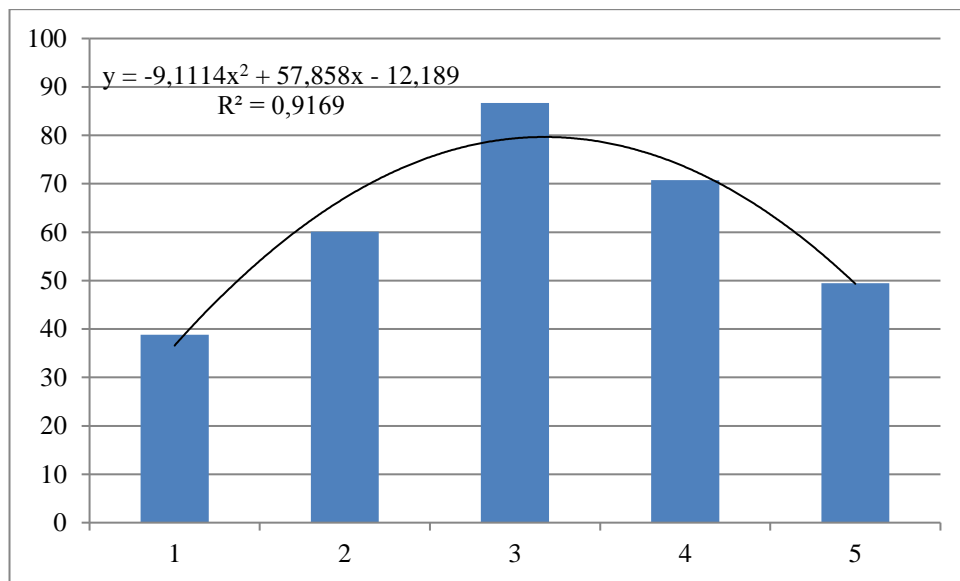
4.1.3.2 Near üyelik tipi kullanılan faktörler

Yükseklik, eğim, bakı ve rüzgâr faktörlerinde, bulanık kümede üyeliklerin belirli bir değere yakın olması nedeniyle “Near” üyelik tipi kullanılmıştır.

a) Yükseklik: Beş farklı sınıf değerlendirilerek bulanık üyeliğe dahil edilen yükseklik veri katmanı Şekil 4.21’da gösterilmiştir. Yükseklik faktörünün üyelik fonksiyonunda Eğilim/Regresyon türü ikinci dereceden polinomdur (Şekil 4.22).

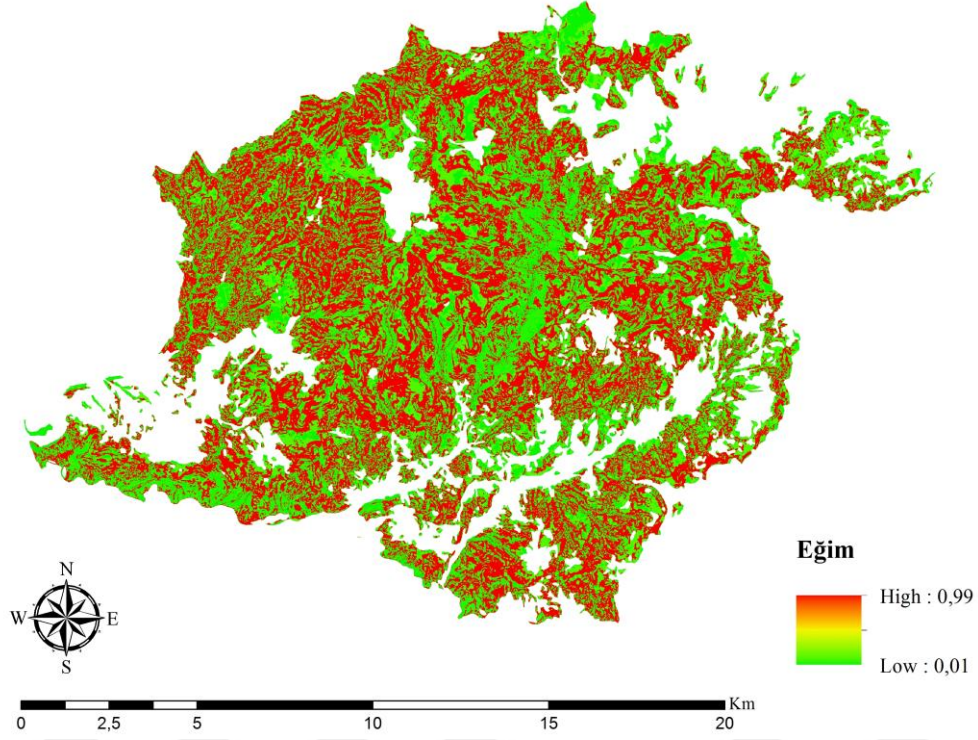


Şekil 4.21 : Yükseklik üyelik veri katmanı

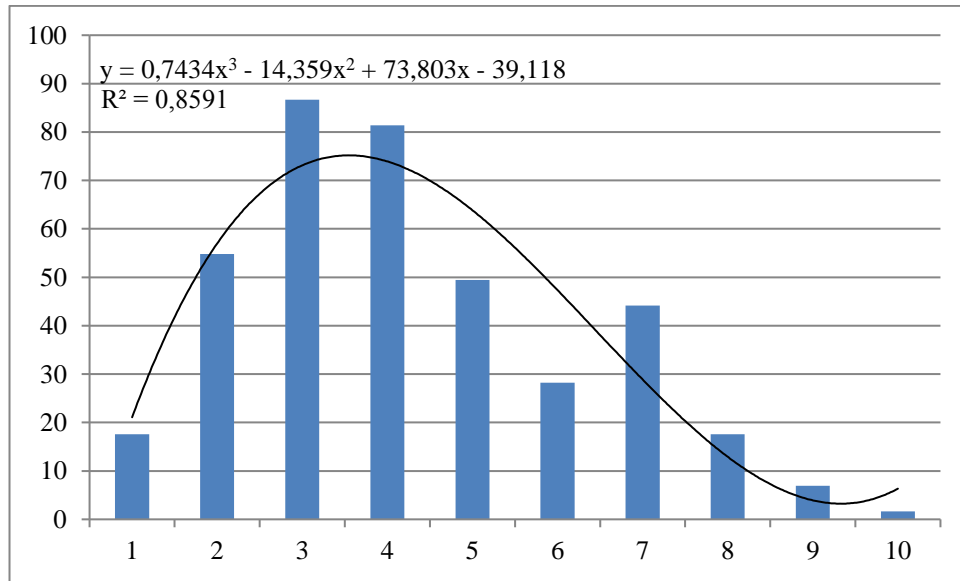


Şekil 4.22 : Yükseklik üyelik fonksiyonu

b) Eğim: On farklı sınıf değerlendirilerek bulanık üyelğe dahil edilen eğim veri katmanı Şekil 4.23’de gösterilmiştir. Eğim faktörünün üyelik fonksiyonunda Eğilim/Regresyon türü üçüncü dereceden polinomdur (Şekil 4.24).

