T.C.
ÇALIŞMA VE SOSYAL GÜVENLİK BAKANLIĞI
İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

RÜZGAR TÜRBİNLERİNİN KURULUM VE BAKIM SÜREÇLERİNDEKİ RİSKLERİN TESPİTİ, DEĞERLENDİRİLMESİ VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİNİN SUNULMASI

Tolga MURATDAĞI

(İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi)

ANKARA-2015

T.C.
ÇALIŞMA VE SOSYAL GÜVENLİK BAKANLIĞI
İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

RÜZGAR TÜRBİNLERİNİN KURULUM VE BAKIM SÜREÇLERİNDEKİ RİSKLERİN TESPİTİ, DEĞERLENDİRİLMESİ VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİNİN SUNULMASI

Tolga MURATDAĞI

(İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi)

Tez Danışmanı
Tolga PEKİNER

ANKARA-2015

T.C.
Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı
İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü

O N A Y

Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü İş Sağlığı ve Güvenliği Uzman Yardımcısı Tolga MURATDAĞI 'nın, Tolga PEKİNER danışmanlığında başlığı **Rüzgar Türbinlerinin Kurulum ve Bakım Süreçlerindeki Risklerin Tespiti, Değerlendirilmesi ve Çözüm Önerilerinin Sunulması** olarak teslim edilen bu tezin savunma sınavı 18/09/2015 tarihinde yapılarak aşağıdaki jüri üyeleri tarafından **İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Dr. Serhat AYRIM
Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı
Müsteşar Yardımcısı
JÜRİ BAŞKANI

Kasım ÖZER
İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürü
ÜYE

Dr. H. N. Rana GÜVEN
İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdür Yrd.
ÜYE

İsmail GERİM
İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdür Yrd.
ÜYE

Prof. Dr. Yasin Dursun SARI
Öğretim Üyesi
ÜYE

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

Kasım ÖZER
İSGGM Genel Müdürü

TEŞEKKÜR

İş Sağlığı ve Güvenliği Uzman Yardımcılığım boyunca kıymetli bilgi, deneyim ve desteklerini esirgemeyen Genel Müdürüm Sayın Kasım ÖZER başta olmak üzere, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdür Yardımcısı Sayın Dr. H. N. Rana GÜVEN, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdür Yardımcısı Sayın İsmail GERİM, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdür Yardımcısı Sayın Sedat YENİDÜNYA ve Yetkilendirme Daire Başkanı Sayın Furkan YILDIZ'a teşekkürlerimi sunarım. İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanı ve aynı zamanda tez danışmanım olan Sayın Tolga PEKİNER'e teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışması boyunca göstermiş oldukları sabır ve değerli katkılarından dolayı aileme ve tüm çalışma arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım. Son olarak, yapmış olduğum teknik ziyaretler sırasında göstermiş oldukları misafirperverliklerinden dolayı tüm işletme yöneticileri ve çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

Tolga MURATDAĞI

Rüzgar Türbinlerinin Kurulum ve Bakım Süreçlerindeki Risklerin Tespiti, Değerlendirilmesi ve Çözüm Önerilerinin Sunulması

Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü

İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi

Ankara, 2015

Günümüzde, iş kazaları ve meslek hastalıklarının oluşmasının önlenmesinde kuralcı yaklaşım modeli yerini önleyici yaklaşım modeline bırakmıştır. Bu yaklaşımın uygulanmasında en etkili araç ise; çalışma ortamındaki risklerin belirlenmesi ve analizlerinin yapılmasını sağlayan risk değerlendirmesidir. Bu çalışmada, literatürdeki risk değerlendirmesi metotlarından farklı olarak bulanık mantık temelli yeni bir risk değerlendirmesi yaklaşımı geliştirilmiştir. Böylelikle, mevcut metotların en önemli dezavantajlarından birisi olan subjektifliğin önüne geçilerek elde edilen sonuçların daha objektif olması amaçlanmıştır. Geliştirilen yöntemde; olasılık, şiddet ve frekans kriterleri karar kriteri olarak belirlenmiş ve bulanık analitik hiyerarşi süreci yöntemi ile bu kriterlerin önem ağırlıkları belirlenmiştir. Daha sonra sevkiyat süreci, kurulum süreci ve bakım süreci olarak üç ana süreç altında ele alınan rüzgar türbinlerinin kurulum ve bakım sürecinde tespit edilen 57 adet risk; karar kriterlerine göre bulanık topsis metodu yöntemi ile değerlendirilmiş ve düzeylerine göre önceliklendirilmiştir. Bu çalışmada, toplam 73 adet rüzgar türbininin bulunduğu iki farklı rüzgar enerjisi santralindeki kurulum ve bakım süreçleri gözlemlenmiş ve her bir ana süreç altında tespit edilen en önemli 5 risk için çözüm önerileri getirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Risk değerlendirmesi, bulanık mantık, bulanık analitik hiyerarşi süreci, bulanık topsis metodu, rüzgar türbinleri

ABSTRACT

Tolga MURATDAĞI

Determination, Assessment and Offering Solutions of Risks in Construction and Maintenance Processes of Wind Turbines

Ministry of the Labor and Social Security, Directorate General of Occupational Health and Safety

Thesis for Occupational Health and Safety Expertise

Ankara, 2015

Today, prescriptive approach model to prevent occurrence of occupational accidents and diseases is replaced by preventive approach model. The most effective instrument for the implementation of this approach is the risk assessment, ensuring to identify and analyse the risks of the work environment. In this study, a new risk assessment approach has been developed based on fuzzy logic as distinct from the risk assessment methods in the literature. Thus, it is aimed to obtain more ojective results, precluding the subjectivity that is one of the major disadvantages of the conventional methods in the risk assessment techniques. In the developed method; probability, severity and frequency criteria are identified as decision criterion and the weight and importance of these criteria are calculated by fuzzy analytic hierarchy process method. Subsequently, the 57 risks identified within the process of wind turbine installation and maintenance evaluated and assessed in accordance to desicion making criterion, set out and prioritized by the fuzzy TOPSIS method. In consequence of this study,construction and maintenance processes are observed in two different wind power plants which have 73 wind turbines and some solutions are offered for identified 5 risks that are the most important of each main processes.

Keywords: Risk assessment, fuzzy logic, fuzzy analytic hierarchy process, fuzzy topsis method, wind turbines

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEŞEKKÜR i

ÖZET ii

ABSTRACT iii

İÇİNDEKİLER iv

RESİMLEMELER LİSTESİ vii

SİMGE VE KISALTMALAR xi

1. GİRİŞ 1

2. GENEL BİLGİLER 3

2.1. AVRUPA VE DÜNYADA RÜZGAR ENERJİSİ 4

2.2. TÜRKİYE'DE RÜZGAR ENERJİSİ 8

2.3. RÜZGAR TÜRBİNLERİNİN YAPISI VE ÇALIŞMA PRENSİBİ 13

2.4. RÜZGAR ENERJİSİ SEKTÖRÜNDE YAŞANAN İŞ KAZALARINA İLİŞKİN İSTATİSTİKLER 17

2.5. RÜZGAR TÜRBİNLERİNİN KURULUM VE BAKIM SÜREÇLERİNDE İŞ KAZASI VE MESLEK HASTALIĞINA NEDEN OLAN RİSK ETMENLERİ 21

2.5.1. Türbin Parçalarının İnşaat Sahasına Ulaştırılmasıyla İlgili İSG Riskleri 21

2.5.2. Rüzgar Türbinlerinin Kurulumu ile İlgili İSG Riskleri 24

2.5.3. Rüzgar Türbinlerinin Bakım Faaliyetleri ile İlgili İSG Riskleri 29

2.6. RÜZGAR ENERJİSİ SEKTÖRÜNDE İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ İLE İLGİLİ MEVZUAT 34

2.7. RİSK DEĞERLENDİRMESİ 37

2.8. BULANIK MANTIK 41

2.8.1. Bulanık Mantık Kavramı 41

2.8.2. Dilsel Değişken 42

2.8.3. Bulanık Kümeler 42

2.8.4. Üçgen Bulanık Sayılar 43

2.8.5. Vertex Yöntemi 44
3. GEREÇ VE YÖNTEMLER 45
3.1. BULANIK ANALİTİK HİYERARŞİ SÜRECİ 47
3.2. BULANIK TOPSİS YÖNTEMİ 50
3.2.1. BTOPSIS Yönteminin Matematiksel Yapısı 51
3.3. UYGULANACAK YÖNTEMİN ALGORİTMASI 56
4. BULGULAR 57
4.1. KARAR KRİTERLERİNİN BELİRLENEREK DİLSEL DEĞİŞKENLER YARDIMIYLA DEĞERLENDİRİLMESİ 58
4.2. KARAR KRİTERLERİNİN ÖNEM AĞIRLIKLARININ HESAPLANMASI 60
4.3. RÜZGAR TÜRBİNLERİNİN KURULUM VE BAKIM SÜREÇLERİNDEKİ RİSKLERİN TESPİT EDİLMESİ 63
4.3.1. Türbin Parçalarının İnşaat Sahasına Ulaştırılmasıyla İlgili İSG Riskleri 63
4.3.2. Rüzgar Türbinlerinin Kurulum Süreciyle İlgili İSG Riskleri 65
4.3.3. Rüzgar Türbinlerinin Bakım Süreciyle İlgili İSG Riskleri 66
4.4. BTOPSİS YÖNTEMİ KULLANILARAK RİSKLERİN DİLSEL DEĞİŞKENLER YARDIMIYLA DEĞERLENDİRİLMESİ 68
4.4.1. Türbin parçalarının inşaat sahasına ulaştırılmasıyla ilgili İSG risklerinin dilsel değişkenler kullanılarak değerlendirilmesi 69
4.4.2. Rüzgar Türbinlerinin Kurulum Aşamasıyla İlgili İSG Risklerinin Dilsel Değişkenler Kullanılarak Değerlendirilmesi 71
4.4.3. Rüzgar Türbinlerinin Bakım Aşamasıyla İlgili İSG Risklerinin Dilsel Değişkenler Kullanılarak Değerlendirilmesi 75
4.5. BTOPSİS YÖNTEMİYLE RİSKLERE AİT NORMALİZE EDİLMİŞ BULANIK ÖNEM AĞIRLIKLARININ BELİRLENMESİ 79
4.6. BTOPSİS YÖNTEMİYLE RİSKLERE AİT AĞIRLIKLI NORMALİZE EDİLMİŞ BULANIK ÖNEM AĞIRLIKLARININ BELİRLENMESİ 82
4.7. BULANIK POZİTİF VE NEGATİF İDEAL ÇÖZÜMLERE OLAN UZAKLIKLARININ HESAPLANARAK YAKINLIK KATSAYILARININ BELİRLENMESİ 85

4.8. YAKINLIK KATSAYILARINA GÖRE RİSKLERİN ÖNEM SIRALAMASININ BELİRLENMESİ 89

4.8.1. Türbin Parçalarının İnşaat Sahasına Ulaştırılmasıyla İlgili İSG Risklerinin Yakınlık Katsayılarına Göre Sıralanması 90

4.8.2. Türbin Parçalarının Kurulum Aşamasıyla İlgili İSG Risklerinin Yakınlık Katsayılarına Göre Sıralanması 90

4.8.3. Türbinlerin Bakım Aşamasıyla İlgili İSG Risklerinin Yakınlık Katsayılarına Göre Sıralanması 92

5. TARTIŞMA 95

6. SONUÇ VE ÖNERİLER 99

KAYNAKLAR 103

ÖZGEÇMİŞ 107

EKLER 109

RESİMLEMELER LİSTESİ

ŞEKİLLER

Şekil **Sayfa**

Şekil 2.1. Avrupa Birliği'nde kurulu rüzgar gücünün yıllara göre kümülatif değişimi 4
Şekil 2.2. 2014 yılı itibariyle Avrupa Birliği'ndeki kurulu rüzgar gücü kapasitesinin ülkelere göre dağılımı 5
Şekil 2.3. Dünyadaki kurulu rüzgar gücü kapasitesinin yıllara göre kümülatif değişimi 6
Şekil 2.4. Türkiye rüzgar enerjisi potansiyeli atlası 8
Şekil 2.5. Türkiye'deki kurulu rüzgar gücünün yıllara göre değişimi 10
Şekil 2.6. Türkiye'deki kurulu rüzgar gücünün bölgelere göre dağılımı 11
Şekil 2.7. Ülkemizdeki kurulu rüzgar gücünün illere göre dağılımı 12
Şekil 2.8. Günümüzde üretilen modern üç kanatlı rüzgar türbininin ana yapı elemanları 14
Şekil 2.9. Türbin parçalarının türbin sahasına nakliyesi 22
Şekil 2.10. Türbin parçalarının türbin sahasına nakliyesi 22
Şekil 2.11. Türbin rotorunun nacelle'ye kaldırılması 24
Şekil 2.12. Türbin rotorunun nacelle'ye kaldırılması 25
Şekil 2.13. Türbin sahasına ulaşım yollarının açılması 26
Şekil 2.14. Türbin kanatlarının montajı 28
Şekil 2.15. Kule üzerindeki bir çalışanın acil durum anında kule dışından aşağı inmesi 29
Şekil 2.16. Nacelle üzerinde meydana gelen buzlanma 31
Şekil 2.17. Kış aylarında türbin sahalarına ulaşım için kullanılan yolların durumu 32
Şekil 2.18. Kanat içerisinde yapılan bir bakım çalışması 33
Şekil 2.19. Kanat üzerinde yapılan bir bakım çalışması 34
Şekil 2.20. M üçgen bulanık sayısının üyelik fonksiyonunun grafiksel ifadesi 44
Şekil 3.1. Tez Akış Şeması 46
Şekil 4.1. BAHS ve BTOPSIS tabanlı risk analizi metodunun akış şeması 57

TABLOLAR

Tablo **Sayfa**

Tablo 2.1. 2012 verilerine göre küresel rüzgar enerjisi pazarındaki ilk 10 ülke 7
Tablo 2.2. Ülkemizde 10 m yükseklikte bölgelerin ortalama rüzgar hızı ve rüzgar yoğunluğu değerleri 9
Tablo 2.3. 2014 yılı verilerine göre dünya genelinde rüzgar enerjisi sektörü ile ilgili iş kazalarının yıllara göre dağılımı 18
Tablo 2.4. 2014 yılı verilerine göre dünya genelinde rüzgar enerjisi sektörü ile ilgili ölümlü iş kazalarının yıllara göre dağılımı 18
Tablo 2.5. 2014 yılı verilerine göre dünya genelinde rüzgar enerjisi sektörü ile ilgili yaralanma ile sonuçlanan iş kazalarının yıllara göre dağılımı 19
Tablo 2.6. 2014 yılı verilerine göre dünya genelinde rüzgar türbinleri ile ilgili meslek hastalığı vakalarının yıllara göre dağılımı 19
Tablo 2.7. 2014 yılı verilerine göre dünya genelinde türbin kanatlarındaki hasarlardan kaynaklanan iş kazası sayılarının yıllara göre dağılımı 20
Tablo 2.8. 2014 yılı verilerine göre dünya genelinde yangından dolayı gerçekleşen iş kazası sayılarının yıllara göre dağılımı 20
Tablo 2.9. 2014 yılı verilerine göre dünya genelinde türbinin kule yapısındaki hasarlardan kaynaklanan iş kazası sayılarının yıllara göre dağılımı 20
Tablo 2.10. 2014 yılı verilerine göre dünya genelinde türbinlerdeki buzlanmadan kaynaklanan iş kazası sayılarının yıllara göre dağılımı 20
Tablo 2.11. 2014 yılı verilerine göre dünya genelinde türbin sahasına ulaşım sırasında gerçekleşen iş kazası sayılarının yıllara göre dağılımı 21
Tablo 2.12. Rüzgar türbini parçalarının inşaat sahasına ulaştırılması sırasında oluşabilecek riskler ve olası sebepleri 23
Tablo 2.13. Rüzgar türbini bakım faaliyetleri sırasında iş kazası ve meslek hastalığına sebep olabilecek riskler 30
Tablo 2.14. Yaygın olarak kullanılan risk değerlendirmesi metotlarının karşılaştırılması 39
Tablo 3.1. Karar kriterlerinin önem ağırlıklarının değerlendirilmesinde kullanılan dilsel değişkenler ve bulanık sayı değerleri 48
Tablo 3.2. BTOPSIS yönteminde kullanılan dilsel değişkenler ve bulanık sayı değerleri 51

Tablo 4.1. Birinci uzmanın değerlendirmelerine göre oluşturulmuş ikili karşılaştırma matrisi 58
Tablo 4.2. İkinci uzmanın değerlendirmelerine göre oluşturulmuş ikili karşılaştırma matrisi 59
Tablo 4.3. Üçüncü uzmanın değerlendirmelerine göre oluşturulmuş ikili karşılaştırma matrisi 59
Tablo 4.4. Birinci uzmanın değerlendirmelerine oluşturulmuş ikili karşılaştırma matrisinin üçgen bulanık sayılarla ifadesi 60
Tablo 4.5. İkinci uzmanın değerlendirmelerine oluşturulmuş ikili karşılaştırma matrisinin üçgen bulanık sayılarla ifadesi 60
Tablo 4.6. Üçüncü uzmanın değerlendirmelerine oluşturulmuş ikili karşılaştırma matrisinin üçgen bulanık sayılarla ifadesi 60
Tablo 4.7. Karar kriterlerine ait bulanık karar matrisi 61
Tablo 4.8. Karar kriterlerine ait bulanık önem ağırlıkları 62
Tablo 4.9. Karar kriterlerine ait bulanıklıktan arındırılmış önem ağırlıkları 63
Tablo 4.10. Türbin parçalarının inşaat sahasına ulaştırılmasıyla ilgili İSG riskleri 64
Tablo 4.11. Rüzgar türbinlerinin kurulum süreciyle ilgili İSG riskleri 65
Tablo 4.12. Rüzgar türbinlerinin bakım süreciyle ilgili İSG riskleri 67
Tablo 4.13. Türbin parçalarının inşaat sahasına ulaştırılmasıyla ilgili İSG risklerinin dilsel değişkenlerle değerlendirilmesi 69
Tablo 4.14. Dilsel değerlendirme sonuçlarının üçgen bulanık sayılar şeklinde ifadesi 70
Tablo 4.15. Sevkiyat sürecindeki risklere ait bulanık önem ağırlıkları tablosu 70
Tablo 4.16. Türbin parçalarının kurulum sürecindeki İSG risklerinin dilsel değişkenlerle değerlendirilmesi 71
Tablo 4.17. Dilsel değerlendirme sonuçlarının üçgen bulanık sayılar şeklinde ifadesi 73
Tablo 4.18. Kurulum sürecindeki risklere ait bulanık önem ağırlıkları tablosu 74
Tablo 4.19. Türbin parçalarının bakım sürecindeki İSG risklerinin dilsel değişkenlerle değerlendirilmesi 75
Tablo 4.20. Dilsel değerlendirme sonuçlarının üçgen bulanık sayılar şeklinde ifadesi 77
Tablo 4.21. Bakım sürecindeki risklere ait bulanık önem ağırlıkları tablosu 78
Tablo 4.22. Sevkiyat sürecindeki risklere ait normalize edilmiş bulanık önem ağırlıkları tablosu 80
Tablo 4.23. Kurulum sürecindeki risklere ait normalize edilmiş bulanık önem ağırlıkları tablosu 80

Tablo 4.24. Bakım sürecindeki risklere ait normalize edilmiş bulanık önem ağırlıkları tablosu 81
Tablo 4.25. Sevkiyat sürecindeki risklere ait ağırlıklı normalize edilmiş bulanık önem ağırlıkları tablosu.....83
Tablo 4.26. Kurulum sürecindeki risklere ait ağırlıklı normalize edilmiş bulanık önem ağırlıkları tablosu.....83
Tablo 4.27. Bakım sürecindeki risklere ait ağırlıklı normalize edilmiş bulanık önem ağırlıkları tablosu.....84
Tablo 4.28. Sevkiyat sürecindeki risklerin bulanık pozitif ve negatif ideal çözümlere olan uzaklıkları 87
Tablo 4.29. Kurulum sürecindeki risklerin bulanık pozitif ve negatif ideal çözümlere olan uzaklıkları 87
Tablo 4.30. Bakım sürecindeki risklerin bulanık pozitif ve negatif ideal çözümlere olan uzaklıkları 88
Tablo 4.31. Sevkiyat sürecindeki risklerin yakınlık katsayılarına göre sıralaması 90
Tablo 4.32. Kurulum sürecindeki risklerin yakınlık katsayılarına göre sıralanması.....91
Tablo 4.33. Bakım sürecindeki risklerin yakınlık katsayılarına göre sıralanması.....92

SİMGE VE KISALTMALAR

$\mu_A(x)$	Üyelik Derecesi
A	Kanatların Taradığı Alanın Büyüklüğü
A^-	Negatif İdeal Çözüm
A^*	Pozitif İdeal Çözüm
AB	Avrupa Birliği
AHS	Analitik Hiyerarşi Süreci
BAHS	Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci
BTOPSIS	Bulanık Topsis
CC	Yakınlık Katsayısı
C_p	Güç Faktörü
Cut-In	Türbinin Çalışmaya Başladığı Minimum Rüzgar Hızı
Cut-Out	Türbinin Durma Konumuna Geçtiği Makismum Hız
CWIF	The Caithness Wind Farm Information Forum (Caithness Rüzgar Bilgi Forumu)
ÇKKV	Çok Kriterli Karar Verme
D	Bulanık Karar Matrisi
d^-	Negatif İdeal Çözüme Olan Uzaklık
d (A,B)	A ve B Üçgen Bulanık Sayıları Arasındaki Uzaklık
d^*	Pozitif İdeal Çözüme Olan Uzaklık
EUOSHA	European Agency for Safety and Health At Work (Avrupa İş Sağlığı ve Güvenliği Ajansı)
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis (Hata Türleri ve Etkileri Analizi)
GW	Gigawatt
Hub	Türbin Kanatlarının Bağlı Olduğu Bölüm
IEC	International Electrotechnic Comission (Uluslararası Elektroteknik Komisyonu)
IWEA	Irish Wind Energy Association (İrlanda Rüzgar Enerjisi Kurumu)
İSG	İş Sağlığı ve Güvenliği
K	Karar Verici
Kg	Kilogram
l	En Küçük Olası Değer
l_{ij}	i ve j kriterlerinin karşılaştırılmasında alt sınır değeri
m	Net Değer
m_{ij}	i ve j kriterlerinin karşılaştırılmasında en yüksek olasılıklı değer
m/s	Metre/saniye
M	Bulanık Karar Matrisi
m^2	Metrekare
m^3	Metreküp
MW	Megawatt
N_c	Kuplaj Verimi
N_d	Dişli Kutusunun Verimi
N_g	Jeneratör Verimi
REPA	Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Atlası
RES	Rüzgar Enerjisi Santrali
r_i	İ'nci Değerin Geometrik Ortalaması
u	En Yüksek Olası Değer

$\mathbf{u_{ij}}$	i ve j kriterlerinin karşılaştırılmasında üst sınır değeri
V	Rüzgar Hızı
v	Ağırlıklı Normalize Bulanık Karar Matrisi
W	Watt
w	Kriterlere Ait Önem Ağırlığı Matrisi
$\mathbf{w_j^K}$	K' ıncı karar vericinin değerlendirdiği karar kriterinin önem ağırlığı
$\mathbf{w_i}$	i'nci Değerin Bulanık Ağırlığı
$\mathbf{x_{ij}}$	i' inci alternatifin j'inci kriter değeri

1. GİRİŞ

Rüzgar enerjisi sektörü, ülkemizde özellikle 2005 yılından itibaren ciddi bir gelişim göstermekte olan yeni bir sektördür. Bu tez çalışması ile; rüzgar türbinlerinin kurulum ve bakım süreçlerinde iş kazası veya meslek hastalığına sebep olabilecek risklerin tespiti, değerlendirilmesi ve bu risklerin önlenmesine yönelik çözüm önerileri getirilmesi amaçlanmıştır. Bununla birlikte bu çalışma kapsamında; bulanık mantık temelli yeni bir risk değerlendirmesi metodu geliştirilerek mevcut risk değerlendirmesi metotlarının en önemli dezavantajlarından biri olan subjektifliğin ortadan kaldırılması ve daha gerçekçi sonuçların elde edilmesi amaçlanmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde; rüzgar enerjisi sektörünün ülkemizdeki, Avrupa'daki ve dünyadaki durumu ve yıllara göre gelişimi, rüzgar enerjisi santrallerinin ana elemanı olan ve günümüzde kullanılan modern üç kanatlı rüzgar türbinlerinin yapısı ve çalışma prensibi, rüzgar enerjisi sektöründe yaşanan bazı kaza istatistikleri, rüzgar türbinlerinin kurulum ve bakım süreçlerinde iş kazası veya meslek hastalığına sebep olabilecek risk etmenleri, rüzgar enerjisi sektörü ile ilgili yerli ve yabancı mevzuat, en çok kullanılan literatürdeki risk değerlendirmesi metotları, tez çalışması kapsamında uygulanan risk değerlendirmesi yaklaşımının temelini oluşturan bulanık mantık kavramı hakkında ayrıntılı bilgilere yer verilmektedir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde, geliştirilen bulanık risk değerlendirmesi metodunda kullanılan bulanık analitik hiyerarşi süreci (BAHS) yöntemi ve bulanık topsis (BTOPSIS) yöntemi hakkında ayrıntılı teorik bilgi ve bu yöntemlerin matematiksel yapısı anlatılmaktadır. Bu bölümün son olarak; tez çalışması kapsamında geliştirilen BAHS ve BTOPSIS yöntemlerinin her ikisinin de kullanıldığı risk değerlendirmesi yaklaşımının algoritması adım adım anlatılmaktadır.

Tez çalışmasının dördüncü bölümünde; geliştirilen bulanık risk değerlendirmesi yaklaşımının algoritması gereği, risklerin değerlendirmesinde kullanılacak olan karar kriterlerinin önem ağırlıkları BAHS yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Bu işlemin ardından; sevkiyat süreci, kurulum süreci ve bakım süreci olmak üzere üç ana süreç altında tespit edilen riskler BTOPSIS yöntemi kullanılarak değerlendirilmiş ve tüm riskler için yakınlık katsayıları

hesaplanmıştır. Hesaplanan yakınlık katsayılarının büyükten küçüğe sıralanması sonucunda her bir ana süreç altındaki risklerin öncelik sıralaması yapılmıştır.

Çalışmanın beşinci bölümünde; bu tez çalışması ile benzer nitelikte olan literatürdeki bazı farklı çalışmalar karşılaştırılmış ve bu çalışmaların ortak yönleri aktarılmıştır. Altıncı bölümde ise, bu tez çalışmasında uygulanan risk değerlendirmesi yaklaşımının sonuçları belirtilmiş ve tespit edilen önemli risklere yönelik bazı çözüm önerileri getirilmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

Enerji, günümüzde yaşamın devam edebilmesi için gerekli olan temel ihtiyaçların başında gelmektedir. Dünyadaki enerji üretimi her yıl % 4-5 oranında artış göstermekte fakat enerji ihtiyacının büyük bir kısmını karşılayan kömür, doğalgaz gibi fosil yakıt rezervleri hızlı bir şekilde azalmaktadır. Bu duruma ek olarak; 1982'de yaşanan küresel petrol krizi, küresel ısınma ve iklim değişiklikleri gibi gelişmeler sebebiyle dünyadaki birçok ülke enerji politikalarını revize etmek ve alternatif enerji kaynaklarına yönelmek zorunda kalmıştır. Enerji sektöründeki bu yeni kaynak arayışının sonucunda; rüzgar, güneş, jeotermal gibi yenilenebilir diğer bir deyişle tükenmeyen enerji kaynaklarından enerji üretimi tüm dünyada hızlı bir şekilde artmıştır [1,2,7].

Rüzgar enerjisi; kaynağı güneş olan doğal, yenilenebilir, temiz ve sonsuz bir güç kaynağıdır. Güneşin dünyaya gönderdiği enerjinin %1-2 gibi küçük bir miktarı rüzgar enerjisine dönüşmektedir. Güneşin, yer yüzeyini ve atmosferi homojen ısıtmamasının bir sonucu olarak ortaya çıkan sıcaklık ve basınç farkından dolayı hava kütleleri arasında bir hava akımı oluşur. Bir hava kütlesi mevcut durumundan daha fazla ısınırsa atmosferin yukarısına doğru yükselir ve bu hava kütlesinin yükselmesiyle boşalan yere, aynı hacimdeki soğuk hava kütlesi yerleşir. Hava kütlelerinde meydana gelen bu yer değişimleri sonucunda oluşan hava akımları rüzgarları meydana getirmektedir. Diğer bir ifadeyle rüzgar; birbirine komşu olan iki basınç bölgesi arasındaki, yüksek basınç merkezinden alçak basınç merkezine doğru hareket eden hava akımlarından oluşmaktadır [1].

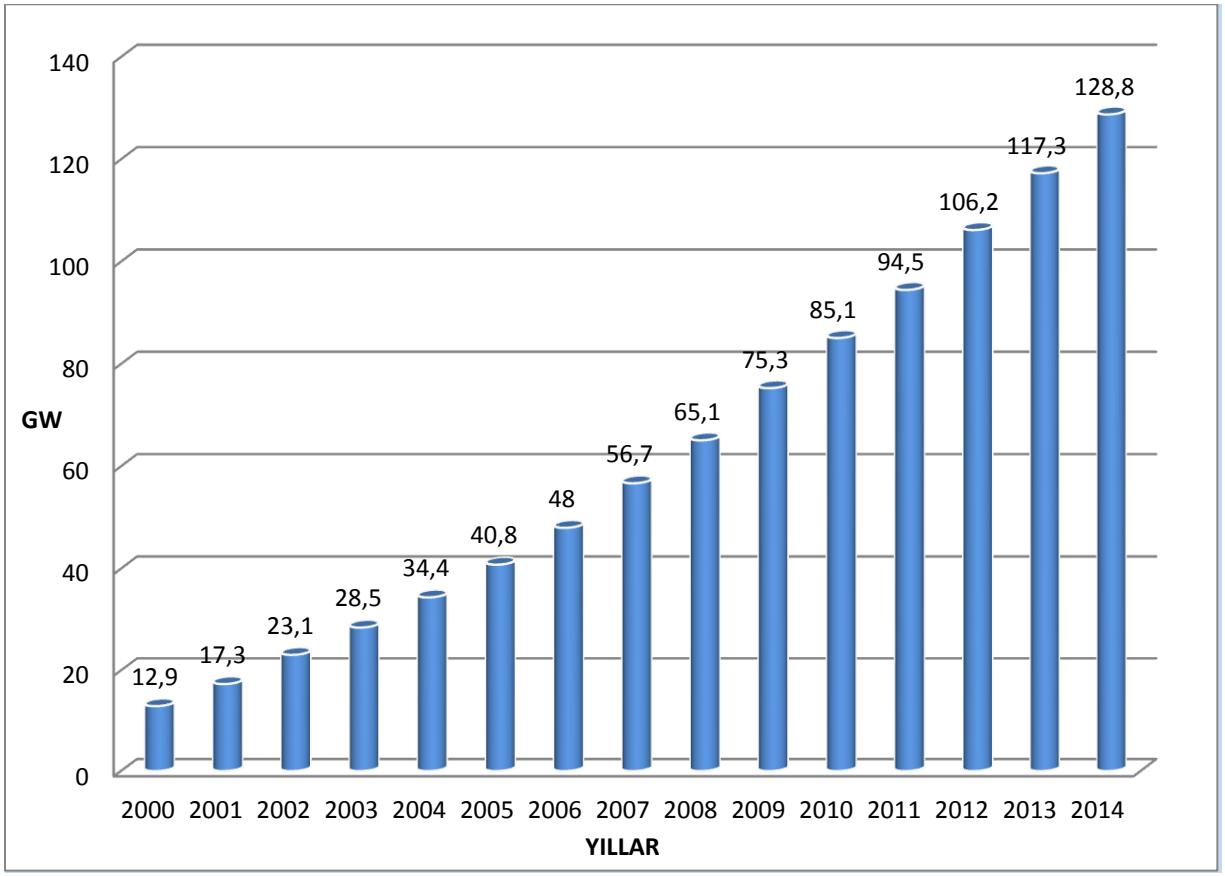
Rüzgarların özellikleri; coğrafi farklılıklar ve yeryüzünün homojen olmayan ısınmasına bağlı olarak zamansal ve yöresel değişiklik göstermektedir. Rüzgar, hız ve yön olmak üzere iki parametre ile ifade edilir. Rüzgar hızı, yükseklikle artan ve teorik gücü de hızının küpü ile orantılı olarak değişen bir kavramdır [1,3].

Rüzgar enerjisinden elektrik enerjisi üretiminin; ilk yatırım maliyetinin yüksek olması, üretim kapasite faktörünün düşük olması ve değişken enerji üretimi gibi bazı dezavantajları olsa da rüzgar enerjisinin; çevre dostu ve sonsuz bir kaynak olması, hammadde maliyetinin olmaması, kurulan santrallerin bakım ve işletme maliyetlerinin çok düşük olması gibi çok önemli avantajları da bulunmaktadır [1-3].

2.1. AVRUPA VE DÜNYADA RÜZGAR ENERJİSİ

Kyoto Protokolü'nün ülkelere getirmiş olduğu bazı yükümlülükler ve sürekli artan enerji talebini karşılayabilmek amacıyla yenilebilir enerji sektöründe yapılan teşvikler özellikle 2000'li yılların başlangıcından itibaren etkisini göstermiş ve 2000 yılında Avrupa Birliği ülkelerindeki kurulu rüzgar gücü kapasitesi yıllık 12,9 GW seviyelerinde iken 2015 yılında bu değer yıllık 128,8 GW seviyelerine kadar çıkarak yaklaşık 10 kat artış sağlanmıştır. Avrupa Birliği ülkelerindeki kurulu rüzgar gücü kapasitesindeki kümülatif durumun yıllara göre değişimi Şekil 2.1.' de gösterilmektedir [5,9,10].

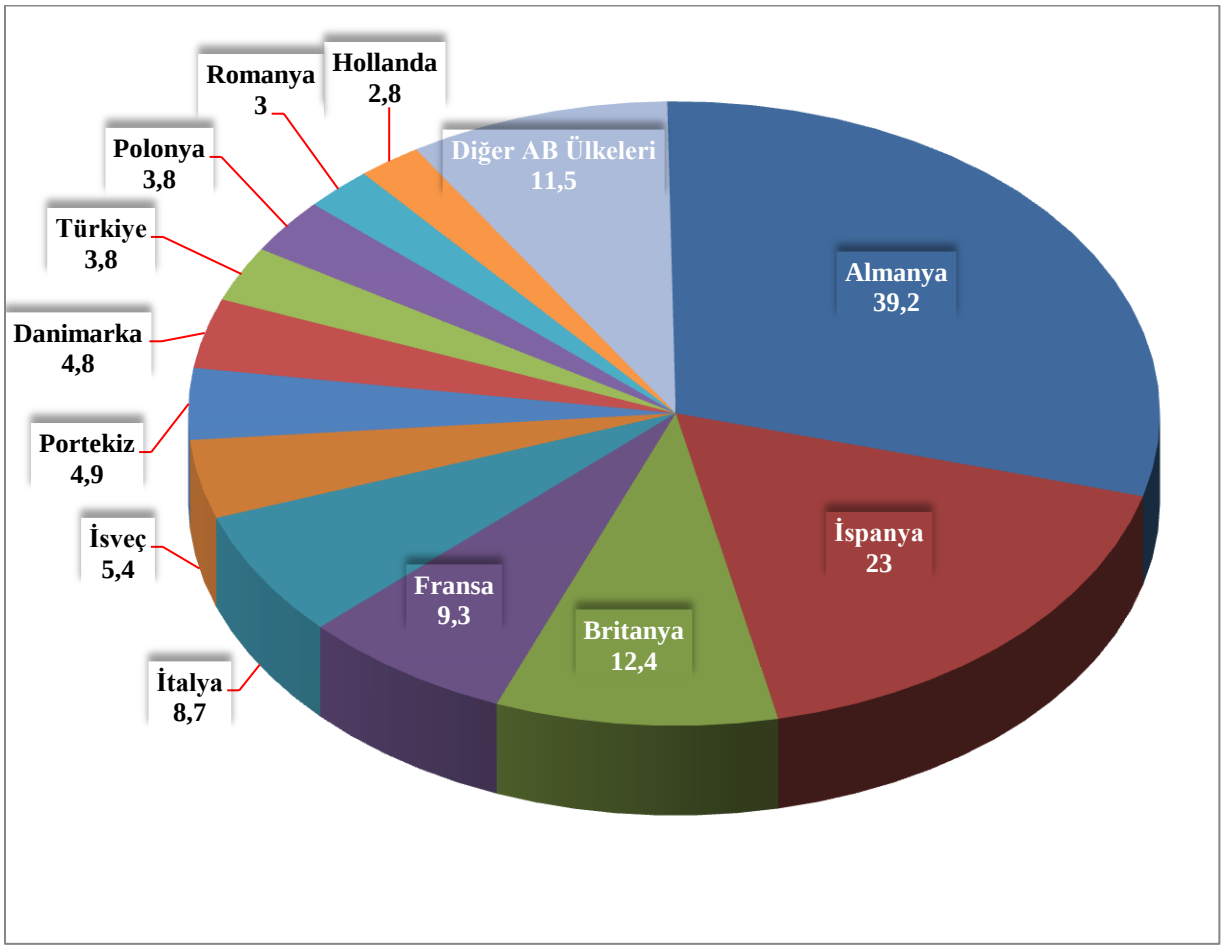
Avrupa Rüzgar Enerjisi Kurumu tarafından hazırlanan 2014 yılı rüzgar enerjisi raporuna göre; Avrupa'da 2014 yılı içerisinde yıllık toplam 11791 MW güce sahip yeni rüzgar enerjisi santrallerinin faaliyete geçmesiyle birlikte Avrupa Birliği ülkelerinin kurulu rüzgar enerjisi kapasitesi yıllık 128,8 GW seviyesine yükselmiştir [5,9,10].