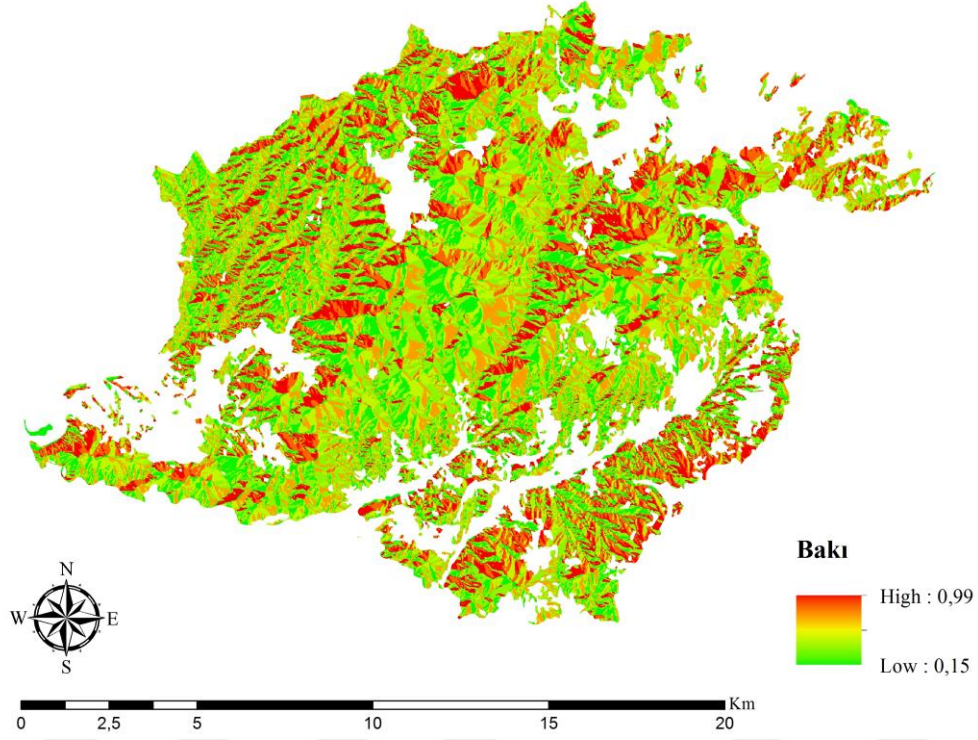


Şekil 4.23 : Eğim üyelik veri katmanı

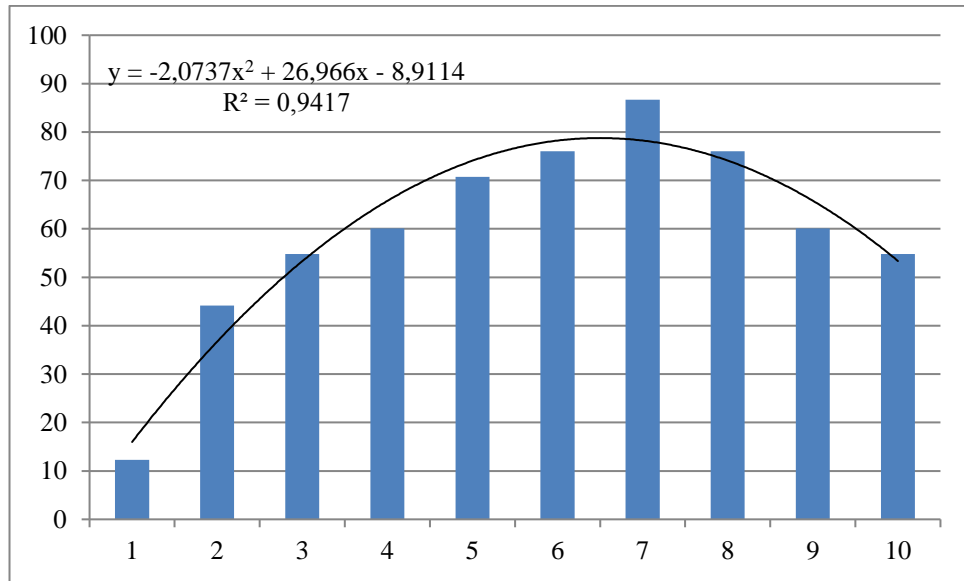


Şekil 4.24 : Eğim üyelik fonksiyonu

c) Bakı: On farklı sınıf değerlendirilerek bulanık üyeliğe dahil edilen bakı veri katmanı Şekil 4.25’de gösterilmiştir. Bakı faktörünün üyelik fonksiyonunda Eğilim/Regresyon türü ikinci dereceden polinomdur (Şekil 4.26).

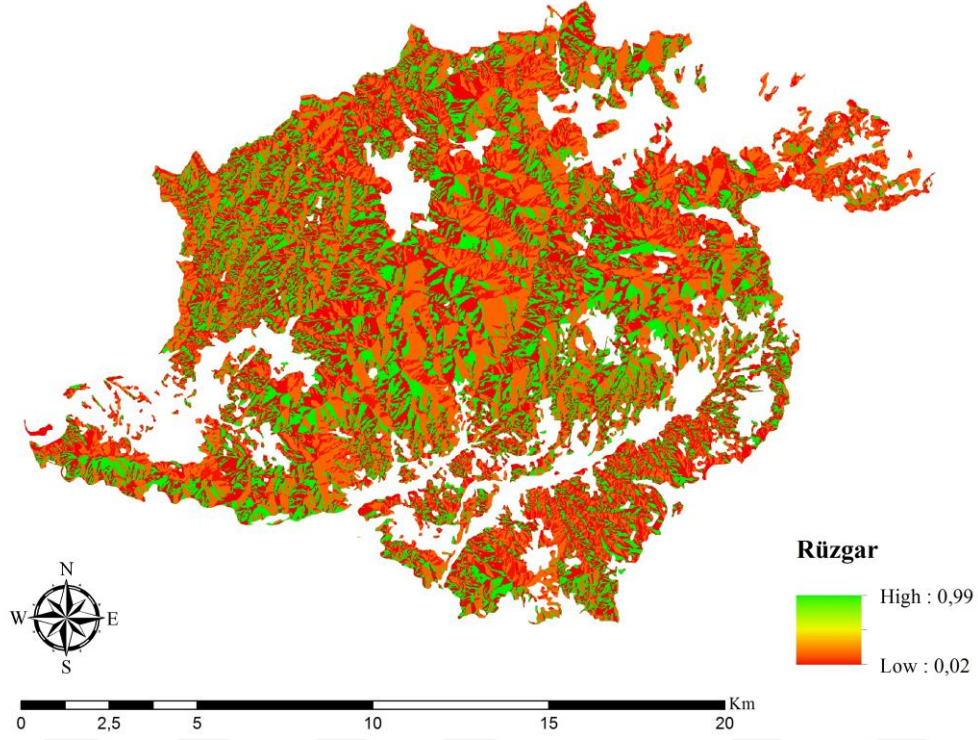


Şekil 4.25 : Bakı üyelik veri katmanı

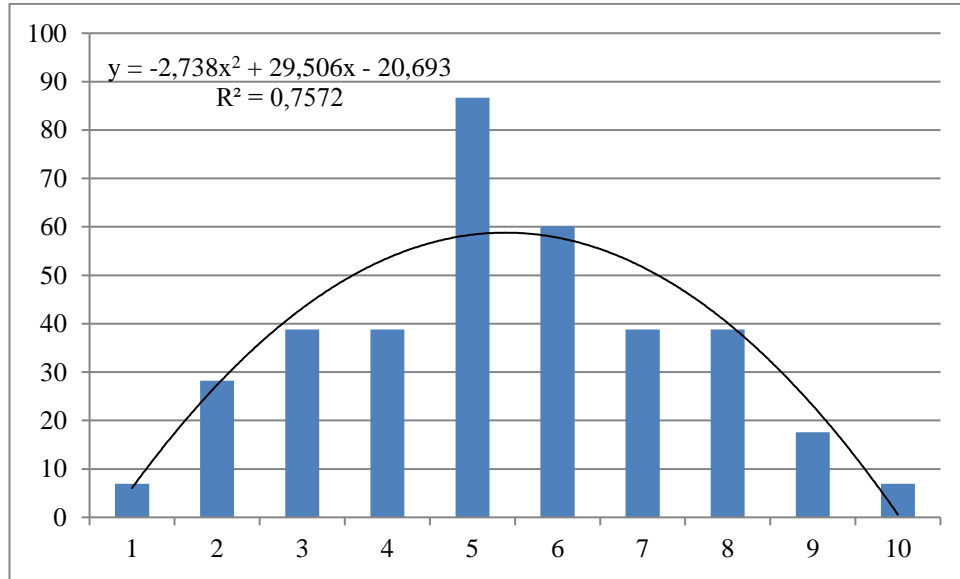


Şekil 4.26 : Bakı üyelik fonksiyonu

d) Rüzgâr: On farklı sınıf değerlendirilerek bulanık üyeliğe dahil edilen rüzgâr veri katmanı Şekil 4.27’de gösterilmiştir. Rüzgâr faktörünün üyelik fonksiyonunda Eğilim/Regresyon türü ikinci dereceden polinomdur (Şekil 4.28).



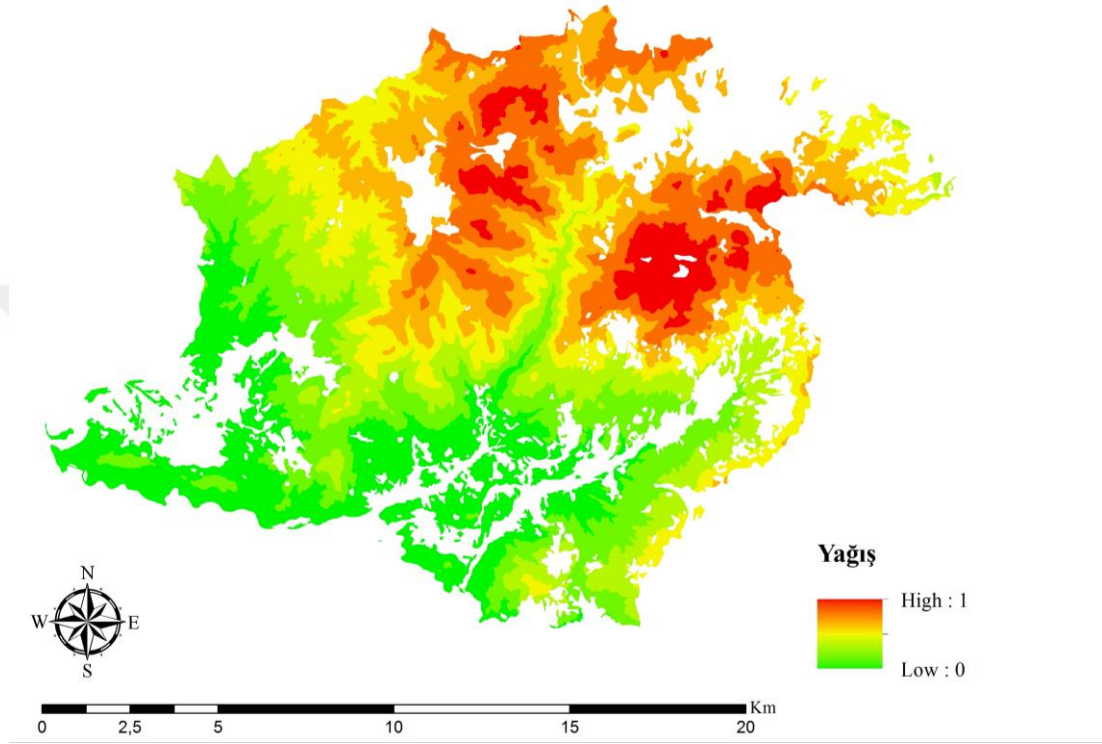
Şekil 4.27 : Rüzgâr üyelik veri katmanı



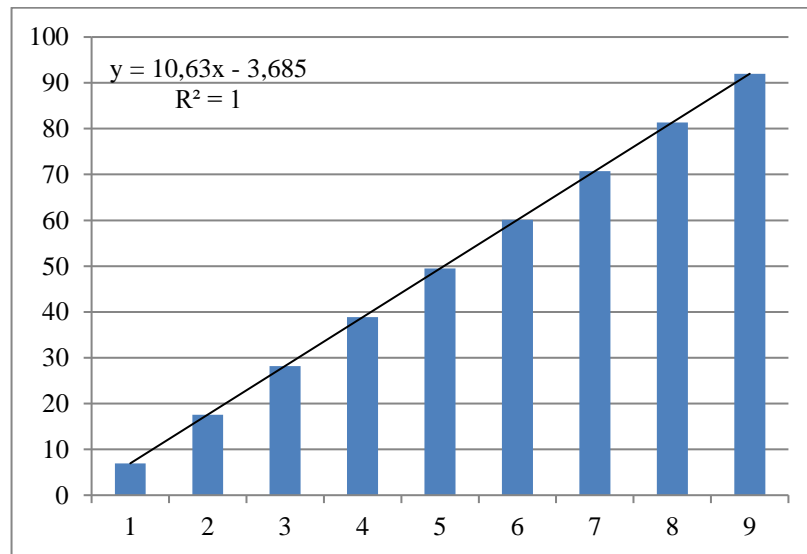
Şekil 4.28 : Rüzgâr üyelik fonksiyonu

4.1.3.3 Linear üyelik tipi kullanılan faktör

Yağış faktöründe ise üyeliklerin yükseklikle doğru orantılı olarak artış göstermesi nedeniyle “Linear” üyelik tipi kullanılmıştır. Dokuz farklı sınıf değerlendirilerek bulanık üyeliğe dahil edilen yağış veri katmanı Şekil 4.29’da gösterilmiştir. Yağış faktörünün üyelik fonksiyonunda Eğilim/Regresyon türü doğrusaldır (Şekil 4.30).



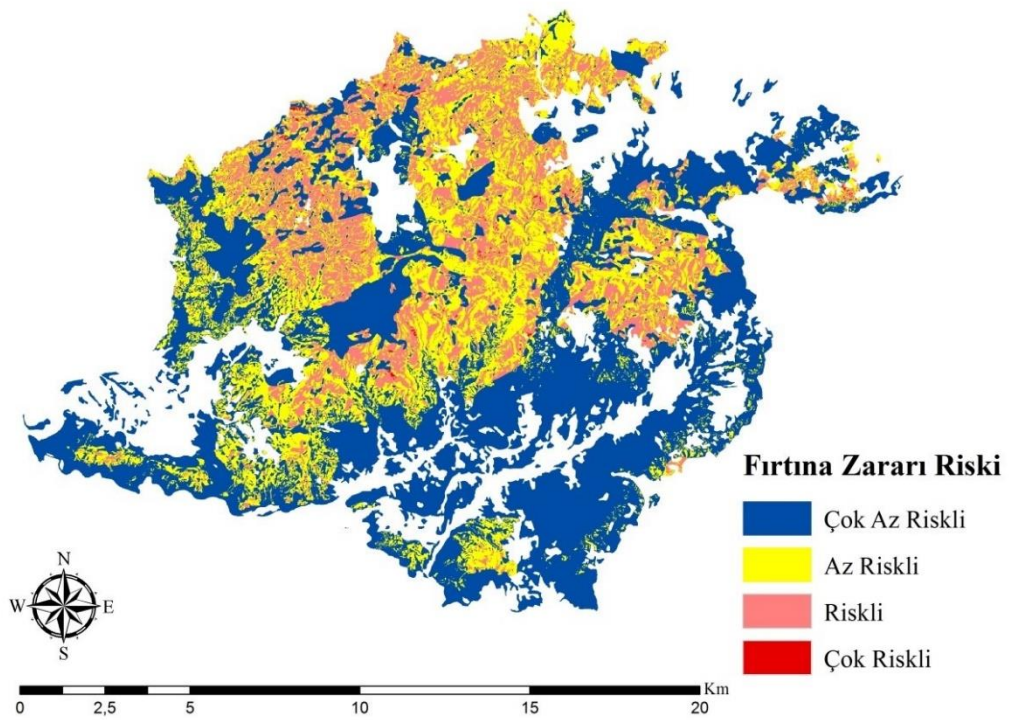
Şekil 4.29 : Yağış üyelik veri katmanı



Şekil 4.30 : Yağış üyelik fonksiyonu

4.1.4 Fırtına zararı risk haritası

Bulanık mantık yaklaşımıyla geliştirilen CBS tabanlı matematiksel model kullanılarak çalışma alanına ait fırtına zararı risk haritası geliştirilmiştir (Şekil 4.31). Bu amaçla, risk faktörü üyelikleri “ArcGIS 10.4.1” yazılımının “Spatial Analyst” eklentisi altında Bulanık Bindirme (Fuzzy Overlay) kullanılarak durulaştırılmıştır. Durulaştırma işleminde “PRODUCT” ve “SUM” durulaştırma yöntemlerinin cebirsel bir ürünü olan “GAMMA” durulaştırma tipi kullanılmıştır. Fırtına zararı risk derecelerinin çalışma alanına dağılımı Çizelge 4.18’de gösterilmiştir.