Şekil 2.1. Avrupa Birliği'nde kurulu rüzgar gücünün yıllara göre kümülatif değişimi

2014 yılında elde edilen istatistiklere göre Şekil 2.2.'de gösterilmekte olan Avrupa Birliği ülkelerindeki kurulu rüzgar gücü kapasitesinin ülkelere göre dağılımına bakıldığında; Avrupa Birliği ülkelerindeki yıllık toplam 128,8 GW'lık kurulu rüzgar gücü kapasitesinin 39,2 GW'lık bölümü, başka bir ifadeyle %30,4'ü Almanya'da bulunmaktadır. Almanya'nın ardından yıllık 23 GW kurulu rüzgar gücü ile İspanya ve yıllık 12,4 GW ile Büyük Britanya gelmektedir. Bu üç ülkenin sahip olduğu kurulu rüzgar gücü kapasitesi, 2014 yılı itibariyle Avrupa'daki toplam kurulu rüzgar gücü kapasitesinin %58'lik kısmını oluşturmaktadır [5,9,10].

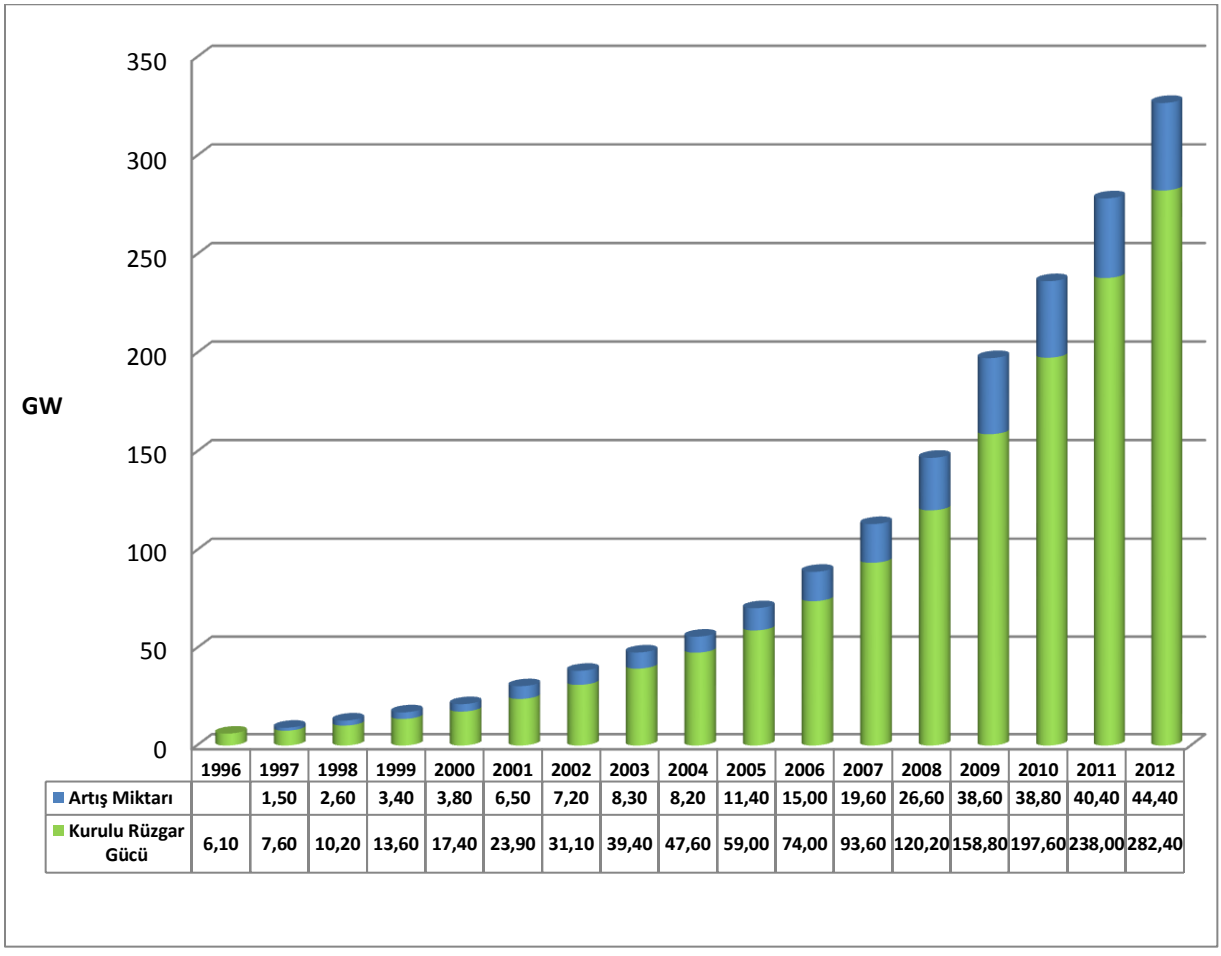
2014 yılı verileri baz alındığında, Türkiye yıllık 3,8 GW'lık kurulu rüzgar gücü kapasitesi ile Avrupa'da dokuzuncu sırada yer almaktadır.



Şekil 2.2. 2014 yılı itibariyle Avrupa Birliği'ndeki kurulu rüzgar gücü kapasitesinin ülkelere göre dağılımı

Rüzgar enerjisi sektöründe dünyadaki gelişmelere bakıldığında ise 1996 yılından itibaren dünyadaki kurulu rüzgar gücü kapasitesinin logaritmik olarak artış gösterdiği görülmektedir.

2012 yılı sonu itibariyle elde edilen verilere göre; küresel kurulu rüzgar gücü kapasitesi, 1996 yılında yıllık 6 GW seviyelerinde iken bu değer 2012 yılına gelindiğinde yaklaşık 500 kat arttırılarak yıllık 282,4 GW seviyelerine çıkarılmıştır. Yapılan projeksiyonlara göre dünyadaki kurulu rüzgar gücü kapasitesinin her yıl artmaya devam edeceği ve 2020 yılında yaklaşık 1500 GW seviyelerine çıkarılacağı tahmin edilmektedir. 2012 yılı verilerine göre hazırlanan küresel rüzgar enerjisi kurulu gücünün yıllara göre kümülatif şekilde değişimi Şekil 2.3.'de gösterilmektedir [5,9,10].



	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Artış Miktarı		1,50	2,60	3,40	3,80	6,50	7,20	8,30	8,20	11,40	15,00	19,60	26,60	38,60	38,80	40,40	44,40
Kurulu Rüzgar Gücü	6,10	7,60	10,20	13,60	17,40	23,90	31,10	39,40	47,60	59,00	74,00	93,60	120,20	158,80	197,60	238,00	282,40

Şekil 2.3. Dünyadaki kurulu rüzgar gücü kapasitesinin yıllara göre kümülatif değişimi

2012 yılı itibariyle kurulu rüzgar gücü kapasitesi bakımından ülkelerin durumlarına bakıldığında; yıllık 75,5 GW üretim ile Çin'in ilk sırada olduğu ve küresel boyutta kurulu rüzgar gücü kapasitesinin yaklaşık %25'lik bölümüne sahip olduğu görülmektedir. Çin'in ardından yıllık 60 GW üretim ile Amerika Birleşik Devletleri ve yıllık 31,3 GW üretim ile Almaya gelmektedir [5,9,10].

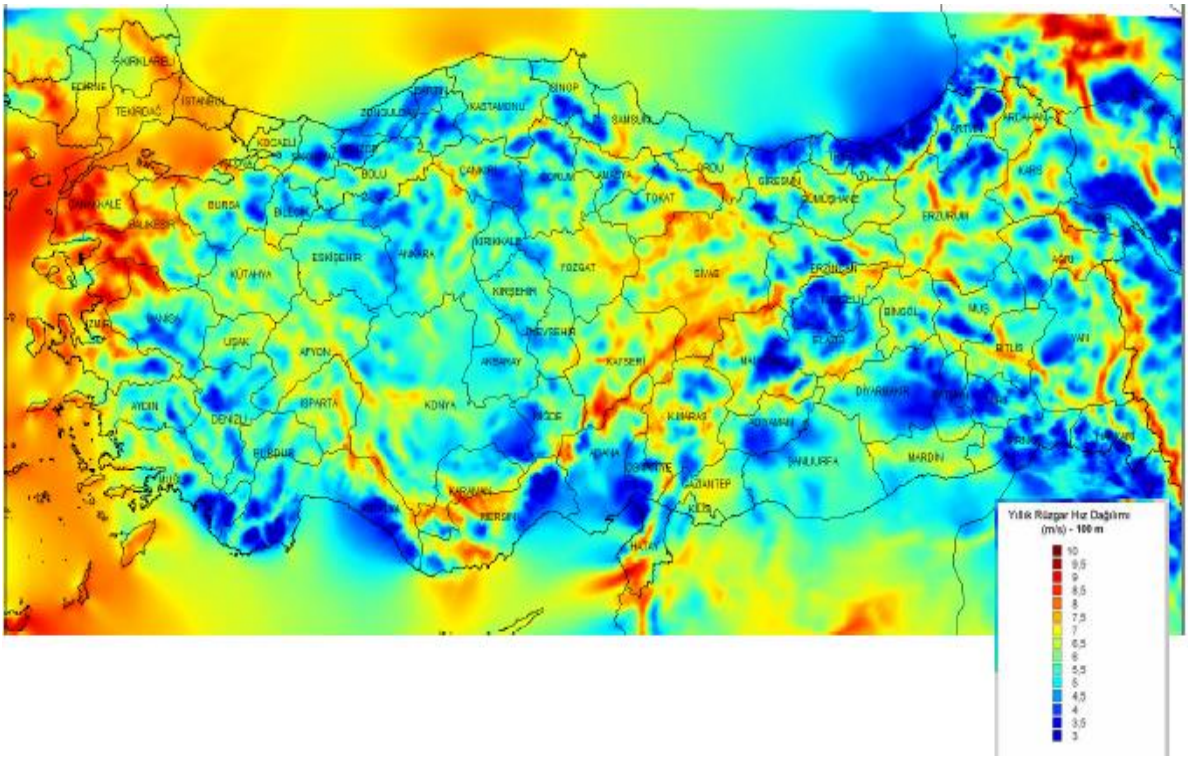
2012 yılı verileri baz alındığında bu üç ülkenin sahip olduğu kurulu rüzgar gücü kapasitesinin, dünyada bulunan toplam kurulu rüzgar gücü kapasitesinin %58 'lik kısmını oluşturduğu görünmektedir. Rüzgar enerjisi sektöründeki mevcut gelişim eğilimleri incelendiğinde 2017 yılına kadar küresel rüzgar enerjisi pazarında kümülatif bazda %13'lük bir büyüme beklenmekte olup 2017 yılında dünyadaki kurulu rüzgar gücü kapasitesinin 536 GW seviyelerine ulaşacağı öngörülmektedir. 2012 yılı verilerine göre küresel rüzgar enerjisi pazarındaki ilk on ülke Tablo 2.1. 'de gösterilmektedir. [5,7,9,10].

Tablo 2.1. 2012 verilerine göre küresel rüzgar enerjisi pazarındaki ilk 10 ülke

ÜLKELER	Kurulu Rüzgar Gücü (GW)	Küresel Pazar Payı
ÇİN	75,5	26,8
ABD	60	21,2
ALMANYA	31,3	11,1
İSPANYA	22,7	8,1
HİNDİSTAN	18,4	6,5
İNGİLTERE	8,4	3
İTALYA	8,1	2,9
FRANSA	7,1	2,5
KANADA	6,2	2,2
PORTEKİZ	4,5	1,6
DİĞER ÜLKELER	39,8	14,1
TOPLAM	**282,4**	**100**

2.2. TÜRKİYE'DE RÜZGAR ENERJİSİ

Bir bölgedeki rüzgar enerjisi potansiyelinin belirlenebilmesi için güvenilir rüzgar verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Rüzgar enerjisi santrallerinin (RES) kurulumunun ilk aşaması, uzun süreli rüzgar hızı ve yoğunluğunun standartlara uygun ölçüm cihazları kullanılarak ölçülmesi ve rüzgar verilerinin toplanmasıdır. Elde edilen bu verilerin bir araya getirilmesi ile ülkemizin rüzgar enerjisi potansiyeli atlası (REPA) oluşturulmuştur [4].



Şekil 2.4. Türkiye rüzgar enerjisi potansiyeli atlası

Ekonomik bir RES yatırımı için, rüzgar türbinin kurulacağı arazide 50 m yükseklikteki yıllık ortalama rüzgar hızının 7m/s olması gerekmektedir. Şekil 2.4.' de gösterilen Türkiye rüzgar enerjisi potansiyeli atlasına göre, ülkemizin rüzgar enerjisi potansiyeli oldukça yüksektir [1,4].

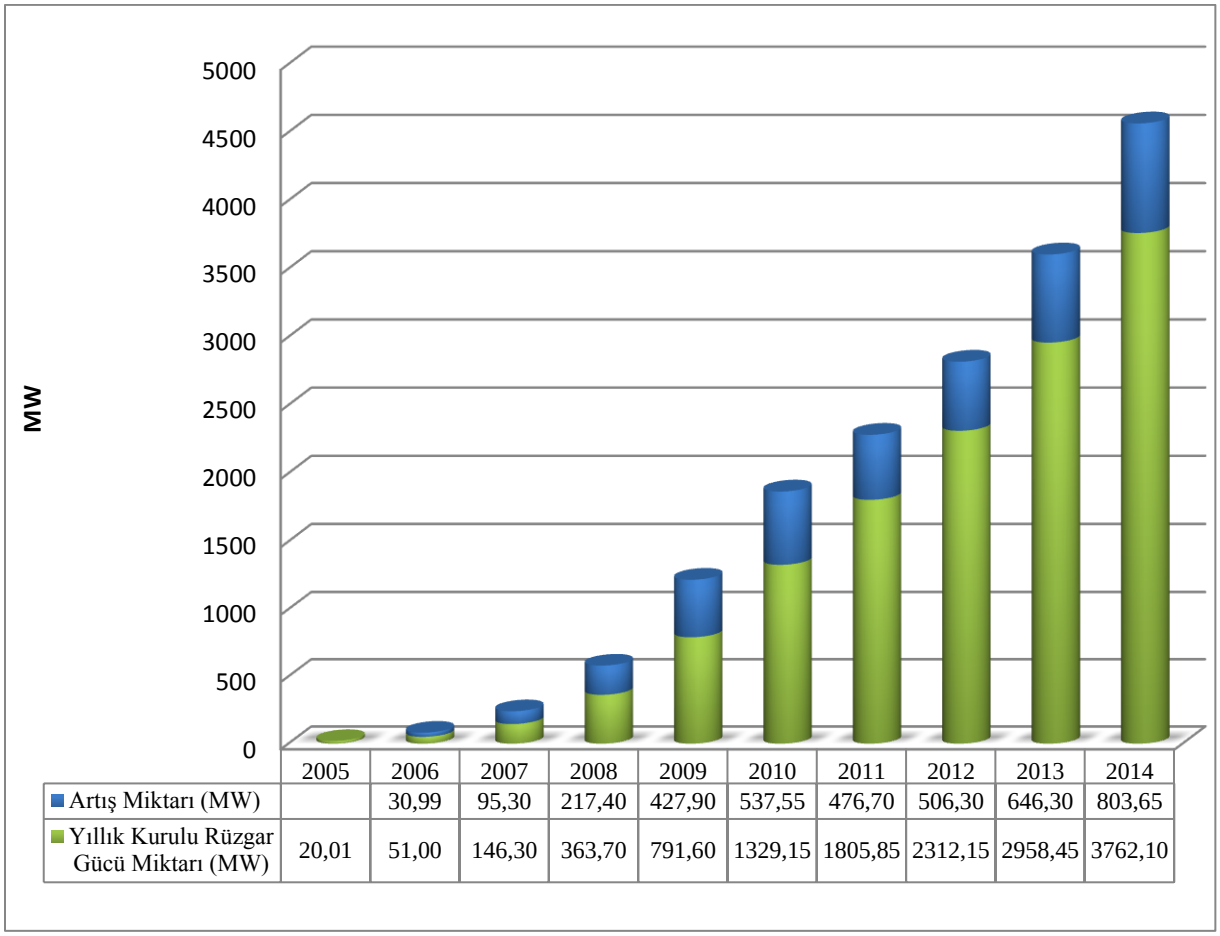
REPA'ya göre ülkemizin en çok rüzgar alan bölgeleri Marmara, Güney Doğu Anadolu ve Ege bölgeleridir. Tablo 2.2.' de gösterildiği üzere, Marmara Bölgesi'nde yıllık ortalama rüzgar hızı 3,29 m/s ve yıllık ortalama rüzgar yoğunluğu 51,91 W/m^2 olarak ölçülmüştür. Bu bölgeyi yıllık ortalama 2,69 m/s rüzgar hızı ve 29,33 W/m^2 rüzgar yoğunluğu ile Güney Doğu

Anadolu Bölgesi takip etmektedir. Bu iki bölgeyi yıllık ortalama 2,65 m/s rüzgar hızı ve 23,47 W/m^2 rüzgar yoğunluğu ile Ege Bölgesi takip etmektedir [1,5-9].

Tablo 2.2. Ülkemizde 10 m yükseklikte bölgelerin ortalama rüzgar hızı ve rüzgar yoğunluğu değerleri

Bölge adı	Ortalama rüzgâr hızı (m/s)	Ortalama rüzgar yoğunluğu (W/m2)
Marmara Bölgesi	3,29	51,91
Güneydoğu Anadolu Bölgesi	2,69	29,33
Ege Bölgesi	2,65	23,47
Akdeniz Bölgesi	2,45	21,36
Karadeniz Bölgesi	2,38	21,31
İç Anadolu Bölgesi	2,45	20,14
Doğu Anadolu Bölgesi	2,12	13,19
GENEL	**2,58**	**25,82**

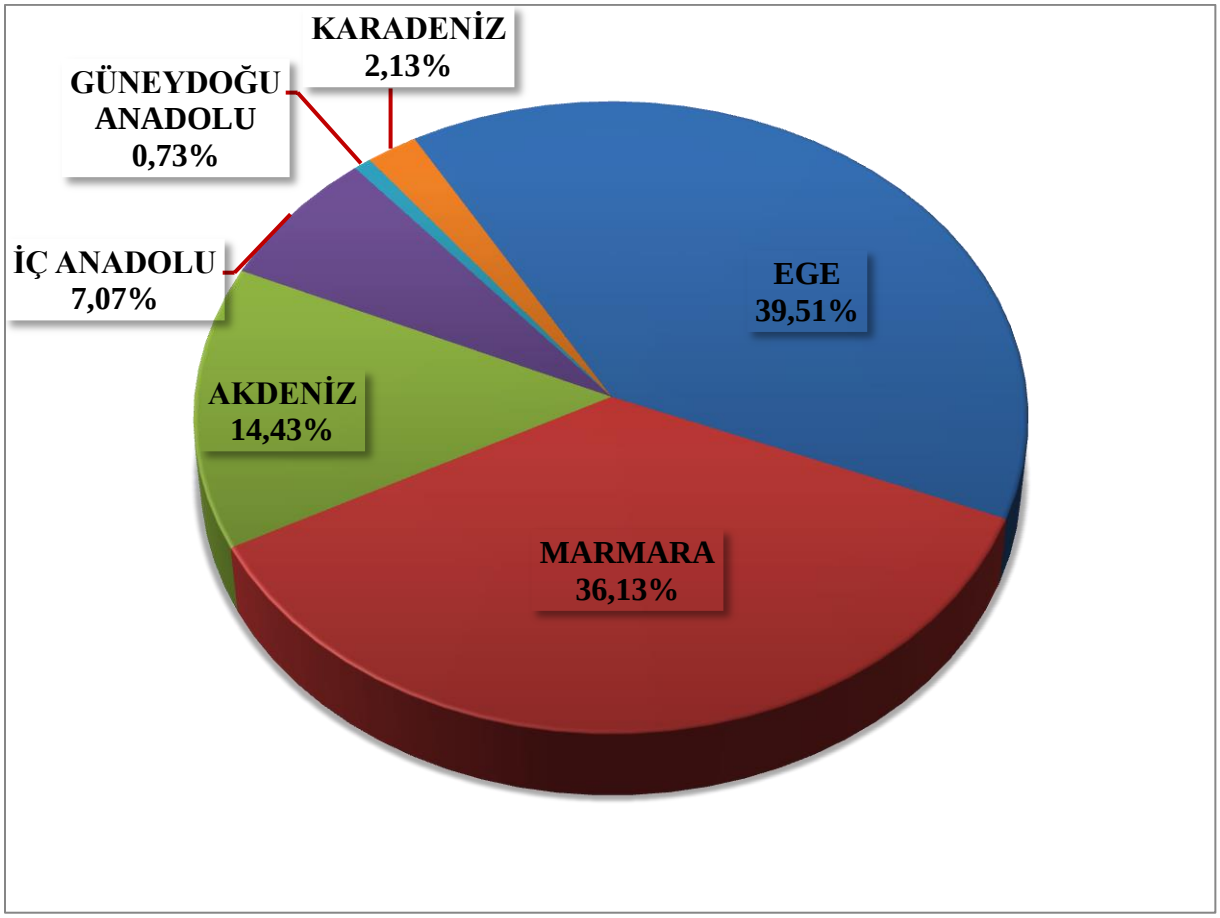
Ülkemizde rüzgar enerjisinden elektrik enerjisi ilk defa 1986 yılında Çeşme Altın Yunus tesislerinde kurulan yıllık 55 kW elektrik üreten tesisten elde edilmiştir. Takip eden yıllarda dünyadaki gelişmelere paralel olarak ülkemizde de yenilenebilir enerji sektörüne olan ilgi ve ihtiyaç artmıştır. Son yıllarda devlet tarafından yenilenebilir enerji sektörüne yapılan teşviklerin artmasıyla birlikte özel sektör tarafından rüzgar enerjisi sektörüne yapılan yatırımlar 2005 yılından itibaren önemli miktarda artış göstermiş ve bir çok rüzgar enerjisi santrali faaliyete açılmıştır [1,5-9].



	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Artış Miktarı (MW)		30,99	95,30	217,40	427,90	537,55	476,70	506,30	646,30	803,65
Yıllık Kurulu Rüzgar Gücü Miktarı (MW)	20,01	51,00	146,30	363,70	791,60	1329,15	1805,85	2312,15	2958,45	3762,10

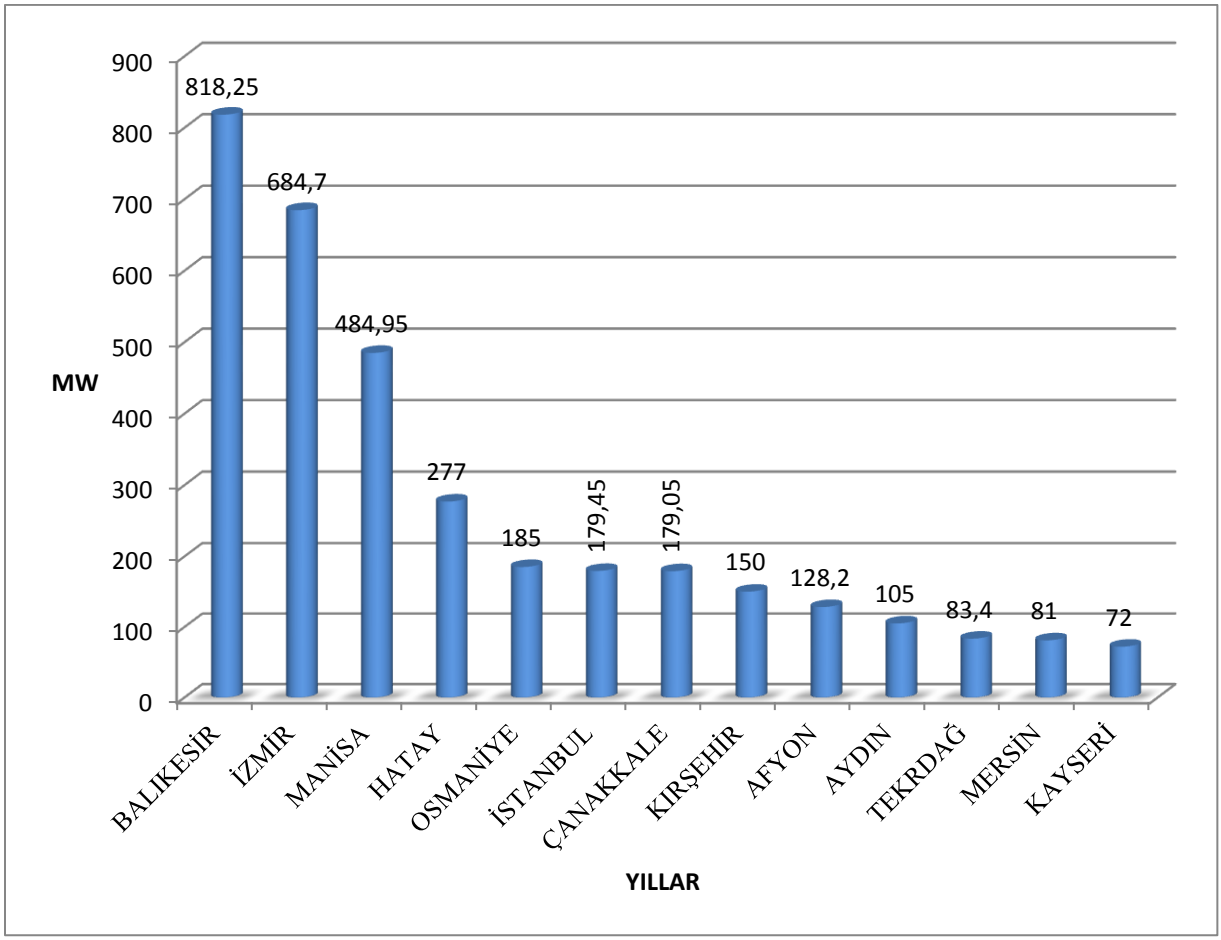
Şekil 2.5. Türkiye'deki kurulu rüzgar gücünün yıllara göre değişimi

Şekil 2.5.'de ifade edildiği üzere; takip edilen teşvik stratejisi ile birlikte 2005 yılında, ülkemizdeki rüzgar enerjisi santrallerinin kurulu güç miktarı yıllık 20,01 MW seviyelerinde iken, 2014 yılı sonu itibariyle bu değer yıllık 3762,10 MW seviyelerine kadar çıkarılmış ve rüzgar enerjisinden elektrik enerjisi üretimi kapasitesinde yaklaşık 190 kat artış sağlanmıştır. 2015 yılı içerisinde de bu sektöre yapılan yatırımlar artarak devam etmekte olup son olarak 71 türbinden oluşan ve yıllık 150 MW güce sahip olan ülkemizin en büyük rüzgar enerjisi santrali Kırşehir Geycek'te faaliyete açılmıştır [8,9,11,12].



Şekil 2.6. Türkiye'deki kurulu rüzgar gücünün bölgelere göre dağılımı

Şekil 2.6.'da belirtildiği üzere, kurulu rüzgar gücü bakımından ülkemizdeki rüzgar enerjisi santrallerinin bölgelere göre dağılımına bakılacak olursa; 2014 yılı sonu itibariyle elde edilen verilere göre ülkemizdeki kurulu rüzgar gücünün %39,51'lik bölümü Ege Bölgesi'nden karşılanmış olup yıllık ortalama 1486 MW'lık elektrik üretim kapasitesi mevcuttur. Ege Bölgesi'nin ardından 2014 yılı verilerine göre; ülkemizde kurulu rüzgar gücünün en fazla olduğu ikinci bölge %36,13'lük üretim payı ile Marmara Bölgesi ve üçüncü bölge ise %14,43'lük üretim payı ile Akdeniz Bölgesi'dir [8,9,11,12].



Şekil 2.7. Ülkemizdeki kurulu rüzgar gücünün illere göre dağılımı

Ülkemizdeki kurulu rüzgar gücünün Şekil 2.7.'de gösterilmiş olan illere göre dağılımına bakıldığında; 2014 yılı sonu itibariyle elde edilen verilere göre Balıkesir, ülkemizdeki kurulu toplam rüzgar gücünün %21,75'lik bölümüne sahip ve bu alanda ülkemizin lokomotifi konumunda olan ilimizdir. 2014 yılında Balıkesir'de toplam 818,25 MW elektrik üretimi yapılmıştır [5-9,11,12].

Balıkesir'in ardından ülkemizdeki toplam kurulu rüzgar gücünün %18,20'lik bölümü İzmir'de ve %12,89'luk bölümü de Manisa'da bulunmaktadır. 2014 yılı sonu itibariyle İzmir'de bulunan rüzgar enerjisi santrallerinden 684,7 MW; Manisa'da bulunan rüzgar enerjisi santrallerinden ise 484,95 MW elektrik üretimi yapılmıştır [5-9,11,12].

2.3. RÜZGAR TÜRBİNLERİNİN YAPISI VE ÇALIŞMA PRENSİBİ

Rüzgar türbinleri, rüzgar enerji santrallerinin ana yapı elemanı olup hareket halindeki havanın kinetik enerjisini öncelikle mekanik enerjiye sonrasında da elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir [1,3,13].

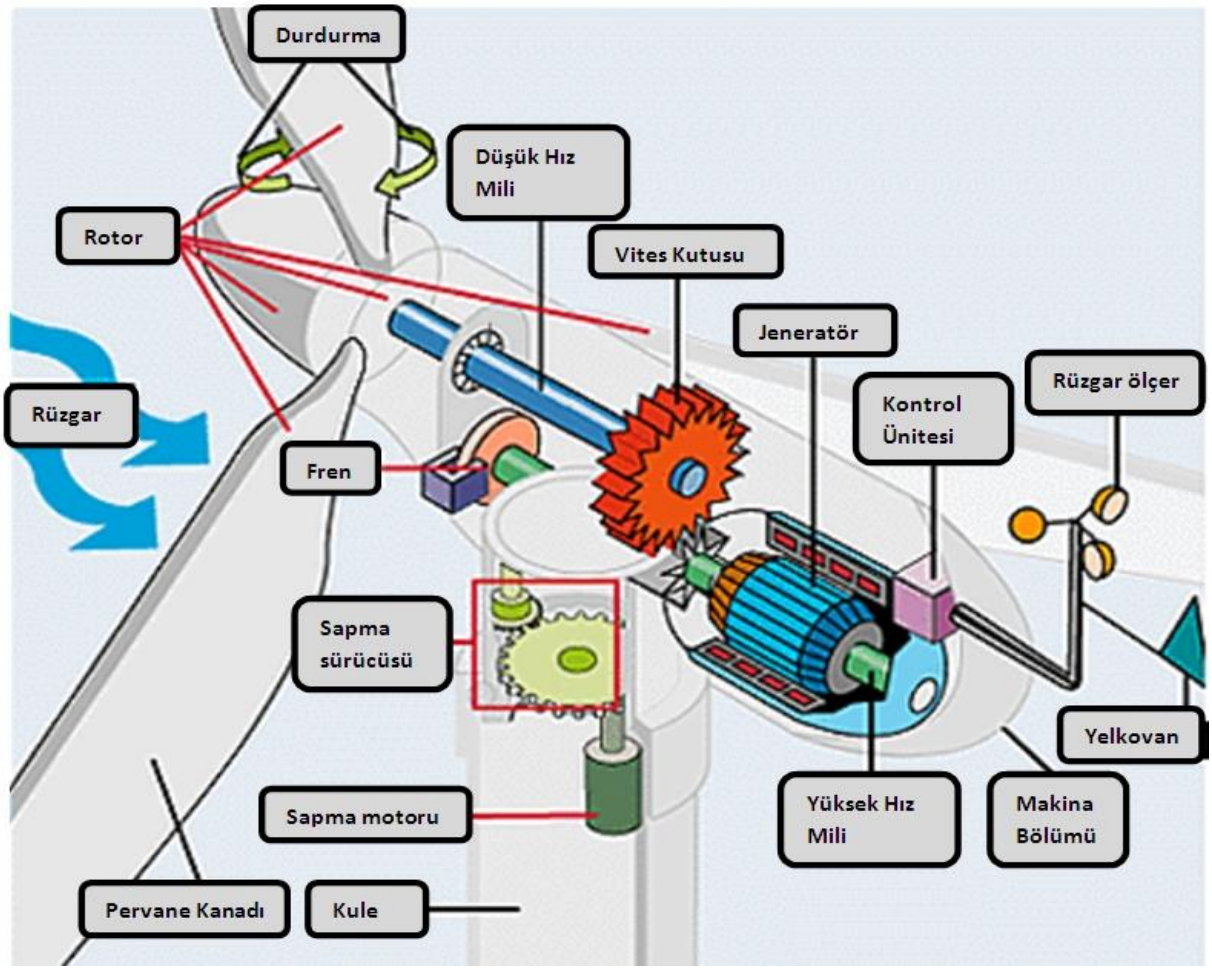
Rüzgar türbinleri, dönüş eksenlerinin doğrultusuna göre yatay eksenli veya düşey eksenli olarak sınıflandırılmakta olup günümüzde en fazla kullanılan rüzgar türbinleri yatay eksenli rüzgar türbinleridir. Yatay eksenli rüzgar türbinleri, dönme eksenleri rüzgar yönüne paralel ve kanatları ise rüzgar yönüne dik olacak şekilde çalışır. Bu tip rüzgar türbinleri bir, iki, üç veya çok kanatlı olarak üretilmektedir. Yatay eksenli rüzgar türbinleri; rüzgarın kuleyi yalamadan rotora çarpması durumunda ileri ya da önden rüzgarlı, önce kuleye dokunup sonra rotora gelmesi koşulunda geri ya da arkadan rüzgarlı türbin adını alırlar [1,3,13].

Düşey eksenli rüzgar türbinlerinin ise eksenleri rüzgar yönüne dik ve düşey olup kanatları da düşey vaziyettedir. Düşey eksenli rüzgar türbinlerinde rüzgarın esme yönü değiştiği zaman yatay eksenli rüzgar türbinlerinde olduğu gibi herhangi bir pozisyon değiştirmesi olmamaktadır. Günümüzde elektrik üretimi amaçlı şebeke bağlantılı olan modern rüzgar türbinleri; çoğunlukla üç kanatlı, yatay eksenli ve önden rüzgarlı olan rüzgar türbinleridir [1,3,13].

Bir rüzgar türbini, çevresindeki engellerin rüzgar hızı profilini değiştirmeyeceği yükseklikteki bir kule üzerine yerleştirilmiş makine bölümü (nacelle) ve kanatların bağlı olduğu bölüm (Hub) ile kanatların oluşturduğu yapının bütünü olan rotordan oluşmaktadır. Rüzgar türbinlerinin kanatları, polyester ile kuvvetlendirilmiş fiberglas veya epoksi ile güçlendirilmiş fiber karbondan yapılmakta ve çelik omurga ile desteklenmektedir. Günümüzde üretilen üç kanatlı yeni nesil rüzgar türbinlerinin kanat çapları 100 metreye kadar ulaşabilmekte ve rotor göbekleri ise yer seviyesinden 60-100 m yükseklikte olabilmektedir. Bir rüzgar türbininden elde edilecek enerji miktarı; türbinin hub yüksekliğindeki rüzgar hızına bağlı olduğundan hub yüksekliğinin artırılması, mevcut rüzgar gücünden maksimum düzeyde yararlanılmasını sağlamaktadır [1,3,13].

Modern rüzgar türbinlerinde türbinin gövdesini oluşturan kule, gürültü kirliliğinin önlemesi için ses izolasyonu sağlayacak şekilde üretilmektedir. Kuleler genellikle kafes veya boru

biçiminde üretilmektedir. Kafes şeklindeki kule üretimi görüntü kirliliği ve bakım zorluğu nedeniyle hemen hemen terk edilmiş olup maliyeti fazla olmasına rağmen günümüzde yaygın olarak açık gri renge boyanmış silindirik konik kesitli boru şeklinde üretilen kuleler kullanılmaktadır [1,3,13].



Şekil 2.8. Günümüzde üretilen modern üç kanatlı rüzgar türbininin ana yapı elemanları

Şekil 2.8.'de günümüzde kullanılan modern üç kanatlı rüzgar türbinini oluşturan ana yapı elemanları gösterilmektedir. Nacelle üzerinde bulunan rüzgar ölçer rüzgarın hızını tespit ederek bu bilgiyi kontrol ünitesine iletmektedir. Kontrol ünitesi rüzgar hızındaki değişimlere göre sistemi durduran veya harekete geçiren bölümdür. Kontrol ünitesi, rüzgar hızının 3,5 m/s'den fazla olduğu durumlarda sistemi harekete geçirmekte ve rüzgar hızının 25 m/s'den fazla olduğu durumlarda ise sistemi durdurarak türbinin aerodinamik yapısının bozulmasına engel olmaktadır [1,3,13].