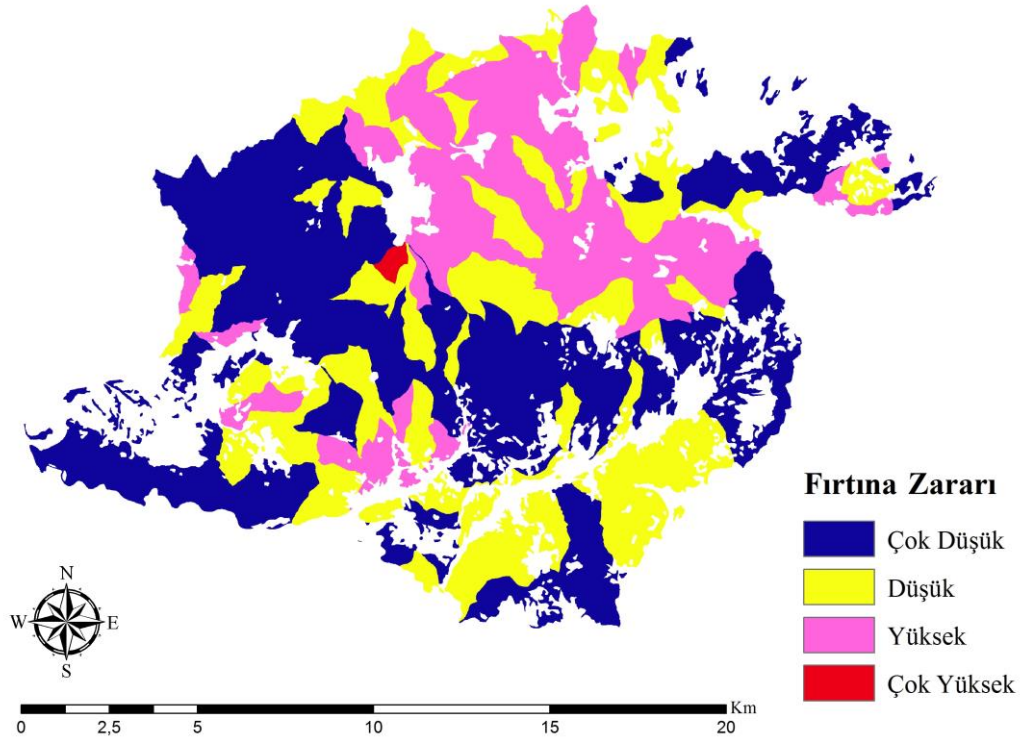
Şekil 4.31 : Fırtına zararı risk haritası

Çizelge 4.18 : Fırtına zararı risk dağılımı

Fırtına Zararı Risk Derecesi	Alan (ha)	Alan (%)
Çok Az Riskli	10200,43	52,49
Az Riskli	5465,05	28,12
Riskli	3729,63	19,19
Çok Riskli	39,47	0,20
Toplam	19434,58	100,00

Sonuçlar alanın yarısından fazlasının (%52,49) çok az derecede fırtına zararı riski altında olduğunu göstermiştir. Diğer taraftan çalışma alanının %28,12'si az risk altında, %19,19'u ise risk altında bölgeler olarak derecelendirilmiştir. Sahada çok küçük bir alan (39,47 ha) fırtına zararına karşı çok riskli olarak belirlenmiştir.

Tavşanlı Orman İşletme Müdürlüğü kayıtlarındaki 2015 yılında fırtına zararı tespit edilen bölmeler ve bu bölmelerdeki olağanüstü hasıla miktarları kullanılarak, fırtına zararı risk haritasının doğruluğu değerlendirilmiştir. İşletme verilerine göre geliştirilen fırtına zararı haritası Şekil 4.32'de verilmiştir. Fırtına zararının alansal dağılımı ise Çizelge 4.19'da yer almaktadır.



Şekil 4.32 : Fırtına zararı haritası

Çizelge 4.19 : Fırtına zararı dağılımı

Fırtına Zararı	Alan (ha)	Alan (%)
Çok Düşük	8895,88	45,77
Düşük	5869,65	30,20
Yüksek	4608,92	23,72
Çok Yüksek	60,13	0,31
Toplam	19434,58	100,00

Fırtına zararı tahminlerine göre alanın %45,77'si çok düşük, %30,20'si ise düşük derecede fırtına zararı görmüştür. Çalışma alanının, %23,72'si ise yüksek fırtına zararı gören bölgeler olarak belirlenmiştir. Sahada 60,13 ha'lık bir alanın çok yüksek oranda fırtına zararına maruz kaldığı tespit edilmiştir.

4.2 Tartışma

4.2.1 Fırtına zararı risk faktörleri

Çalışma kapsamında, fırtına zararı üzerinde etkili olan 10 adet risk faktörü dikkate alınmıştır: ağaç türü, ağaç yaşı, kapalılık, bonitet, yükseklik, eğim, bakı, rüzgâr, yağış ve toprak derinliği. Çalışmada değerlendirilen fırtına zararı risk faktörlerinin toplam fırtına zararı riski üzerindeki rölatif etkileri incelenmiştir. Bu amaçla, faktörlere ait her bir sınıfın risk derecelerinin ortalaması kullanılarak, risk faktörlerinin ağırlıklandırılması yapılmıştır. Model sonuçları, fırtına zararı üzerinde en fazla rüzgâr faktörünün etkili olduğunu, bunu eğim ve bonitet sınıfının takip ettiğini göstermiştir. Benzer çalışmalarda rüzgâr yönü ve şiddetinin orman ağaçlarında fırtına zararını etkileyen en önemli iklim parametresi olduğu vurgulanmıştır.

Çizelge 4.20 : Risk faktörlerinin toplam riskteki ağırlıkları

Risk Faktörleri	Ortalama
Rüzgâr	12%
Eğim	11%
Bonitet Sınıfı	11%
Ağaç Yaşı	10%
Ağaç Türü	10%
Kapalılık	10%
Yükseklik	10%
Toprak	9%
Yağış	9%
Bakı	8%
Toplam	100%

Bu bölümde ayrıca her bir faktörün kendi içerisinde fırtına zararı riski üzerine etkisi irdelenmiştir. Modelden elde edilen sonuçlarla bu konuda gerçekleştirilen çalışmaların bulguları karşılaştırılmıştır.

4.2.1.1 Ağaç türü faktörü

Modelden elde edilen sonuçlar İşletme şefliği sınırlarında özellikle saf karaçam ve karaçam ile kızılçam karışık meşcerelerde fırtına zararı riskinin yüksek olduğunu göstermiştir. Diğer taraftan meşe, kayın ve diğer yapraklı türlerin yer aldığı meşcerelerde fırtına zararı riskinin çok düşük olduğu görülmüştür. Bu konuda yürütülen benzer çalışmalarda da yapraklı türlerin ibrelili türlerle oranla fırtına zararına karşı daha dayanıklı olduğu bildirilmiştir (Çanakçıoğlu, 1993; Foster ve Boose, 1995).

4.2.1.2 Ağaç yaşı faktörü

Çalışma alanındaki yaşlı meşcerelerin daha fazla fırtına zararı riski altında olduğu belirlenmiştir. Özellikle 40 yaşın üzerindeki meşcerelerde bu risk daha da artmaktadır. Ağaç yaşının fırtına zararı ile ilişkisinin incelendiği çalışmalarda, genellikle fırtına zararları 50 yaşını aşmış meşcerelerde görüldüğü belirtilmiştir (Moore, 2000).