Yatay eksenli rüzgar türbinlerinin çalışabilmesi için kanatların rüzgar yönüne dik olacak şekilde konumlanması gerekmektedir. Nacelle üzerinde bulunan ve yelkovan olarak adlandırılan sistem rüzgarın yönündeki değişimleri sürekli takip ederek bu bilgileri sapma sürücüsüne iletip türbinin sürekli olarak rüzgar yönüne dönük olarak konumlanmasını sağlamaktadır. Yelkovan tarafından rüzgar yönü ile ilgili olarak sapma sürücüsüne gelen bilgiler bilgisayar tarafından sürekli kontrol edilmekte olup belirli bir süre rüzgar yönü sabitlendiğinde bilgisayar, sapma motorunu harekete geçirerek sapma sürücüsünün türbini rüzgar yönüne döndürmesini sağlamaktadır. Rüzgarın geliş yönüne dik olacak şekilde konumlanan türbin kanatları dönmeye başladığında, rotorun bağlı olduğu düşük hız mili de kanatların hızına bağlı olarak dakikada 30 ile 60 devir yapacak şekilde hareket etmeye başlamaktadır. Düşük hız milinin hareket etmesiyle birlikte vites kutusu içerisindeki düşük hız milinin bağlı olduğu dişli hareket ederek yüksek hız mili üzerindeki dişliyi harekete geçirmektedir. Vites kutusu içerisindeki bu sistem sayesinde devir sayısı, dakikada 1000 ila 1800 devir seviyelerine kadar çıkarılmaktadır. Yüksek hız milinin harekete başlaması ile birlikte yüksek hız miline bağlı olan jeneratör hareket enerjisini alternatif akıma dönüştürerek transformatöre iletmektedir. Transformatör, üretilen elektriği istenilen doğru voltaj değerine yükselterek kablolar yardımıyla trafo merkezine iletmekte ve bu şekilde rüzgar enerjisi kullanılarak elektrik enerjisi üretilmektedir. Nacelle bölümü içerisinde bulunan diğer bir yapı elemanı ise fren sistemidir. Kanatların çok yüksek hızda dönmeye başlaması veya herhangi bir acil durumda fren sistemi devreye girerek kanatların hareketini durdurmakta ve bu sayede türbinde yaşanabilecek olası hasarı en aza indirmektedir [1,3,13].

Atmosferde serbest olarak yer değiştiren hava, belli bir kütleye ve hareket halinde olması nedeniyle bir kinetik enerjiye sahiptir. Kinetik enerji ve momentumun korunumu ilkelerinden yola çıkarak atmosferde serbest olarak hareket eden rüzgarın teorik gücü Denklem (2.1.)'de ifade edildiği üzere; havanın yoğunluğu (ρ), rüzgarın ilerleme yönüne dik olan kesit alanı (A) ve rüzgarın hızı (V) parametrelerine bağlıdır.

$$P_{0hava} = 0,5*\rho*V^3*A \quad \textbf{(2.1.)}$$

Teorik rüzgar gücünün rüzgar türbini tarafından elektrik enerjisine dönüştürülebilen kısmı ise Denklem (2.2.)'de ifade edilmektedir [1,3,13].

$$P = 0{,}5*C_P*\rho*A*V^3*N_G*N_D*N_C \quad \textbf{(2.2.)}$$

Burada; Cp güç faktörü, A rotor dönüşü sırasında kanatların taradığı alanın büyüklüğü, N_G türbin içindeki jeneratörün verimi, N_D türbin içerisindeki dişli kutusunun verimi ve Nc ise kuplaj verimidir [1,3,13].

Güç faktörü, elde edilen şaft gücünün rüzgar türbinine gelen rüzgar gücüne oranı olarak tanımlanır. Güç faktörünün maksimum değeri %59,3 olup bu değere Betz Limiti denilmektedir. Günümüz teknolojisi kullanılarak iyi tasarlanmış ideal bir rüzgar türbini için güç faktörü değeri % 40 civarındadır. Güç faktörü, kanatların dönüş hızı ile kanatlara çarpan rüzgar hızı oranının bir fonksiyonu olduğundan prensip olarak, eğer elde edilen gücün sürekli olarak maksimum seviyede olması isteniyorsa; rotor dönüş hızının, anlık rüzgar hızlarına göre değiştirilerek kanat ucu çevresel hız oranının maksimum güç faktörü değerini verebilecek optimum değerde tutulması gerekmektedir. Günümüzde üretilen modern rüzgar türbinlerinde bu düzenleme otomatik olarak gerçekleştirilmektedir [1,3,13].

Rüzgar türbinleri, elektrik enerjisi üretimine ancak belirli bir rüzgar hızında başlayabilmektedir. “Cut-in” adı verilen bu rüzgar hızının altında sistem tamamen durmaktadır. Sistemden elde edilen elektrik enerjisi rüzgar hızının artmasıyla birlikte artmaktadır. Her bir rüzgar türbini için belirlenmiş bir rüzgar hızında, sistemden elde edilen güç maksimum değere ulaşır. Bu güce nominal güç ve bu güce ulaşılan rüzgar hızına ise nominal hız adı verilmektedir. Rüzgar hızının, nominal hız değerini aşması halinde sistemden elde edilecek güç nominal güç kadar olacaktır. Sistemin hasar görmemesi için belirli bir rüzgar hızından sonra rüzgar türbinlerinin durma konumuna geçmesi otomatik olarak sağlanmaktadır. Bu hıza sistemin cut-out hızı adı verilmektedir. Diğer bir ifadeyle bir rüzgar türbini; cut-in ve cut-out hızları arasında enerji üretimini gerçekleştirmektedir. Günümüzdeki modern rüzgar türbinlerinin cut-in hızları 3-4 m/s ve nominal hızları 11-15 m/s arasında ve cut-out hızları ise 25-30 m/s arasında değişmektedir [1,3,13].

2.4. RÜZGAR ENERJİSİ SEKTÖRÜNDE YAŞANAN İŞ KAZALARINA İLİŞKİN İSTATİSTİKLER

Rüzgar enerjisi sektörü, tüm dünyada gelişmekte olan yeni bir sektör olup bu sektörün ana yapı elemanı olan rüzgar türbinlerinin üretim teknolojilerinde sürekli devam eden bir araştırma geliştirme faaliyeti bulunmaktadır. Rüzgar enerjisinin kullanımındaki verimliliği arttırmak ve yatırım maliyetlerini azaltabilmek amacıyla hem rüzgar türbinlerinin kule dizaynlarında hem de türbin içerisindeki diğer yapı elamanlarının dizaynında sürekli bir geliştirme arayışı bulunmaktadır. Türbin teknolojilerindeki değişiklikler özellikle kurulum, rutin operasyonlar ve bakım işlerinde çalışan kişilerin, işlerini en güvenli şekilde yapmaları konusunda gerekli olan güvenlik talimatlarının yenilenen teknolojiye uygun olarak tekrar düzenlenmesi konusunda bir sorumluluk getirmektedir [14,15-17].

Rüzgar enerjisi sektöründeki iş sağlığı ve güvenliğine ilişkin riskler genel olarak diğer sektörlerdeki risklerden farklı olmamakla birlikte; diğer sektörlerde çok sık karşılaşılmayan aşırı hava koşullarında çalışma, ulaşılması zor sahalarda çalışma ve yerleşim alanlarına uzak alanlarda çalışma gibi bu sektöre özel bir takım riskleri barındırmaktadır [14,15-17].

The Caithness Wind Farm Information Forum (CWIF) tarafından; rüzgar türbinleri ile ilişkili olarak dünya genelinde resmi olarak bildirilen veya resmi bildirimi olmayan ancak basın kayıtlarından elde edilen iş kazaları kayıt altına alınmış ve gerçekleşen bu kazalar sebeplerine göre incelenerek ayrıntılı istatistikler oluşturulmuştur [14,15-17].

CWIF tarafından hazırlanan 2014 yılı sonu verileri dikkate alındığında; 1970 yılından itibaren rüzgar enerjisi sektörü ile ilgili olarak dünya genelinde 1665 adet iş kazası gerçekleşmiş olup bu kazaların yaklaşık %50'si son beş yıl içerisinde yaşanmıştır. Rüzgar türbinleri ile ilişkili olarak dünya genelinde gerçekleşmiş iş kazalarının yıllara göre değişimi Tablo 2.3.'de gösterilmektedir [14].

Tablo 2.3. 2014 yılı verilerine göre dünya genelinde rüzgar enerjisi sektörü ile ilgili iş kazalarının yıllara göre dağılımı

YILLAR	GERÇEKLEŞEN İŞ KAZASI SAYISI
1970'li ve 1980'li yıllar	10
1990 - 1999	98
2000	30
2001	17
2002	70
2003	66
2004	59
2005	71
2006	82
2007	124
2008	131
2009	131
2010	119
2011	166
2012	166
2013	165
2014	157
TOPLAM	1665

Yaşanan iş kazalarının sonuçları göz önüne alındığında, 2014 yılı sonu itibariyle 2000 yılından itibaren gerçekleşen 1554 adet iş kazasının 88 adedi ölümlü iş kazası olup bu kazalar neticesinde 160 kişi hayatını kaybetmiştir. Dünya genelinde geçtiğimiz on yıl içerisinde rüzgar enerjisi sektörü ile ilgili olarak gerçekleşen iş kazalarının yıllara göre değişimi Tablo 2.4.'de ifade edilmektedir. Tablodaki değerlere bakıldığında, kayıt altına alınan en çok ölümlü iş kazası 2011 ve 2012 yıllarında gerçekleşmiş olup bu iki yılda rüzgar enerjisi sektöründe toplam 30 adet ölümlü iş kazası yaşanmıştır [14].

Tablo 2.4. 2014 yılı verilerine göre dünya genelinde rüzgar enerjisi sektörü ile ilgili ölümlü iş kazalarının yıllara göre dağılımı

Yıllar	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14
Kaza Sayısı	3	0	1	4	4	4	5	5	11	8	7	15	15	4	2

Yaşanan iş kazaları neticesinde hayatını kaybeden 160 kişinin 94'ü doğrudan rüzgar enerjisi sektöründe çalışan kişiler olup kalan 66 kişi ise bu sektördeki taşeron çalışanlardan ve sivillerden oluşmaktadır [14].

Ölümlü iş kazalarının dışında çalışanların yaralanması ile sonuçlanan iş kazalarına bakıldığında ise; 2000 ile 2014 yılları arasında rüzgar enerjisi sektöründe çalışanların yaralanması ile sonuçlanan 125 adet iş kazası gerçekleşmiş olup bu kazaların yıllara göre dağılımı Tablo 2.5.'de gösterilmektedir. Tablodaki değerlere bakıldığında, kayıt altına alınan en çok iş kazası 2007 ve 2008 yıllarında gerçekleşmiş olup bu iki yılda rüzgar enerjisi sektöründe toplam 32 adet iş kazası sonucunda çalışanlar yaralanmıştır [14].

Rüzgar enerjisi sektörü ile ilgili olarak 2012 ile 2014 yıllarında gerçekleşen ve kayıt altına alınan meslek hastalığı vakalarının yıllara göre dağılımı Tablo 2.6.'da gösterilmektedir. Bu tablodaki değerlere bakıldığında, 2013 ve 2014 yıllarında kayıt altına alınan vaka sayıları 2013 yılına göre 3-5 kat arasında artış göstermiştir [14].

Tablo 2.5. 2014 yılı verilerine göre dünya genelinde rüzgar enerjisi sektörü ile ilgili yaralanma ile sonuçlanan iş kazalarının yıllara göre dağılımı

Yıllar	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14
Kaza Sayısı	4	1	2	2	2	6	10	16	16	9	14	12	15	9	7

Tablo 2.6. 2014 yılı verilerine göre dünya genelinde rüzgar türbinleri ile ilgili meslek hastalığı vakalarının yıllara göre dağılımı

Yıllar	2012	2013	2014
Vaka Sayısı	6	27	19

Rüzgar enerjisi sektörü ile ilgili olarak 2000 ile 2014 yılları arasında gerçekleşen iş kazalarının sebeplerine bakıldığında ise; türbin kanatlarında meydana gelen hasarlar, yangın, kulede oluşan yapısal hasarlar, ulaşım ve buzlanma en sık rastlanan kaza sebepleri olarak ortaya çıkmaktadır [14].

2014 yılı sonu itibariyle elde edilen verilere göre; 2000 ile 2014 yılları arasında türbin kanatlarındaki hasarlardan dolayı toplam 274 adet, yangından dolayı 235 adet, kule yapısındaki hasarlardan dolayı 142 adet, türbindeki buzlanma sebebiyle 26 adet ve türbin sahasına ulaşım sırasında toplam 138 adet iş kazası gerçekleşmiştir [14].

Söz konusu bu iş kazalarının 2000 ile 2014 yılları arasındaki dağılımları gerçekleşme sebeplerine göre dağılımları ayrı ayrı Tablo 2.7., Tablo 2.8., Tablo 2.9., Tablo 2.10. ve Tablo 2.11.'de gösterilmektedir [14].

Tablo 2.7. 2014 yılı verilerine göre dünya genelinde türbin kanatlarındaki hasarlardan kaynaklanan iş kazası sayılarının yıllara göre dağılımı

Yıllar	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14
Kaza Sayısı	4	6	15	13	15	12	16	22	20	26	20	19	28	30	28

Tablo 2.8. 2014 yılı verilerine göre dünya genelinde yangından dolayı gerçekleşen iş kazası sayılarının yıllara göre dağılımı

Yıllar	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14
Kaza Sayısı	3	2	24	17	15	14	12	21	17	17	13	20	19	23	18

Tablo 2.9. 2014 yılı verilerine göre dünya genelinde türbinin kule yapısındaki hasarlardan kaynaklanan iş kazası sayılarının yıllara göre dağılımı

Yıllar	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14
Kaza Sayısı	9	3	9	7	4	7	9	13	9	16	9	11	10	14	12

Tablo 2.10. 2014 yılı verilerine göre dünya genelinde türbinlerdeki buzlanmadan kaynaklanan iş kazası sayılarının yıllara göre dağılımı

Yıllar	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14
Kaza Sayısı	0	0	2	2	4	4	3	0	3	4	1	1	1	0	1

Tablo 2.11. 2014 yılı verilerine göre dünya genelinde türbin sahasına ulaşım sırasında gerçekleşen iş kazası sayılarının yıllara göre dağılımı

Yıllar	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14
Kaza Sayısı	-	4	-	3	6	6	19	10	11	11	24	17	10	17	-

2.5. RÜZGAR TÜRBİNLERİNİN KURULUM VE BAKIM SÜREÇLERİNDE İŞ KAZASI VE MESLEK HASTALIĞINA NEDEN OLAN RİSK ETMENLERİ

Rüzgar türbinlerinin kurulum ve bakım süreçlerinde yürütülen faaliyetlere yönelik iş kazasına ve meslek hastalığına sebep olabilecek riskler üç ana başlık içerisinde ele alınmaktadır. Bu süreçler; türbin parçalarının inşaat sahasına ulaştırılması süreci, kurulum süreci ve bakım süreci olarak belirlenmiştir.

2.5.1. Türbin Parçalarının İnşaat Sahasına Ulaştırılmasıyla İlgili İSG Riskleri

Rüzgar türbinlerini oluşturan yapı elemanları inşaat sahasına taşınırken genellikle parçalar halinde taşınmaktadır. Ancak bu parçaların boyutlarının ve ağırlıklarının alışılmış yüklere göre çok fazla olması yük taşınması sırasındaki standart risklerin artmasına sebep olmaktadır. Örneğin;

- Türbin kanatlarının oldukça kırılgan olması ve uzunluğunun 50 metreden fazla olabilmesi, (Şekil 2.10.)
- Türbinin makine bölümünün; jeneratör, vites kutusu, elektriksel aksamlar gibi hassas ve çok ağır parçaları barındırması,
- Makine bölümünün çok ağır olması ve kaldırma noktası sayısının limitli olması,
- Kule parçalarının büyük ve ağır olması, (Şekil 2.9.)

gibi sebeplerden dolayı yük taşıması sırasında oluşabilecek standart riskler, rüzgar enerjisi sektöründe daha fazla ön plana çıkmakta ve daha büyük bir önem arz etmektedir [15-17,19,].

Şekil 2.9. Türbin parçalarının türbin sahasına nakliyesi

Şekil 2.10. Türbin parçalarının türbin sahasına nakliyesi

Rüzgar türbini parçalarının inşaat sahasına ulaştırılması sırasında oluşabilecek genel riskler Tablo 2.12.'de gösterilmektedir [15-17,19,25].

Tablo 2.12. Rüzgar türbini parçalarının inşaat sahasına ulaştırılması sırasında oluşabilecek riskler ve olası sebepleri

RİSK	RİSKİN OLUŞMA SEBEBİ
Yük Taşıyan Aracın Devrilmesi	Taşınan yüklerin çok ağır olması sebebiyle taşıma sırasında yükün pozisyonunda bir kayma olması, aracın dengesinin bozulmasına ve devrilmesine sebep olmaktadır.
Yükün Devrilmesi	Yükün araca konulması veya boşaltılması sırasında bağlantıların doğru yapılmaması yükün devrilmesine sebep olmaktadır.
Taşınan Yükün Kayması	Taşınan yük ile kamyonun baş kısmı arasında boşluk olması durumunda frenleme anında yükün öne doğru kayması sürücüye ya da yoldaki diğer araçlara zarar vermektedir.
Trafikteki Diğer Araçlarla Çarpışma	Türbin sahalarına ulaşım sırasında genellikle dar yollar kullanılmak zorunda kalındığından araçların uzunlukları ve genişlikleri göz önüne alındığında bu durum yoldaki diğer araçlarla çarpışmaya sebep olmaktadır.
Yoldan Kaynaklı Problemler	Yolculuk sırasında kullanılacak rota üzerindeki tüneller ve köprüler üzerindeki azami yük limitlerine dikkat edilmemesi sebebiyle kaza oluşmaktadır.
Uzun Süreler Boyunca Araç Kullanılması	Mola verilmeden uzun süreli araç kullanımı neticesinde kazalar oluşmaktadır.
Sürücü Kaynaklı Trafik Kazaları	Sürücünün standart trafik kuralları dışında türbin malzemelerinin taşınması sırasındaki sevkiyat standartlarına uyulmaması sebebiyle kazalar gerçekleşmektedir.

İrlanda Rüzgar Enerjisi Kurumu (IWEA) tarafından hazırlanan 2011 yılı verilerine göre, türbini parçalarının inşaat sahasına taşınması sırasında meydana gelen kazalarının % 50'sinin sürücü kaynaklı iş kazaları olduğu belirtilmektedir [18].

Türbin sahasına yapılan sevkiyat sırasında meydana gelebilecek iş kazası risklerinin azaltılabilmesi için en uygun yöntem; sevkiyat yapılmadan önce bilgisayar simülasyonu yapılarak farklı yol rotalarının değerlendirilmesi ve tüm rotalar için yolun tehlikeli olabilecek

kısımlarının kayıt altına alınmasıdır. Türbin parçaları taşınırken yalnızca yolun durumu değil, bunun yanında trafikteki diğer araçların da güvenlikleri göz önünde bulundurulmalıdır. Bununla birlikte sevkiyat sırasındaki trafik kazası riskinin azaltılması için mümkün olduğunca nakliyatın gece saatlerinde yapılması ve mutlaka eskort araçların kullanılması gerekmektedir [15-17,19,25].

2.5.2. Rüzgar Türbinlerinin Kurulumu ile İlgili İSG Riskleri

Kurulum süreci, rüzgar türbinlerinin yaşam döngüsü içerisindeki en zor ve en tehlikeli operasyonları içeren süreç olarak görünmektedir. Çok büyük ve ağır parçaların kaldırılması, bu parçaların montajı, yüksekte çalışma, dar ve kapalı alanlarda çalışma gibi iş kazasına sebep olabilecek birçok operasyon kurulum süreci içerisinde yapılmaktadır [15-17,21,22].

Bununla birlikte, rüzgar türbinlerinin maksimum verimde çalışabilmesi için rüzgar hızının fazla olduğu yüksek yerlerde kurulması gerekliliği zorlu hava koşullarında çalışma riskini de beraberinde getirmektedir. Örneğin; montaj işlemleri sırasında çok ağır ve büyük parçaların yaklaşık 100 metre yüksekliğe çıkarılarak montaj süresi boyunca sabitlenmesi rüzgar koşulları göz önünde bulundurulduğunda çalışanlar için ciddi bir tehlike oluşturmaktadır (Şekil 2.11.) [15-17,21,25].

Şekil 2.11. Türbin rotorunun nacelle'ye kaldırılması

Şekil 2.12. Türbin rotorunun nacelle'ye kaldırılması

Rüzgar türbinlerinin kurulumu sırasındaki ana süreçler şu şekildedir;

- Türbin sahasına ulaşım için yolların açılması,
- Türbin sahasındaki kazı çalışmaları,
- Türbin temelinin atılması ve kulenin oturtulacağı çelik tabanın tamamlanması,
- İlk kule parçasının ve trafonun yerleştirilmesi,
- Tüm kule parçalarının ve nacelle'nin montajı,
- Kanatların monte edilmesi ve kuleye montajı,
- Kablo ve iletişim tesisatlarının tamamlanması,

Yukarıda belirtilen süreçler incelendiğinde; türbin parçalarının montajı sırasındaki operasyonlardan sonra en önemli süreç, türbin sahasına ulaşım için yolların açılması olarak gösterilmektedir [15-17,21,25].

Türbin sahalarının genellikle yüksek ve engebeli arazilerde olması sebebiyle hem türbin parçalarının hem de çalışanların inşaat sahasına güvenli bir şekilde ulaşımlarını sağlayacak yolların açılması; oldukça zorlu, tehlikeli ve zaman alıcı bir operasyondur.

Türbin parçalarının kendi boyut ve ağırlıkları ile bu parçaları taşıyan araçların boyut ve ağırlıkları göz önüne alındığında türbin sahasına giden yolların, araçların rahatlıkla manevra yapabileceği genişlikte olması ve nakliyat sırasındaki yaklaşık 150-200 ton ağırlığa dayanacak şekilde yapılması gerekmektedir [15-17,21,25]. (Şekil 2.13)

Şekil 2.13. Türbin sahasına ulaşım yollarının açılması

Rüzgar türbinlerinin kurulum aşamalarında iş kazasına sebep olabilecek başlıca riskler aşağıdaki şekildedir:

- Kaldırma işlemleri sırasında yük veya nesnelerin düşmesi,
- Yüksekte çalışma,

- Hareket eden parçaların çarpması,
- Elektrik işleri,
- Yangın,
- Elle taşıma işleri,
- Ergonomik olmayan koşullarda çalışma,
- Dar ve kapalı alanlarda çalışma,
- Tehlikeli maddelerle çalışılması,
- Çevresel faktörler,
- İş baskısı,
- Gürültü,
- Acil durum tahliyesi,
- Yol ve zemin koşulları,

Rüzgar türbinlerinin kurulumu sırasında; çalışan işçi sayısının en fazla olduğu, en tehlikeli ve en hassas çalışmalar montaj çalışmalarıdır. Türbin parçalarının oldukça ağır ve büyük parçalar olması sebebiyle bu parçaların kaldırılması ve montajı beraberinde birçok iş kazası riskini de beraberinde getirmektedir [15-17,21,25].

Örneğin, çalışanların türbin kanatlarının montajı sırasında gerekli bağlantıları yapmak için uzun süreler boyunca parçaların altında çalışmak zorunda kalması sebebiyle; parça düşmesi, yükün hareket etmesi sonucu çalışana çarpması gibi ölümcül kazalar yaşanabilmektedir [15-17,21,25].

Şekil 2.14. Türbin kanatlarının montajı

Nacelle ve rotorun kule üzerine çıkarılarak montajı sırasında çalışanlar, yüksekte çalışma ve dar alanlarda çalışma gibi risklerle karşı karşıya kalmaktadır. Kule üzerinde yapılan montaj işlemleri sırasında çalışanlar dar ve kapalı alanlarda ergonomik olmayan postürlerde uzun süreler boyunca çalışmak zorunda kalmaktadır. Bununla birlikte, bu parçaların montajı sırasındaki olası bir tehlike anında işçilerin güvenli bir şekilde tahliye edilmesi ve zamanında müdahale yapılabilmesi ciddi bir problem oluşturmaktadır [15-19,25].

Örneğin; yıldırım çarpmasından dolayı oluşabilecek bir yangın durumunda kule üzerindeki çalışanlar kuleyi dışardan terk etmek zorunda kalabilir ancak bu durum hava koşulları ve yükseklik göz önüne alındığında çalışanlar için ciddi bir risk oluşturmaktadır [15-19,25].

Şekil 2.15. Kule üzerindeki bir çalışanın acil durum anında kule dışından aşağı inmesi

Türbin parçalarının montajının tamamlanmasının ardından türbin çevresindeki yeraltı elektrik tesisatının yapılması sırasında çalışanlar; kısa devre, aşırı yükleme, statik elektrik gibi risklerle karşı karşıya kalmaktadır.

2.5.3. Rüzgar Türbinlerinin Bakım Faaliyetleri ile İlgili İSG Riskleri

Rüzgar türbinlerinin kurulumunun tamamlanıp faaliyete başlamasının ardından her bir türbin için yıllık ortalama 40 saatlik bakım faaliyeti yürütülmektedir. Kurulum sürecinden farklı olarak bakım faaliyetlerindeki çalışan sayısının az olmasına karşın işletmelerdeki türbin sayısının fazla olması, bakım faaliyetlerinde görev alan bir çalışanın bazı günlerde günde ortalama 2 kez nacelle'ye çıkmasını gerektirmektedir [20-25].

Bakım faaliyetleri sırasında iş kazasına veya meslek hastalığına sebep olabilecek başlıca genel riskler Tablo 2.13.'de gösterilmektedir.

Tablo 2.13. Rüzgar türbini bakım faaliyetleri sırasında iş kazası ve meslek hastalığına sebep olabilecek riskler

RİSK	RİSK TANIMI
Hava Koşulları	Yılın her mevsimi devam eden bakım faaliyetlerinde aşırı sıcak ve soğuk hava koşulları özellikle yüksekte çalışılması sırasında iş kazalarına yol açabilir.
Arazi Koşulları	Türbin sahalarına ulaşım için kullanılan yolların engebeli olması ve yoldaki bozukluklar veya buzlanma gibi sebepler iş kazasına sebep olabilir.
Yüksekte Çalışma	Nacelle veya Rotor bölümünde yürütülecek bir faaliyet sırasında yüksekte çalışılması düşme riskine yol açmaktadır.
Dar ve Kapalı Alanlarda Çalışma	Türbin içinde yürütülen faaliyetlerin tümünde çalışılan alanların çok dar ve kapalı olması havalandırma problemini ve acil durumlarda tahliye işleminin zor olmasına neden olmaktadır.
Hareket Eden Parçalar	Makine dairesinde yürütülen faaliyetler sırasında özellikle dişli kutusunun koruyucularının aktif olmaması veya çalışır durumdayken dişlilere müdahale edilmesi uzuv sıkışmasına neden olabilir.
Yıldırım Çarpması	Şarjlı hava koşullarında çalışılması sırasında yıldırım çarpması sonucunda yangın ve patlama yaşanabilir.
Yangın	Bakım faaliyetleri sırasında elektrik aksamından ya da diğer mekanik akşamlardaki bir arıza sebebiyle yangın çıkabilir.
Elektrik Çarpması	Elektriksel aksamla ilgili olarak yapılan çalışmalar sırasında kısa devre veya aşırı yükleme sebebiyle elektrik çarpması riski bulunmaktadır.
Ergonomik Olmayan Koşullar	Özellikle makine bölümünde veya hub kısmında yürütülen faaliyetler sırasında çalışma ortamının dar olması sebebiyle uygun olmayan postürlerde uzun süreli çalışmaya bağlı olarak bel ağrısı gibi sorunlar yaşanabilir.
Buzlanma	Özellikle kış aylarında türbin üzerindeki veya kanatlardaki buz sarkıtları 2 metreye kadar ulaşabilmekte ve 100 metreye kadar savrulabilmektedir.
Acil Durumlardaki Tahliye Zorluğu	Yangın veya yıldırım çarpması gibi acil bir durumda özellikle kule üzerinde çalışan kişilerin kule içerisinden çıkış yapamaması durumunda kule dışından aşağı inmesi gerekmektedir.
Dikkatsiz Davranışlar	Çalışanların yorgunluk veya diğer etkenler sebebiyle dikkatsiz davranması sebebiyle iş kazaları gerçekleşebilir.

Rüzgar türbinlerinin bakım işlemleri esnasındaki yukarıda belirtilen risklere bakıldığında; bazı risklerin birçok sektörde ortak olduğu görülmektedir. Ancak rüzgar türbinlerinin bakım faaliyetleri sırasında diğer birçok sektörden farklı olarak, çok sert hava koşullarında çalışılması gerektiğinden; yüksekte çalışma gibi risklerin bu sektörde iş kazasına sebebiyet verme ihtimali yükselmektedir [15-17, 20-25].

Özellikle kış aylarında, çalışanlar ciddi bir buzlanma ve soğuk tehlikesi ile karşı karşıya kalmaktadır. Bu sebeple, yapılan bakım çalışmaları sırasında buzlanmadan dolayı yüksekten düşme ya da soğuk ortamda uzun süreli çalışmaya bağlı olarak dikkat kaybına bağlı iş kazaları ve çalışanın hastalanması gibi durumlar oluşabilmektedir [15-17].

Şekil 2.16. Nacelle üzerinde meydana gelen buzlanma

Bunun yanında, hava koşullarının olumsuz etkileri türbin sahalarının bulunduğu arazi koşullarının getirdiği olumsuzluklar birleşince, çalışanların türbin sahasına ulaşımı için kullanılan yollar ciddi bir tehlike oluşturmaktadır [15-17]. (Şekil 2.17.)

Şekil 2.17. Kış aylarında türbin sahalarına ulaşım için kullanılan yolların durumu

Olumsuz ve aşırı hava şartlarının getirdiği diğer bir risk de; özellikle kış aylarında kanatlarda ve kule üzerindeki diğer türbin parçaları üzerinde oluşan ve boyutları 2 metreye varan buz sarkıtlarının düşmesidir. Kanatlarda oluşan buz sarkıtları, kanatların dönmesinin de etkisiyle yaklaşık 100 metre uzağa kadar fırlayabilmekte ve ciddi iş kazalarına sebep olmaktadır [15-17,23].

Olumsuz hava ve arazi şartları dışında, bakım faaliyetleri sırasında çalışanların çoğunlukla dar ve kapalı alanlarda çalışması da beraberinde birçok iş kazası riskini getirmektedir. Örneğin; nacelle veya hub içerisinde yapılan bakım faaliyetleri esnasında hareket alanının kısıtlı olması sebebiyle hareket halindeki parçalara ya da sıcak parçalara temas edilmesi ciddi yaralanmalara yol açabilmektedir [15-17,23].

Bununla birlikte özellikle nacelle içerisinde, kanatlarda veya hub içerisinde yapılan bakım faaliyetleri sırasında; çalışanların ergonomik olmayan postürlerde uzun süreli çalışması vücutta bazı kas iskelet sistemi rahatsızlıklarına yol açmaktadır [15-17,19].

Şekil 2.18. Kanat içerisinde yapılan bir bakım çalışması

Tablo 2.13.'de ifade edilen risklere bakıldığında; bakım faaliyetleri sırasındaki önemli diğer bir riskin herhangi bir acil durum anında çalışanların tahliye edilmesinin zor olması ve kaza durumunda çalışana yapılacak müdahalenin gecikmesidir [15-17,19].

Örneğin; Şekil 2.18. ve 2.19.'da örnekleri gösterilmekte olan kanat içerisinde veya kanat üzerinde yapılan bir çalışma sırasında; yıldırım çarpması veya türbin içindeki elektronik aksamda meydana gelebilecek bir aksaklık ya da başka bir acil durumda çalışana hızlı bir şekilde müdahale edilmesi ve çalışanların türbin üzerinden indirilmesi çok ciddi bir problem oluşturmaktadır. Bununla birlikte acil durumlarda çalışanlar türbini dışarıdan tahliye etmek durumunda kalabilmekte ve bu durumda beraberinde yüksekten düşme riskini getirmektedir [15-17,19].

Şekil 2.19. Kanat üzerinde yapılan bir bakım çalışması

Son olarak yukarıda da bahsedildiği üzere bakım faaliyetlerinde çalışan personel sayısının az olması sebebiyle çalışanların bir gün içerisinde iki kez türbinin üzerine çıkması gerekebilmektedir. Türbin yüksekliklerinin genellikle 80-120 metre arasında olduğu göz önüne alındığında, tırmanma süreci çalışanlar açısından ciddi bir psikolojik yük oluşturmakta ve bu durum da; işin yapılışı sırasındaki dikkat seviyesini azalmasına ve dikkatsizlik sebebiyle iş kazalarının gerçekleşmesine sebep olabilmektedir [15-17,19].

2.6. RÜZGAR ENERJİSİ SEKTÖRÜNDE İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ İLE İLGİLİ MEVZUAT

Rüzgar enerjisi sektörü ile ilgili olarak iş sağlığı ve güvenliği kapsamında özel bir mevzuat bulunmamaktadır. Ancak bu alanda iş kazasına veya meslek hastalığına sebep olabilecek risk etmenleri ile ilgili olarak yasal düzenlemeler mevcuttur. Uygulaması ve takibi işverenin sorumluluğunda olan bu düzenlemeler aşağıda sıralanmaktadır.

- 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu, **Resmi Gazete Tarihi:** 30.06.2012 **Sayısı:** 28339
- Çalışanların Gürültü ile İlgili Risklerden Korunmalarına Dair Yönetmelik, **Resmi Gazete Tarihi**: 28.07.2013 **Sayısı:** 28721
- Çalışanların Titreşimle İlgili Risklerden Korunmalarına Dair Yönetmelik, **Resmi Gazete Tarihi**: 22.08.2013 **Sayısı:** 28743
- İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları, **Resmi Gazete Tarihi**: 25.04.2013 **Sayısı:** 28628
- Kanserojen veya Mutajen Maddelerle Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Hakkında Yönetmelik, **Resmi Gazete Tarihi**: 06.08.2013 **Sayısı:** 28730
- İşyeri Bina ve Eklentilerinde Alınacak Sağlık ve Güvenlik Önlemlerine İlişkin Yönetmelik, **Resmi Gazete Tarihi**: 17.07.2013 **Sayısı:** 28710
- Kişisel Koruyucu Donanımların İşyerlerinde Kullanılması Hakkında Yönetmelik**, Resmi Gazete Tarihi**: 02.07.2013 **Sayısı:** 28695
- Çalışanların İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitimlerinin Usul ve Esasları Hakkında Yönetmelik, **Resmi Gazete Tarihi**: 15.05.2013 **Sayısı:** 28648
- Elle Taşıma İşleri Yönetmeliği, **Resmi Gazete Tarihi:** 24.07.2013 **Sayısı:** 28717
- Sağlık ve Güvenlik İşaretleri Yönetmeliği, **Resmi Gazete Tarihi:** 11.09.2013 **Sayısı:** 28762
- İşyerlerinde Acil Durumlar Hakkında Yönetmelik, **Resmi Gazete Tarihi:** 18.12.2013 **Sayısı:** 28681
- İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği, **Resmi Gazete Tarihi**: 29.12.2012 **Sayısı:** 28512

Rüzgar enerjisi sektörü ile ilgili olarak AB mevzuatı incelendiğinde ise, 2009/28/EC sayılı Yenilenebilir Enerji Direktifi dışında bu alanla ilgili özel bir yasal düzenleme bulunmamaktadır [15-18].

Ancak doğrudan rüzgar enerjisi sektörüne yönelik olmasa da tüm dünyada uygulanan sistematik İSG yönetim sistemlerinin en önemli kaynağı olarak gösterilen mevzuat girişimi, çalışanların işyerindeki güvenliklerini ve sağlıklarını iyileştirmeye teşvik eden önlemler hakkındaki 89/391/EEC sayılı AB Çerçeve Direktifi'dir. Bu çerçeve direktifinde, hem kamu sektöründe hem de özel sektörde yer alan tüm işyerleri için İSG yönetiminde geçerli genel

ilke ve süreçlere yer verilmiştir. Direktife göre, işletmelerde İSG yönetiminin temel amacı, çalışanların sağlık ve güvenlik koşullarının sürekli olarak iyileştirilmesini sağlamaktır.
Çerçeve Direktif dışında rüzgar türbinleri ile ilişkili diğer AB mevzuatı düzenlemeleri aşağıda sıralanmaktadır [15-18].

- 2009/104/EC sayılı iş ekipmanlarının kullanımındaki sağlık ve güvenlik koşullarını içeren AB Direktifi
- 2006/42/EC sayılı makinelerle ilgili AB Direktifi
- 96/53/EC sayılı trafikte yük taşınması ile ilgili AB Direktifi
- 98/24/EC sayılı işyerindeki kimyasallardan kaynaklı risklerle ilgili AB Direktifi
- 2004/37/EC sayılı kanserojen ve mutajen maddelerle çalışma ili ilgili AB Direktifi
- 90/269/EEC sayılı elle taşıma ile ilgili AB Direktifi
- 92/57/EC sayılı inşaat alanları ile ilgili AB Direktifi

Avrupa İş Sağlığı ve Güvenliği Ajansının hazırladığı direktifler dışında; Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC) tarafından hazırlanan IEC 61400 sayılı rüzgar türbini tasarım standartları, türbinin genel yapısı veya iç yapı elamanlarının dizaynlarından kaynaklanan iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili risklerinin üretim aşamasında en aza indirilmesi ilgili düzenlemeleri içermektedir. IEC 61400 serili rüzgar türbini standartları aşağıda sıralanmaktadır [15-18].

- IEC 61400-1: Rüzgar Türbinleri – Dizayn Gereksinimleri
- IEC 61400-2: Rüzgar Türbinleri – Küçük Rüzgar Türbinleri İçin Dizayn Gereksinimleri
- IEC 61400-4: Rüzgar Türbinleri - Rüzgar Türbin Dişlileri İçin Dizayn Gereksinimleri
- IEC 61400-5: Rüzgar Türbinleri - Rüzgar Türbin Kanatları İçin Dizayn Gereksinimleri
- IEC 61400-11: Rüzgar Türbinleri - Akustik Gürültü Ölçümü Teknikleri
- IEC 61400-12: Rüzgar Türbinleri – Rüzgar Türbini Güç Performans Testi
- IEC 61400-13: Rüzgar Türbinleri – Mekanik Yüklerin Ölçümü
- IEC 61400-14: Rüzgar Türbinleri – Görünen Ses Düzeyi ve Ton Değerlerinin Belirlenmesi
- IEC 61400-22: Rüzgar Türbinleri – Uygunluk Testinin yapılması ve Sertifikasyon
- IEC 61400-23: Rüzgar Türbinleri – Yıldırımdan Korunma Protokolü
- IEC 61400-24: Rüzgar Türbinleri – Yıldırımdan Korunma Protokolü

- IEC 61400-25: Rüzgar Türbinleri – İletişim Protokolü
- IEC 61400-27: Rüzgar Türbinleri – Elektriksel Simülasyon Modelleri

Bu düzenlemelerin dışında, rüzgar enerjisi sektörü ile ilgili diğer bir önemli yasal düzenleme de EN 50308 sayılı rüzgar türbinlerinin kurulum, servis ve bakım süreçleri ile ilgili güvenlik gereksinimlerini içeren Avrupa Rüzgar Türbini Standardı'dır [15-18].

26/12/2012 tarihli ve 28509 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren "İş Sağlığı ve Güvenliğine İlişkin İşyeri Tehlike Sınıfları Tebliği" incelendiğinde rüzgar enerjisi santrallerinin "35.11.19" nace koduna sahip "Çok Tehlikeli" işyerleri sınıfına girdiği görülmektedir. Rüzgar türbinlerinin kurulum süreci ve sonrasındaki bakım onarım süreci ile ilgili özel bir tehlike sınıfı olmamakla birlikte, türbinlerin bakım ve onarım faaliyetleri; aynı tebliğin "33.12.03" nace koduna sahip "Motor ve türbinlerin bakım ve onarımı (hidrolik, rüzgar, gaz, su, buhar türbinleri) (gemi ve tekne motorları dahil, motorlu kara taşıtı ve motosiklet motorları hariç)" kapsamında ve "Tehlikeli" işler sınıfında değerlendirilmektedir.

2.7. RİSK DEĞERLENDİRMESİ

Bilindiği üzere, 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu'nun 10 uncu maddesi işverenleri iş sağlığı ve güvenliği yönünden risk değerlendirmesi yapmak veya yaptırmakla yükümlü kılmıştır. Bu hususta ilgili madde gereğince hazırlanan "İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği" 29.12.2012 tarihli ve 28512 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir.
İlgili Yönetmelikte;

- Tehlike; işyerinde var olan ya da dışarıdan gelebilecek, çalışanı veya işyerini etkileyebilecek zarar veya hasar verme potansiyeli,
- Risk, tehlikeden kaynaklanacak kayıp, yaralanma ya da başka zararlı sonuç meydana gelme ihtimali,
- Kabul edilebilir risk seviyesi, yasal yükümlülüklere ve işyerinin önleme politikasına uygun, kayıp veya yaralanma oluşturmayacak risk seviyesi olarak tanımlanmış olup;
- Risk değerlendirmesi ise işyerinde var olan ya da dışarıdan gelebilecek tehlikelerin belirlenmesi, bu tehlikelerin riske dönüşmesine yol açan etmenler ile tehlikelerden

kaynaklanan risklerin analiz edilerek derecelendirilmesi ve kontrol tedbirlerinin kararlaştırılması amacıyla yapılması gerekli çalışmalar olarak açıklanmıştır.

Risk değerlendirmesinde iki temel yöntem mevcuttur. Bunlar, kantitatif (nicel) ve kalitatif (nitel) yöntemlerdir. Kalitatif yöntemlerde, matematiksel risk değerlendirmesi yerine sözel mantıkla risk değerlendirmesi yapılmakta, uygulamayı yapan uzman kendi tecrübelerine ve sezgilerine dayanarak riskleri ve risk öncelik değerlerini tahmin etmektedir. Tahmini risk hesaplanırken ve ifade edilirken rakamsal değerler yerine yüksek, çok yüksek gibi tanımlayıcı değerler kullanılır [26,27].

Bu tahmin tamamen sübjektif değerlendirmelere dayanmakta ve çoğu zaman da sistematik bir nitelik göstermemektedir. Bu tür yöntemlerde, değerlendirmeyi yapan uzmanın sezgi ve muhakeme kabiliyeti, yöntemin güvenirliliği açısından önemlidir. Bu nedenle, kritik öneme haiz sistemlerde sadece kalitatif yöntemlerle risk değerlendirmesi yapmak doğru değildir [26,27].

Kantitatif risk değerlendirme yöntemleri ise riski hesaplarken sayısal yöntemlere başvurur. Bu sayısal yöntemler, olasılık ve güvenirlik teoremleri gibi basit teknikler olabileceği gibi, simülasyon modelleri gibi karmaşık tekniklerde olabilir. Kantitatif risk analizinde tehlikeli bir olayın meydana gelme ihtimali, tehlikenin etkisi gibi değerlere sayısal değerler verilir ve bu değerler matematiksel ve mantıksal metotlar ile işlenip risk değeri bulunur [26,27].

Risk = Tehlikeli Bir Olayın Meydana Gelme İhtimali * Tehlikenin Şiddeti

formülü kantitatif risk analizinin temel formülüdür. Belli başlı risk değerlendirme yöntemleri şunlardır: Ön Tehlike Analizi, Birincil Risk Analizi, Risk Haritası, Süreç/Sistem Kontrol Listeleri, Olursa Ne Olur Analizi, Tehlike ve İşletebilirlik Analizi (HAZOP), Hata Türleri, Etkileri ve Kritiklik Analizi (FMEA), Hata Ağacı Analizi, Olay Ağacı Analizi, Neden - Sonuç Analizi, İnsan Hatası Analizi, Güvenlik Bariyer Diyagramları, Fine-Kinney Modeli, Zürih Tehlike Analizi, Ortalamalardan Sapma Tekniği, Ağırlıklandırılmış Ortalamalardan Sapma Tekniği, Risk Değerlendirme Tablosu; a) L Tipi Matris, b) X Tipi Matris [26,27].

Bu yöntemleri birbirinden ayıran en önemli fark, risk değerini bulmak için kullandıkları kendilerine has metotlardır. Bu yöntemlerden en yaygın olarak kullanılanlarının birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları Tablo 2.14.'de detaylı bir şekilde verilmiştir [26,27].

Tablo 2.14. Yaygın olarak kullanılan risk değerlendirmesi metotlarının karşılaştırılması

RİSK DEĞERLENDİRMESİ METODU	AVANTAJLARI	DEZAVANTAJLARI
Kontrol Listesi	➢ Uygulanması kolaydır. ➢ Tek bir analist veya küçük bir grup tarafından yapılabilir. ➢ Veri tabanı ile entegre edilebilir. ➢ Bütün sektörlerde kullanılabilir.	➢ Kompleks tehlike kaynaklarının analiz edilmesinde kullanılamaz. ➢ Sadece nitel sonuçlar verir. ➢ Değerlendirmenin kalitesi hazırlanan soruların kalitesine ve takımın ya da analistin deneyimine bağlıdır.
Güvenlik Denetimi	➢ Uygulanması kolaydır. ➢ Ekipmana, üretime veya çevreye zarara yol açabilecek ekipmanların durumunu veya uygulama prosedürlerini inceler.	➢ Teknik donanımdan kaynaklanan tehlikeleri belirleyemez. ➢ Çalışmanın sonucunda yalnızca, şirket yönetiminin uygulanan prosedürleri güvenlik yönünden gözden geçirmesini gerektirir bir rapor elde edilir.
Hata Türleri ve Etkileri Analizi (FMEA)	➢ Kazaya sebebiyet verebilecek makine-ekipman hatalarını, insan hatalarını ve çevresel faktörleri birlikte değerlendirir. ➢ Hem nitel hem de nicel sonuçlar elde edilir. ➢ Kazaların kök nedenlerini analiz eder.	➢ Kompleks yapılıdır ➢ Uygulaması zor ve zaman alıcıdır

Tablo 2.14. Yaygın olarak kullanılan risk değerlendirmesi metotlarının karşılaştırılması (devamı)

	➢ Bütün sektörlerde kullanılabilir	➢
HAZOP	➢ Sistematik bir metottur. ➢ Sistemin sapmalarını, sapmalar sonucu ortaya çıkabilecek istenmeyen sonuçları ve sapmaların sıklığını azaltmak için çözüm önerilerini ortaya koyar.	➢ Kullanımı kolay değildir. ➢ Uygulaması zaman alır. ➢ Sadece nitel sonuçlar verir. ➢ Farklı disiplinlerden uzmanların katılımı ile gerçekleştirilir.
What-if Analizi	➢ Uygulanması kolaydır. ➢ Genelde tek başına kullanılabildiği gibi başka bir metoda yardımcı teknik olarak da kullanılabilir. ➢ Veri tabanı ile entegre edilebilir.	➢ Sadece tehlikelerin sonuçlarının neler olacağını ortaya çıkartır. ➢ Nitel sonuçlar verir. ➢ Farklı disiplinlerden uzmanların katılımı ile gerçekleştirilir. ➢ Değerlendirmenin kalitesi uzmanların tecrübesi ile doğru orantılıdır.
Risk Matrisi	➢ Uygulaması kolaydır. ➢ Yarı-nitel risk değerlendirmesi metodudur.	➢ Sonuçlar uygulayan uzmanların fikirlerine göre değişiklik gösterebilir.
Fine-Kinney	➢ Basit ve anlaşılır. ➢ Kolay uygulanabilir. ➢ Risklerin derecelendirilmesini sağlar. ➢ Matematiksel risk değerlendirme metodudur. ➢ Nicel sonuçlar verir.	➢ Aynı risk skoruna sahip iki tehlikeli olay önceliklendirilemez. ➢ Somut olmayan (psikososyal riskler vb.) riskler için uygulanamaz. ➢ Sonuçlar uygulayan uzmanların fikirlerine göre değişiklik gösterebilir.

İşletmelerde risk değerlendirmesinin yapılması ve çıkan sonuçlara göre işyeri ortamının iyileştirilmesi; işletmenin sağlık ve tazminat giderlerinin azalmasını, iş kazası ve meslek hastalıklarının önlenmesini, güvenli bir çalışma ortamı sağlayarak çalışanların verimliliğinin ve motivasyonunun artmasını, üretimde kalitenin yükselmesini, işletmenin güven ve prestij kazanmasını sağlar. Bu sebeple, risk değerlendirmesi sonucuna göre çalışma ortamının iş sağlığı ve güvenliği koşullarını iyileştirici nitelikte yapılacak yatırımların fayda maliyet analizi yapıldığında işyeri için getirisinin daha fazla olduğu görülecektir [26,27].

2.8. BULANIK MANTIK

Bu bölümde; tez çalışmasında uygulanan bulanık risk değerlendirmesi yaklaşımının temelini oluşturan bulanık mantık kavramı, dilsel değişkenler, bulanık küme kavramı, bulanık sayılar ve Vertex yöntemi hakkında ayrıntılı bilgilere yer verilmiştir.

2.8.1. Bulanık Mantık Kavramı

Bulanık mantık, genel ifadesiyle gerçek hayattaki belirsizlikleri dikkate alarak geliştirilmiş bir düşünce sistemidir. Bulanık kavramı, ilk olarak Azerbaycan asıllı Lüfü Askerzade Zadeh tarafından 1965 yılında yapılan bir çalışma ile literatüre kazandırılmıştır**.** Zadeh'e göre klasik sistemde kullanılan matematiksel yöntemler, özellikle insanları içeren karmaşık sistemlerle uğraşırken yetersiz kalmaktadır.

Gerçek hayatta belirsiz durumların ortaya çıkmasına neden olan en önemli unsurlardan birisi sözel ifadelerdeki belirsizliktir. Bu belirsizlik, genellikle insanların olayları değerlendirmek için kullandıkları kelimelerin farklı anlamlara sahip olmasıyla ilgilidir. Genel olarak, değişik biçimlerde ortaya çıkan karmaşıklık ve belirsizlik gibi tam ve kesin olmayan bilgi kaynaklarına bulanık kaynaklar adı verilir.

İnsanların sözel düşünebildiği ve bildiklerini başkalarına sözel ifadelerle aktarabildiği göz önünde bulundurulursa bu ifadelerin kesin olması beklenemez. Günümüzde bilgi ve bunun getirdiği sözel verilere önem verilmektedir. Bunun sebebi, insanların bir cihaz gibi sayısal değil de yaklaşık sözel verilerle konuşarak anlaşmasıdır. Sözel verilerin, bir sistem içinde formüle ederek cihazların verdiği sayısal bilgilerle beraber ele alınması gerekmektedir.

Bulanık sistemlerin asıl işleyeceği konu bu tür bilgilerin bulunması halinde, çözümlemelere gitmek için nasıl düşünüleceğidir. Mühendislik yaklaşımlarında, elde edilebilen tüm sayısal ve sözel bilgiler çözüm algoritmasına katılarak, incelenen olayın kontrolünde anlamlı çözümlere varılabilmelidir. Bu bakımdan bulanık küme, mantık ve sistem ilkeleri, uzman kişilerin de vereceği sözel bilgileri işleyerek toplu ve belirsizliği daha az olduğu bir çözüme gitmeye yaramaktadır.

2.8.2. Dilsel Değişken

İnsanlar tarafından kullanılan sözel ifadeler genellikle belirsiz olduğundan bu ifadeleri sayısal değerlere çevirmek mümkün olmayabilir. Bu tarz durumlarda daha gerçekçi bir yaklaşım olarak sözlü ifadelerin direkt olarak sayısal değerlere dönüştürülmesi yerine dilsel değişkenlerle ifade edilmesidir. Diğer bir ifadeyle kelimelerle ifade edilen nitel durumları modelleyebilmek ve bu modellemelerden yararlanarak değerlendirmeler yapabilmek için dilsel değişkenler kullanılır [31-33].

Örneğin "hava sıcak" denildiğinde, sıcak kelimesinin ifade ettiği anlam göreceli olarak farklı durumlara göre değişiklik gösterir. Kutuplarda bulunan bir kişinin sıcak kavramından 15 ^{0}C'yi algılamasına rağmen, ekvator bölgesindeki bir kişi için bu kavram 35 ^{0}C olabilmektedir. Böylece sıcak kelimesinin altında, insanların da ima ettiği sayısal anlayışın bir sonucu olarak belirsiz bir durum oluşmaktadır [31-33].

Bu şekildeki belirsiz durumlar için; bulanık tekniklerle analiz yöntemleriyle belirsizliklerin azaltılarak ve problemlerin çözümüne gidilmekte olup çözümün geliştirilmesi dilsel ifadelerin kullanılması ile sağlanabilmektedir. Örneğin az, orta, çok gibi dilsel ifadelerin kantitatif olarak neye karşılık gelebileceği tam olarak net değildir. Net olmayan bu durumu ifade edebilme kabiliyeti bulanık kümeler ile kolayca sağlanabilmektedir [31-33].

2.8.3. Bulanık Kümeler

Klasik kümelerde sadece, üyeliği ve üye olmamayı gösteren iki özel durum bulunmaktadır. Bir nesne ya da eleman bir kümeye aittir ya da ait değildir. Klasik kümeler tamamıyla niteliksel bir ayrım yapmaktadır. Bir kümede kesinlikle üye olma 1, üye olmama ise 0 ile gösterilmektedir (Ragin, 2000: 153). Bulanık kümelerde ise, 0 ile 1 arasındaki kısmi üyelik değerleri de kabul edilebilir [38,40].

Bir A bulanık kümesi, [0,1] kapalı aralığında tanımlanan karakteristik bir üyelik fonksiyonu ile ifade edilmektedir. A, bulanık kümesi için tanımlanacak olan bir üyelik fonksiyonu Denklem (2.3)'de gösterilmektedir [38,40].

$$\mu_A: E \rightarrow [0, 1] \quad \textbf{(2.3)}$$

A bulanık kümesinin elemanı olan x'in üyelik derecesi $\mu_A(x)$; x elemanının A bulanık kümesine hangi derecede üye olduğunun bir göstergesidir [38,40].

Üyelik fonksiyonu, $\mu_A(x)$: E →[0, 1] olan bir "A" bulanık sayısının özellikleri şu şekildedir;

- $\mu_A(x)$, reel sayılar kümesinden [0,1] aralığındaki sürekli bir fonksiyondur.
- $\mu_A(x)$, bir konveks bulanık altkümedir.
- $\mu_A(x_0)$ fonksiyonunun 1'e eşit olduğu bir x_0 değeri mevcuttur.

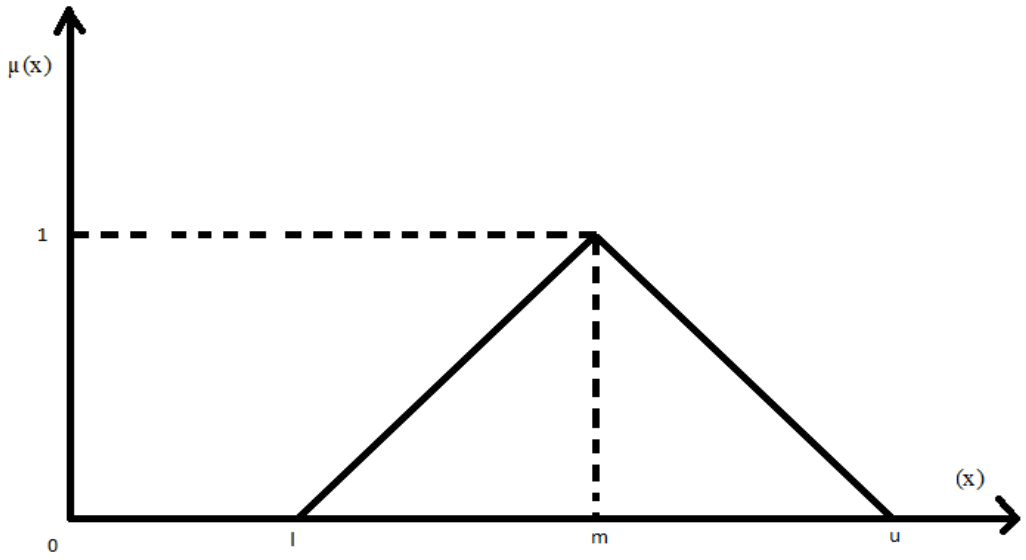
Üyelik fonksiyonlarının en yaygın olanları üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonları olup bu tez çalışması kapsamında üçgen üyelik fonksiyonları ve üçgen bulanık sayılar kullanılacaktır [38,40].

2.8.4. Üçgen Bulanık Sayılar

Bir üçgen bulanık sayı üç elemandan oluşmaktadır. M=(l, m, u) şeklinde ifade edilen bir üçgen bulanık sayı için "l" değeri en küçük olası değeri, "m" değeri net değeri, "u" değeri ise en yüksek olası üst değeri ifade etmektedir.

μ(x) üyelik fonksiyonu Denklem 2.4'te gösterilmekte olup Şekil 2.20.'de de fonksiyonun grafiksel yapısı gösterilmektedir.

$$\mu(x)=\begin{cases} x<m & ;\ 1 \\ \dfrac{x-l}{m-l} & ;\ 1\le x\le m \\ \dfrac{u-x}{u-m} & ;\ m\le x\le u \\ 0 & ;\ \text{aksi durumlarda} \end{cases} \qquad \textbf{(2.4)}$$



Şekil 2.20. M üçgen bulanık sayısının üyelik fonksiyonunun grafiksel ifadesi

Çok kriterli karar verme (ÇKKV) problemlerinde yaygın olarak kullanılan üçgen bulanık sayılar kullanılarak bazı temel matematik işlemleri aşağıdaki şekilde yapılmaktadır.

A ve B; A = (A_1, A_2, A_3) ve B = (B_1, B_2, B_3) şeklinde iki üçgen bulanık sayı ve "p" pozitif bir doğal sayı olsun bu durumda;

A + B = (A_1, A_2, A_3) + (B_1, B_2, B_3) = (A_1+B_1, A_2+B_2, A_3+B_3) ;
A - B = (A_1, A_2, A_3) - (B_1, B_2, B_3) = (A_1-B_1, A_2-B_2, A_3-B_3) ;
A * B = (A_1, A_2, A_3) * (B_1, B_2, B_3) = (A_1*B_1, A_2*B_2, A_3*B_3) ;
A / B = (A_1, A_2, A_3) / (B_1, B_2, B_3) = (A_1/B_3, A_2/B_2, A_3/B_1) ;
A^{-1}= (A_1, A_2, A_3)$^{-1}$ = (1/A_3, 1/A_2, 1/A_1) ;
A * p = (A_1, A_2, A_3) * p = (A_1*p, A_2*p, A_3*p); şeklinde hesaplanmaktadır [38,40,43].

2.8.5. Vertex Yöntemi

Vertex yöntemi iki üçgen bulanık sayı arasındaki uzaklığın hesaplamasında kullanılan bir yöntemdir. A = (A_1, A_2, A_3) ve B = (B_1, B_2, B_3) şeklindeki iki üçgen bulanık sayı arasındaki uzaklık vertex yöntemi kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır [43]. (Denklem 2.5)

$$d(A,B) = [1/3 * [(A_1-B_1)^2 + (A_2-B_2)^2 + (A_3-B_3)^2]]^{1/2} \quad \textbf{(2.5)}$$

3. GEREÇ VE YÖNTEMLER

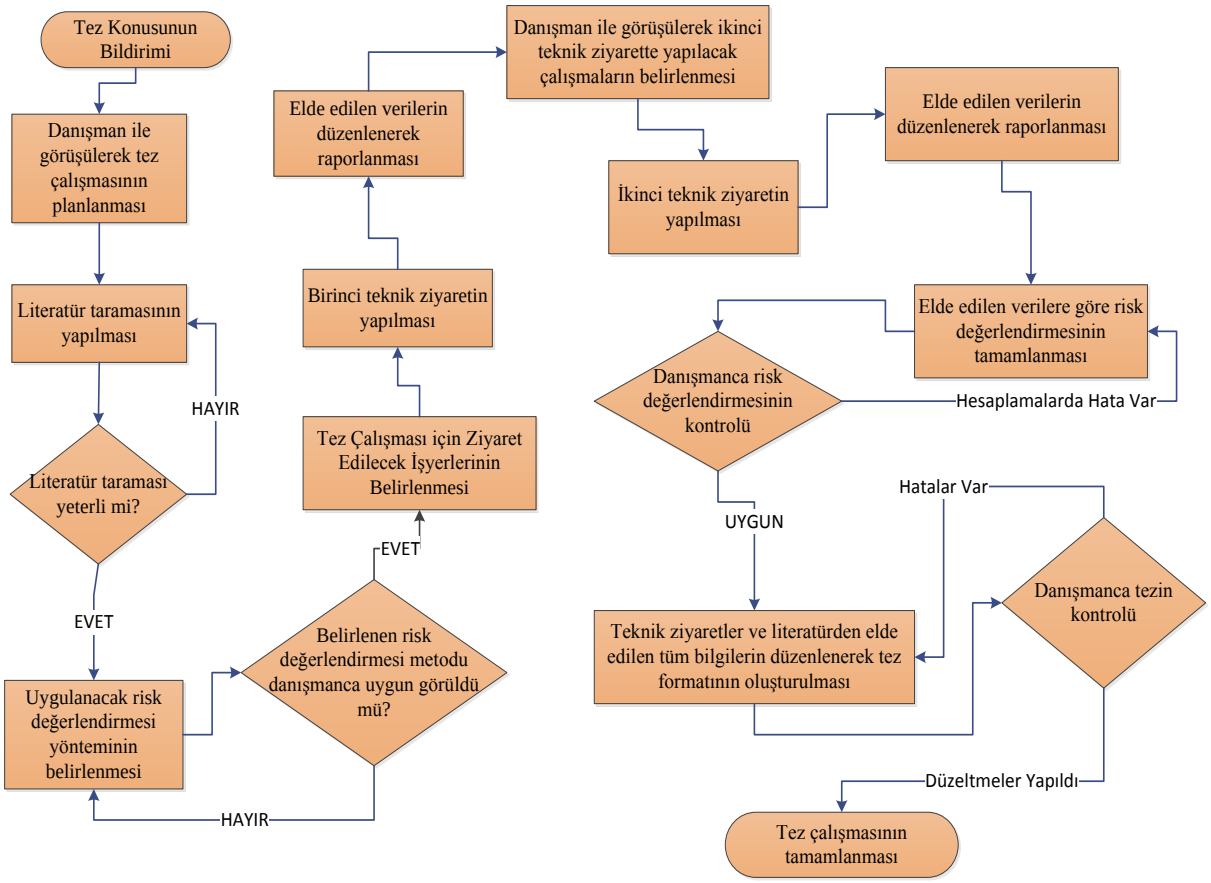
Bu çalışma kapsamında kullanılan bulanık mantık temelli risk değerlendirmesi yaklaşımı ile mevcut risk değerlendirmesi metotlarının en önemli dezavantajlarından birisi olan; uzmanlardan kaynaklanan subjektifliğin azaltılarak daha gerçekçi ve matematiksel bir sonuç elde edilmesi amaçlanmıştır.

Tez çalışması kapsamında; İstanbul ve Osmaniye'de toplam 73 adet rüzgar türbininin bulunduğu iki farklı rüzgar enerjisi santraline gidilmiş olup kurulum ve bakım süreçleri iş sağlığı ve güvenliği açısından gözlemlenerek geliştirilen bulanık risk değerlendirmesi yaklaşımı ile bu süreçlerdeki iş kazası veya meslek hastalığına sebep olabilecek riskler değerlendirilmiştir.

Genel hatlarıyla bu tez çalışması sürecinde gerçekleştirilen faaliyetler:

- Rüzgar enerjisi sektörüne yönelik literatür taraması,
- Tez kapsamında gidilecek iş yerlerinin belirlenmesi,
- İş yeriyle temasa geçilerek teknik ziyaretlerin planlanması,
- İşyerine ilk teknik ziyaretin yapılması ve risk değerlendirmesi çalışması,
- Elde edilen verilerin düzenlenmesi,
- İkinci teknik ziyaretin yapılması,
- Elde edilen verilerin düzenlenerek raporlanması,
- Risk değerlendirmesi çalışmalarının sonuçlandırılarak raporlamanın tamamlanması,
- Teknik ziyaretler ve literatürden elde edilen tüm verilerin bir araya getirilerek düzenlenmesi,
- Tez yazım sürecinin tamamlanması,

şeklinde gerçekleşmiş olup tez çalışmasına ait tüm süreçlerin gösterildiği tez akış şeması Şekil 3.1.'de ifade edilmektedir.



Şekil 3.1. Tez Akış Şeması

Çalışmanın bu bölümünde; kullanılan bulanık risk değerlendirmesi yönteminde karar değişkenlerinin önem ağırlıklarının hesaplanmasında kullanılan bulanık analitik hiyerarşi süreci (BAHS) yöntemi ve tespit edilen risklerin önem ağırlıklarının hesaplanmasında kullanılan bulanık topsis (BTOPSIS) yöntemi ayrıntılı olarak anlatılmaktadır.

3.1. BULANIK ANALİTİK HİYERARŞİ SÜRECİ

Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS), Thomas L. Saaty tarafından karmaşık problemlerin çözümü için geliştirilen ve yaygın olarak kullanılan çok kriterli karar verme yöntemidir. AHS; birçok seçenek içerisinden belirlenen ölçütler çerçevesinde seçeneklerin önceliklerini belirlemede kullanılan ve kullanımı oldukça kolay olan bir yöntemdir. AHS yöntemi; nitel ve nicel faktörleri değerlendirebilmenin yanında birçok karar vericinin tercihlerini, deneyimlerini, bilgilerini, sezgilerini ve düşüncelerini de karar sürecine dâhil edebilen doğrusal ağırlıklı çok kriterli karar verme yöntemidir [28,29,34-36,44].

AHS, problemi her biri en az bir ölçütten oluşan hiyerarşik bir yapı içinde tanımlamaktadır. Bu yöntem, alt seviyedeki bir ölçütün, üst seviyedeki bir ölçütü etkilediği varsayımına dayanmaktadır. Bu nedenle, ikili karşılaştırmalar yoluyla ölçütlerin bir üst seviyedeki ölçütü ne oranda etkiledikleri belirlenmeye çalışılmaktadır. Fakat klasik sayılar ile uygulanan tekniğin, karar vericinin yargılarında ortaya çıkan bulanıklıkları ve belirsizlikleri değerlendirmekte yetersiz kalması nedeniyle klasik sayılar yerine bulanık sayıların kullanıldığı yaklaşım tercih edilmektedir. Bulanık çok kriterli karar verme problemlerinin çözümünde kullanılan yöntemlerden birisi Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci'dir [28,29,34-36,44].

Klasik AHS'nin bir uzantısı olan ve ölçek olarak bulanık sayıların kullanıldığı BAHS, insan yargılarının ve düşüncelerinin karar sürecinde daha etkin bir şekilde yer almasını sağlamaktadır. BAHS; düşük, orta ve yüksek değerleri içeren bulanık ölçekleri kullanarak bulanıklık veya sözel belirsizlik içeren karar verme problemlerinin çözümü için uygun bir yaklaşım getirmektedir. Bu yöntemde göreli ağırlıkların sentezi için; bulanık kümeler, üyelik fonksiyonları ve bulanık sayılar kullanılmaktadır. Yöntem uygulanırken, kişilerin bulanıklık veya belirsizlik konusundaki değerlendirmeleri; kriterler ve alternatifler arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak karar sürecine yansıtılmaktadır [28,29,34-36,44].

Bulanık uygulamalarda, ağırlıklar matrisinde bulunan ikili karşılaştırmalar bulanık sayılardan oluşmaktadır. Bulanık aritmetik kullanılarak ağırlık vektörleri ve her alternatif için toplam puanlar hesaplanmaktadır. Tekniğin uygulanmasında öncelikler matrisindeki tüm elemanlar ve ağırlık vektörleri üçgen bulanık sayılarla ifade edilmektedir. Her bir kriterin alternatifler üzerindeki göreli katkısının veya etkisinin tanımlanmasında üçgen bulanık sayıların kullanımı

ile bulanık bir öncelikler matrisi oluşturulmaktadır. Algoritmanın uygulanmasında üçgen bulanık sayılar arasında işlem yapılırken standart bulanık aritmetik işlemleri kullanılmaktadır.

Bulanık analitik hiyerarşi sürecinde Saaty'nin geliştirdiği klasik analitik hiyerarşi süreci ile bulanık küme teorisi birleştirilmiştir. Oluşturulan yeni tekniğin uygulanmasında bulanık önem dereceleri kullanılmaktadır. Söz konusu önem dereceleri ve üçgen bulanık sayı olarak karşılıkları Tablo 3.1.'de gösterilmektedir [28,29,34-36,44].

Tablo 3.1. Karar kriterlerinin önem ağırlıklarının değerlendirilmesinde kullanılan dilsel değişkenler ve bulanık sayı değerleri

Dilsel Değişkenler	Bulanık Sayı Karşılıkları
Çok Güçlü	(2 , 5/2 , 3)
Oldukça Güçlü	(3/2 , 2, 5/2)
Güçlü	(1 , 3/2 , 2)
Az Güçlü	(1 , 1, 3/2)
Eşit	(1 , 1 , 1)
Az Zayıf	(2/3 , 1 , 1)
Zayıf	(1/2 , 2/3 , 1)
Oldukça Zayıf	(2/5 , 1/2 , 2/3)
Çok Zayıf	(1/3 , 2/5 , 1/2)

Bulanık analitik hiyerarşi süreci temel olarak üç bölümden oluşmaktadır. Amacın, kriterlerin ve alternatiflerin belirlendiği tanımlama aşaması, önem katsayılarının hesaplandığı analiz aşaması ve karar aşamasıdır [28,29,34-36,44].

Bulanık analitik hiyerarşi sürecinde amaç ve karar verme kriterleri belirlendikten sonra ikili karşılaştırma matrisleri bulanık mantık kurallarına göre oluşturulmaktadır. Bu yöntemde, iki kriterin birbirlerine göre üstünlüklerini ya da önem derecelerini belirlerken tek ve kesin bir değer belirlemek yerine bir alt sınır değeri, bir üst sınır değeri ve bir de gerçekleşme olasılığı yüksek değer belirlenmektedir [28,29,34-36,44].

İkili karşılaştırma matrislerinin elemanları üçgensel bulanık sayılardan oluşmaktadır. Üçgensel bulanık karşılaştırma matrisi Denklem 3.1'de gösterilmektedir [28,29,34-36,44].

$$A=\left(a_{ij}\right)_{n*n}=\begin{pmatrix} (1,1,1) & \cdots & (l_{1n},m_{1n},u_{1n}) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ (l_{n1},m_{n1},u_{n1}) & \cdots & (1,1,1) \end{pmatrix} \quad \textbf{(3.1)}$$

Bulanık karşılaştırma matrisleri oluşturulurken Denklem 3.2'de belirtilen koşul sağlanmalıdır.

$$a_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij}) = a_{ji}^{-1} = (1/u_{ji}, 1/m_{ji}, 1/l_{ji}) \quad \textbf{(3.2)}$$

Denklem (3.2)'de kullanılan parametreler aşağıda tanımlanmıştır.

$l_{ij:}$ i ve j kriterlerinin karşılaştırılmasında alt sınır değeri,

m_{ij}: i ve j kriterlerinin karşılaştırılmasında en yüksek olasılıklı değer,

u_{ij}: i ve j kriterlerinin karşılaştırılmasında üst sınır değeri,

Bulanık ikili karşılaştırma matrislerinin yapılmasının ardından her bir kriter için; karar vericilerin değerlendirmeleri sonucunda oluşan bulanık sayı değerleri, Denklem 3.3'de gösterilen geometrik ortalama tekniği kullanılarak tek bir bulanık değer hesaplanır [38,39].

$$r_i = (a_{i1}*a_{i2}*a_{i3}*\ldots*a_{in})^{1/n} \quad \textbf{(3.3)}$$

Bir sonraki adımda karar kriterlerinin bulanık ağırlıklarının hesaplanması gerekmektedir. Kriterlerin bulanık ağırlıkları hesaplanırken Denklem 3.4'te gösterilen formül kullanılmaktadır [38,39].

$$w_i = r_i* (r_1+r_2+r_3+\ldots+r_n)^{-1} \quad \textbf{(3.4)}$$

Karar kriterlerinin bulanık ağırlıkları hesaplandıktan sonra bulanıklıktan arındırarak kesin ağırlık değerleri hesaplanmalıdır. Bulanık ağırlık değerleri Denklem 3.5'de gösterilen formül ile bulanıklıktan arındırılarak her bir karar kriteri için nihai bulanık olmayan önem ağırlığı değerleri hesaplanmaktadır [38,39,44].

$$w_i = [(uw_i - lw_i) + (mw_i - lw_i)]*1/3 + lw_i \quad \textbf{(3.5)}$$

3.2. BULANIK TOPSİS YÖNTEMİ

Topsis yöntemi; çok kriterli karar verme problemlerini çözmek için geliştirilmiş yöntemlerinden birisidir. Topsis yönteminin temeli; seçilen alternatifin pozitif ideal çözüme en yakın, negatif ideal çözüme en uzak olma esasına dayanmaktadır. Bu yüzden topsis yöntemi, ideal çözümlere olan yakınlık derecelerinin hesaplanması yoluyla tercihlerin sıralanması tekniği olarak da tanımlanabilmektedir [30,39-43].

BTOPSIS yöntemindeki pozitif ideal çözüm, fayda kriterlerini maksimize eden ve zarar kriterlerini minimize eden çözüm; negatif ideal çözüm ise zarar kriterlerini maksimize eden ve fayda kriterlerini minimize eden çözüm olarak tanımlanmaktadır. Başka bir deyişle bütün kriterler düşünüldüğünde en iyi seviyede olan alternatif, pozitif ideal alternatif; en kötü seviyede olan alternatif ise negatif ideal alternatif olarak adlandırılmaktadır [30,39-43].

Klasik topsis yönteminde kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesinde kesin sayılar kullanılmaktadır. Ancak genellikle insanların tercihleri belirsizlik içerdiğinden, kesin sayıların kullanılması gerçek hayattaki problemleri modellemek için yetersiz kalmaktadır. Bu sebeple sayısal değerler yerine dilsel değerlerin kullanılması daha uygun olmaktadır [30,39-43].

Bulanık topsis yöntemi, topsis yöntemi ile bulanık küme teorisini birleştiren ve böylelikle karar verme sürecindeki insan düşüncelerinden kaynaklanan belirsizlikleri ortadan kaldıran bir ÇKKV yöntemidir [30,39-43].

Bulanık topsis yönteminin temeli, topsis yöntemiyle paralel olacak şekilde, seçilen alternatifin bulanık pozitif ideal çözüme en yakın, bulanık negatif ideal çözüme ise en uzak mesafede olmasıdır. Bulanık topsis yönteminde karar vericiler, öncelikle karar kriterlerinin önem düzeylerini subjektif olarak değerlendirir ardından da alternatifleri bu karar kriterlerine göre Tablo 3.2.'de gösterilen dilsel değişkenler kullanarak değerlendirirler. Dilsel değişkenler kullanılarak yapılan değerlendirmeler bulanık sayılara dönüştürülerek gerekli matematiksel hesaplamalar yapılarak alternatifler sıralanmaktadır [30,39-43].

Tablo 3.2. BTOPSIS yönteminde kullanılan dilsel değişkenler ve bulanık sayı değerleri

Dilsel Değişkenler	Bulanık Sayı Karşılıkları
Çok Zayıf	(0 , 0 , 1)
Zayıf	(0 , 1 , 3)
Biraz Zayıf	(1 , 3 , 5)
Orta	(3 , 5 , 7)
Biraz Yüksek	(5 , 7 , 9)
Yüksek	(7 , 9 , 10)
Çok Yüksek	(9 , 10 , 10)

Literatürde yapılan inceleme neticesinde bulanık topsis yönteminin son yıllarda sıklıkla tercih edilme nedenleri; yöntemin karar vericiler için hesaplaması kolay ve anlaşılabilir olması, belirsizlik ortamlarına uygulanabilmesi ve yöntemde hem nitel hem de nicel verilerin kullanılabilmesi olduğu görülmektedir. Ayrıca bu yöntemin her alternatif için göreceli performans ölçümü yeteneğine sahip olması, bilimsel ve objektif olması, karar vericiler arasındaki çatışmaları önlemesi, esnek olması ve mantığının rasyonel olması da tercih edilme nedenleri arasında gösterilmektedir [30,39-43].