4.2.1.3 Kapalılık faktörü

Meşcere kapalılığı dikkate alındığında, orta kapalı ve tam kapalı meşcerelerde fırtına zararının daha fazla etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Benzer sonuçların elde edildiği çalışmalarda, bu zararın kaynağı kapalı ve sık meşcerelerde büyüyen ağaçlarda tepe ve köklerin gelişebileceği yerin sınırlı olmasına bağlanmıştır (Mitchell, 2000).

4.2.1.4 Bonitet sınıfı faktörü

Çalışma alanındaki meşcerelerde bonitet sınıfı yükseldikçe fırtına zararı riskinin artış gösterdiği görülmüştür. Önceki çalışmalarda da meşcere yaşı sabit kalmak koşuluyla, bonitet iyileştikçe ağaç boyundaki artışın fırtına zararı riskini yükselteceği ifade edilmiştir (Peltola ve Kellomaki, 1993).

4.2.1.5 Topografik faktörler

Fırtına zararları konusunda yapılan çalışmaların çoğunda olduğu gibi topografik faktörler olarak yükseklik, eğim ve bakı değerlendirilmiştir (Kramer ve diğ, 2001). Modelden elde edilen sonuçlar, 600 m'ye kadar fırtına zararı riskinin düşük olduğunu göstermiştir. İlerleyen yüksekliklerde bu riskin artış gösterdiği ve 1000 m civarında maksimum noktaya ulaştığı görülmüştür. Daha yüksek kesimlerde ise fırtına zararı riskinin azalma eğiliminde olduğu belirlenmiştir. Bunun bir nedeni, yüksek kesimlerde ağaçların sürekli fırtına ve diğer çevresel etkiler altında yetiştiği için daha dirençli olmalarıdır (Schmoeckel ve Kottmeler, 2008).

Eğim sınıflarının fırtına zararı riski üzerindeki etkileri incelendiğinde, en yüksek zarar riskinin %30-40 arası eğimlerde görüldüğü tespit edilmiştir. Daha düşük eğim gruplarında ve çok dik arazilerde ise zararın daha düşük seyrettiği görülmüştür. Bazı çalışmalar, arazi eğimi ile fırtına zararı arasında ters orantı olduğunu bildirmiştir (Schütz ve diğ, 2006). Bakılar incelendiğinde kuzey ve kuzeybatı bakılarda riskin daha fazla gerçekleştiği sonucuna varılmıştır. Güneybatı bakılarda ve düz alanlarda ise fırtına riskine daha düşük oranda görülmüştür.

4.2.1.6 İklim faktörleri

İklim parametrelerinden rüzgâr ve yağış faktörlerinin fırtına zararı riski üzerindeki etkisi dikkate alınmıştır. Çalışma alanına ait rüzgâr yönü ve rüzgâr hızı verileri kullanılarak rüzgârın fırtına zararına etkisi incelenmiştir. Sonuçlar, özellikle maksimum rüzgâr hızının yüksek olduğu güney ve batı bakılarda fırtına zararının daha fazla olduğunu göstermiştir. Şiddetli fırtınanın uzun zaman sürmesi durumunda ağaçlar üzerinde tahribat daha da artmaktadır (Lanquaye, 1999). Diğer bir iklim faktörü olan yağış incelendiğinde, yüksek yağış alan bölgelerde fırtına zararı riskinin arttığı görülmüştür. Kuvvetli yağışlarla gevşeyen toprak, özellikle fırtına devriklerinin oluşmasına neden olmaktadır (Çanakçıoğlu, 1993).

4.2.1.7 Toprak derinliği faktörü

Çalışma alanındaki toprak derinlikleri jeoloji haritalarından yararlanılarak sınıflandırılmıştır. Model sonuçları, sığ ve düşük derinlikteki toprakların bulunduğu alanlarda fırtına zararının daha fazla olduğunu göstermiştir. Benzer konuda yapılan çalışmalarda, derin topraklarda yetişen ormanlarda, ağaçların kök sistemleri güçlü ve

direnci yüksek olduğundan fırtına zararının daha az olduğu bildirilmiştir ((Rizzo ve Harrington, 1998).

4.2.2 CBS tabanlı fırtına zararı risk modeli

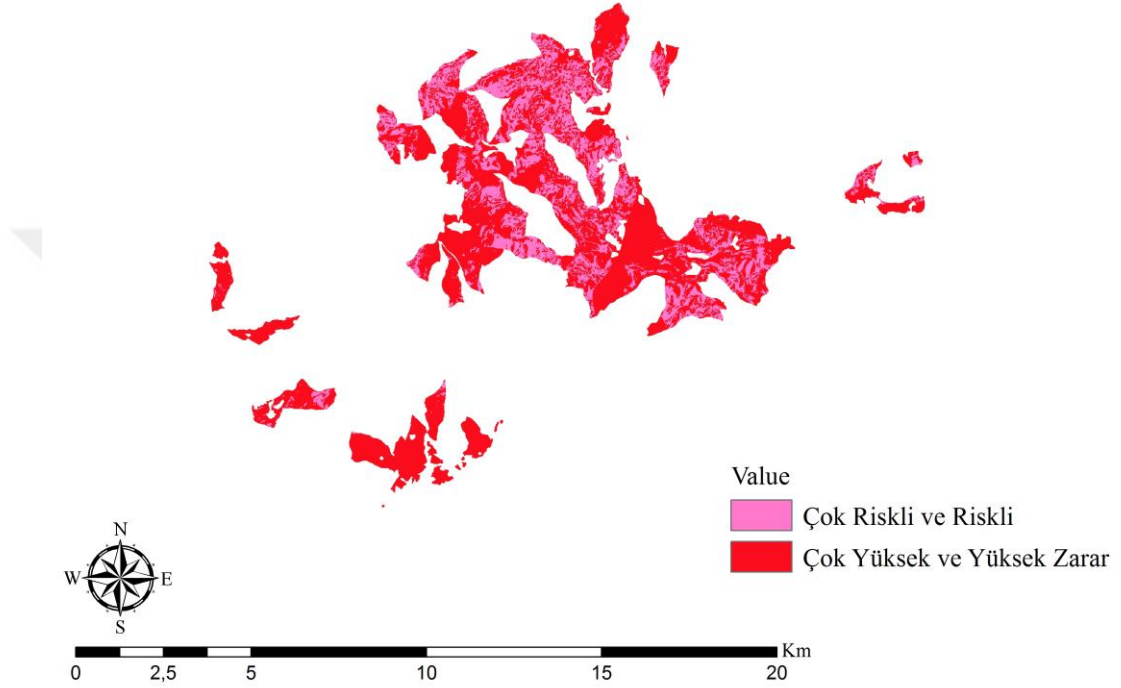
Fırtına zararı risk haritasının geliştirilmesinde özellikle ileri seviye uygunluk modellerinin oluşturulmasında etkili sonuçlar veren CBS tabanlı Bulanık Mantık yaklaşımı tercih edilmiştir. İlk aşamada, çalışmada değerlendirilen risk faktörlerine ait raster veri katmanları üretilmiş ve risk faktörleri alt sınıflara ayrılmıştır. Bu kapsamda, ağaç türü sekiz, ağaç yaşı altı, kapalılık dört, bonitet altı, yükseklik yedi, eğim on, bakı on, rüzgâr on, yağış dokuz ve toprak derinliği dört sınıfa ayrılmıştır. Daha sonra, faktörlerin altında her bir sınıf için literatürden elde edilen bilgiler doğrultusunda ağırlıklandırılmış risk derecesi tespit edilmiş ve ağırlık değerleri dikkate alınarak veri katmanları yeniden sınıflandırılmıştır.