3.2.1. BTOPSIS Yönteminin Matematiksel Yapısı

K adet karar vericiden oluşan ve w_j^K değerinin K' ıncı karar vericinin değerlendirdiği karar kriterinin önem ağırlığını, x_{ij}^K, nin ise i'inci alternatifin kriter değerini gösterdiği bir grupta karar vericilerin karar kriterleri ve alternatifler için yapmış oldukları değerlendirmeler sonucunda kriterlerin önem ağırlıkları ve alternatiflerin kriter değerleri sırasıyla Denklem 3.6'da ve Denklem 3.7'de belirtilen formüller kullanılarak hesaplanmaktadır [30,39-43].

$$w_j = \frac{1}{K}\left[w_j^1 (+) w_j^2 (+) \ldots (+) w_j^K \right] \quad \textbf{(3.6)}$$

$$x_{ij} = \frac{1}{K}\left[x_{ij}^1 (+) x_{ij}^2 (+) \ldots (+) x_{ij}^K \right] \quad \textbf{(3.7)}$$

Tüm kriter ve alternatifler için tek bir değer elde edildikten sonra, n kriterli ve m alternatifli bir bulanık ÇKKV problemi matrisi ve kriter ağırlığı vektörü Denklem 3.8'de gösterilmektedir.

$$D = \begin{pmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{pmatrix}, \mathrm{W} = \begin{bmatrix} w_1 & w_2 & w_3 & \ldots & w_n \end{bmatrix} \quad \textbf{(3.8)}$$

Burada; tüm i, j değerleri için x_{ij} ve j= 1, 2, … , n için w_j dilsel değişkenler olup, bu dilsel değişkenler $x_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$ ve $w_j = (w_{j1}, w_{j2}, w_{j3})$ gibi üçgensel bulanık sayılar ile tanımlanabilir. D; bulanık karar matrisini, W ise karar kriterlerinin önem ağırlıkları matrisini göstermektedir [30,39-43].

Bulanık karar matrisinin oluşturulmasından sonraki adım karar matrisinin normalize edilmesidir. Alternatifler için kriterlere özgü veriler incelendiğinde, farklı özelliklerde oldukları görülmektedir. Bu farklılıklar, verilerin nicel veya nitel olması, nicel verilerin büyüklüklerinin farklı olması nedeniyle oluşmaktadır. Bu durumda tüm verilerin başlangıçta aynı kategoriye dönüştürülmesinin önemi ortaya çıkmaktadır. Bu bağlamda TOPSIS yönteminde normalize etme adı verilen işlem yapılır. Normalize etme her türlü büyük veya küçük değerleri kendi sütununda oransal anlamda [0 – 1] arasına indirgenmesine imkan tanımaktadır [30,38-43].

Klasik topsis yöntemindeki komplike normalizasyon yönteminden kaçınmak için, BTOPSIS yönteminde lineer ölçek dönüştürme, çeşitli kriter ölçeklerini karşılaştırılabilir bir ölçeğe dönüştürmek amacıyla kullanılmıştır. Diğer bir ifadeyle BTOPSIS yönteminde lineer normalizasyon tekniği kullanılmaktadır [30,39-43].

Bulanık karar matrisine aşağıda verilen formüller uygulanarak, normalize edilmiş bulanık karar matrisi elde edilir. Normalize edilmiş bulanık karar matrisi Denklem 3.9'da gösterildiği şekilde ifade edilmektedir [30,38-43].

$$R = \left[r_{ij} \right]_{m*n} \; ; \mathrm{i}=1, 2 , \ldots , \mathrm{m} \; ; \mathrm{j}=1, 2 , \ldots , \mathrm{n} \quad \textbf{(3.9)}$$

Karar kriterleri, fayda ve maliyet kriterleri olarak ikiye ayrılabilir. Burada B; fayda kriterini ve C; maliyet kriterini göstermekte olup Denklem 3.10'da ve Denklem 3.11'de gösterilen formüller kullanılarak hesaplanmaktadır [30,38-43].

$$r_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{c_j^*}, \frac{b_{ij}}{c_j^*}, \frac{c_{ij}}{c_j^*} \right) \; ; \quad j \in B \quad ; \quad c_j^* = \max_i \; c_{ij} \qquad \textbf{(3.10)}$$

$$r_{ij} = \left(\frac{a_j^-}{c_{ij}}, \frac{a_j^-}{b_{ij}}, \frac{a_j^-}{a_{ij}} \right) \; ; \quad j \in C \quad ; \quad a_j^- = \min_i \; a_{ij} \qquad \textbf{(3.11)}$$

Diğer bir ifadeyle normalize edilmiş bulanık karar matrisi, karar kriterinin fayda kriteri olması durumunda her sütundaki elemanların, o sütundaki elemanların üçüncü bileşenleri arasında en büyük değere sahip olana bölünmesi ile elde edilir. Maliyet kriteri söz konusu olduğunda ise her sütundaki elemanların, o sütundaki elemanların ilk bileşenleri arasında en küçük değere sahip olanına bölünmesi ile elde edilir [30,38-43]. Yukarıda bahsedilen normalizasyon yöntemi, normalize edilmiş üçgen bulanık sayıların [0, 1] aralığında olmasını sağlamak içindir [30,38-43].

Normalize bulanık karar matrisinin oluşturulmasından sonra, her bir karar kriterinin farklı önem ağırlığına sahip olabileceği dikkate alınarak, ağırlıklı normalize bulanık karar matrisi:

$$V = \left[v_{ij} \right]_{m*n} \; ; \; i=1, 2 , \ldots , m \; ; \; j=1, 2 , \ldots , n \qquad \textbf{(3.12)}$$

şeklinde ifade edilir ve bu matrisin elemanları Denklem 3.12'de gösterilen formülle hesaplanmaktadır [30,38-43].

$$v_{ij} = r_{ij} * w_j \; ; \qquad \textbf{(3.13)}$$

Diğer bir ifadeyle ağırlıklı normalize edilmiş bulanık karar matrisinin, normalize edilmiş bulanık karar matrisindeki her bir değerin ait olduğu karar kriterinin önem ağırlığı ile çarpılmasıyla elde edildiği söylenebilir. Ağırlıklı normalize edilmiş bulanık karar matrisine

göre her i, j için v_{ij} elemanları, ağırlıklı normalize edilmiş pozitif üçgen bulanık sayılar olup [0,1] aralığında yer almaktadır [30,38-43].

Ağırlıklı normalize bulanık karar matrisinin elde edilmesinin ardından, bulanık pozitif ideal çözüm (A^*) ve bulanık negatif ideal çözüm (A^-) değerleri hesaplanarak Denklem 3.14'de ve Denklem 3.15'de gösterildiği şekilde tanımlanmaktadır [30,38-43].

$$A^* = (v_1^* , v_2^*, \dots , v_n^*); \quad \textbf{(3.14)}$$

$$A^- = (v_1^- , v_2^-, \dots , v_n^-); \quad \textbf{(3.15)}$$

Bulanık topsis modeli gereği j = 1,2, … , n için $v_j^* = (1, 1, 1)$ ve $v_j^- = (0, 0, 0)$ olarak kabul edilmektedir. Başka bir ifadeyle, bulanık pozitif ideal çözüm içerisindeki karar kriteri sayısı kadar (1, 1, 1) ; bulanık negatif ideal çözümde ise karar kriteri sayısı kadar (0, 0, 0) değeri bulunmaktadır [30,38-43].

Her bir alternatifin bulanık pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözüm değerlerinden uzaklıkları Denklem 3.16'da ve Denklem 3.17'de gösterilen formüller kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$d_i^* = \sum_{j=1}^{n} d\left(v_{ij}, v_j^*\right) \;;\; i=1, 2, \dots , m \;;$$

(3.16)

$$d_i^- = \sum_{j=1}^{n} d\left(v_{ij}, v_j^-\right) \;;\; i=1, 2, \dots , m \;;$$

(3.17)

Burada gösterilen d (… , …) değeri iki bulanık sayı arasındaki uzaklığı göstermekte olup vertex yöntemi kullanılarak hesaplanmaktadır.

Pozitif ve negatif ideal çözüme olan uzaklıklar hesaplandıktan sonra alternatiflerin sıralamasını belirleyebilmek için her alternatife ilişkin yakınlık katsayıları (CC_i) hesaplanır. Yakınlık katsayısı, bulanık pozitif ve negatif çözüme olan uzaklıkları birlikte ele almakta olup

her alternatif için yakınlık katsayısı değeri Denklem 3.18'de gösterilen formülle hesaplanmaktadır.

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^* + d_i^-}; \quad \text{i=1, 2 , ... , m} \tag{3.18}$$

Herhangi bir alternatifin yakınlık katsayısının 1'e yaklaşması durumunda ilgili alternatif, bulanık pozitif ideal çözüme yaklaşır, bulanık negatif ideal çözümden uzaklaşır. Bu nedenle, yakınlık katsayısına göre alternatiflerin öncelik sıralamasına karar verilebilir ve mümkün alternatifler seti içinden en iyi olan alternatif seçilebilir. Diğer bir ifade ile $A_i = A^*$ ise $CC_i = 1$ ve $A_i = A^-$ ise $CC_i = 0$ olur. Yakınlık katsayılarına göre adaylar en yüksek puandan en düşük puana doğru sıralanır. Yakınlık katsayısı 1'e ne kadar yakınsa adayın tercih edilme sansı o kadar büyüktür [30,38-43].

3.3. UYGULANACAK YÖNTEMİN ALGORİTMASI

Yukarıda verilen bilgiler ışığında bu tez çalışması kapsamında kullanılacak bulanık risk değerlendirmesi yönteminin algoritması aşağıdaki şekilde özetlenmektedir;

- Risk değerlendirmesinde kullanılan karar kriterlerinin belirlenerek hiyerarşik yapının oluşturması,
- BAHS yönteminde belirtilmiş olan dilsel değişkenler yardımıyla, karar kriterlerinin 3 adet uzman tarafından değerlendirilerek ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması,
- Yapılan dilsel değerlendirmelerin BAHS yönteminde belirtilmiş olan bulanık sayılara dönüştürülmesi,
- BAHS yönteminin algoritmasına göre karar kriterlerine ait bulanık karar matrisinin, bulanık önem ağırlığı matrisinin oluşturularak bu verilere göre karar kriterlerinin bulanıklıktan arındırılmış önem ağırlıklarının hesaplanması,
- Her bir ana sürece yönelik iş kazası veya meslek hastalığına sebep olabilecek risklerin tespit edilmesi,
- BTOPSIS yönteminde belirtilmiş olan dilsel değişkenler yardımıyla süreçlerde tespit edilen tüm risklerin uzmanlar tarafından değerlendirilmesi,
- Yapılan dilsel değerlendirmelerin BTOPSIS metodunda belirtilen bulanık sayılara dönüştürülmesi,
- BTOPSIS yönteminin algoritması göre her bir risk için sırasıyla normalize edilmiş bulanık karar matrisinin, ağırlıklı normalize edilmiş bulanık karar matrisinin hesaplanması,
- BTOPSIS yöntemine göre her bir riskin bulanık pozitif ve negatif ideal çözümlere olan uzaklıklarının hesaplanması,
- Her bir riske ait yakınlık katsayılarının hesaplanması,
- Yakınlık katsayılarının büyükten küçüğe sıralanmasıyla her bir süreçteki risklerin önem derecelerine göre sıralanması,

4. BULGULAR

Tez çalışmasının bu bölümünde, rüzgar türbinlerinin kurulum ve bakım süreçlerinde iş kazası veya meslek hastalığına sebep olabilecek risklerin değerlendirilmesinde kullanılan bulanık mantık temelli risk analizi yönteminin algoritması gereği yapılan işlemler açıklanmaktadır.

BAHS ve BTOPSIS yöntemini birleştiren bu risk değerlendirmesi yaklaşımına ait karar modelinin akış şeması Şekil 4.1.'de ifade edilmiş olup tezin bu bölümünde akış şemasında belirtilen her bir adımda yapılan işlemler ayrıntılarıyla ifade edilmektedir.

Şekil 4.1. BAHS ve BTOPSIS tabanlı risk analizi metodunun akış şeması

4.1. KARAR KRİTERLERİNİN BELİRLENEREK DİLSEL DEĞİŞKENLER YARDIMIYLA DEĞERLENDİRİLMESİ

İş kazası veya meslek hastalığına sebep olabilecek herhangi bir riskin oluşma olasılığı, ne kadar sıklıkla oluştuğu ve oluşması durumunda ne kadar hasar verebileceği söz konusu riskin seviyesinin belirlenmesinde yeterli kriterledir.

Bu sebeple, literatürdeki risk değerlendirmesi metotlarında kullanılan olasılık, şiddet ve frekans değerleri; bu tez çalışmasında kullanılan bulanık risk analizi metodunda risk seviyelerinin belirlenmesinde karar kriterleri olarak belirlenmiştir.

Karar kriterlerinin değerlendirilmesinde, Tablo 3.5.'de ifade edilen dilsel değişkenler kullanılarak 3 farklı uzmandan her bir karar kriterinin diğerine göre ne derece önemli olduğunun ifade edilmesi istenmiştir. Uzmanların ifadelerine göre oluşturulan ikili karşılaştırma matrisleri Tablo 4.1.,Tablo 4.2. ve Tablo 4.3.'de gösterilmiştir.

Karşılaştırmalar yapılırken, ikili karşılaştırma matrisinin tüm değerleri 1'e eşit olan köşegeninin üzerinde kalan değerler için yapılmıştır. a_{ij} elemanı; i. kriterin j. kritere göre karşılaştırma değerini ifade edecek olursa a_{ji} elamanı Denklem 3.1'de de ifade edildiği üzere $1/a_{ij}$ eşitliği kullanılarak elde edilmiştir.

Tablo 4.1. Birinci uzmanın değerlendirmelerine göre oluşturulmuş ikili karşılaştırma matrisi

UZMAN 1	OLASILIK	ŞİDDET	FREKANS
OLASILIK	Eşit	Zayıf	Güçlü
ŞİDDET	-	Eşit	Çok Güçlü
FREKANS	-	-	Eşit

Tablo 4.2. İkinci uzmanın değerlendirmelerine göre oluşturulmuş ikili karşılaştırma matrisi

UZMAN 2	OLASILIK	ŞİDDET	FREKANS
OLASILIK	Eşit	Oldukça Zayıf	Oldukça Güçlü
ŞİDDET	-	Eşit	Çok Güçlü
FREKANS	-	-	Eşit

Tablo 4.3. Üçüncü uzmanın değerlendirmelerine göre oluşturulmuş ikili karşılaştırma matrisi

UZMAN 3	OLASILIK	ŞİDDET	FREKANS
OLASILIK	Eşit	Oldukça Zayıf	Oldukça Güçlü
ŞİDDET	-	Eşit	Oldukça Güçlü
FREKANS	-	-	Eşit

Dilsel değişkenler kullanılarak yapılan değerlendirmeler neticesinde oluşturulan ikili karşılaştırma matrisleri incelendiğinde, birinci uzmanın değerlendirmelerine göre bir riske ait olasılık değeri; riskin şiddetine göre "zayıf" öneme sahipken, riskin frekansına göre "güçlü" öneme sahiptir. Bununla birlikte birinci uzmanın değerlendirmelerine göre riskin şiddeti, riskin frekansına göre "çok güçlü" derecede öneme sahiptir.

İkinci ve üçüncü uzmanın değerlendirmelerine göre riskin olasılık değeri; riskin şiddetine göre "oldukça zayıf" öneme sahipken, riskin frekansına göre "oldukça güçlü" derecede öneme sahiptir. Aynı zamanda ikinci uzmanın değerlendirmelerine göre riskin şiddeti, riskin oluşma sıklığını ifade eden riskin frekansına göre "oldukça güçlü" derecede öneme sahiptir.

Uzmanlar tarafından dilsel değişkenlerle yapılan değerlendirmeler; Tablo 3.5.'de belirtilen üçgensel bulanık sayılara dönüştürülerek her bir uzmanın yapmış olduğu dilsel değerlendirmelere karşılık gelen bulanık sayılardan oluşan ikili karşılaştırma matrisleri Tablo 4.4, Tablo 4.5 ve Tablo 4.6.'da gösterilmektedir.

Tablo 4.4. Birinci uzmanın değerlendirmelerine oluşturulmuş ikili karşılaştırma matrisinin üçgen bulanık sayılarla ifadesi

UZMAN 1	OLASILIK	ŞİDDET	FREKANS
OLASILIK	(1 , 1 , 1)	(1/2 , 2/3 , 1)	(1 , 3/2 , 2)
ŞİDDET	(1 , 3/2 , 2)	(1 , 1 , 1)	(2 , 2 , 3/2)
FREKANS	(1/2 , 2/3 , 1)	(2/3 , 1/2 , 1/2)	(1 , 1 , 1)

Tablo 4.5. İkinci uzmanın değerlendirmelerine oluşturulmuş ikili karşılaştırma matrisinin üçgen bulanık sayılarla ifadesi

UZMAN 2	OLASILIK	ŞİDDET	FREKANS
OLASILIK	(1 , 1 , 1)	(2/5 , 1/2 , 2/3)	(3/2 , 2 , 5/2)
ŞİDDET	(3/2 , 2 , 5/2)	(1 , 1 , 1)	(2 , 2 , 3/2)
FREKANS	(2/5 , 1/2 , 2/3)	(2/3 , 1/2 , 1/2)	(1 , 1 , 1)

Tablo 4.6. Üçüncü uzmanın değerlendirmelerine oluşturulmuş ikili karşılaştırma matrisinin üçgen bulanık sayılarla ifadesi

UZMAN 3	OLASILIK	ŞİDDET	FREKANS
OLASILIK	(1 , 1 , 1)	(2/5 , 1/2 , 2/3)	(3/2 , 2 , 5/2)
ŞİDDET	(3/2 , 2 , 5/2)	(1 , 1 , 1)	(3 , 3 , 5/2)
FREKANS	(2/5 , 1/2 , 2/3)	(2/5 , 1/3 , 1/3)	(1 , 1 , 1)

4.2. KARAR KRİTERLERİNİN ÖNEM AĞIRLIKLARININ HESAPLANMASI

Karar kriterlerinin önem ağırlıklarının hesaplanabilmesi için, öncelikle uzmanların ifadeleri neticesinde oluşturulan bulanık ikili karşılaştırma matrisleri kullanılarak karar kriterlerine ait bulanık karar matrisi oluşturulmuştur.

Bulanık karar matrisi (M) oluşturulurken, bulanık sayılardan oluşan ikili karşılaştırma matrislerinin her bir elemanının aritmetik ortalaması alınmıştır. Birinci uzman tarafından oluşturulan bulanık ikili karşılaştırma matrisi M_1, ikinci uzman tarafından oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi M_2 ve üçüncü uzman tarafından oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi M_3

olarak ifade edilirse $M = (M_1 + M_2 + M_3)/3$formülü kullanılarak karar kriterlerine ait bulanık karar matrisi Tablo 4.7.'de ifade edildiği şekilde hesaplanmıştır.

Örneğin, bulanık karar matrisinde olasılığın şiddete göre değeri Ma_{12} olarak tanımlanırsa; $Ma_{12} = (M_1a_{12} + M_2a_{12} + M_3a_{12})/3 = [(1/2 , 2/3 , 1) + (2/5 , 1/2 , 2/3) + (2/5 , 1/2 , 2/3)]/3$ $= (0,433 , 0,556 , 0,778)$ şeklinde hesaplanmakta olup karar matrisinin diğer tüm elamanları için aynı hesaplamalar yapılmıştır.

Tablo 4.7. Karar kriterlerine ait bulanık karar matrisi

	OLASILIK	ŞİDDET	FREKANS
OLASILIK	(1 , 1 , 1)	(0,433 , 0,556 , 0,778)	(1,333 , 1,833 , 2,333)
ŞİDDET	(1,333 , 1,833 , 2,333)	(1 , 1 , 1)	(2,5 , 2,5 , 2)
FREKANS	(0,433 , 0,556 , 0,778)	(0,522 , 0,411 , 0,411)	(1 , 1 , 1)

Bulanık karar matrisindeki her bir karar kriteri için elde edilen bulanık sayı değerlerinin, Denklem 3.3'de ifade edilen formül kullanılarak geometrik ortalamasının alınması neticesinde her karar kriteri için tek bir bulanık sayı değeri hesaplanmıştır.

Olasılık kriteri için Denklem 3.3'de ifade edilen formül uygulandığında olasılık kriterine ait nihai bulanık sayı değeri aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır;

$R^{bulanık}_{(olasılık)} = [(a_{11}*a_{12}*a_{13})^{1/3} = [(1*0,433*1,333)^{1/3}, (1*0,556*1,833)^{1/3}, (1*0,778*2,333)^{1/3}]$ $= (0,833 , 1,006 , 1,220)$

Aynı hesaplamalar şiddet ve frekans kriterleri içinde uygulandığında şiddet ve frekans kriterlerine ait nihai bulanık sayı değeri aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır;

$R^{bulanık}_{(şiddet)} = [(a_{21}*a_{22}*a_{23})^{1/3}] = [(1,333*1*2,5)^{1/3}, (1,833*1*2,333)^{1/3}, (2,333*1*2)^{1/3}]$ $= (1,494 , 1,623 , 1,671)$

$R^{bulanık}_{(frekans)} =[(a_{31}*a_{32}*a_{33})^{1/3}] = [(0,433*0,522*1)^{1/3}, (0,556*0,411*1)^{1/3}, (0,778*0,411*1)^{1/3}]$ $= (0,609 , 0,611, 0,684)$

Bir sonraki adımda her bir kriter için hesaplanan nihai bulanık sayı değerleri kullanılarak her bir karar kriterinin bulanık önem ağırlıkları Denklem 3.4'de ifade edilen formül kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanmış ve Tablo 4.8.'de gösterilmiştir.

$W^{bulanık}_{(olasılık)} = r_{(olasılık)} * (r_{(olasılık)} + r_{(şiddet)} + r_{(frekans)})^{-1} = (0{,}833 , 1{,}006 , 1{,}220) * [(0{,}833 , 1{,}006 , 1{,}220) + (1{,}494 , 1{,}623 , 1{,}671) + (0{,}609 , 0{,}611 , 0{,}684)]^{-1} = (0{,}233 , 0{,}311 , 0{,}416)$

$W^{bulanık}_{(şiddet)} = r_{(şiddet)} * (r_{(olasılık)} + r_{(şiddet)} + r_{(frekans)})^{-1} = (1{,}494 , 1{,}623 , 1{,}671) * [(0{,}833 , 1{,}006 , 1{,}220) + (1{,}494 , 1{,}623 , 1{,}671) + (0{,}609 , 0{,}611 , 0{,}684)]^{-1} = (0{,}419 , 0{,}502 , 0{,}570)$

$W^{bulanık}_{(frekans)} = r_{(frekans)} * (r_{(olasılık)} + r_{(şiddet)} + r_{(frekans)})^{-1} = (0{,}609 , 0{,}611 , 0{,}684) * [(0{,}833 , 1{,}006 , 1{,}220) + (1{,}494 , 1{,}623 , 1{,}671) + (0{,}609 , 0{,}611 , 0{,}684)]^{-1} = (0{,}171 , 0{,}189 , 0{,}233)$

Tablo 4.8. Karar kriterlerine ait bulanık önem ağırlıkları

	OLASILIK	ŞİDDET	FREKANS
BULANIK ÖNEM AĞIRLIĞI	(0,233 , 0,311 , 0,416)	(0,419 , 0,502 , 0,570)	(0,171 , 0,189 , 0,233)

Her bir karar kriterine ait bulanık önem ağırlıklarının hesaplanmasının ardından, karar kriterlere ait bulanık değerler Denklem 3.5'de ifade edilen formül kullanılarak bulanıklıktan arındırılmış ve her bir karar kriterinin bulanık olmayan kesin önem ağırlıkları aşağıdaki şekilde hesaplanmış ve Tablo 4.9.'da gösterilmiştir.;

$W_{(olasılık)} = [(0{,}416 - 0{,}233) + (0{,}311 + 0{,}233)] / 3 + 0{,}233 = 0{,}475$

$W_{(şiddet)} = [(0{,}570 - 0{,}419) + (0{,}502 + 0{,}419)] / 3 + 0{,}419 = 0{,}776$

$W_{(frekans)} = [(0{,}233 - 0{,}171) + (0{,}189 + 0{,}171)] / 3 + 0{,}171 = 0{,}312$

Tablo 4.9. Karar kriterlerine ait bulanıklıktan arındırılmış önem ağırlıkları

	OLASILIK	ŞİDDET	FREKANS
ÖNEM AĞIRLIĞI	0,475	0,776	0,312

Uzmanların yapmış olduğu değerlendirmeler neticesinde Tablo 4.9.'da gösterilen değerlere bakıldığında, herhangi bir risk için risk düzeyinin belirlenmesinde en fazla ağırlığa sahip karar kriterinin ilgili riske ait şiddet değeri olduğu görünmektedir. Diğer bir karar kriteri olan olasılık değeri ise, uzmanlara göre riskin oluşma sıklığını belirten frekans değerine göre daha fazla öneme sahiptir.

4.3. RÜZGAR TÜRBİNLERİNİN KURULUM VE BAKIM SÜREÇLERİNDEKİ RİSKLERİN TESPİT EDİLMESİ

Bu bölümde, literatürden elde edilen bilgiler ve sahada yapılan çalışmalar neticesinde rüzgar türbinlerinin kurulum ve bakım süreçlerinde iş kazası veya meslek hastalığında sebep olabilecek riskler; türbin parçalarının inşaat sahasına ulaştırılması süreci, türbinin kurulum süreci ve kurulumun tamamlanmasının ardından yapılan bakım süreci olmak üzere 3 ana başlık altında ele alınmıştır.

4.3.1. Türbin Parçalarının İnşaat Sahasına Ulaştırılmasıyla İlgili İSG Riskleri

Rüzgar türbinlerini oluşturan yapı elemanlarının çok büyük ve ağır olması, türbinlerin kurulacağı inşaat sahalarına ulaşım için kullanılan yolların yetersizliği ve türbin parçalarının taşınmasında kullanılan araçların normal yük taşıma araçlarına göre çok büyük olması nedeniyle türbin parçalarının inşaat sahasına ulaştırılması sürecinde iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili bir takım riskler oluşmaktadır.

Literatürden elde edilen bilgiler ve sahada yapılan çalışmalar sonucunda türbin parçalarının inşaat sahasına sevkiyatı sırasında iş kazası ve meslek hastalığına sebep olabilecek toplam 7 adet risk tespit edilmiş olup bu riskler Tablo 4.10.'da gösterilmektedir.

Tablo 4.10. Türbin parçalarının inşaat sahasına ulaştırılmasıyla ilgili İSG riskleri

RİSK KODU	RİSK	RİSKİN OLUŞMA SEBEBİ
$R1_{sevkiyat}$	Yük Taşıyan Aracın Devrilmesi	Taşınan yüklerin çok ağır olması sebebiyle taşıma sırasında yükün pozisyonunda bir kayma olması, aracın dengesinin bozulmasına ve devrilmesine sebep olmaktadır.
$R2_{sevkiyat}$	Yükün Devrilmesi	Yükün araca konulması veya boşaltılması sırasında bağlantıların doğru yapılmaması yükün devrilmesine sebep olmaktadır.
$R3_{sevkiyat}$	Taşınan Yükün Kayması	Taşıma sırasında yük bağlantılarının gevşemesi yükün kaymasına ve aracın dengesinin bozulmasına sebep olmaktadır.
$R4_{sevkiyat}$	Trafikteki Diğer Araçlarla Çapışma	Türbin sahalarına ulaşım sırasında genellikle dar yollar kullanılmak zorunda kalındığından araçların uzunlukları ve genişlikleri göz önüne alındığında bu durum yoldaki diğer araçlarla çarpışmaya sebep olmaktadır.
$R5_{sevkiyat}$	Yoldan Kaynaklı Problemler	Yolculuk sırasında kullanılacak rota üzerindeki tüneller ve köprüler üzerindeki azami yük limitlerine dikkat edilmemesi sebebiyle kaza riski oluşmaktadır. Arazi yolunun yüke uygun hazırlanmaması aracın devrilmesi riskine yol açmaktadır.
$R6_{sevkiyat}$	Uzun Süreler Boyunca Araç Kullanılması	Mola verilmeden uzun süreli araç kullanımı neticesinde kazalar yaşanmaktadır.
$R7_{sevkiyat}$	Sürücü Kaynaklı Trafik Kazaları	Trafik kurallarına uyulmaması

4.3.2. Rüzgar Türbinlerinin Kurulum Süreciyle İlgili İSG Riskleri

Rüzgar türbinlerinin kurulumu, en fazla çalışanın görev aldığı ve en tehlikeli işleri bünyesinde barındıran süreçtir. Kurulum sürecinde çok büyük ve ağır parçaların kaldırılması ve montajı, yüksekte çalışma, dar ve kapalı alanlarda çalışma gibi iş kazasına sebep olabilecek birçok operasyon yapılmaktadır.

Sahada yapılan gözlemler ve literatürden elde edilen bilgiler yardımıyla rüzgar türbinlerinin kurulum süreciyle ilgili iş kazası veya meslek hastalığına sebep olabilecek toplam 23 adet risk tespit edilmiş olup bu riskler Tablo 4.11.'de gösterilmektedir.

Tablo 4.11. Rüzgar türbinlerinin kurulum süreciyle ilgili İSG riskleri

RİSK KODU	RİSK	RİSKİN OLUŞMA SEBEBİ
$R1_{kurulum}$	Kaldırma İşlemleri Sırasında Nesnelerin Yüksekten Düşmesi	Kule içinde veya kule dışında malzeme taşınması sırasında platform üzerinden nesneler düşerek yaralanmalara yol açabilmektedir.
$R2_{kurulum}$	Yüksekten Düşme	Kule üzerinde çalışırken düşme
$R3_{kurulum}$	Takılma ve Kayma Sonucu Düşme	Yürüyüş alanındaki kablolar, nesneler ya da kaygan zemin
$R4_{kurulum}$	Elle Taşıma İşleri	Azami ağırlıkların üzerinde yük taşınması
$R5_{kurulum}$	Kaldırma İşlemleri Sırasında Hareket Eden Parçaların Çarpması	Vinçle kaldırma işlemleri sırasında yüklerin dengelenememesi ve yüke fazla yaklaşılması
$R6_{kurulum}$	Montaj Faaliyetleri Sırasında Uzuv Sıkışması veya ezilmesi	Hareketli veya dönen parçalar, montaj sırasında parçaların sabitlenememesi
$R7_{kurulum}$	Elektrik Çarpması	Elektrik tesisatı yapılırken talimatlara uygun hareket edilmemesi
$R8_{kurulum}$	Dar ve Kapalı Alanlarda Çalışma	Nacelle veya hub da yapılan çalışmalarda yeterli hareket alanının olmaması
$R9_{kurulum}$	Ergonomik Olmayan Koşullarda Çalışma	Uygun olmayan postürlerde çalışma
$R10_{kurulum}$	Kule İçi Merdiveninden Düşme	Dikey yaşam hattı bağlantılarının yerinden çıkması
$R11_{kurulum}$	Patlama ve Yangın	Kısa devre veya yıldırım çarpması gibi sebeplerden

Tablo 4.11. Rüzgar türbinlerinin kurulum süreciyle ilgili İSG riskleri (devamı)

RİSK KODU	RİSK	RİSKİN OLUŞMA SEBEBİ
$R12_{kurulum}$	Montaj Sırasında Türbin Parçalarının Düşmesi	Yük dengesinin bozulması
$R13_{kurulum}$	Vinç Halatlarının Kopması	Vinç halatlarındaki deformasyonlar
$R14_{kurulum}$	Acil Durumlarda Müdahale Edilememesi	Kule üzerinde yapılan montaj faaliyetleri sırasında oluşabilecek bir acil durumda çalışanlara hızlı müdahale edilememesi
$R15_{kurulum}$	Yıldırım Çarpması	Şarjlı havalarda çalışma
$R16_{kurulum}$	Vincin Devrilmesi	Rüzgar hızının yüksek olduğu zamanlarda çalışma yapılması
$R17_{kurulum}$	Sabit Nesnelere Çarpılması	Dikkatsiz çalışma
$R18_{kurulum}$	Uygun KKD Kullanılmaması Sonucu Yaralanma	Çalışmalar sırasında ya da kule üzerine tırmanma sırasında uygun ekipmanın bulunmaması
$R19_{kurulum}$	Gürültü maruziyeti	Kule içinde yüksek gürültüye maruz kalma
$R20_{kurulum}$	Bağlantı Elemanlarının Kopması	Bağlantı elemanlarındaki deformasyonlar
$R21_{kurulum}$	Aşırı Sıcak veya Soğuk Hava Şartlarında Çalışma	Aşırı sıcak ve soğuk hava koşulları özellikle yüksekte çalışılması sırasında iş kazalarına yol açmaktadır.
$R22_{kurulum}$	İş Baskısı	Kurulum hızlı şekilde tamamlanabilmesi için acele edilmesi
$R23_{kurulum}$	Türbin Sahasının Yerleşim Alanlarına Uzak Olması	Herhangi bir kaza durumunda türbin kazasının yerleşim alanlarına uzak olması nedeniyle zamanında müdahale yapılamaması

4.3.3. Rüzgar Türbinlerinin Bakım Süreciyle İlgili İSG Riskleri

Kurulum süreci tamamlanan rüzgar türbinleri için, rutin kontroller veya arızalar sebebiyle sürekli devam eden bir bakım süreci söz konusudur. Kurulum sürecinden farklı olarak bakım faaliyetlerinde görev alan çalışan sayısı genellikle çok daha az olmasına rağmen bakım faaliyetleri sırasındaki operasyonlar da kurulum sürecindeki operasyonlar gibi iş kazası veya meslek hastalığına sebep olabilecek birçok riski bünyesinde barındırmaktadır.

Literatürden elde edilen bilgiler ve sahada yapılan çalışmalar neticesinde rüzgar türbinlerinin bakım süreciyle ilgili olarak toplam 27 adet risk tespit edilmiş olup bu riskler Tablo 4.12.'de gösterilmektedir.

Tablo 4.12. Rüzgar türbinlerinin bakım süreciyle ilgili İSG riskleri

RİSK KODU	RİSK	RİSKİN OLUŞMA SEBEBİ
$R1_{bakım}$	Hava Koşulları	Yılın her mevsimi devam eden bakım faaliyetlerinde aşırı sıcak ve soğuk hava koşulları özellikle yüksekte çalışılması sırasında iş kazalarına yol açmaktadır.
$R2_{bakım}$	Arazi Koşulları	Türbin sahalarına ulaşım için kullanılan yolların engebeli olması ve yoldaki bozukluklar veya buzlanma gibi sebepler iş kazasına sebep olabilir.
$R3_{bakım}$	Yüksekte Çalışma	Nacelle, hub veya kanatlarda yürütülecek bir bakım faaliyeti sırasında yüksekte çalışılması düşme riskine yol açmaktadır.
$R4_{bakım}$	Dar ve Kapalı Alanlarda Çalışma	Türbin içinde yürütülen faaliyetlerin tümünde çalışılan alanların çok dar ve kapalı olması havalandırma problemini ve acil durumlarda tahliye işleminin zor olmasına neden olmaktadır.
$R5_{bakım}$	Hareket Eden Parçalar	Makine dairesinde yürütülen faaliyetler sırasında özellikle dişli kutusunun koruyucularının aktif olmaması veya çalışır durumdayken dişlilere müdahale edilmesi uzuv sıkışmasına neden olabilir.
$R6_{bakım}$	Yıldırım	Şarjlı hava koşullarında çalışılması sırasında yıldırım çarpması sonucunda yangın ve patlama yaşanabilir.
$R8_{bakım}$	Elektrik Çarpması	Elektriksel aksamla ilgili olarak yapılan çalışmalar sırasında kısa devre veya aşırı yükleme sebebiyle elektrik çarpması riski bulunmaktadır.
$R9_{bakım}$	Ergonomik Olmayan Koşullar	Özellikle nacelle veya hub kısmında yürütülen faaliyetler sırasında çalışma ortamının dar olması sebebiyle uygun olmayan postürlerde uzun süreli çalışmaya bağlı olarak bel ağrısı gibi sorunlar yaşanabilir.
$R10_{bakım}$	Buzlanma	Özellikle kış aylarında türbin üzerindeki veya kanatlardaki buz sarkıtları 2 metreye kadar ulaşabilmekte ve 100 metreye kadar savrulabilmektedir.
$R11_{bakım}$	Acil Durumlardaki Tahliye Zorluğu	Yangın veya yıldırım çarpması gibi acil bir durumda özellikle kule üzerinde çalışan kişilerin kule içerisinden çıkış yapamaması durumunda kule dışından aşağı inmesi gerekmektedir.
$R12_{bakım}$	Dikkatsiz Davranışlar	Çalışanların yorgunluk veya diğer etkenler sebebiyle dikkatsiz davranması neticesinde iş kazaları gerçekleşebilir.

Tablo 4.12. Rüzgar türbinlerinin bakım süreciyle ilgili İSG riskleri (devamı)

RİSK KODU	RİSK	RİSKİN OLUŞMA SEBEBİ
$R13_{bakım}$	Takılma ve Kayma Sonucu Düşme	Yürüyüş alanındaki kablolar, nesneler ya da kaygan zemin
$R14_{bakım}$	Elle Taşıma İşleri	Azami ağırlıkların üzerinde yük taşınması
$R15_{bakım}$	Kule İçi Merdiveninden Düşme	Dikey yaşam hattı bağlantılarının yerinden çıkması
$R16_{bakım}$	Gürültü Maruziyeti	Kule içinde yüksek gürültüye maruz kalma
$R17_{bakım}$	Uygun KKD Kullanılmaması Sonucu Yaralanma	Çalışmalar sırasında ya da kule üzerine tırmanma sırasında uygun ekipmanın bulunmaması
$R18_{bakım}$	Haberleşme Eksikliği	Türbin sahasına giden çalışanlarla sürekli iletişim halinde olunması gerekmektedir.
$R20_{bakım}$	Beslenme Yetersizliği	Kule üzerinde yapılacak faaliyetlerin uzaması sonucu çalışanların direnci düşebilir bu durumda dikkatsizliğe sebep olmaktadır.
$R21_{bakım}$	Titreşim	Kule içerisindeki çalışmalarda vibrasyona maruz kalınması
$R22_{bakım}$	Kule İçi Vinci İle Yapılan Kaldırma İşlemlerinde Parça Düşmesi	Vincin bağlantı elemanları ve halatın düzenli kontrollerinin yapılmaması sonucunda kazalar gerçekleşmektedir.
$R23_{bakım}$	Türbinde Yalnız Çalışma	Bakım faaliyetleri sırasında özellikle kule üzerindeki işlemlerde en az 2 kişinin olması gerekmektedir.
$R24_{bakım}$	Yetersiz Aydınlatma	Özellikle akşamları yapılan çalışmalarda yeterli aydınlatma olmaması kazalara yol açmaktadır.
$R25_{bakım}$	Kazı Çalışmaları Sırasında Elektrik Çarpması	Kablo tesisatıyla ilgili yapılan kazı çalışmaları sırasında tesisat haritasına uygun çalışma yapılmaması
$R26_{bakım}$	Trafik Kazası	Hız sınırlarına uyulmaması veya uygun araçla sahaya gidilmemesi trafik kazasına sebep olmaktadır.
$R27_{bakım}$	Türbin Sahasının Yerleşim Alanlarına Uzak Olması	Herhangi bir kaza durumunda türbin kazasının yerleşim alanlarına uzak olması nedeniyle zamanında müdahale yapılamaması

4.4. BTOPSİS YÖNTEMİ KULLANILARAK RİSKLERİN DİLSEL DEĞİŞKENLER YARDIMIYLA DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde; üç ana süreç altında incelenerek tespit edilen riskler; BTOPSİS yöntemi kullanılarak Tablo 3.2.'de gösterilen dilsel değişkenler yardımıyla 3 adet uzmandan oluşan karar vericiler tarafından değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirmeler, üçgensel bulanık

skorlara dönüştürülerek her bir ana süreç altındaki riskler için olasılık, şiddet ve frekans değerlerini ifade eden tek bir ortalama üçgensel bulanık skor elde edilmiştir.

4.4.1. Türbin parçalarının inşaat sahasına ulaştırılmasıyla ilgili İSG risklerinin dilsel değişkenler kullanılarak değerlendirilmesi

Karar vericiler tarafından Tablo 3.2.'de gösterilen dilsel değişkenler kullanılarak türbin parçalarının inşaat sahasına ulaştırılmasıyla ilgili her bir riskin olasılık, şiddet ve frekans değerleri değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirmeler neticesinde, her bir risk için elde edilen dilsel değişkenler Tablo 4.13.'de gösterilmektedir.

Tablo 4.13. Türbin parçalarının inşaat sahasına ulaştırılmasıyla ilgili İSG risklerinin dilsel değişkenlerle değerlendirilmesi

Risk Kodu	OLASILIK			ŞİDDET			FREKANS		
	Uzman 1	Uzman 2	Uzman 3	Uzman 1	Uzman 2	Uzman 3	Uzman 1	Uzman 2	Uzman 3
$R1_{sevkiyat}$	Zayıf	Biraz Zayıf	Çok Zayıf	Yüksek	Yüksek	Biraz Yüksek	Çok Zayıf	Zayıf	Çok Zayıf
$R2_{sevkiyat}$	Biraz Zayıf	Orta	Zayıf	Yüksek	Yüksek	Biraz Yüksek	Biraz Zayıf	Orta	Orta
$R3_{sevkiyat}$	Orta	Orta	Orta	Biraz Yüksek	Yüksek	Yüksek	Zayıf	Zayıf	Çok Zayıf
$R4_{sevkiyat}$	Yüksek	Çok Yüksek	Yüksek	Çok Yüksek	Çok Yüksek	Yüksek	Orta	Orta	Orta
$R5_{sevkiyat}$	Orta	Biraz Zayıf	Orta	Biraz Yüksek	Yüksek	Yüksek	Orta	Zayıf	Biraz Zayıf
$R6_{sevkiyat}$	Çok Yüksek	Yüksek	Yüksek	Çok Yüksek	Orta	Biraz Yüksek	Orta	Biraz Zayıf	Orta
$R7_{sevkiyat}$	Çok Yüksek	Orta	Biraz Yüksek	Çok Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Biraz Yüksek	Yüksek

Tablo 4.13.'de ifade edildiği üzere, türbin parçalarının inşaat sahasına ulaştırılmasıyla ilgili olarak $R1_{sevkiyat}$ risk koduyla ifade edilen "yük taşıyan aracın devrilmesi" riskinin meydana gelme olasılığı; ilk karar verici tarafından "Zayıf" olarak değerlendirilmiş, ikinci karar verici bu riskin olasılığını "Biraz Zayıf" olarak değerlendirilmiş ve son karar verici tarafından da bu riskin meydana gelme olasılığı "Çok Zayıf" olarak değerlendirilmiştir. Benzer şekilde karar vericiler tarafından tüm riskler, dilsel değişkenler yardımıyla değerlendirilmiştir.

Uzmanların değerlendirmeleri neticesinde her bir risk için oluşturulan dilsel değişkenlere karşılık gelen üçgensel bulanık sayı skorları Tablo 4.14.'de gösterilmektedir. Tablo 4.14.'de elde edilen üçgensel bulanık skorlar Tablo 3.2.'de gösterilen değerlere göre belirlenmiştir. Örneğin; bir karar verici herhangi bir karar kriterine ilişkin olarak "Yüksek" değerlendirmesinde bulunmuş ise, bu değerlendirmeye ilişkin üyelik fonksiyonu (7 , 9 , 10) şeklinde üçgen bulanık sayıya dönüştürülmektedir.

Tablo 4.14. Dilsel değerlendirme sonuçlarının üçgen bulanık sayılar şeklinde ifadesi

Risk Kodu	OLASILIK			ŞİDDET			FREKANS		
	Uzman 1	Uzman 2	Uzman 3	Uzman 1	Uzman 2	Uzman 3	Uzman 1	Uzman 2	Uzman 3
$R1_{sevkiyat}$	(0,1,3)	(1,3,5)	(0,0,1)	(7,9,10)	(7,9,10)	(5,7,9)	(0,0,1)	(0,1,3)	(0,0,1)
$R2_{sevkiyat}$	(1,3,5)	(3,5,7)	(0,1,3)	(7,9,10)	(7,9,10)	(5,7,9)	(1,3,5)	(3,5,7)	(3,5,7)
$R3_{sevkiyat}$	(3,5,7)	(3,5,7)	(3,5,7)	(5,7,9)	(7,9,10)	(7,9,10)	(0,1,3)	(0,1,3)	(0,0,1)
$R4_{sevkiyat}$	(7,9,10)	(9,10,10)	(7,9,10)	(9,10,10)	(9,10,10)	(7,9,10)	(3,5,7)	(3,5,7)	(3,5,7)
$R5_{sevkiyat}$	(3,5,7)	(1,3,5)	(3,5,7)	(5,7,9)	(7,9,10)	(7,9,10)	(3,5,7)	(0,1,3)	(1,3,5)
$R6_{sevkiyat}$	(9,10,10)	(7,9,10)	(7,9,10)	(9,10,10)	(3,5,7)	(5,7,9)	(3,5,7)	(1,3,5)	(3,5,7)
$R7_{sevkiyat}$	(9,10,10)	(3,5,7)	(5,7,9)	(9,10,10)	(7,9,10)	(7,9,10)	(7,9,10)	(5,7,9)	(7,9,10)

Tablo 4.14.'de belirtilen her bir risk için karar vericiler tarafından yapılan değerlendirmeler neticesinde elde edilen üçgensel bulanık skorların aritmetik ortalaması alınarak, her bir riskin bulanık önem ağırlığı tek bir üçgen bulanık sayı olacak şekilde hesaplanmıştır. Buna göre türbin parçalarının inşaat sahasına ulaştırılmasıyla ilgili tespit edilen risklerin bulanık önem ağırlıkları Tablo 4.15.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.15. Sevkiyat sürecindeki risklere ait bulanık önem ağırlıkları tablosu

Risk Kodu	OLASILIK	ŞİDDET	FREKANS
$R1_{sevkiyat}$	(0,333 , 1,333 , 3)	(6,333 , 8,333 , 9,667)	(0 , 0,333 , 1,667)
$R2_{sevkiyat}$	(1,333 , 3 , 5)	(6,333 , 8,333 , 9,667)	(2,333 , 4,333 , 6,333)
$R3_{sevkiyat}$	(3 , 5 , 7)	(6,333 , 8,333 , 9,667)	(0 , 0,667 , 2,333)

Tablo 4.15. Sevkiyat sürecindeki risklere ait bulanık önem ağırlıkları tablosu (devamı)

Risk Kodu	OLASILIK	ŞİDDET	FREKANS
$R4_{sevkiyat}$	(7,667 , 9,333 , 10)	(8,333 , 9,667 , 10)	(3 , 5 , 7)
$R5_{sevkiyat}$	(2,333 , 4,333 , 6,333)	(6,333 , 8,333 , 9,667)	(1,333 , 3 , 5)
$R6_{sevkiyat}$	(7,667 , 9,333 , 10)	(5,667 , 7,333 , 8,667)	(2,333 , 4,333 , 6,333)
$R7_{sevkiyat}$	(5,667 , 7,333 , 8,667)	(7,667 , 9,333 , 10)	(6,333 , 8,333 , 9,667)

4.4.2. Rüzgar Türbinlerinin Kurulum Aşamasıyla İlgili İSG Risklerinin Dilsel Değişkenler Kullanılarak Değerlendirilmesi

Karar vericiler tarafından Tablo 3.2.'de gösterilen dilsel değişkenler kullanılarak, türbin parçalarının kurulum aşamasıyla ilgili her bir riskin olasılık, şiddet ve frekans değerleri değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirmeler neticesinde, her bir risk için elde edilen dilsel değişkenler Tablo 4.16.'da gösterilmektedir.

Tablo 4.16. Türbin parçalarının kurulum sürecindeki İSG risklerinin dilsel değişkenlerle değerlendirilmesi

Risk Kodu	OLASILIK			ŞİDDET			FREKANS		
	Uzman 1	Uzman 2	Uzman 3	Uzman 1	Uzman 2	Uzman 3	Uzman 1	Uzman 2	Uzman 3
$R1_{kurulum}$	Biraz Yüksek	Orta	Yüksek	Orta	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Orta	Orta
$R2_{kurulum}$	Yüksek	Yüksek	Biraz Yüksek	Çok Yüksek	Yüksek	Çok Yüksek	Biraz Zayıf	Zayıf	Orta
$R3_{kurulum}$	Yüksek	Çok Yüksek	Orta	Orta	Biraz Yüksek	Biraz Zayıf	Yüksek	Biraz Yüksek	Orta
$R4_{kurulum}$	Orta	Biraz Yüksek	Biraz Zayıf	Biraz Yüksek	Zayıf	Biraz Zayıf	Orta	Zayıf	Zayıf
$R5_{kurulum}$	Yüksek	Biraz Yüksek	Yüksek	Çok Yüksek	Yüksek	Yüksek	Orta	Biraz Zayıf	Biraz Yüksek
$R6_{kurulum}$	Orta	Biraz Zayıf	Zayıf	Çok Yüksek	Yüksek	Yüksek	Orta	Orta	Biraz Zayıf
$R7_{kurulum}$	Biraz Yüksek	Biraz Yüksek	Yüksek	Çok Yüksek	Biraz Yüksek	Çok Yüksek	Biraz Zayıf	Orta	Orta
$R8_{kurulum}$	Yüksek	Biraz Yüksek	Biraz Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Orta	Orta	Orta
$R9_{kurulum}$	Orta	Biraz Yüksek	Orta	Biraz Zayıf	Orta	Biraz Yüksek	Yüksek	Yüksek	Çok Yüksek

Tablo 4.16. Türbin parçalarının kurulum sürecindeki İSG risklerinin dilsel değişkenlerle değerlendirilmesi (devamı)

Risk Kodu	OLASILIK			ŞİDDET			FREKANS		
	Uzman 1	Uzman 2	Uzman 3	Uzman 1	Uzman 2	Uzman 3	Uzman 1	Uzman 2	Uzman 3
$R10_{kurulum}$	Biraz Zayıf	Zayıf	Zayıf	Orta	Biraz Zayıf	Orta	Zayıf	Çok Zayıf	Çok Zayıf
$R11_{kurulum}$	Biraz Zayıf	Zayıf	Orta	Yüksek	Biraz Yüksek	Yüksek	Biraz Zayıf	Zayıf	Zayıf
$R12_{kurulum}$	Zayıf	Biraz Zayıf	Zayıf	Yüksek	Yüksek	Çok Yüksek	Zayıf	Zayıf	Çok Zayıf
$R13_{kurulum}$	Biraz Zayıf	Zayıf	Çok Zayıf	Yüksek	Biraz Yüksek	Çok Yüksek	Çok Zayıf	Zayıf	Zayıf
$R14_{kurulum}$	Orta	Orta	Biraz Zayıf	Çok Yüksek	Çok Yüksek	Yüksek	Zayıf	Orta	Biraz Zayıf
$R15_{kurulum}$	Zayıf	Zayıf	Çok Zayıf	Yüksek	Yüksek	Çok Yüksek	Zayıf	Çok Zayıf	Çok Zayıf
$R16_{kurulum}$	Zayıf	Çok Zayıf	Zayıf	Yüksek	Yüksek	Biraz Yüksek	Zayıf	Zayıf	Çok Zayıf
$R17_{kurulum}$	Orta	Orta	Orta	Zayıf	Zayıf	Zayıf	Yüksek	Yüksek	Biraz Yüksek
$R18_{kurulum}$	Zayıf	Biraz Zayıf	Biraz Zayıf	Orta	Biraz Yüksek	Biraz Yüksek	Zayıf	Biraz Zayıf	Biraz Zayıf
$R19_{kurulum}$	Çok Yüksek	Yüksek	Biraz Yüksek	Orta	Zayıf	Orta	Zayıf	Zayıf	Zayıf
$R20_{kurulum}$	Biraz Zayıf	Orta	Zayıf	Yüksek	Orta	Çok Yüksek	Orta	Biraz Yüksek	Orta
$R21_{kurulum}$	Yüksek	Orta	Orta	Orta	Biraz Zayıf	Orta	Yüksek	Biraz Yüksek	Orta
$R22_{kurulum}$	Yüksek	Biraz Yüksek	Biraz Yüksek	Orta	Zayıf	Orta	Yüksek	Yüksek	Biraz Yüksek
$R23_{kurulum}$	Biraz Yüksek	Orta	Biraz Yüksek	Yüksek	Biraz Yüksek	Biraz Yüksek	Orta	Zayıf	Orta

Tablo 4.16.'da ifade edildiği üzere; türbin parçalarının kurulum süreci ile ilgili olarak $R2_{kurulum}$ risk koduyla ifade edilen "yüksekten düşme" riskinin meydana gelme olasılığı; ilk karar verici tarafından "Yüksek" olarak değerlendirilmiş, ikinci karar verici bu riskin olasılığını "Yüksek" olarak değerlendirilmiş ve son karar verici tarafından da bu riskin meydana gelme olasılığı "Biraz Yüksek" olarak değerlendirilmiştir. Benzer şekilde $R7_{kurulum}$ risk kodu ile ifade edilen "Elektrik Çarpması" riskinin meydana gelme olasılığı; birinci karar verici tarafından "Biraz Yüksek", ikinci karar verici tarafından da "Biraz Yüksek" ve son karar verici tarafından da "Yüksek" olarak değerlendirilmiştir. Benzer şekilde, karar vericiler tarafından dilsel değişkenler yardımıyla tüm riskler için değerlendirmeler yapılmıştır.

Uzmanların değerlendirmeleri neticesinde her bir risk için oluşturulan dilsel değişkenlere karşılık gelen üçgensel bulanık sayı skorları Tablo 4.17.'de gösterilmektedir. Tablo 4.17.'de elde edilen bulanık skorlar Tablo 3.2.'de gösterilen değerlere göre belirlenmiştir. Örneğin; $R1_{kurulum}$ risk kodu ile ifade edilen risk, birinci uzman tarafından "Biraz Yüksek" olarak değerlendirilmiştir. Bu dilsel değerlendirmenin Tablo 3.2.'de gösterilen değerlere göre üyelik fonksiyonu (5 , 7 , 9) şeklinde üçgen bulanık sayıya dönüştürülmüştür. Benzer şekilde tüm riskler için yapılan dilsel değerlendirmeler, Tablo 3.2.'deki karşılıkları kullanılarak üçgen bulanık sayılara dönüştürülmüştür.

Tablo 4.17. Dilsel değerlendirme sonuçlarının üçgen bulanık sayılar şeklinde ifadesi

Risk Kodu	OLASILIK			ŞİDDET			FREKANS		
	Uzman 1	Uzman 2	Uzman 3	Uzman 1	Uzman 2	Uzman 3	Uzman 1	Uzman 2	Uzman 3
$R1_{kurulum}$	(5,7,9)	(3,5,7)	(7,9,10)	(3,5,7)	(7,9,10)	(7,9,10)	(7,9,10)	(3,5,7)	(3,5,7)
$R2_{kurulum}$	(7,9,10)	(7,9,10)	(5,7,9)	(9,10,10)	(7,9,10)	(9,10,10)	(1,3,5)	(0,1,3)	(3,5,7)
$R3_{kurulum}$	(7,9,10)	(9,10,10)	(3,5,7)	(3,5,7)	(5,7,9)	(1,3,5)	(7,9,10)	(5,7,9)	(3,5,7)
$R4_{kurulum}$	(3,5,7)	(5,7,9)	(1,3,5)	(5,7,9)	(0,1,3)	(1,3,5)	(3,5,7)	(0,1,3)	(0,1,3)
$R5_{kurulum}$	(7,9,10)	(5,7,9)	(7,9,10)	(9,10,10)	(7,9,10)	(7,9,10)	(3,5,7)	(1,3,5)	(5,7,9)
$R6_{kurulum}$	(3,5,7)	(1,3,5)	(0,1,3)	(9,10,10)	(7,9,10)	(7,9,10)	(3,5,7)	(3,5,7)	(1,3,5)
$R7_{kurulum}$	(5,7,9)	(5,7,9)	(7,9,10)	(9,10,10)	(5,7,9)	(9,10,10)	(1,3,5)	(3,5,7)	(3,5,7)
$R8_{kurulum}$	(7,9,10)	(5,7,9)	(5,7,9)	(7,9,10)	(7,9,10)	(7,9,10)	(3,5,7)	(3,5,7)	(3,5,7)
$R9_{kurulum}$	(3,5,7)	(5,7,9)	(3,5,7)	(1,3,5)	(3,5,7)	(5,7,9)	(7,9,10)	(7,9,10)	(9,10,10)
$R10_{kurulum}$	(1,3,5)	(0,1,3)	(0,1,3)	(3,5,7)	(1,3,5)	(3,5,7)	(0,1,3)	(0,0,1)	(0,0,1)
$R11_{kurulum}$	(1,3,5)	(0,1,3)	(3,5,7)	(7,9,10)	(5,7,9)	(7,9,10)	(1,3,5)	(0,1,3)	(0,1,3)
$R12_{kurulum}$	(0,1,3)	(1,3,5)	(0,1,3)	(7,9,10)	(7,9,10)	(9,10,10)	(0,1,3)	(0,1,3)	(0,0,1)
$R13_{kurulum}$	(1,3,5)	(0,1,3)	(0,0,1)	(7,9,10)	(5,7,9)	(9,10,10)	(0,0,1)	(0,1,3)	(0,1,3)
$R14_{kurulum}$	(3,5,7)	(3,5,7)	(1,3,5)	(9,10,10)	(9,10,10)	(7,9,10)	(0,1,3)	(3,5,7)	(1,3,5)
$R15_{kurulum}$	(0,1,3)	(0,1,3)	(0,0,1)	(7,9,10)	(7,9,10)	(9,10,10)	(0,1,3)	(0,0,1)	(0,0,1)
$R16_{kurulum}$	(0,1,3)	(0,0,1)	(0,1,3)	(7,9,10)	(7,9,10)	(5,7,9)	(0,1,3)	(0,1,3)	(0,0,1)
$R17_{kurulum}$	(3,5,7)	(3,5,7)	(3,5,7)	(0,1,3)	(0,1,3)	(0,1,3)	(7,9,10)	(7,9,10)	(5,7,9)
$R18_{kurulum}$	(0,1,3)	(1,3,5)	(1,3,5)	(3,5,7)	(5,7,9)	(5,7,9)	(0,1,3)	(1,3,5)	(1,3,5)
$R19_{kurulum}$	(9,10,10)	(7,9,10)	(5,7,9)	(3,5,7)	(0,1,3)	(3,5,7)	(0,1,3)	(0,1,3)	(0,1,3)
$R20_{kurulum}$	(1,3,5)	(3,5,7)	(0,1,3)	(7,9,10)	(3,5,7)	(9,10,10)	(3,5,7)	(5,7,9)	(3,5,7)
$R21_{kurulum}$	(7,9,10)	(3,5,7)	(3,5,7)	(3,5,7)	(1,3,5)	(3,5,7)	(7,9,10)	(5,7,9)	(3,5,7)
$R22_{kurulum}$	(7,9,10)	(5,7,9)	(5,7,9)	(3,5,7)	(0,1,3)	(3,5,7)	(7,9,10)	(7,9,10)	(5,7,9)
$R23_{kurulum}$	(5,7,9)	(3,5,7)	(5,7,9)	(7,9,10)	(5,7,9)	(5,7,9)	(3,5,7)	(0,1,3)	(3,5,7)

Tablo 4.17.'de bulunan her bir risk için; karar vericiler tarafından yapılan dilsel değerlendirmeler neticesinde elde edilen üçgensel bulanık skorların aritmetik ortalaması alınarak, her bir riskin bulanık önem ağırlığı tek bir üçgensel bulanık sayı olacak şekilde hesaplanmıştır. Buna göre türbin parçalarının kurulum süreciyle ilgili tespit edilen risklerin bulanık önem ağırlıkları Tablo 4.18.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.18. Kurulum sürecindeki risklere ait bulanık önem ağırlıkları tablosu

Risk Kodu	OLASILIK	ŞİDDET	FREKANS
$R1_{kurulum}$	(5 , 7 , 8,667)	(6,333 , 7,667 , 9)	(4,333 , 6,333 , 8)
$R2_{kurulum}$	(6,333 , 8,333 , 9,667)	(8,333 , 9,667 , 10)	(2 , 3,667 , 5,667)
$R3_{kurulum}$	(6,333 , 8 , 9)	(3 , 5 , 7)	(5 , 7 , 8,667)
$R4_{kurulum}$	(3 , 5 , 7)	(2 , 3,667 , 5,667)	(1, 2,333 , 4,333)
$R5_{kurulum}$	(6,333 , 8,333 , 9,667)	(7,667 , 9,333 , 10)	(3 , 5 , 7)
$R6_{kurulum}$	(1,333 , 3 , 5)	(7,667 , 9,333 , 10)	(2,333 , 4,333 , 6,333)
$R7_{kurulum}$	(5,667 , 7,667 , 9,333)	(7,667 , 9 , 9,667)	(2,333 , 4,333 , 6,333)
$R8_{kurulum}$	(5,667 , 7,667 , 9,667)	(7 , 9 , 10)	(3 , 5 , 7)
$R9_{kurulum}$	(3,667 , 5,667 , 7,667)	(3 , 5 , 7)	(7,667 , 9,333 , 10)
$R10_{kurulum}$	(0,333 , 1,667 , 3,667)	(2,333 , 4,333 , 6,333)	(0 , 0,333 , 1,667)
$R11_{kurulum}$	(1,333 , 3 , 5)	(6,333 , 8,333 , 9,667)	(0,333 , 1,667 , 3,667)
$R12_{kurulum}$	(0,333 , 1,667 , 3,667)	(7,667 , 9,333 , 10)	(0 , 0,667 , 2,333)
$R13_{kurulum}$	(0,333 , 1,333 , 3)	(7 , 8,667 , 9,667)	(0 , 0,667 , 2,333)
$R14_{kurulum}$	(2,333 , 4,333 , 6,333)	(8,333 , 9,667 , 10)	(1,333 , 3 , 5)
$R15_{kurulum}$	(0 , 0,667 , 2,333)	(7,667 , 9,333 , 10)	(0 , 0,333 , 1,667)
$R16_{kurulum}$	(0 , 0,667 , 2,333)	(6,333 , 8,333 , 9,667)	(0 , 0,667 , 2,333)
$R17_{kurulum}$	(3 , 5 , 7)	(0 , 1 , 3)	(6,333 , 8,333 , 9,667)
$R18_{kurulum}$	(0,667 , 2,333 , 4,333)	(4,333 , 6,333 , 8,333)	(0,667 , 2,333 , 4,333)
$R19_{kurulum}$	(7 , 8,667 , 9,667)	(2 , 3,667 , 5,667)	(0 , 1 , 3)
$R20_{kurulum}$	(1,333 , 3 , 5)	(6,333 , 8 , 9)	(3,667 , 5,667 , 7,667)
$R21_{kurulum}$	(4,333 , 6,333 , 8)	(2,333 , 4,333 , 6,333)	(5 , 7 , 8,667)
$R22_{kurulum}$	(5,667 , 7,667 , 9,333)	(2 , 3,667 , 5,667)	(6,333 , 8,333 , 9,667)
$R23_{kurulum}$	(4,333 , 6,333 , 8,333)	(5,667 , 7,667 , 9,333)	(2 , 3,667 , 5,667)

4.4.3. Rüzgar Türbinlerinin Bakım Aşamasıyla İlgili İSG Risklerinin Dilsel Değişkenler Kullanılarak Değerlendirilmesi

Karar vericiler tarafından Tablo 3.2.'de gösterilen dilsel değişkenler kullanılarak, türbin parçalarının bakım aşamasıyla ilgili her bir riskin olasılık, şiddet ve frekans değerleri değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirmeler neticesinde, her bir risk için elde edilen dilsel değişkenler Tablo 4.19.'da gösterilmektedir.

Tablo 4.19. Türbin parçalarının bakım sürecindeki İSG risklerinin dilsel değişkenlerle değerlendirilmesi

Risk Kodu	OLASILIK			ŞİDDET			FREKANS		
	Uzman 1	Uzman 2	Uzman 3	Uzman 1	Uzman 2	Uzman 3	Uzman 1	Uzman 2	Uzman 3
$R1_{bakım}$	Yüksek	Yüksek	Biraz Yüksek	Orta	Biraz Zayıf	Orta	Biraz Yüksek	Orta	Yüksek
$R2_{bakım}$	Yüksek	Biraz Yüksek	Biraz Yüksek	Yüksek	Orta	Biraz Yüksek	Orta	Yüksek	Yüksek
$R3_{bakım}$	Yüksek	Biraz Yüksek	Orta	Çok Yüksek	Yüksek	Yüksek	Biraz Zayıf	Zayıf	Orta
$R4_{bakım}$	Orta	Orta	Biraz Zayıf	Biraz Yüksek	Zayıf	Biraz Zayıf	Zayıf	Biraz Zayıf	Orta
$R5_{bakım}$	Zayıf	Zayıf	Çok Zayıf	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Biraz Zayıf	Çok Zayıf	Çok Zayıf
$R6_{bakım}$	Yüksek	Biraz Yüksek	Orta	Çok Yüksek	Yüksek	Çok Yüksek	Biraz Yüksek	Orta	Biraz Zayıf
$R7_{bakım}$	Orta	Biraz Zayıf	Biraz Yüksek	Çok Yüksek	Yüksek	Biraz Yüksek	Zayıf	Biraz Zayıf	Çok Zayıf
$R8_{bakım}$	Yüksek	Yüksek	Orta	Biraz Yüksek	Biraz Yüksek	Yüksek	Orta	Biraz Yüksek	Orta
$R9_{bakım}$	Yüksek	Çok Yüksek	Orta	Orta	Biraz Zayıf	Biraz Zayıf	Yüksek	Yüksek	Biraz Yüksek
$R10_{bakım}$	Yüksek	Çok Yüksek	Yüksek	Yüksek	Biraz Yüksek	Yüksek	Orta	Biraz Yüksek	Biraz Zayıf
$R11_{bakım}$	Çok Yüksek	Yüksek	Çok Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Biraz Yüksek	Orta	Orta
$R12_{bakım}$	Biraz Yüksek	Çok Yüksek	Çok Yüksek	Orta	Biraz Yüksek	Biraz Zayıf	Çok Yüksek	Biraz Yüksek	Orta
$R13_{bakım}$	Orta	Biraz Zayıf	Orta	Zayıf	Zayıf	Biraz Zayıf	Orta	Biraz Zayıf	Orta
$R14_{bakım}$	Orta	Zayıf	Orta	Orta	Biraz Zayıf	Zayıf	Orta	Orta	Orta
$R15_{bakım}$	Zayıf	Biraz Zayıf	Orta	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Çok Zayıf	Çok Zayıf	Zayıf
$R16_{bakım}$	Biraz Yüksek	Biraz Yüksek	Orta	Orta	Biraz Zayıf	Biraz Zayıf	Biraz Yüksek	Yüksek	Orta

Tablo 4.19. Türbin parçalarının bakım sürecindeki İSG risklerinin dilsel değişkenlerle değerlendirilmesi (devamı)

Risk Kodu	OLASILIK			ŞİDDET			FREKANS		
	Uzman 1	Uzman 2	Uzman 3	Uzman 1	Uzman 2	Uzman 3	Uzman 1	Uzman 2	Uzman 3
$R17_{bakım}$	Biraz Yüksek	Yüksek	Orta	Biraz Zayıf	Orta	Biraz Zayıf	Zayıf	Orta	Zayıf
$R18_{bakım}$	Zayıf	Orta	Orta	Biraz Zayıf	Orta	Zayıf	Zayıf	Biraz Zayıf	Biraz Zayıf
$R19_{bakım}$	Zayıf	Orta	Biraz Yüksek	Yüksek	Biraz Yüksek	Orta	Orta	Orta	Biraz Zayıf
$R20_{bakım}$	Zayıf	Çok Zayıf	Çok Zayıf	Biraz Yüksek	Orta	Orta	Zayıf	Zayıf	Zayıf
$R21_{bakım}$	Yüksek	Yüksek	Biraz Yüksek	Orta	Biraz Zayıf	Biraz Zayıf	Biraz Yüksek	Orta	Orta
$R22_{bakım}$	Orta	Biraz Zayıf	Orta	Biraz Zayıf	Zayıf	Orta	Orta	Zayıf	Orta
$R23_{bakım}$	Zayıf	Zayıf	Çok Zayıf	Çok Yüksek	Yüksek	Yüksek	Zayıf	Zayıf	Çok Zayıf
$R24_{bakım}$	Orta	Orta	Biraz Zayıf	Orta	Zayıf	Biraz Zayıf	Zayıf	Biraz Zayıf	Zayıf
$R25_{bakım}$	Orta	Zayıf	Biraz Zayıf	Biraz Yüksek	Yüksek	Yüksek	Biraz Zayıf	Çok Zayıf	Zayıf
$R26_{bakım}$	Yüksek	Biraz Yüksek	Orta	Yüksek	Biraz Yüksek	Biraz Yüksek	Orta	Zayıf	Zayıf
$R27_{bakım}$	Yüksek	Biraz Yüksek	Çok Yüksek	Yüksek	Yüksek	Biraz Yüksek	Orta	Biraz Zayıf	Orta

Tablo 4.19.'da ifade edildiği üzere; türbin parçalarının bakım süreci ile ilgili olarak $R6_{bakım}$ risk koduyla ifade edilen "yıldırım" riskinin meydana gelme olasılığı; ilk karar verici tarafından "Yüksek" olarak değerlendirilmiş, ikinci karar verici bu riskin olasılığını "Biraz Yüksek" olarak değerlendirilmiş ve son karar verici tarafından da bu riskin meydana gelme olasılığı "Orta" olarak değerlendirilmiştir. Benzer şekilde $R15_{bakım}$ risk kodu ile ifade edilen "Kule İçi Merdiveninden Düşme" riskinin meydana gelme olasılığı; birinci karar verici tarafından "Biraz Zayıf", ikinci karar verici tarafından da "Biraz Zayıf" ve son karar verici tarafından da "Orta" olarak değerlendirilmiştir. Benzer şekilde, karar vericiler tarafından tüm riskler için dilsel değişkenler yardımıyla değerlendirmeler yapılmıştır.

Uzmanların değerlendirmeleri neticesinde, her bir risk için oluşturulan dilsel değişkenlere karşılık gelen üçgensel bulanık sayı skorları Tablo 4.20.'de gösterilmektedir. Tablo 4.20.'de elde edilen bulanık skorlar Tablo 3.2.'de gösterilen değerlere göre belirlenmiştir. Örneğin; $R8_{bakım}$ risk kodu ile ifade edilen risk, birinci uzman tarafından "Yüksek" olarak

değerlendirilmiştir. Bu dilsel değerlendirmenin Tablo 3.2.'de gösterilen değerlere göre üyelik fonksiyonu (7 , 9 , 10) şeklinde üçgen bulanık sayıya dönüştürülmüştür. Benzer şekilde tüm riskler için yapılan dilsel değerlendirmeler, Tablo 3.2.'deki karşılıkları kullanılarak üçgen bulanık sayılara dönüştürülmüştür.