Fırtına zararı risk faktörlerine ait verileri belirtilen bir kümeye üye olma olasılığına bağlı olarak 0'dan 1'e kadar bir ölçekte yeniden sınıflandırmak için CBS ortamında Bulanık Üyelik (Fuzzy Membership) kullanılmıştır. Büyük yüzdeler değerlerin bulanık kümede daha fazla üyeliğe sahip olduğu ağaç türü, ağaç yaşı, kapalılık, bonitet sınıfı ve toprak derinliği için "Large" üyelik tipi kullanılmıştır. Diğer taraftan, bulanık kümede üyeliklerin belirli bir değere yakın olması nedeniyle Yükseklik, eğim, bakı ve rüzgâr için "Near" üyelik tipi kullanılmıştır. Yükseklikle doğru orantılı olması nedeniyle yağış faktörü için "Linear" üyelik tipi kullanılmıştır.

Son aşamada, risk faktörü üyelikleri CBS ortamında "GAMMA" durulaştırma tipi kullanılarak çalışma alanına ait fırtına zararı risk haritası geliştirilmiştir. Sonuçlara göre çalışma alanının yaklaşık %80'i fırtına zararına karşı çok az ve az riskli bölgeler olarak sınıflandırılmıştır. Alanın %20'si ise riskli ve çok riskli bölgeler sınıfında yer almıştır.

Fırtına zararı risk haritasının doğruluğunu değerlendirmek için sahada kaydedilen olağanüstü hasıla miktarlarına bağlı olarak fırtına zararı haritası üretilmiştir. Bu haritada, çalışma alanının yaklaşık %76'sında fırtına zararı çok düşük ve düşük oranda tahmin edilmiştir. Alanın %24'ünde ise yüksek ve çok yüksek fırtına zararı tahmin edilmiştir.

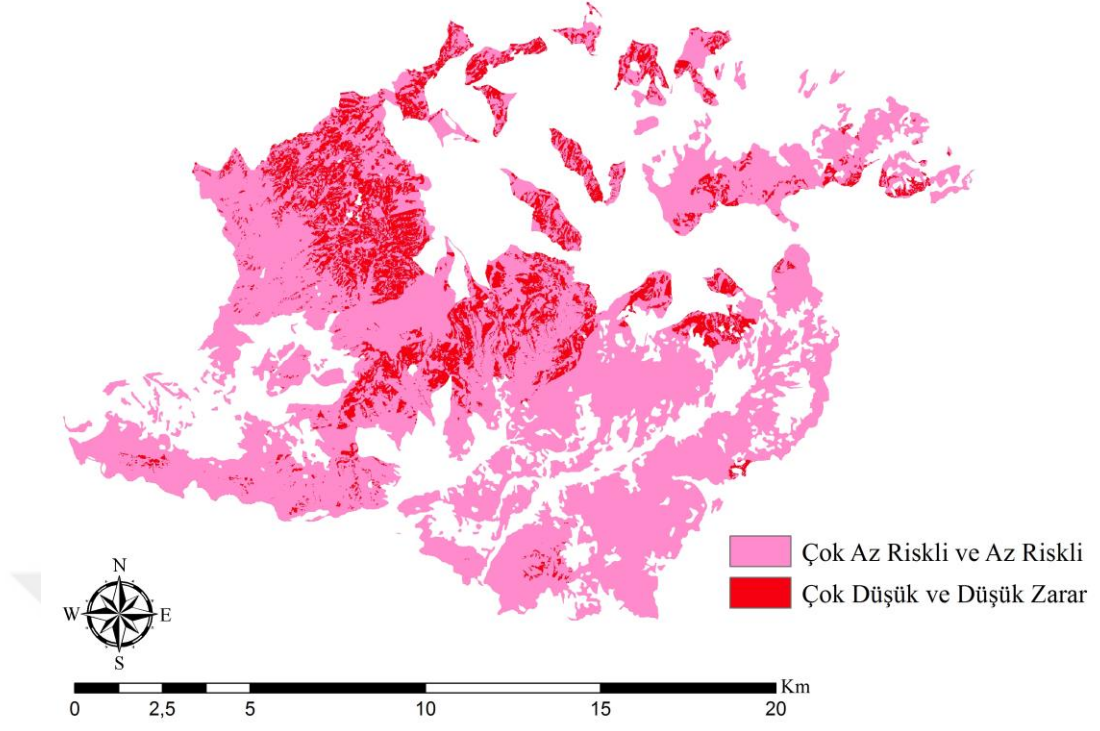
Geliştirilen bu iki harita karşılaştırıldığında, çok yüksek ve yüksek fırtına zararı oluşan alanların yaklaşık %30'unun çok riskli ve riskli alanlar olarak belirlendiği tespit edilmiştir (Şekil 4.33). Aynı zamanda, çok düşük ve düşük fırtına zararı görülen alanların ise %83,73'ünün çok az riskli ve az riskli alanlar olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.34) (Çizelge 4.21).



Şekil 4.33: Çok yüksek ve yüksek fırtına zararı olan alanların tahmini

Çizelge 4.21: Risk haritasının bindirme oranları

Zarar Derecesi	Fırtına Zararı (ha)	Fırtına Riski (ha)	Bindirme (%)
Çok Yüksek/ Yüksek	4669,05	1366,48	29,26
Çok Düşük/ Düşük	14765,53	12363,40	83,73



Şekil 4.34: Çok düşük ve düşük fırtına zararı olan alanların tahmini

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde ormanlar üzerinde zarara neden olan abiyotik ve biyotik faktörler orman kaynaklarımızın sürdürülebilirliğine önemli ölçüde zarar vermektedir. Abiyotik faktörlerin başında gelen orman yangınları, fırtına, kar, çığ ve kuraklık arasında en etkili faktörlerden biri fırtına zararlarıdır. Ülkemizde fırtına zararları konusunda gerçekleştirilen bilimsel çalışmalar çok sınırlı sayıdadır. Oysa, ülkemiz ormanlarında fırtına zararları çok farklı ağaç türleri üzerinde etkili olmakta ve birçok bölgede kayıplara neden olmaktadır.

Fırtına zararları üzerinde etkili olan ana faktörler, meşcere özellikleri (ağaç türü, ağaç yaşı, kapalılık, bonitet sınıfı), topografik özellikler (yükseklik, eğim, bakı), iklim parametreleri (rüzgâr, yağış) ve toprak derinliğidir. Fırtına zararının engellenmesi veya minimize edilmesi için fırtına zararı riski üzerinde daha fazla etkili olan faktörlerin belirlenmesi ve fırtına zararı riski taşıyan ormanlık alanların risk haritalarının geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu çalışma kapsamında, CBS tabanlı matematiksel model (Bulanık Mantık) kullanılarak fırtına zararı risk haritası üretilmiştir. Model uygulamasında, 2015 yılı kış aylarında fırtına zararının yoğun olarak görüldüğü Tavşanlı Orman İşletme Müdürlüğü sınırlarında yer alan Alabarda Orman İşletme Şefliği değerlendirilmiştir.

Çalışma sonucunda geliştirilen CBS tabanlı matematiksel model, işletme sınırlarındaki orman alanlarının yaklaşık %80'inin fırtına zararına karşı çok az ve az risk taşıdığını göstermiştir. Geriye kalan alan riskli ve çok riskli bölgeler olarak sınıflandırılmıştır. Sahada kaydedilen olağanüstü hasıla miktarlarına bağlı olarak üretilen fırtına zararı haritası ise çalışma alanının yaklaşık %76'sının fırtına zararından çok düşük ve düşük oranda etkilediğini göstermiştir. Geriye kalan alan ise yüksek ve çok yüksek fırtına zararı gören bölgeler olarak sınıflandırılmıştır.

Risk faktörlerinin ağırlıklandırılması yapılarak toplam fırtına zararı riski üzerindeki rölatif etkileri incelendiğinde, en etkili faktörün rüzgâr yönü ve şiddeti olduğu, bunu eğim ve bonitet sınıfının takip ettiği belirlenmiştir. Fırtına riskini aynı şiddette etkileyen diğer faktörler sırasıyla ağaç yaşı, ağaç türü, kapalılık ve yüksekliktir. Toprak ve yağışın etkisi daha düşük görülürken, fırtına zararı riskini en az bakı faktörünün etkilediği bulunmuştur.