Tablo 4.20. Dilsel değerlendirme sonuçlarının üçgen bulanık sayılar şeklinde ifadesi

Risk Kodu	OLASILIK			ŞİDDET			FREKANS		
	Uzman 1	Uzman 2	Uzman 3	Uzman 1	Uzman 2	Uzman 3	Uzman 1	Uzman 2	Uzman 3
$R1_{bakım}$	(7,9,10)	(7,9,10)	(5,7,9)	(3,5,7)	(1,3,5)	(3,5,7)	(5,7,9)	(3,5,7)	(7,9,10)
$R2_{bakım}$	(7,9,10)	(5,7,9)	(5,7,9)	(7,9,10)	(3,5,7)	(5,7,9)	(3,5,7)	(7,9,10)	(7,9,10)
$R3_{bakım}$	(7,9,10)	(5,7,9)	(3,5,7)	(9,10,10)	(7,9,10)	(7,9,10)	(1,3,5)	(0,1,3)	(3,5,7)
$R4_{bakım}$	(3,5,7)	(3,5,7)	(1,3,5)	(5,7,9)	(0,1,3)	(1,3,5)	(0,1,3)	(1,3,5)	(3,5,7)
$R5_{bakım}$	(0,1,3)	(0,1,3)	(0,0,1)	(7,9,10)	(7,9,10)	(7,9,10)	(1,3,5)	(0,0,1)	(0,0,1)
$R6_{bakım}$	(7,9,10)	(5,7,9)	(3,5,7)	(9,10,10)	(7,9,10)	(9,10,10)	(5,7,9)	(3,5,7)	(1,3,5)
$R7_{bakım}$	(3,5,7)	(1,3,5)	(5,7,9)	(9,10,10)	(7,9,10)	(5,7,9)	(0,1,3)	(1,3,5)	(0,0,1)
$R8_{bakım}$	(7,9,10)	(7,9,10)	(3,5,7)	(5,7,9)	(5,7,9)	(7,9,10)	(3,5,7)	(5,7,9)	(3,5,7)
$R9_{bakım}$	(7,9,10)	(9,10,10)	(3,5,7)	(3,5,7)	(1,3,5)	(1,3,5)	(7,9,10)	(7,9,10)	(5,7,9)
$R10_{bakım}$	(7,9,10)	(9,10,10)	(7,9,10)	(7,9,10)	(5,7,9)	(7,9,10)	(3,5,7)	(5,7,9)	(1,3,5)
$R11_{bakım}$	(9,10,10)	(7,9,10)	(9,10,10)	(7,9,10)	(7,9,10)	(7,9,10)	(5,7,9)	(3,5,7)	(3,5,7)
$R12_{bakım}$	(5,7,9)	(9,10,10)	(9,10,10)	(3,5,7)	(5,7,9)	(1,3,5)	(9,10,10)	(5,7,9)	(3,5,7)
$R13_{bakım}$	(3,5,7)	(1,3,5)	(3,5,7)	(0,1,3)	(0,1,3)	(1,3,5)	(3,5,7)	(1,3,5)	(3,5,7)
$R14_{bakım}$	(3,5,7)	(0,1,3)	(3,5,7)	(3,5,7)	(1,3,5)	(0,1,3)	(3,5,7)	(3,5,7)	(3,5,7)
$R15_{bakım}$	(0,1,3)	(1,3,5)	(3,5,7)	(7,9,10)	(7,9,10)	(7,9,10)	(0,0,1)	(0,0,1)	(0,1,3)
$R16_{bakım}$	(5,7,9)	(5,7,9)	(3,5,7)	(3,5,7)	(1,3,5)	(1,3,5)	(5,7,9)	(7,9,10)	(3,5,7)
$R17_{bakım}$	(5,7,9)	(7,9,10)	(3,5,7)	(1,3,5)	(3,5,7)	(1,3,5)	(0,1,3)	(3,5,7)	(0,1,3)
$R18_{bakım}$	(0,1,3)	(3,5,7)	(3,5,7)	(1,3,5)	(3,5,7)	(0,1,3)	(0,1,3)	(1,3,5)	(1,3,5)
$R19_{bakım}$	(0,1,3)	(3,5,7)	(5,7,9)	(7,9,10)	(5,7,9)	(3,5,7)	(3,5,7)	(3,5,7)	(1,3,5)
$R20_{bakım}$	(0,1,3)	(0,0,1)	(0,0,1)	(5,7,9)	(3,5,7)	(3,5,7)	(0,1,3)	(0,1,3)	(0,1,3)
$R21_{bakım}$	(7,9,10)	(7,9,10)	(5,7,9)	(3,5,7)	(1,3,5)	(1,3,5)	(5,7,9)	(3,5,7)	(3,5,7)
$R22_{bakım}$	(3,5,7)	(1,3,5)	(3,5,7)	(1,3,5)	(0,1,3)	(3,5,7)	(3,5,7)	(0,1,3)	(3,5,7)
$R23_{bakım}$	(0,1,3)	(0,1,3)	(0,0,1)	(9,10,10)	(7,9,10)	(7,9,10)	(0,1,3)	(0,1,3)	(0,0,1)
$R24_{bakım}$	(3,5,7)	(3,5,7)	(1,3,5)	(3,5,7)	(0,1,3)	(1,3,5)	(0,1,3)	(1,3,5)	(0,1,3)
$R25_{bakım}$	(3,5,7)	(0,1,3)	(1,3,5)	(5,7,9)	(7,9,10)	(7,9,10)	(1,3,5)	(0,0,1)	(0,1,3)
$R26_{bakım}$	(7,9,10)	(5,7,9)	(3,5,7)	(7,9,10)	(5,7,9)	(5,7,9)	(3,5,7)	(0,1,3)	(0,1,3)
$R27_{bakım}$	(7,9,10)	(5,7,9)	(9,10,10)	(7,9,10)	(7,9,10)	(5,7,9)	(3,5,7)	(1,3,5)	(3,5,7)

Tablo 4.20.'de bulunan her bir risk için; karar vericiler tarafından yapılan dilsel değerlendirmeler neticesinde elde edilen üçgensel bulanık skorların aritmetik ortalaması alınarak her bir riskin bulanık önem ağırlığı tek bir üçgensel bulanık sayı olacak şekilde hesaplanmıştır. Buna göre türbin parçalarının bakım süreciyle ilgili tespit edilen risklerin bulanık önem ağırlıkları Tablo 4.21.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.21. Bakım sürecindeki risklere ait bulanık önem ağırlıkları tablosu

Risk Kodu	OLASILIK	ŞİDDET	FREKANS
$R1_{bakım}$	(6,333 , 8,333 , 9,667)	(2,333 , 4,333 , 6,333)	(5 , 7 , 8,667)
$R2_{bakım}$	(5,667 , 7,667 , 9,333)	(5 , 7 , 8,667)	(6,333 , 7,667 , 9)
$R3_{bakım}$	(5 , 7 , 8,667)	(7,667 , 9,333 , 10)	(1,333 , 3 , 5)
$R4_{bakım}$	(2,333 , 4,333 , 6,333)	(2 , 3,667 , 5,667)	(1,333 , 3 , 5)
$R5_{bakım}$	(0 , 0,667 , 2,333)	(7 , 9 , 10)	(0,333 , 1 , 2,333)
$R6_{bakım}$	(5 , 7 , 8,667)	(8,333 , 9,667 , 10)	(3 , 5 , 7)
$R7_{bakım}$	(3 , 5 , 7)	(7 , 8,667 , 9,667)	(0,333 , 1,333 , 3)
$R8_{bakım}$	(6,333 , 7,667 , 9)	(5,667 , 7,667 , 9,333)	(3,667 , 5,667 , 8,333)
$R9_{bakım}$	(6,333 , 8 , 9)	(1,667 , 3,667 , 5,667)	(6,333 , 8,333 , 9,667)
$R10_{bakım}$	(7,667 , 9,333 , 10)	(6,333 , 8,333 , 9,667)	(3 , 5 , 7)
$R11_{bakım}$	(8,333 , 9,667 , 10)	(7 , 9 , 10)	(3,667 , 5,667 , 8,333)
$R12_{bakım}$	(7,667 , 9 , 9,667)	(3 , 5 , 7)	(5,667 , 7,333 , 8,667)
$R13_{bakım}$	(2,333 , 4,333 , 6,333)	(0,333 , 1,667 , 3,667)	(2,333 , 4,333 , 6,333)
$R14_{bakım}$	(2 , 3,667 , 5,667)	(1,333 , 3 , 5)	(3 , 5 , 7)
$R15_{bakım}$	(1,333 , 3 , 5)	(7 , 9 , 10)	(0 , 0,333 , 1,667)
$R16_{bakım}$	(4,333 , 6,333 , 8,333)	(1,667 , 3,667 , 5,667)	(5 , 7 , 8,667)
$R17_{bakım}$	(5 , 7 , 8,667)	(1,667 , 3,667 , 5,667)	(1 , 2,333 , 4,333)
$R18_{bakım}$	(2 , 3,667 , 5,667)	(1,333 , 3 , 5)	(0,667 , 2,333 , 4,333)
$R19_{bakım}$	(2,667 , 4,333 , 6,333)	(5 , 7 , 8,667)	(2,333 , 4,333 , 6,333)
$R20_{bakım}$	(0 , 0,333 , 1,667)	(3,667 , 5,667 , 8,333)	(0 , 1 , 3)
$R21_{bakım}$	(6,333 , 8,333 , 9,667)	(1,667 , 3,667 , 5,667)	(3,667 , 5,667 , 8,333)
$R22_{bakım}$	(2,333 , 4,333 , 6,333)	(1,333 , 3 , 5)	(2 , 3,667 , 5,667)
$R23_{bakım}$	(0 , 0,667 , 2,333)	(7,667 , 9,333 , 10)	(0 , 0,667 , 2,333)
$R24_{bakım}$	(2,333 , 4,333 , 6,333)	(1,333 , 3 , 5)	(0,333 , 1,667 , 3,667)
$R25_{bakım}$	(1,333 , 3 , 5)	(6,333 , 8,333 , 9,667)	(0,333 , 1,333 , 3)
$R26_{bakım}$	(5 , 7 , 8,667)	(5,667 , 7,667 , 9,333)	(1 , 2,333 , 4,333)
$R27_{bakım}$	(7 , 8,667 , 9,667)	(6,333 , 8,333 , 9,667)	(2,333 , 4,333 , 6,333)

4.5. BTOPSİS YÖNTEMİYLE RİSKLERE AİT NORMALİZE EDİLMİŞ BULANIK ÖNEM AĞIRLIKLARININ BELİRLENMESİ

Bu bölümde; bulanık önem ağırlıkları hesaplanmış olan her bir risk için normalizasyon işlemi yapılmıştır. Bu işlemler yapılırken lineer normalizasyon tekniği gereği; Denklem 3.10'da ve Denklem 3.11'de belirtilen formüller kullanılmıştır.

Bulanık topsis metodundaki normalizasyon işleminde, her bir fayda kriteri için üçgensel bulanık sayılarla ifade edilen bulanık önem ağırlıklarının üçüncü bileşenlerinin en büyüğü (c_j*) olarak belirlenir ve Denklem 3.10'da belirtilen formül kullanılarak normalizasyon işlemi tamamlanır. Aynı şekilde her bir maliyet kriteri için üçgensel bulanık sayılarla ifade edilen bulanık önem ağırlıklarının ilk bileşenlerinin en küçüğü (a_j^-) olarak belirlenir ve Denklem 3.11' de gösterilen formül kullanılarak normalizasyon işlemi yapılır.

Bu çalışmada belirlenen karar kriterleri, en riskli sürecin belirlenmesinde birer fayda kriteri gibi ele alınmıştır. Dolayısıyla, Denklem 3.10'da belirtilen formül kullanılarak ilgili karar kriteri sütununda her bir risk için hesaplanan üçgensel bulanık önem ağırlıklarının üçüncü bileşenlerinin en büyüğü esas alınarak diğer tüm değerler bu bileşene bölünmek suretiyle her bir riskin [0-1] aralığında olan normalize edilmiş üçgensel bulanık önem ağırlıkları hesaplanmıştır.

Örneğin; sevkiyat sürecindeki risklere ait bulanık önem ağırlıklarının gösterildiği Tablo 4.15.'de, "Olasılık" kriteri sütunundaki her bir risk için hesaplanan üçgensel bulanık skorların üçüncü bileşenlerinin en büyüğünün 10 olduğu görülmektedir. Olasılık kriteri sütunundaki $R1_{sevkiyat}$ riski için Denklem 3.10'da belirtilen formül uygulandığında; (0,333 , 1,333 , 3) olarak hesaplanan bulanık önem ağırlığının her bir bileşeni 10'a bölünerek, $R1_{sevkiyat}$ riskinin olasılık kriteri altındaki normalize edilmiş üçgensel bulanık önem ağırlığı;
(0,333/10 , 1,333/10 , 3/10) = (0,033 , 0,133 , 0,3) olarak hesaplanmıştır.

Buna göre; türbin parçalarının inşaat alanına ulaştırılması ile ilgili sevkiyat sürecindeki riskler için hesaplanan normalize edilmiş üçgensel bulanık önem ağırlıkları Tablo 4.22.'de; türbinlerin kurulum sürecindeki riskler için hesaplanan normalize edilmiş üçgensel bulanık önem ağırlıkları Tablo 4.23.'te ve rüzgar türbinlerinin bakım süreçlerindeki riskler için hesaplanan normalize edilmiş üçgensel bulanık önem ağırlıkları Tablo 4.24.'te gösterilmiştir.

Tablo 4.22. Sevkiyat sürecindeki risklere ait normalize edilmiş bulanık önem ağırlıkları tablosu

Risk Kodu	OLASILIK	ŞİDDET	FREKANS
$R1_{sevkiyat}$	(0,033 , 0,133 , 0,3)	(0,633 , 0,833 , 0,967)	(0 , 0,034 , 0,172)
$R2_{sevkiyat}$	(0,133 , 0,3 , 0,5)	(0,633 , 0,833 , 0,967)	(0,241 , 0,448 , 0,655)
$R3_{sevkiyat}$	(0,3 , 0,5 , 0,7)	(0,633 , 0,833 , 0,967)	(0 , 0,069 , 0,241)
$R4_{sevkiyat}$	(0,767 , 0,933 , 1)	(0,833 , 0,967 , 1)	(0,310 , 0,517 , 0,724)
$R5_{sevkiyat}$	(0,233 , 0,433 , 0,633)	(0,633 , 0,833 , 0,967)	(0,138 , 0,310 , 0,517)
$R6_{sevkiyat}$	(0,767 , 0,933 , 1)	(0,567 , 0,733 , 0,867)	(0,241 , 0,448 , 0,655)
$R7_{sevkiyat}$	(0,567 , 0,733 , 0,867)	(0,767 , 0,933 , 1)	(0,655 , 0,862 , 1)

Tablo 4.23. Kurulum sürecindeki risklere ait normalize edilmiş bulanık önem ağırlıkları tablosu

Risk Kodu	OLASILIK	ŞİDDET	FREKANS
$R1_{kurulum}$	(0,517 , 0,724 , 0,897)	(0,633 , 0,767 , 0,9)	(0,433 , 0,633 , 0,8)
$R2_{kurulum}$	(0,655 , 0,862 , 1)	(0,833 , 0,967 , 1)	(0,2 , 0,367 , 0,567)
$R3_{kurulum}$	(0,655 , 0,828 , 0,931)	(0,3 , 0,5 , 0,7)	(0,5 , 0,7 , 0,867)
$R4_{kurulum}$	(0,310 , 0,517 , 0,724)	(0,2 , 0,367 , 0,567)	(0,1 , 0,233 , 0,433)
$R5_{kurulum}$	(0,655 , 0,862 , 1)	(0,767 , 0,933 , 1)	(0,3 , 0,5 , 0,7)
$R6_{kurulum}$	(0,138 , 0,310 , 0,517)	(0,767 , 0,933 , 1)	(0,233 , 0,433 , 0,633)
$R7_{kurulum}$	(0,586 , 0,793 , 0,965)	(0,767 , 0,9 , 0,967)	(0,233 , 0,433 , 0,633)
$R8_{kurulum}$	(0,586 , 0,793 , 1)	(0,7 , 0,9 , 1)	(0,3 , 0,5 , 0,7)
$R9_{kurulum}$	(0,379 , 0,586 , 0,793)	(0,3 , 0,5 , 0,7)	(0,767 , 0,933 , 1)
$R10_{kurulum}$	(0,034 , 0,172 , 0,379)	(0,233 , 0,433 , 0,633)	(0 , 0,033 , 0,167)
$R11_{kurulum}$	(0,138 , 0,310 , 0,517)	(0,633 , 0,833 , 0,967)	(0,033 , 0,167 , 0,367)
$R12_{kurulum}$	(0,034 , 0,172 , 0,379)	(0,767 , 0,933 , 1)	(0 , 0,067 , 0,233)
$R13_{kurulum}$	(0,034 , 0,138 , 0,310)	(0,7 , 0,867 , 0,967)	(0 , 0,067 , 0,233)
$R14_{kurulum}$	(0,241 , 0,448 , 0,655)	(0,833 , 0,967 , 1)	(0,133 , 0,3 , 0,5)
$R15_{kurulum}$	(0 , 0,069 , 0,241)	(0,767 , 0,933 , 1)	(0 , 0,033 , 0,167)
$R16_{kurulum}$	(0 , 0,069 , 0,241)	(0,633 , 0,833 , 0,967)	(0 , 0,067 , 0,233)
$R17_{kurulum}$	(0,310 , 0,517 , 0,724)	(0 , 0,1 , 0,3)	(0,633 , 0,833 , 0,967)
$R18_{kurulum}$	(0,069 , 0,241 , 0,448)	(0,433 , 0,633 , 0,833)	(0,067 , 0,233 , 0,433)
$R19_{kurulum}$	(0,724 , 0,897 , 1)	(0,2 , 0,367 , 0,567)	(0 , 0,1 , 0,3)

Tablo 4.23. Kurulum sürecindeki risklere ait normalize edilmiş bulanık önem ağırlıkları tablosu (devamı)

Risk Kodu	OLASILIK	ŞİDDET	FREKANS
$R20_{kurulum}$	(0,138 , 0,310 , 0,517)	(0,633 , 0,8 , 0,9)	(0,367 , 0,567 , 0,767)
$R21_{kurulum}$	(0,448 , 0,655 , 0,828)	(0,233 , 0,433 , 0,633)	(0,5 , 0,7 , 0,867)
$R22_{kurulum}$	(0,586 , 0,793 , 0,965)	(0,2 , 0,367 , 0,567)	(0,633 , 0,833 , 0,967)
$R23_{kurulum}$	(0,448 , 0,655 , 0,862)	(0,567 , 0,767 , 0,933)	(0,2 , 0,367 , 0,567)

Tablo 4.24. Bakım sürecindeki risklere ait normalize edilmiş bulanık önem ağırlıkları tablosu

Risk Kodu	OLASILIK	ŞİDDET	FREKANS
$R1_{bakım}$	(0,633 , 0,833 , 0,967)	(0,233 , 0,433 , 0,633)	(0,517 , 0,724 , 0,897)
$R2_{bakım}$	(0,567 , 0,767 , 0,933)	(0,5 , 0,7 , 0,867)	(0,655 , 0,793 , 0,931)
$R3_{bakım}$	(0,5 , 0,7 , 0,867)	(0,767 , 0,933 , 1)	(0,138 , 0,310 , 0,517)
$R4_{bakım}$	(0,233 , 0,433 , 0,633)	(0,2 , 0,367 , 0,567)	(0,138 , 0,310 , 0,517)
$R5_{bakım}$	(0 , 0,067 , 0,233)	(0,7 , 0,9 , 1)	(0,034 , 0,103 , 0,207)
$R6_{bakım}$	(0,5 , 0,7 , 0,867)	(0,833 , 0,967 , 1)	(0,310 , 0,517 , 0,724)
$R7_{bakım}$	(0,3 , 0,5 , 0,7)	(0,7 , 0,867 , 0,967)	(0,034 , 0,103 , 0,207)
$R8_{bakım}$	(0,633 , 0,767 , 0,9)	(0,567 , 0,767 , 0,933)	(0,379 , 0,586 , 0,862)
$R9_{bakım}$	(0,633 , 0,8 , 0,9)	(0,167 , 0,367 , 0,567)	(0,655 , 0,862 , 1)
$R10_{bakım}$	(0,767 , 0,933 , 1)	(0,633 , 0,833 , 0,967)	(0,310 , 0,517 , 0,724)
$R11_{bakım}$	(0,833 , 0,967 , 1)	(0,7 , 0,9 , 1)	(0,379 , 0,586 , 0,862)
$R12_{bakım}$	(0,767 , 0,9 , 0,967)	(0,3 , 0,5 , 0,7)	(0,586 , 0,759 , 0,897)
$R13_{bakım}$	(0,233 , 0,433 , 0,633)	(0,033 , 0,167 , 0,367)	(0,241 , 0,448 , 0,655)
$R14_{bakım}$	(0,2 , 0,367 , 0,567)	(0,133 , 0,3 , 0,5)	(0,310 , 0,517 , 0,724)
$R15_{bakım}$	(0,133 , 0,3 , 0,5)	(0,7 , 0,9 , 1)	(0 , 0,034 , 0,172)
$R16_{bakım}$	(0,433 , 0,633 , 0,833)	(0,167 , 0,367 , 0,567)	(0,517 , 0,724 , 0,897)
$R17_{bakım}$	(0,5 , 0,7 , 0,867)	(0,167 , 0,367 , 0,567)	(0,103 , 0,241 , 0,448)
$R18_{bakım}$	(0,2 , 0,367 , 0,567)	(0,133 , 0,3 , 0,5)	(0,069 , 0,241 , 0,448)
$R19_{bakım}$	(0,267 , 0,433 , 0,633)	(0,5 , 0,7 , 0,867)	(0,241 , 0,448 , 0,655)

4.6. BTOPSİS YÖNTEMİYLE RİSKLERE AİT AĞIRLIKLI NORMALİZE EDİLMİŞ BULANIK ÖNEM AĞIRLIKLARININ BELİRLENMESİ

Bu bölümde; normalizasyon işlemi yapılarak üçgensel bulanık skorları hesaplanan her bir risk ile Tablo 4.8.'de belirtilmiş olan karar kriterlerinin bulanık önem ağırlıkları kullanılarak; her bir riske ait ağırlıklı normalize edilmiş bulanık önem ağırlıkları hesaplanmıştır.

Tablo 4.22., Tablo 4.23. ve Tablo 4.24.'de normalize edilmiş bulanık önem ağırlıkları hesaplanan her bir riske ait üçgensel bulanık sayı değeri (r_{ij}) ile her bir karar kriterine ait üçgensel bulanık önem ağırlığı (w_j); Denklem 3.13'de belirtilen şekilde çarpılarak i'nci riskin j'inci kriter altındaki ağırlıklı normalize edilmiş üçgensel bulanık önem ağırlığı (v_{ij}) hesaplanmıştır.

Örneğin; Tablo 4.22.'de gösterildiği üzere, $R1_{sevkiyat}$ risk kodu ile belirtilen riskin "Olasılık" kriteri altındaki normalize edilmiş üçgensel bulanık önem ağırlığı (r_{11}); (0,033 , 0,133 , 0,3) olarak bulunmuştur. Aynı şekilde Tablo 4.8.'de gösterildiği üzere, "Olasılık" karar kriterine ait üçgensel bulanık önem ağırlığı değeri (w_1); (0,233 , 0,311 , 0,416) olarak bulunmuştur. Bu değerler Denklem 3.13'de gösterildiği şekilde çarpıldığında, $R1_{sevkiyat}$ risk kodu ile belirtilen riskin "Olasılık" karar kriterine bağlı ağırlıklı normalize edilmiş üçgensel bulanık önem ağırlığı (v_{11});

$V_{11} = r_{11} * w_1$ = (0,033 , 0,133 , 0,3) * (0,233 , 0,311 , 0,416) = (0,008 , 0,041 , 0,125) şeklinde hesaplanmıştır.

Buna göre; türbin parçalarının inşaat alanına ulaştırılması ile ilgili sevkiyat sürecindeki riskler için hesaplanan ağırlıklı normalize edilmiş üçgensel bulanık önem ağırlıkları Tablo 4.25.'de, türbinlerin kurulum sürecindeki riskler için hesaplanan ağırlıklı normalize edilmiş üçgensel bulanık önem ağırlıkları Tablo 4.26.'da ve rüzgar türbinlerinin bakım süreçlerindeki riskler için hesaplanan ağırlıklı normalize edilmiş üçgensel bulanık önem ağırlıkları Tablo 4.27.'de gösterildiği şekilde hesaplanmıştır.

Tablo 4.25. Sevkiyat sürecindeki risklere ait ağırlıklı normalize edilmiş bulanık önem ağırlıkları tablosu

Risk Kodu	OLASILIK	ŞİDDET	FREKANS
	(0,233 , 0,311 , 0,416)	(0,419 , 0,502 , 0,570)	(0,171 , 0,189 , 0,233)
$R1_{sevkiyat}$	(0,008 , 0,041 , 0,125)	(0,265 , 0,418 , 0,551)	(0 , 0,006 , 0,040)
$R2_{sevkiyat}$	(0,031 , 0,093 , 0,208)	(0,265 , 0,418 , 0,551)	(0,041 , 0,085 , 0,153)
$R3_{sevkiyat}$	(0,070 , 0,156 , 0,291)	(0,265 , 0,418 , 0,551)	(0 , 0,013 , 0,056)
$R4_{sevkiyat}$	(0,179 , 0,290 , 0,416)	(0,349 , 0,485 , 0,570)	(0,053 , 0,098 , 0,169)
$R5_{sevkiyat}$	(0,054 , 0,135 , 0,263)	(0,265 , 0,418 , 0,551)	(0,024 , 0,059 , 0,120)
$R6_{sevkiyat}$	(0,179 , 0,290 , 0,416)	(0,238 , 0,368 , 0,494)	(0,041 , 0,085 , 0,153)
$R7_{sevkiyat}$	(0,132 , 0,228 , 0,361)	(0,321 , 0,468 , 0,570)	(0,112 , 0,163 , 0,233)

Tablo 4.26. Kurulum sürecindeki risklere ait ağırlıklı normalize edilmiş bulanık önem ağırlıkları tablosu

Risk Kodu	OLASILIK	ŞİDDET	FREKANS
	(0,233 , 0,311 , 0,416)	(0,419 , 0,502 , 0,570)	(0,171 , 0,189 , 0,233)
$R1_{kurulum}$	(0,120 , 0,225 , 0,373)	(0,265 , 0,385 , 0,513)	(0,074 , 0,120 , 0,186)
$R2_{kurulum}$	(0,153 , 0,268 , 0,416)	(0,349 , 0,485 , 0,570)	(0,034 , 0,069 , 0,132)
$R3_{kurulum}$	(0,153 , 0,258 , 0,387)	(0,126 , 0,251 , 0,399)	(0,086 , 0,132 , 0,202)
$R4_{kurulum}$	(0,072 , 0,161 , 0,301)	(0,084 , 0,184 , 0,323)	(0,017 , 0,044 , 0,101)
$R5_{kurulum}$	(0,153 , 0,268 , 0,416)	(0,321 , 0,468 , 0,570)	(0,051 , 0,095 , 0,163)
$R6_{kurulum}$	(0,032 , 0,096 , 0,215)	(0,321 , 0,468 , 0,570)	(0,040 , 0,082 , 0,147)
$R7_{kurulum}$	(0,137 , 0,247 , 0,401)	(0,321 , 0,452 , 0,551)	(0,040 , 0,082 , 0,147)
$R8_{kurulum}$	(0,137 , 0,247 , 0,416)	(0,293 , 0,452 , 0,570)	(0,051 , 0,095 , 0,163)
$R9_{kurulum}$	(0,088 , 0,182 , 0,330)	(0,126 , 0,251 , 0,399)	(0,131 , 0,176 , 0,233)
$R10_{kurulum}$	(0,008 , 0,053 , 0,158)	(0,098 , 0,217 , 0,361)	(0 , 0,006 , 0,039)
$R11_{kurulum}$	(0,032 , 0,096 , 0,215)	(0,265 , 0,418 , 0,551)	(0,006 , 0,032 , 0,086)
$R12_{kurulum}$	(0,008 , 0,053 , 0,158)	(0,321 , 0,468 , 0,570)	(0 , 0,013 , 0,054)
$R13_{kurulum}$	(0,008 , 0,043 , 0,129)	(0,293 , 0,435 , 0,551)	(0 , 0,013 , 0,054)
$R14_{kurulum}$	(0,056 , 0,139 , 0,272)	(0,349 , 0,485 , 0,570)	(0 , 0,057 , 0,117)
$R15_{kurulum}$	(0 , 0,021 , 0,1)	(0,321 , 0,435 , 0,570)	(0 , 0,006 , 0,039)
$R16_{kurulum}$	(0 , 0,021 , 0,1)	(0,265 , 0,418 , 0,551)	(0 , 0,013 , 0,054)
$R17_{kurulum}$	(0,072 , 0,161 , 0,301)	(0 , 0,05 , 0,171)	(0,108 , 0,157 , 0,225)
$R18_{kurulum}$	(0,016 , 0,075 , 0,186)	(0,181 , 0,318 , 0,475)	(0,011 , 0,044 , 0,101)

Tablo 4.26. Kurulum sürecindeki risklere ait ağırlıklı normalize edilmiş bulanık önem ağırlıkları tablosu (devamı)

Risk Kodu	OLASILIK	ŞİDDET	FREKANS
	(0,233 , 0,311 , 0,416)	(0,419 , 0,502 , 0,570)	(0,171 , 0,189 , 0,233)
$R19_{kurulum}$	(0,169 , 0,209 , 0,416)	(0,084 , 0,184 , 0,323)	(0 , 0,019 , 0,070)
$R20_{kurulum}$	(0,032 , 0,096 , 0,215)	(0,265 , 0,402 , 0,513)	(0,063 , 0,107 , 0,179)
$R21_{kurulum}$	(0,104 , 0,204 , 0,344)	(0,098 , 0,217 , 0,361)	(0,086 , 0,132 , 0,202)
$R22_{kurulum}$	(0,137 , 0,247 , 0,401)	(0,084 , 0,184 , 0,323)	(0,108 , 0,157 , 0,225)
$R23_{kurulum}$	(0,104 , 0,204 , 0,359)	(0,238 , 0,385 , 0,532)	(0,034 , 0,069 , 0,132)

Tablo 4.27. Bakım sürecindeki risklere ait ağırlıklı normalize edilmiş bulanık önem ağırlıkları tablosu

Risk Kodu	OLASILIK	ŞİDDET	FREKANS
	(0,233 , 0,311 , 0,416)	(0,419 , 0,502 , 0,570)	(0,171 , 0,189 , 0,233)
$R1_{bakım}$	(0,147 , 0,259 , 0,402)	(0,098 , 0,217 , 0,361)	(0,088 , 0,137 , 0,209)
$R2_{bakım}$	(0,132 , 0,239 , 0,388)	(0,210 , 0,351 , 0,494)	(0,112 , 0,150 , 0,217)
$R3_{bakım}$	(0,117 , 0,218 , 0,361)	(0,312 , 0,468 , 0,570)	(0,024 , 0,059 , 0,120)
$R4_{bakım}$	(0,054 , 0,135 , 0,263)	(0,084 , 0,184 , 0,323)	(0,024 , 0,059 , 0,120)
$R5_{bakım}$	(0 , 0,021 , 0,097)	(0,293 , 0,452 , 0,570)	(0,006 , 0,019 , 0,048)
$R6_{bakım}$	(0,117 , 0,218 , 0,361)	(0,349 , 0,485 , 0,570)	(0,053 , 0,098 , 0,169)
$R7_{bakım}$	(0,070 , 0,156 , 0,291)	(0,293 , 0,435 , 0,551)	(0,006 , 0,019 , 0,048)
$R8_{bakım}$	(0,147 , 0,239 , 0,374)	(0,238 , 0,385 , 0,532)	(0,065 , 0,111 , 0,201)
$R9_{bakım}$	(0,147 , 0,249 , 0,374)	(0,070 , 0,184 , 0,323)	(0,112 , 0,163 , 0,233)
$R10_{bakım}$	(0,179 , 0,290 , 0,416)	(0,265 , 0,418 , 0,551)	(0,053 , 0,098 , 0,169)
$R11_{bakım}$	(0,194 , 0,301 , 0,416)	(0,293 3 0,452 , 0,570)	(0,065 , 0,111 , 0,201)
$R12_{bakım}$	(0,179 , 0,280 , 0,402)	(0,126 , 0,251 , 0,933)	(0,1 , 0,143 , 0,209)
$R13_{bakım}$	(0,054 , 0,135 , 0,263)	(0,014 , 0,084 , 0,209)	(0,041 , 0,085 , 0,153)
$R14_{bakım}$	(0,047 , 0,114 , 0,236)	(0,056 , 0,151 , 0,285)	(0,053 , 0,098 , 0,169)
$R15_{bakım}$	(0,031 , 0,093 , 0,208)	(0,293 , 0,452 , 0,570)	(0 , 0,006 , 0,040)
$R16_{bakım}$	(0,101 , 0,197 , 0,347)	(0,070 , 0,184 , 0,323)	(0,088 , 0,137 , 0,209)
$R17_{bakım}$	(0,117 , 0,218 , 0,361)	(0,070 , 0,184 , 0,323)	(0,018 , 0,046 , 0,104)
$R18_{bakım}$	(0,047 , 0,114 , 0,236)	(0,056 , 0,151 , 0,285)	(0,012 , 0,046 , 0,104)
$R19_{bakım}$	(0,062 , 0,135 , 0,263)	(0,210 , 0,351 , 0,494)	(0,041 , 0,085 , 0,153)

Tablo 4.27. Bakım sürecindeki risklere ait ağırlıklı normalize edilmiş bulanık önem ağırlıkları tablosu (devamı)

Risk Kodu	OLASILIK	ŞİDDET	FREKANS
	(0,233 , 0,311 , 0,416)	(0,419 , 0,502 , 0,570)	(0,171 , 0,189 , 0,233)
$R20_{bakım}$	(0 , 0,010 , 0,069)	(0,154 , 0,285 , 0,475)	(0 , 0,019 , 0,072)
$R21_{bakım}$	(0,147 , 0,259 , 0,402)	(0,070 , 0,184 , 0,323)	(0,065 , 0,111 , 0,201)
$R22_{bakım}$	(0,054 , 0,135 , 0,263)	(0,056 , 0,151 , 0,323)	(0,035 , 0,072 , 0,137)
$R23_{bakım}$	(0 , 0,021 , 0,097)	(0,321 , 0,468 , 0,570)	(0 , 0,013 , 0,056)
$R24_{bakım}$	(0,054 , 0,135 , 0,263)	(0,056 , 0,151 , 0,285)	(0,006 , 0,026 , 0,072)
$R25_{bakım}$	(0,031 , 0,093 , 0,208)	(0,265 , 0,418 , 0,551)	(0,006 , 0,033 , 0,088)
$R26_{bakım}$	(0,117 , 0,218 , 0,361)	(0,238 , 0,385 , 0,532)	(0,018 , 0,046 , 0,104)
$R27_{bakım}$	(0,163 , 0,270 , 0,402)	(0,265 , 0,418 , 0,551)	(0,041 , 0,085 , 0,153)

4.7. BULANIK POZİTİF VE NEGATİF İDEAL ÇÖZÜMLERE OLAN UZAKLIKLARININ HESAPLANARAK YAKINLIK KATSAYILARININ BELİRLENMESİ

Bu çalışmada üç adet karar kriteri olduğundan Chen'in modeline göre Denklem 3.14'de ve Denklem 3.15'de gösterilen eşitlikler gereği, bulanık pozitif ideal çözüm (A^*) ve bulanık negatif ideal çözüm (A^-) ;

A^* = [(1 , 1 , 1) , (1 , 1 , 1) , (1 , 1 , 1)] ve A^- = [(0 , 0 , 0) , (0 , 0 , 0) , (0 , 0 , 0)] şeklinde kabul edilmiştir.

Her bir ana süreç altındaki risklerin, bulanık pozitif ideal çözüme ve bulanık negatif ideal çözüme olan uzaklıkları hesaplanırken öncelikle; risklerin karar kriterlerine göre hesaplanmış olan ağırlıklı normalize edilmiş bulanık önem ağırlıklarının (A_n) bulanık pozitif ve negatif ideal çözüme olan uzaklıkları, Vertex Yönteminin öngördüğü Denklem 2.5'de belirtilen formül yardımıyla hesaplanmıştır. Daha sonra Denklem 3.16'da ve Denklem 3.17'de belirtilen formüller kullanılarak her bir riskin tüm kriterlere göre bulanık pozitif ideal çözüme ve bulanık negatif ideal çözüme olan uzaklıkları toplanarak tüm risklerin bulanık pozitif ideal çözüme olan bulanıklıktan arındırılmış uzaklıkları (d_i^*) ve bulanık negatif ideal çözüme olan bulanıklıktan arındırılmış uzaklıkları (d_i^-) hesaplanmıştır.

Örneğin; $R1_{sevkiyat}$ risk kodu ile belirtilen riskin, olasılık kriterine göre A_1 = (0,008 , 0,041 , 0,125) olarak hesaplanan ağırlıklı normalize edilmiş bulanık önem ağırlığının bulanık pozitif ideal çözüme (A^*) olan uzaklığı ve bulanık negatif ideal çözüme (A^-) olan uzaklığı Denklem 2.5 kullanılarak;

$d(A_1,A^*) = [1/3 * ((0,008 – 1)^2 + (0,041 – 1)^2 + (0,125 – 1)^2)]^{1/2} = 0,943$
$d(A_1,A^-) = [1/3 * ((0,008 – 0)^2 + (0,041 – 0)^2 + (0,125 – 0)^2)]^{1/2} = 0,083$
şeklinde hesaplanmıştır.

Aynı şekilde $R1_{sevkiyat}$ risk kodu ile belirtilen riskin; şiddet ve frekans kriterlerine göre hesaplanan ağırlıklı normalize edilmiş bulanık önem ağırlıklarının, bulanık pozitif ideal çözüme (A^*) olan uzaklığı ve bulanık negatif ideal çözüme (A^-) olan uzaklıkları Denklem 2.5 kullanılarak;

$d(A_1,A^*) = 0,600$ ve $d(A_1,A^-) = 0,428$
$d(A_1,A^*) = 0,985$ ve $d(A_1,A^-) = 0,023$
şeklinde hesaplanmıştır.

Bu işlemin ardından Denklem 3.16'da ve Denklem 3.17'de gösterilen formüller kullanılarak $R1_{sevkiyat}$ risk kodu ile belirtilen riskin, bulanık pozitif ve negatif ideal çözümlere olan bulanıklıktan arındırılmış uzaklıkları (d_i^* ve d_i^-) aşağıdaki hesaplanmıştır:

$d_1^* = 0,943 + 0,600 + 0,985 = 2,528$
$d_1^- = 0,083 + 0,428 + 0,023 = 0,534$

Aynı hesaplamalar kullanılarak öncelikle; her bir ana süreç altındaki tüm risklerin; karar kriterlerine göre bulanık pozitif ve negatif ideal çözüme olan uzaklıkları hesaplanmış, sonrasında bu değerler toplanarak her bir riskin bulanık pozitif ve negatif ideal çözümlere olan bulanıklıktan arındırılmış uzaklıkları hesaplanarak Tablo 4.28., Tablo 4.29. ve Tablo 4.30.'da gösterilmiştir.

Tüm riskler için bulanık pozitif ve negatif ideal çözümlere olan uzaklıkların hesaplanmasının ardından; her bir riske ait yakınlık katsayıları, bulanık topsis metoduyla Denklem 3.18'de gösterilen formül kullanılarak hesaplanmıştır.

Örneğin; $R1_{sevkiyat}$ risk kodu ile ifade edilen riskin, d_1^* = 2,528 olarak hesaplanan bulanık pozitif ideal çözüme olan uzaklığı ve d_1^- = 0,534 olarak hesaplanan bulanık negatif ideal çözüme olan uzaklığı Denklem 3.18'deki formülde yerine konulduğunda $R1_{sevkiyat}$ risk kodu ile ifade edilen riskin yakınlık katsayısı;

$CC_1 = d_1^- / (d_1^- + d_1^*) = 0,534 / (0,534 + 2,528) = 0,174$
şeklinde hesaplanmıştır.

Aynı hesaplamalar yapılarak her bir ana süreç altındaki riskler; için yakınlık katsayıları hesaplanarak Tablo 4.28., Tablo 4.29. ve Tablo 4.30.'da gösterilmiştir.