Fırtına zararlarının en aza indirilebilmesi için bazı silvikültür, amenajman ve teknik alanda önlemler alınmalıdır. Rüzgârın riskli meşcereler üzerindeki etkisini engellemek için kenar bölmelere rüzgâr perdesi kurmak ve bunun devamlılığını sağlamak fırtına zararlarına karşı oldukça önemlidir. Meşceredeki doğal türlerden oluşan doğal perdeler kullanılacağı gibi rüzgâra dayanıklı olan türlerden (meşe ve çam gibi) tesis edilen yapay perdeler de kullanılabilir. Ayrıca, rüzgâr yönü ve şiddeti saptanarak rüzgârın karakteri iyi tespit edilmeli ve amenajman planlarında gözlem sonuçlarında elde edilen yersel bilgiler göz önünde bulundurulmalıdır. Fırtına riski altındaki ormanlar rüzgâr yönüne uygun olarak bölmelere ayrılmalıdır.

Fırtına zararı riskinin yüksek olduğu ormanlarda karışık meşcereler kurulmalı ve fırtına zararına karşı dayanıklı türlere daha çok yer verilmelidir. Riskli ormanlarda kapalı meşcerelerde alansal olarak ağaç fazla yayılım yapamadığı için kökler iyi gelişmez ve dolgun bir gövde yaparak fırtına zararına karşı daha hassas duruma gelir. Bu tür alanlarda fazla abartılı olmadan kapalılığın kırılması yerinde olacaktır. Bu kapsamda, özellikle fırtına zararı riskinin yüksek olduğu alanlarda orman bakım çalışmalarının zamanında gerçekleştirilmesi ve kesinlikle ihmal edilmemesi önemlidir.

Fırtına riski taşıyan bölgelerde, yaşlı meşcerelerde hasta ve çürük ağaçların miktarı artacağından fırtına zararı riski daha yüksektir. Bu tür ormanlarda idare süresi kısa tutulmalıdır. Meşcerelerin direncini arttırmak için meşcere kenarları boyunca ağaçların kökleri üzerine ağaçtan bir ıskara yapıldıktan sonra, üzerine duvar şeklinde taşlar yığılmalıdır.

Bu çalışmayı takiben gerçekleştirilebilecek araştırmalarda fırtına zararı riskini etkilen faktörlerin etkileşimleri faktör analizleri uygulanarak değerlendirilmelidir. Ayrıca, ormancılık çalışmalarında son yıllarda kullanılmaya başlanan insansız hava aracı tabanlı uzaktan algılama verilerinin, fırtına zararı riskinin belirlenmesinde kullanım olanakları araştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Acatay, G.**, (1966). Orman Koruma. İ.Ü Orman Fakültesi, İstanbul. 305 s.
- Acatay, G. & Gülen, İ.**, (1971). Türkiye Ormanlarında Fırtına Zararları, *İ.Ü Orman Fakültesi Dergisi*, Seri A, 21(2), 1-20.
- Akbulak, C. & Özdemir, M.** (2008). The Application of the Visibility Analysis for Fire Observation Towers in the Gelibolu Peninsula (NW Turkey) Using GIS. *BALWOIS*, Ohrid, Macedonia, May 27-31.
- Atay, İ.**, (1987). Doğal Gençleştirme Yöntemleri I-II, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yayınları, No: 3461. İstanbul. 290 s.
- Atay, İ.**, (1990). Silvikültür II (Silvikültürün Tekniği), İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları, No: 405. İstanbul. 242 s.
- Aydın, A. & Eker R.**, (2012). CBS Tabanlı Bulanık Üyelik Modeliyle Eğitim Haritalarının Hazırlanması ve Klasik Yöntemle Karşılaştırılması: Çığ Risk Değerlendirme Uygulaması. *KSÜ Mühendislik Bil.Der.*, Özel Sayı, 206-212.
- Beese, W.J.**, (2001). Windthrow Monitoring of Alternative Silvicultural Systems in Montane Coastal Forests, *Proceedings of the Windthrow Researchers Workshop*, Richmond, British Columbia, January 31-February 1, 2-11.
- Brooks, C.J., Kumar, V., Lane, S.N.**, (2010). A comparison of Fuzzy, Bayesian and Weighted Average formulations of a habitat model. International Environmental Modelling and Software Society (iEMSs) 2010 International Congress on Environmental Modelling and Software Modelling for Environment's Sake, Fifth Biennial Meeting, Filatova (Eds.), Ottawa, Canada, July 5-8.
- Burton, P.J.**, (2001). Windthrow Patterns on Cutblock Edges and in Retention Patches in the SBSmc, *Proceedings of the Windthrow Researchers Workshop*, Richmond, British Columbia, January 31-February 1, 19-31.
- Chang, K.**, (2004). GIS Models and Modelling. Introduction to Geographic Information Systems, Chapter Fourteen. McGraw Hill, New York.
- Coutts, M.**, (1983). Root Architecture and Tree Stability. *Plant and Soil*, 71:171-188
- Çanakçoğlu, H.**, (1993). Orman Koruma. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi. Üniversite Yayın No: 3624. Fakülte Yayın No: 411. ISBN 975-404-199-7. İstanbul, 633.
- Defne, M.Ö.**, (1954). Batı Karadeniz Bölgesindeki Göknarların Zararlı Böcekleri ve Mücadele Metodları, T.C. Tarım Vekaleti, Orman Umum Müdürlüğü Yayınlarından, Seri No: 12, Sıra No: 105, İstanbul.
- DeLong, S.C., Burton, P., Mahon, T., Ott, P., Steventon, D.**, (2001). Factors Affecting Windthrow in Reserves in Northern British Columbia, *Proceedings of the Windthrow Researchers Workshop*, Richmond, British Columbia, January 31-February 1. pp: 32-41.
- Derinpinar, M.A. & Aydınoğlu, A.Ç.**, (2015). Bulanık Mantık ile Coğrafi Bilgi Teknolojilerini Kullanarak Taşınmaz Değerlemesi, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 15. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara, Mart 25-28.

- Dursun, E.**, (2016). *Baltalık İşletmelerinin Koru İşletmelerine Dönüştürülmesinde Orman Yol Ağının Yeniden Düzenlenmesi Modeli*, (Doktora Tezi), Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Eastman, J. R., Jin W., Kyem, P. A. K., & Toledano, J.**, (1995). Raster Procedures for Multi-Criteria/Multi-Objective Decisions. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 61(5), 539-547.
- Eker, M.**, (2008). Orman Transport Tekniği Ders Notları. Isparta.
- Eler, Ü.**, (2002). Bonitetin önemi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, Seri: A, 2, 1-10.
- Eraslan, İ.**, (1971). Orman Amenajmanı, İ.Ü Orman Fakültesi, Yayın No: 169. İstanbul. 488.
- Erdem, R.**, (1951). Fırtına zararlarının Türkiye ormanları için olan önemi ve buna karşı alınması gerekli tedbirler. *İ.Ü Orman Fakültesi Dergisi*, 1(2), 49-57.
- Esri**, (2017). ArcGIS Desktop. <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-fuzzy-membership-works.htm> Erişim tarihi: 11.06.2017.
- Fridman, J. & Valinger, E.**, (1998). Modelling probability of snow and wind damage using tree, stand and site characteristics from *Pinus sylvestris* sample plots. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 13, 348-356.
- Foster, D.R.**, (1988). Species and stand response to catastrophic wind in central New England, USA. *Journal of Ecology*, 76:135-151.
- Foster, D.R. & Boose, E.R.**, (1995). Hurricane disturbance regimes in temperate and tropical forest ecosystems. In *Wind and Trees*. M.P. Coutts and J. Grace (eds.). Cambridge University Press. Cambridge, 305-339.
- Harris, A.S.**, (1989). Wind in the forests of southeast Alaska and guides for reducing damage. USDA For. Serv. PNW-GTR-224.
- ILWIS**, 2013. Erişim: 01.06.2017.
http://www.itc.nl/ilwis/documentation/version_2/aguide.asp.
- Jull, M.**, (2001). Wind Damage and Related Risk Factors for Interior Douglas-fir Leave Trees in Central BC, *Proceedings of the Windthrow Researchers Workshop*, Richmond, British Columbia, January 31-February 1, 12-18.
- Kramer, M.G., Hansen, A.J., Taper, M.L., Kissinger, E.J.**, (2001). Abiotic controls on long-term Windthrow disturbance and temperature rain forest Dynamics in South Alaska, *Journal of Ecology*, 82, 2749-2768.
- Lanquaye, C.O.**, (1999). *Empirical Modelling Of Windthrow Risk And Hazard Mapping Using Geographical Information Systems*, (Msc Thesis), The University of Science and Technology, Kumasi, Ghana, 126.
- Lekes, V. & Dandul, I.**, (2000). Using airflow modeling and spatial analysis for defining wind damage risk classification (WINDARC). *For. Ecol. and Manage.*, 135, 331-344.
- Lorz C., Fürst C., Galic Z., Matijasic Podrazky V., Potocic N., Simonic P., Strauch M., Vacik H., Makeschin F.**, (2010). GIS-based Probability Assessment of Natural Hazards in Forested Landscapes of Central and South-Eastern Europe. *Environmental Management*, 46, 920-930.

- Mamdani, E.H.** (1976). Advances in the linguistic synthesis of fuzzy controllers, *International Journal of Man-Machine Studies*, (8), 669-678.
- Miller, D.R., Dunham, R., Broadgate, M.L., Aspinall, R.J., Law, A.N.R.**, (2000). A demonstrator of models for assessing wind, snow and fire damage to forests using the WWW, *Forest Ecology and Management* 135(2000), 355-363.
- Mitchell, S.J.**, (2000). Stem growth response in Douglas-fir and Sitka spruce following thinning: Implications for assessing wind-firmness. *For. Ecol. and Manage.*, 135, 105-114.
- Mitchell, S.J., Hailemariam, T., Kulis, Y.**, (2001). Empirical modeling of cutblock edge Windthrow risk on Vancouver Island, Canada, using stand level information. *For. Ecol. and Manage.* 154, 117-130.
- Mitchell, S., Kulis, Y., Hailemariam, T.**, (2001). Modeling and Mapping Cutblock Edge Windthrow Risk Using GIS, *Proceedings of the Windthrow Researchers Workshop*, Richmond, British Columbia, January 31-February 1, 122-138.
- Moore, J.R. & Somerville, A.**, (1998). Assessing the risk of wind damage to plantation forests in New Zealand. *N.Z. For.* 43, 25-29.
- Moore, J.R.**, (2000). Differences in maximum resistive bending moments of *Pinus radiata* trees grown on a range of soil types. *For. Ecol. and Manage.*, 135, 63-71.
- Özyuvacı, N.**, (1999). Meteoroloji ve Klimatoloji, İ.Ü. Orman Fakültesi, Yayın no:60, İstanbul.
- Peltola, H. & Kellomaki, S.**, (1993). A mechanistic model for calculating windthrow and stem breakage of Scot pines at stand edge. *Silva Fennica*, 27, 99-111.
- Rizzo, D.M. & Harrington, T.C.**, (1988). Root movement and root damages of red spruce and balsam fir on subalpine in the White Mountains, New Hampshire. *Can. J. Res.* 18, 991-1001.
- Rollerson, T., & McGourlick, K.**, (2001). Riparian Windthrow-Northern Vancouver Island, *Proceedings of the Windthrow Researchers Workshop*, Richmond, British Columbia, January 31-February 1, 139-155.
- Ruel, J.C., Pin, D., Spacek, L., Cooper, K., Benoit, R.**, (1997). The estimation of wind exposure for windthrow hazard rating: comparison between Strongblow, MC2, Topex and a wind tunnel study, *Forestry*, 70(3), 253-266.
- Quine, C.P.**, (1995). Assessing the risk of wind damage to forests: practice and pitfalls. In *Wind and Trees*. M.P. Coutts and J. Grace (eds.). Cambridge University Press. Cambridge, 379-403.
- Sasilka, K.R., Petrou, M., Kittler, J.**, (2004). Fuzzy Classification with a GIS as an Aid to Decision Making. http://www.earsel.org/Advances/4-4-1996/4-4_12_Sasikala.pdf.
- Schmoeckel, J. & Kottmeler, C.**, (2008). Storm damage in the Black Forest caused by the winter storm "Lothar" – Part 1: Airborne damage assessment, *Hazards Earth Syst. Sci.*, 8, 795-803.
- Schütz, J.-P., Götz, M., Schmid, W., Mandallaz, D.**, (2006). Vulnerability of spruce (*Picea abies*) and beech (*Fagus sylvatica*) forest stands to storms and consequences for silviculture, *Eur. J. Forest Res.*, 125, 291–302.

- Schwarz, C.J.**, (1998). Studies of uncontrolled events. In: Sit., V., and B. Taylor (eds). Statistical methods for adaptive management studies. Res. Branch, B.C. Ministry of Forests, Res. Br., Land Management Handbook 42, Victoria, BC, Canada. pp. 19-40.
- Sieben, B.**, (2001). Mapping and Investigating the Mean and Extreme Wind Regime of Coastal British Columbia, *Proceedings of the Windthrow Researchers Workshop*, Richmond, British Columbia, January 31-February 1, 91-96.
- Smith, V.G., Watts, M., James, D.F.**, (1987). Mechanical stability of black spruce in the clay belt region of northern Ontario. *Can. J. For. Res.* 17, 1080-1091.
- Stathers, R.J. Rollerson, T.P., Mitchell, S.J.**, (1994). Windthrow handbook for British Columbia forests. BC Min. For. Research Branch working paper 9401, Victoria, BC.
- Talkkari, A., Peltola, H., Kellomaki, S., Strandman, H.** (2000). Integration of component models from the tree, stand and regional levels to assess the risk of wind damage at forest margins. *For. Ecol. and Manage.* 135, 303-313.
- Teich, M. & Bebi, P.**, (2009). Evaluating the benefit of avalanche protection forest with GIS - based risk analyses-A case study in Switzerland, *Forest Ecology and Management*, 257, 1010-1019.
- Ünal, S., Sivacioğlu, A., Ayan, S., Öner, N.**, (2007). Ilgaz dağları ormanlarındaki fırtına devrikleri ve entomolojik sonuçları, *Ulusal Çevre Sempozyumu*, Mersin: Mersin Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Nisan 18-21.
- Wilkie, M.L., Holmgren, P., Castaneda, F.**, (2003). Sustainable forest management and the ecosystem approach: two concepts, one goal, Forestry Department, FAO, Rome, Italy.
- Wright, J.A. & Quine, C.P.**, (1993). The use of a geographical information system to investigate storm damage to trees at Wykeham Forest, North Yorkshire. *Scottish Forestry.* 47, 166-174.
- Yanar, A.T. & Akyürek, Z.**, (2003). *The Enhancement of the Cell-based GIS Analyses with Fuzzy Processing Capabilities. The Graduate School of Natural And Applied Sciences of The Middle East Technical University*, (MSc Thesis), 1-116.
- Zeng, H., Talkkari, A., Peltola, H., Kellomaki, S.**, (2007). A GIS-based decision support system for risk assessment of wind damage in forest management, *Environmental Modelling & Software*, 22(2007), 1240-1249.

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : İnanç TAŞ
Doğum Tarihi ve Yeri : 27-02-1989, Sivas
E-posta : inanç.tas@btu.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2014, KTÜ, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü
- **Yüksek Lisans** :

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

-
-

TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER, SUNUMLAR VE PATENTLER:

-
-
-

DİĞER ESERLER, SUNUMLAR VE PATENTLER:

-
-