Tablo 4.28. Sevkiyat sürecindeki risklerin bulanık pozitif ve negatif ideal çözümlere olan uzaklıkları

Risk Kodu	OLASILIK		ŞİDDET		FREKANS		BPİÇ 'e Uzaklık	BNİÇ'e Uzaklık	Yakınlık Katsayıları
	$d(A_i,A^*)$	$d(A_i,A^-)$	$d(A_i,A^*)$	$d(A_i,A^-)$	$d(A_i,A^*)$	$d(A_i,A^-)$	di*	di-	CCi
$R1_{sevkiyat}$	0,943	0,083	0,6	0,428	0,985	0,023	**2,528**	**0,534**	**0,174**
$R2_{sevkiyat}$	0,892	0,133	0,6	0,428	0,908	0,104	**2,4**	**0,665**	**0,217**
$R3_{sevkiyat}$	0,833	0,195	0,6	0,428	0,977	0,033	**2,41**	**0,656**	**0,214**
$R4_{sevkiyat}$	0,712	0,31	0,54	0,477	0,895	0,117	**2,147**	**0,904**	**0,296**
$R5_{sevkiyat}$	0,854	0,174	0,6	0,428	0,933	0,078	**2,387**	**0,68**	**0,222**
$R6_{sevkiyat}$	0,712	0,31	0,642	0,381	0,908	0,104	**2,262**	**0,795**	**0,26**
$R7_{sevkiyat}$	0,765	0,258	0,556	0,464	0,832	0,176	**2,153**	**0,898**	**0,294**

Tablo 4.29. Kurulum sürecindeki risklerin bulanık pozitif ve negatif ideal çözümlere olan uzaklıkları

Risk Kodu	OLASILIK		ŞİDDET		FREKANS		BPİÇ'e Uzaklık	BNİÇ'e Uzaklık	Yakınlık Katsayıları
	$d(A_i,A^*)$	$d(A_i,A^-)$	$d(A_i,A^*)$	$d(A_i,A^-)$	$d(A_i,A^*)$	$d(A_i,A^-)$	di*	di-	CCi
$R1_{kurulum}$	0,768	0,261	0,621	0,401	0,93	0,142	**2,318**	**0,804**	**0,257**

Tablo 4.29. Kurulum sürecindeki risklerin bulanık pozitif ve negatif ideal çözümlere olan uzaklıkları (devamı)

Risk Kodu	OLASILIK		ŞİDDET		FREKANS		BPİÇ'e Uzaklık	BNİÇ'e Uzaklık	Yakınlık Katsayıları
	$d(A_i,A^*)$	$d(A_i,A^-)$	$d(A_i,A^*)$	$d(A_i,A^-)$	$d(A_i,A^*)$	$d(A_i,A^-)$	di*	di-	CCi
$R2_{kurulum}$	0,729	0,299	0,54	0,477	0,923	0,153	**2,191**	**0,929**	**0,298**
$R3_{kurulum}$	0,74	0,283	0,75	0,282	0,861	0,256	**2,351**	**0,821**	**0,259**
$R4_{kurulum}$	0,827	0,201	0,809	0,22	0,947	0,111	**2,583**	**0,533**	**0,171**
$R5_{kurulum}$	0,729	0,299	0,556	0,464	0,898	0,195	**2,184**	**0,959**	**0,305**
$R6_{kurulum}$	0,889	0,137	0,556	0,464	0,911	0,173	**2,357**	**0,775**	**0,247**
$R7_{kurulum}$	0,746	0,283	0,567	0,451	0,911	0,173	**2,224**	**0,907**	**0,29**
$R8_{kurulum}$	0,742	0,29	0,573	0,453	0,898	0,195	**2,213**	**0,939**	**0,298**
$R9_{kurulum}$	0,806	0,223	0,75	0,282	0,821	0,32	**2,377**	**0,825**	**0,258**
$R10_{kurulum}$	0,929	0,096	0,782	0,25	0,985	0,039	**2,696**	**0,385**	**0,125**
$R11_{kurulum}$	0,889	0,137	0,6	0,428	0,959	0,092	**2,448**	**0,657**	**0,212**
$R12_{kurulum}$	0,929	0,096	0,556	0,464	0,978	0,056	**2,464**	**0,616**	**0,2**
$R13_{kurulum}$	0,941	0,079	0,583	0,439	0,978	0,056	**2,503**	**0,573**	**0,186**
$R14_{kurulum}$	0,849	0,179	0,54	0,477	0,943	0,13	**2,332**	**0,786**	**0,252**
$R15_{kurulum}$	0,961	0,059	0,567	0,454	0,985	0,039	**2,513**	**0,552**	**0,18**
$R16_{kurulum}$	0,961	0,059	0,6	0,428	0,978	0,056	**2,539**	**0,542**	**0,176**
$R17_{kurulum}$	0,827	0,201	0,929	0,103	0,838	0,295	**2,595**	**0,599**	**0,188**
$R18_{kurulum}$	0,91	0,116	0,686	0,346	0,949	0,111	**2,545**	**0,573**	**0,184**
$R19_{kurulum}$	0,743	0,286	0,809	0,22	0,971	0,073	**2,523**	**0,579**	**0,187**
$R20_{kurulum}$	0,889	0,137	0,615	0,406	0,885	0,218	**2,389**	**0,761**	**0,242**
$R21_{kurulum}$	0,789	0,239	0,782	0,25	0,861	0,256	**2,432**	**0,744**	**0,234**
$R22_{kurulum}$	0,746	0,283	0,809	0,22	0,838	0,295	**2,393**	**0,798**	**0,25**
$R23_{kurulum}$	0,785	0,246	0,627	0,403	0,923	0,153	**2,334**	**0,802**	**0,256**

Tablo 4.30. Bakım sürecindeki risklerin bulanık pozitif ve negatif ideal çözümlere olan uzaklıkları

Risk Kodu	OLASILIK		ŞİDDET		FREKANS		BPİÇ'e Uzaklık	BNİÇ'e Uzaklık	Yakınlık Katsayıları
	$d(A_i,A^*)$	$d(A_i,A^-)$	$d(A_i,A^*)$	$d(A_i,A^-)$	$d(A_i,A^*)$	$d(A_i,A^-)$	di*	di-	CCi
$R1_{bakım}$	0,738	0,289	0,782	0,25	0,857	0,153	**2,377**	**0,691**	**0,225**
$R2_{bakım}$	0,754	0,274	0,659	0,37	0,841	0,165	**2,254**	**0,81**	**0,264**
$R3_{bakım}$	0,774	0,253	0,56	0,462	0,933	0,078	**2,268**	**0,793**	**0,259**
$R4_{bakım}$	0,854	0,174	0,809	0,22	0,933	0,078	**2,596**	**0,472**	**0,154**
$R5_{bakım}$	0,962	0,057	0,573	0,453	0,982	0,028	**2,516**	**0,538**	**0,176**
$R6_{bakım}$	0,774	0,253	0,54	0,477	0,895	0,117	**2,209**	**0,846**	**0,277**

Tablo 4.30. Bakım sürecindeki risklerin bulanık pozitif ve negatif ideal çözümlere olan uzaklıkları

Risk Kodu	OLASILIK		ŞİDDET		FREKANS		BPİÇ'e Uzaklık	BNİÇ'e Uzaklık	Yakınlık Katsayıları
	$d(A_i,A^*)$	$d(A_i,A^-)$	$d(A_i,A^*)$	$d(A_i,A^-)$	$d(A_i,A^*)$	$d(A_i,A^-)$	di*	di-	CCi
$R7_{bakım}$	0,833	0,195	0,583	0,439	0,976	0,03	**2,392**	**0,664**	**0,217**
$R8_{bakım}$	0,752	0,27	0,627	0,403	0,876	0,138	**2,255**	**0,811**	**0,264**
$R9_{bakım}$	0,749	0,273	0,814	0,218	0,832	0,176	**2,396**	**0,668**	**0,218**
$R10_{bakım}$	0,712	0,31	0,6	0,428	0,895	0,117	**2,206**	**0,855**	**0,279**
$R11_{bakım}$	0,702	0,317	0,573	0,453	0,876	0,138	**2,151**	**0,907**	**0,297**
$R12_{bakım}$	0,719	0,301	0,666	0,563	0,851	0,157	**2,235**	**1,021**	**0,314**
$R13_{bakım}$	0,854	0,174	0,901	0,13	0,908	0,104	**2,663**	**0,408**	**0,133**
$R14_{bakım}$	0,871	0,154	0,841	0,189	0,895	0,117	**2,607**	**0,46**	**0,15**
$R15_{bakım}$	0,892	0,133	0,573	0,453	0,985	0,023	**2,45**	**0,609**	**0,199**
$R16_{bakım}$	0,792	0,238	0,814	0,218	0,857	0,153	**2,463**	**0,609**	**0,198**
$R17_{bakım}$	0,774	0,253	0,814	0,218	0,945	0,066	**2,533**	**0,538**	**0,175**
$R18_{bakım}$	0,871	0,154	0,841	0,189	0,947	0,066	**2,659**	**0,409**	**0,133**
$R19_{bakım}$	0,851	0,174	0,659	0,37	0,908	0,104	**2,418**	**0,648**	**0,212**
$R20_{bakım}$	0,974	0,04	0,708	0,332	0,97	0,043	**2,652**	**0,415**	**0,135**
$R21_{bakım}$	0,738	0,289	0,814	0,218	0,876	0,138	**2,429**	**0,645**	**0,21**
$R22_{bakım}$	0,854	0,174	0,831	0,208	0,92	0,092	**2,604**	**0,473**	**0,154**
$R23_{bakım}$	0,962	0,057	0,556	0,464	0,977	0,033	**2,495**	**0,555**	**0,182**
$R24_{bakım}$	0,854	0,174	0,841	0,189	0,966	0,044	**2,661**	**0,407**	**0,133**
$R25_{bakım}$	0,892	0,133	0,6	0,428	0,958	0,054	**2,451**	**0,615**	**0,201**
$R26_{bakım}$	0,774	0,253	0,627	0,403	0,945	0,066	**2,346**	**0,722**	**0,235**
$R27_{bakım}$	0,728	0,295	0,6	0,428	0,908	0,104	**2,237**	**0,826**	**0,27**

4.8. YAKINLIK KATSAYILARINA GÖRE RİSKLERİN ÖNEM SIRALAMASININ BELİRLENMESİ

Her bir ana süreç altındaki tüm risklerin yakınlık katsayılarının hesaplanmasının ardından, bu tez çalışması kapsamında uygulanan bulanık mantık temelli risk değerlendirmesinin son adımında yakınlık katsayıları büyükten küçüğe doğru sıralanarak en riskli faaliyetten en az riskli faaliyete kadar tüm riskler önem derecesine göre sıralanmıştır

.

4.8.1. Türbin Parçalarının İnşaat Sahasına Ulaştırılmasıyla İlgili İSG Risklerinin Yakınlık Katsayılarına Göre Sıralanması

Rüzgar türbini parçalarının inşaat sahasına ulaştırılması ile ilgili olarak sevkiyat sürecindeki iş kazasına ve meslek hastalığına sebep olabilecek risklerin, yakınlık katsayılarına göre sıralaması Tablo 4.31.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.31. Sevkiyat sürecindeki risklerin yakınlık katsayılarına göre sıralaması

Önem Sıralaması	1	2	3	4	5	6	7
Risk Kodu	$R4_{sevkiyat}$	$R7_{sevkiyat}$	$R6_{sevkiyat}$	$R5_{sevkiyat}$	$R2_{sevkiyat}$	$R3_{sevkiyat}$	$R1_{sevkiyat}$
Yakınlık Katsayısı	0,296	0,294	0,26	0,222	0,217	0,214	0,174

Tablo 4.31.'de gösterilen değerler göz önüne alındığında olasılık, şiddet ve frekans karar kriterlerine göre yapılan değerlendirmeler neticesinde; sevkiyat süreci içerisinde tespit edilen 7 adet riskin, yakınlık katsayılarına göre en riskli olandan en az riskli olana doğru sıralamasının; $R4_{sevkiyat}$, $R7_{sevkiyat}$, $R6_{sevkiyat}$, $R5_{sevkiyat}$, $R2_{sevkiyat}$, $R3_{sevkiyat}$, $R1_{sevkiyat}$ şeklinde olduğu görülmektedir.

Bir başka ifadeyle; sevkiyat süreci içerisindeki iş kazası veya meslek hastalığına sebep olabilecek en riskli faaliyet, $R4_{sevkiyat}$ risk kodu ile belirtilen "trafikteki diğer araçlar ile çarpışma" riskidir. Ardından; $R7_{sevkiyat}$ risk kodu ile ifade edilen "sürücü kaynaklı trafik kazası" riski, en riskli ikinci faaliyet olarak tespit edilmiştir. Bununla birlikte; $R1_{sevkiyat}$ risk kodu ile belirtilen "yük taşıyan aracın devrilmesi" riski, sevkiyat süreci içerisindeki en az riskli faaliyet olarak tespit edilmiştir.

4.8.2. Türbin Parçalarının Kurulum Aşamasıyla İlgili İSG Risklerinin Yakınlık Katsayılarına Göre Sıralanması

Rüzgar türbini parçalarının kurulum aşaması ile ilgili olarak; kurulum süreci içerisindeki iş kazasına ve meslek hastalığına sebep olabilecek risklerin, yakınlık katsayılarına göre sıralaması Tablo 4.32.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.32. Kurulum sürecindeki risklerin yakınlık katsayılarına göre sıralanması

Önem Sıralaması	Risk Kodu	Yakınlık Katsayısı
1	$R5_{kurulum}$	0,305
2	$R8_{kurulum}$	0,298
3	$R2_{kurulum}$	0,298
4	$R7_{kurulum}$	0,290
5	$R3_{kurulum}$	0,259
6	$R9_{kurulum}$	0,258
7	$R1_{kurulum}$	0,257
8	$R23_{kurulum}$	0,256
9	$R14_{kurulum}$	0,252
10	$R22_{kurulum}$	0,250
11	$R6_{kurulum}$	0,247
12	$R20_{kurulum}$	0,242
13	$R21_{kurulum}$	0,234
14	$R11_{kurulum}$	0,212
15	$R12_{kurulum}$	0,200
16	$R17_{kurulum}$	0,188
17	$R19_{kurulum}$	0,187
18	$R13_{kurulum}$	0,186
19	$R18_{kurulum}$	0,184
20	$R15_{kurulum}$	0,180
21	$R16_{kurulum}$	0,176
22	$R4_{kurulum}$	0,171
23	$R10_{kurulum}$	0,125

Tablo 4.32.'de gösterilen değerler göz önüne alındığında; olasılık, şiddet ve frekans karar kriterlerine göre yapılan değerlendirmeler neticesinde, kurulum süreci içerisinde tespit edilen 23 adet riskin yakınlık katsayılarına göre en riskli olandan en az riskli olana doğru sıralamasının; $R5_{kurulum}$, $R8_{kurulum}$, … , $R4_{kurulum}$, $R10_{kurulum}$ şeklinde olduğu görülmektedir.

Bir başka ifadeyle; kurulum süreci içerisindeki iş kazası veya meslek hastalığına sebep olabilecek en riskli faaliyet, $R5_{kurulum}$ risk kodu ile belirtilen "Kaldırma İşlemleri Sırasında Hareket Eden Parçaların Çarpması" riskidir. Ardından; $R8_{kurulum}$ risk kodu ile ifade edilen "Dar ve Kapalı Alanlarda Çalışma" riski, en riskli ikinci faaliyet olarak tespit edilmiştir. Kurulum aşamasındaki en riskli üçüncü faaliyet ise; $R2_{kurulum}$ risk kodu ile belirtilen "Yüksekten Düşme" riski olarak belirlenmiştir.

Bununla birlikte, Tablo 4.32.'de gösterilen değerlere göre kurulum aşaması sırasındaki en az riskli üç faaliyet sırasıyla; $R10_{kurulum}$ risk kodu ile belirtilen "Kule İçi Merdiveninden Düşme" riski, $R4_{kurulum}$ risk kodu ile belirtilen "Elle Taşıma İşleri" riski ve $R16_{kurulum}$ risk kodu ile belirtilen "Vincin Devrilmesi" riski olarak tespit verilmiştir.

4.8.3. Türbinlerin Bakım Aşamasıyla İlgili İSG Risklerinin Yakınlık Katsayılarına Göre Sıralanması

Rüzgar türbini parçalarının kurulum aşaması ile ilgili olarak; kurulum süreci içerisindeki iş kazasına ve meslek hastalığına sebep olabilecek risklerin, yakınlık katsayılarına göre sıralaması Tablo 4.33.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.33. Bakım sürecindeki risklerin yakınlık katsayılarına göre sıralanması

Önem Sıralaması	Risk Kodu	Yakınlık Katsayısı
1	$R12_{bakım}$	0,314
2	$R11_{bakım}$	0,297
3	$R10_{bakım}$	0,279
4	$R6_{bakım}$	0,277
5	$R27_{bakım}$	0,270
6	$R8_{bakım}$	0,264
7	$R2_{bakım}$	0,264
8	$R3_{bakım}$	0,259
9	$R26_{bakım}$	0,235
10	$R1_{bakım}$	0,225
11	$R9_{bakım}$	0,218
12	$R7_{bakım}$	0,217
13	$R19_{bakım}$	0,212
14	$R21_{bakım}$	0,210
15	$R25_{bakım}$	0,201
16	$R15_{bakım}$	0,199
17	$R16_{bakım}$	0,198
18	$R23_{bakım}$	0,182
19	$R5_{bakım}$	0,176
20	$R17_{bakım}$	0,175
21	$R22_{bakım}$	0,154

Tablo 4.33. Bakım sürecindeki risklerin yakınlık katsayılarına göre sıralanması (devamı)

Önem Sıralaması	Risk Kodu	Yakınlık Katsayısı
22	$R4_{bakım}$	0,154
23	$R14_{bakım}$	0,150
24	$R20_{bakım}$	0,135
25	$R18_{bakım}$	0,133
26	$R13_{bakım}$	0,133
27	$R24_{bakım}$	0,133

Tablo 4.33.'de gösterilen değerler göz önüne alındığında; olasılık, şiddet ve frekans karar kriterlerine göre yapılan değerlendirmeler neticesinde, bakım süreci içerisinde tespit edilen 27 adet riskin yakınlık katsayılarına göre en riskli olandan en az riskli olana doğru sıralamasının; $R12_{bakım}$, $R11_{bakım}$, … , $R13_{bakım}$, $R24_{bakım}$ şeklinde olduğu görülmektedir.

Bir başka ifadeyle, bakım süreci içerisindeki iş kazası veya meslek hastalığına sebep olabilecek en riskli faaliyet; $R12_{bakım}$ risk kodu ile belirtilen "Dikkatsiz Davranışlar" riskidir. Ardından; $R11_{bakım}$ risk kodu ile ifade edilen "Acil Durumlardaki Tahliye Zorluğu" riski, en riskli ikinci faaliyet olarak tespit edilmiştir. Bakım aşamasındaki en riskli üçüncü faaliyet ise; $R10_{bakım}$ risk kodu ile belirtilen "Buzlanma" riski olarak belirlenmiştir.

Bununla birlikte, Tablo 4.33.'de gösterilen değerlere göre bakım aşaması sırasındaki en az riskli üç faaliyet sırasıyla; $R24_{bakım}$ risk kodu ile belirtilen "Yetersiz Aydınlatma" riski, $R13_{bakım}$ risk kodu ile belirtilen "Takılma ve Kayma Sonucu Düşme" riski ve $R18_{bakım}$ risk kodu ile belirtilen "Haberleşme Eksikliği" riski olarak tespit verilmiştir.

5. TARTIŞMA

Özfırat [38] tarafından bulanık önceliklendirme metodu ile hata türü ve etkileri analizini birleştiren bulanık mantık temelli risk değerlendirmesi yaklaşımı madencilik sektöründe risklerin tespit edilmesi ve değerlendirilmesinde kullanılmış ve uygulamanın sonuçları ve kullanılan bulanık mantık temelli tekniğin sonuçları değerlendirilmiştir. Bu çalışmada, risk değerlendirmesi metotlarından biri olan hata türleri ve etkileri analizi (FMEA) yöntemine bulanık mantık entegre edilerek FMEA uygulaması ile elde edilen sonuçların daha objektif olması sağlanmıştır. Yapılan çalışmada FMEA'da kullanılan olasılık, şiddet ve frekans kriterleri bulanık analitik hiyerarşi süreci yöntemlerinden biri olan bulanık önceliklendirme metodu ile ele alınmış ve tespit edilen riskler bu üç kritere göre değerlendirilerek önem ağırlıkları elde edilmiştir. Bu ağırlıklar FMEA'da tanımlı olan değerlere çevrilmiş ve her bir riskin risk öncelik değerleri belirlenerek risklerin öncelik sıralaması belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında uygulanan metotdun literatürde 7'de fazla kriterin değerlendirilmesinde sağlıklı sonuç vermeyeceği belirtilse de, yapılan çalışmada ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulurken uzmanlar tarafından yapılan değerlendirmeler arasında birbiriyle çelişen durumlara yer verilmeyerek matristeki ilgili bölümler boş bırakılmak suretiyle bu engelin önüne geçilmeye çalışılmıştır.

Yapılan bu tez çalışmasında da benzer şekilde, risk değerlendirmesi yaklaşımına bulanık mantık ilkeleri entegre edilerek daha objektif ve matematiksel hesaplamalara dayalı yeni bir risk değerlendirmesi metodu geliştirilmiştir. Ancak yukarıda belirtilen çalışmadan farklı olarak bu çalışmada mevcut bir risk değerlendirmesi metoduna bulanık mantık entegrasyonu yapmak yerine, tamamen bulanık mantık ilkelerine dayanan yeni bir risk değerlendirmesi yaklaşımı geliştirilmiştir. Bununla birlikte her iki çalışmada da risklerin değerlendirilmesinde karar kriteri olarak olasılık, şiddet ve frekans kriterleri kullanılmıştır. Ancak bu çalışmada yukarıda anlatılan çalışmadan farklı olarak sadece risklerin değil, karar kriterlerinin de önem ağırlıkları belirlenmiştir. Bulanık analitik hiyerarşi süreci yöntemi kullanılarak uzmanlar tarafından yapılan değerlendirmeler neticesinde oluşturulan ikili karşılaştırma matrislerine göre karar kriterlerinin önem ağılıkları belirlenmiş ve sonrasında risklerin önem ağırlıkları karar kriterlerinin önem ağılıklarına göre ağırlıklandırılarak risklerin önem düzeylerine göre sıralaması yapılmıştır.

Ayrıca, Özfırat [38] tarafından yapılan çalışmada uygulanan metotdun literatürde 7'de fazla kriterin değerlendirilmesinde sağlıklı sonuç vermeyeceği belirtilse de, uzmanların değerlendirmelerine göre hazırlanan ikili karşılaştırma matrislerinde birbiriyle çelişen durumlara yer verilmemiş ve matristeki ilgili bölümler boş bırakılmak suretiyle bu engelin önüne geçilmeye çalışılmıştır.

Bu çalışmada ise bulanık analitik hiyerarşi süreci yönteminin algoritması gereği oluşturulan ikili karşılaştırma matrisleri sadece üç adet karar kriterinin önem ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılmış olup tespit edilen 57 adet riskin değerlendirilmesinde ise farklı bir metot olan bulanık topsis metodu kullanılarak daha objektif bir çözüm elde edilmiştir.

Dağdeviren ve Yüksel [28] tarafından üretim sektöründeki bir işletmede iş kazasına sebep olabilecek önemli bir risk olan dikkatsiz ve hatalı davranışların risk düzeyinin belirlenmesinde bulanık analitik hiyerarşi süreci modeli kullanılmış ve uygulamanın sonuçları değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmada kullanılan bulanık analitik hiyerarşi metodunun algoritması gereği, dikkatsiz davranışlara sebep olabilecek 4 ana faktör ve bunların alt faktörleri belirlenmiştir. Daha sonra dilsel değişkenler yardımıyla ana faktörler ve alt faktörler için ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmuş ve lokal ve global ağırlıklar hesaplanarak dikkatsiz davranışlara sebep olan en önemli ana faktör ve alt faktör belirlenmiştir. Bu çalışmada uygulanan risk değerlendirmesi metoduna bulanık mantık entegre edilerek uzmanların kesin sayılarla değerlendirme yapması yerine dilsel değişkenlerle değerlendirme yapmaları sağlanmış ve bu değerlendirmeler kesin sayılar yerine alt sınır ve üst sınır değeri olan bulanık sayılara dönüştürülerek risk düzeyi hesaplanmıştır. Böylece risk değerlendirmesi metotlarının en önemli dezavantajlarından biri subjektifliğin önüne geçilmiştir.

Ayrıca bu çalışma, üretim sektöründeki iş kazalarının ortalama %85'inin insan davranışlarından kaynaklandığı belirtilmiştir. Çalışma sonucunda üretim sektöründe hatalı insan davranışları sebebiyle iş kazasına sebep olan en önemli ana faktörün organizasyonel faktörler olduğu; iş rotasyonu, çalışma süresi ve işi zamanında bitirme baskısının en önemli dikkatsiz davranışlara sebep olan en önemli alt faktörler olduğu belirlenmiştir.

Bu tez çalışmasında ise Dağdeviren ve Yüksel [28] tarafından yapılan çalışmaya benzer olarak karar kriterlerinin belirlenmesinde bulanık analitik hiyerarşi süreci kullanılmış ve karar kriterleri bu yöntemle ağırlıklandırılmıştır. Ancak bulanık analitik hiyerarşi süreci genellikle 7 den fazla kriteri değerlendirmede sağlıklı sonuç vermediğinden yukarıdaki çalışmadan farklı olarak bu tez çalışmasında risklerin değerlendirilmesinde bulanık topsis metodu kullanılarak sağlıklı bir değerlendirme yapılmıştır. Bununla birlikte bu tez çalışması kapsamında, rüzgar türbinlerinin bakım sürecinde yapılan faaliyetlerde iş kazasına sebep olabilecek riskler arasında en fazla ağırlığa sahip riskin dikkatsiz davranışlar olduğu tespit edilmiş ve bu sonucunun Dağdeviren ve Yüksel [28] tarafından yapılan çalışma ile paralellik taşıdığı görülmüştür.

Albrechtsen [19] tarafından açık deniz üzerinde kurulan rüzgar türbinlerinin kurulum ve bakım süreçlerinde iş kazasına sebep olan ve olabilecek olası riskler değerlendirilmiş ve bu risklerin ortadan kaldırılmasına yönelik bazı çözüm önerileri getirilmiştir. Yapılan çalışmada rüzgar türbinlerinin kurulum ve bakım süreçlerinde iş kazasına sebep olabilecek en önemli risklerin; kaldırma işlemleri sırasına hareket eden parçaların çarpması veya düşmesi, yüksekte çalışma ve acil durumlardaki müdahale zorluğu olduğu belirtilmiştir. Ayrıca çalışmanın sonucunda bu risklerin elemine edilebilmesi için; çalışanların yeterli şekilde eğitilmesi, risk değerlendirmesi yapılması, yapılacak işlere göre iş prosedürlerinin oluşturulması gibi çözüm önerileri sunulmuştur.

Her ne kadar açık deniz üzerindeki rüzgar türbinleri ile kara üzerindeki rüzgar türbinlerinin kurulum ve bakım süreçlerindeki iş sağlığı ve güvenliği riskleri, yapılan bazı spesifik operasyonlardan dolayı farklılık gösterse de genel itibariyle paralellik göstermektedir. Bu çalışmada elde edilen verilere göre rüzgar türbinlerinin kurulum ve bakım süreçlerinde en fazla önem ağırlığına sahip olan risklere bakıldığında; kaldırma işlemleri sırasında hareket eden parçaların çarpması, yüksekten düşme ve acil durumlardaki tahliye zorluğu en önemli riskler arasında olduğu görülmekte ve bu bakımdan her iki çalışmada çıkan sonuçların birbiriyle uyumlu olduğu ortaya konulmuştur.

EUOSHA tarafından hazırlanan rüzgar enerjisi sektöründe iş sağlığı ve güvenliği raporunda [15-17]; rüzgar türbinlerinin üretimi ile başlayan ve ömrünü tamamlamasının ardından söküm işlemlerine kadar tüm yaşam döngüsü boyunca geçen süreç ele alınmış ve bu süreçler

içerisinde iş kazasına veya meslek hastalığına sebep olabilecek riskler incelenmiştir. Yapılan çalışmaya göre, türbin parçalarının taşınması esnasında ki kazaların %50'sinin insan davranışlarından kaynaklanan kazalar olduğu belirtilmiştir. Hazırlanan rapora göre; kaldırma işlemleri sırasında yükün düşmesi veya zeminin ağırlığa dayanamaması sebebiyle vincin dengesinin bozulması, yüksekte çalışma, dar ve kapalı alanlarda çalışma ve elektrik işleri rüzgar türbinlerinin kurulumu aşamasında en çok dikkat edilmesi gereken riskler olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde türbinlerin bakım işlemleri sırasında yapılan faaliyetler incelendiğinde; hava şartları, buzlanma, yüksekte çalışma, dar ve kapalı alanlarda çalışma ve elektrik çarpması en fazla iş kazasına sebep olan riskler olarak ifade edilmiştir.

Yapılan bu tez çalışmasında elde edilen verilere göre; türbin parçalarının sevkiyatı, türbin kurulumu ve bakım aşamalarında tespit edilen riskler ile EUOSHA tarafından hazırlanan raporun [15-17] benzerlik gösterdiği görülmüştür. Bu çalışmada; uzmanlar tarafından yapılan dilsel değerlendirmelere göre yapılan hesaplamalar sonucunda sevkiyat sürecindeki en önemli risklerin trafikteki diğer araçlarla çarpışma ve sürücü kaynaklı kaza riskleri olarak belirlenmiş olup yukarıda belirtilen çalışma ile paralellik göstermektedir. Bununla birlikte kurulum ve bakım aşamaları için yapılan değerlendirmeler neticesinde elde edilen verilere göre kurulum süreci için en önemli risklerin; kaldırma işlemleri sırasında parça düşmesi veya çarpması, dar ve kapalı alanlarda çalışma, yüksekten düşme, elektrik çarpması olduğu tespit edilmiş olup bu sonucunda hazırlanan rapor ile birebir uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Bakım sürecindeki risklere bakıldığında ise; hazırlanan rapordan farklı olarak dikkatsiz davranışlar ve acil durumlardaki tahliye zorluğu en önemli riskler olarak belirlenmiştir.

Tez çalışması kapsamında ziyaret edilen işyerlerinde yapılan risk değerlendirmelerinin sonuçlarına bakıldığında acil durumlarda tahliye zorluğu, yüksekte çalışma, yangın, elektrik çarpması, dar ve kapalı alanlarda yapılan çalışmalar, kurulum sırasında parça çarpması veya düşmesi, olumsuz arazi ve hava şartlarında çalışma en fazla öneme sahip riskler olarak belirlenmiş olup bu tez çalışmasında elde edilen sonuçlarla uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Literatürdeki risk değerlendirmesi metotlarından farklı olarak bu tez çalışmasında, bulanık mantık temelli bir risk değerlendirmesi yaklaşımı geliştirilerek rüzgar türbinlerinin kurulum ve bakım aşamalarındaki riskler değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada, sahada yapılan gözlemler ve literatürden elde edilen bilgiler ışığında tespit edilen riskler; olasılık, şiddet ve frekans kriterlerine göre değerlendirilmiştir. Ancak; risk değerlendirmesi metotlarında risk düzeylerinin belirlenmesinde kullanılan karar kriterlerinin kesin sayılarla değerlendirilmesi yerine bu risk değerlendirmesi yaklaşımında bulanık sayılar kullanılmıştır. Böylece literatürdeki risk değerlendirmesi metotlarının en önemli dezavantajlarından biri olan subjektiflik ortadan kaldırılmıştır.

Çalışmada kullanılan risk değerlendirmesi yönteminin algoritması gereği, üç adet uzmandan oluşan karar verici jürisi oluşturulmuştur. Literatürden elde edilen bilgiler ve uzmanların görüşü ile tespit edilen risklerin değerlendirilmesinde; olasılık, şiddet ve frekans olmak üzere üç adet karar kriteri kullanılmıştır. Belirlenen karar kriterleri; uzmanlardan oluşan jüri tarafından "çok güçlü", "güçlü", "oldukça zayıf" gibi dilsel değişkenler yardımıyla değerlendirilmiştir. Dilsel ifadelerle yapılan bu değerlendirmeler üçgensel bulanık sayılara dönüştürülmüş ve bulanık analitik hiyerarşi süreci yönteminin algoritması uyarınca gerekli işlemler yapılarak her bir karar kriterinin, tespit edilen risklerin düzeyini belirlemede ne kadar öneme sahip olduğu matematiksel olarak hesaplanmıştır. Böylece literatürdeki risk değerlendirmesi metotlarına göre tespit edilen riskler daha hassas değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçların güvenilirliği arttırılmıştır.

Karar kriterlerinin önem ağırlıklarının belirlenmesi ile ilgili yapılan işlemler neticesinde; bir riskin oluşması durumunda ortaya çıkan hasarı ifade eden "şiddet" kriteri, ağırlığı en fazla olan diğer bir ifadeyle en önemli karar kriteri olarak tespit edilmiştir. "Şiddet" kriterinin ardından "olasılık" ve "frekans" kriterleri önem derecelerine göre ikini ve üçüncü olarak belirlenmiştir.

Karar kriterlerinin önem ağırlıklarının tespit edilmesinin ardından, rüzgar türbinlerinin kurulum ve bakım süreçlerinde; türbin parçalarının inşaat sahasına ulaştırılması ile ilgili sevkiyat sürecinde 7 adet, türbin elemanlarının kurulum sürecinde 23 adet ve bakım sürecinde 27 adet olmak üzere iş kazası ve meslek hastalığına sebep olabilecek toplam 57 adet risk tespit edilmiştir.

Çalışmada kullanılan bulanık risk değerlendirmesi yönteminin algoritması uyarınca; sahada yapılan çalışmalar neticesinde her bir ana süreç altında tespit edilen riskler, uzmanlardan oluşan jüri tarafından "çok yüksek", "yüksek", "zayıf" gibi dilsel değişkenler yardımıyla değerlendirilmiştir. Dilsel ifadelerle yapılan bu değerlendirmeler üçgensel bulanık sayılara dönüştürülmüş ve sonrasında bulanık topsis yöntemi ile gerekli işlemler yapılarak her bir riskin yakınlık katsayıları hesaplanmıştır. Daha sonra elde edilen sonuçlara göre her bir risk yakınlık katsayılarına göre büyükten küçüğe sıralanmış ve sıralama neticesinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Risklerin süreçlere göre dağılımına bakıldığında; en fazla riskin 27 adet ile türbinlerin bakım sürecinde yapılan faaliyetlerden kaynaklandığı, en az riskin ise 7 adet risk ile türbin parçalarının inşaat sahasına nakliye edilmesini kapsayan sevkiyat sürecinde olduğu tespit edilmiştir.
- Sevkiyat süreci içerisinde tespit edilen risklerin yakınlık katsayılarına göre sıralamasına bakıldığında; en önemli riskin sevkiyat sırasında trafikteki diğer araçlarla çarpışma riski olduğu tespit edilmiştir.
- Trafik kurallarına uyulmaması, dikkatsizlik ya da türbin üreticisi tarafından belirlenen yük taşıma prosedürlerine uyulmaması gibi sebeplerle oluşan sürücü kaynaklı trafik kazası riski; sevkiyat süreci içerisindeki en önemli ikinci risk olarak tespit edilmiştir.
- Sevkiyatın zamanında yapılması konusundaki iş baskısı olması ya da sevkiyat sırasında ikinci bir sürücü görevlendirilmemesi durumunda uzun süreli araç kullanımı sebebiyle yaşanabilecek trafik kazası riski; sevkiyat sürecindeki en önemli üçüncü risk olarak tespit edilmiştir.
- Sevkiyat sürecinde tespit edilen risklerin yakınlık katsayılarına göre sıralamasına bakıldığında, en az öneme sahip riskin yük taşıması sırasında taşınan yükün kayması neticesinde aracın dengesinin bozulması sonucunda oluşan devrilme riski olduğu tespit edilmiştir.

- Türbin parçalarının kurulumu sırasında gerçekleştirilen faaliyetlere bakıldığında; en önemli riskin, kaldırma işlemleri sırasında hareket eden parçaların çalışanlara çarpması riski olduğu tespit edilmiştir.
- Kule, makine bölümü ve kanatların montajı sırasında dar ve kapalı alanlarda yapılan çalışmalar, kurulum sürecindeki en riskli ikinci faaliyet olarak göze çarpmaktadır.
- Kurulum sürecinde tespit edilen risklerin yakınlık katsayılarına bakıldığında, yüksekte çalışma riskinin dar ve kapalı alanlarda çalışma riski ile eşit derecede öneme sahip olduğu tespit edilmiştir.
- Türbin parçalarının kurulumu sırasında iş kazasına sebep olabilecek bir başka risk olan elektrik çarpması en önemli dördüncü risk olarak tespit edilmiştir.
- Kurulum sürecindeki en az öneme sahip olan üç riske bakıldığında; dikey yaşam hattının olmaması veya çalışanın dikey yaşam hattına yaptığı bağlantının kopması sonucu kule içi merdiveninden düşme riski, en az öneme sahip risk olarak tespit edilmiştir. Kurulum sırasında azami yükün üzerinden ağılıkların elle taşınması ile ilgili elle taşıma işleri riski, en az öneme sahip ikinci risk olarak tespit edilirken; türbin parçalarının kaldırılması sırasında vincin devrilmesi riski en az öneme sahip üçüncü risk olarak tespit edilmiştir.
- Türbinlerde yapılan bakım faaliyetlerindeki riskler göz önüne alındığında; çalışanların iş yükünden kaynaklı yorgunluğu ya da diğer etkenler sebebiyle ortaya çıkan dikkatsiz davranışlar sebebiyle kaza oluşma riski en fazla öneme sahip risk olarak tespit edilmiştir.
- Bakım faaliyetleri sırasında özellikle kule üzerinde yapılan çalışmalarda; yıldırım çarpması, yangın ya da başka bir acil durum anında çalışanların kuleden tahliye edilememesi veya zamanında müdahale edilememesi riski en fazla öneme sahip ikinci risk olarak tespit edilmiştir.
- Özellikle kış aylarında yapılan bakım faaliyetlerinde ortaya çıkan buzlanma riski en fazla öneme sahip üçüncü risk olarak tespit edilmiştir.

Her bir ana süreç altında tespit edilen risklerden en fazla öneme sahip 5 risk için sahada yapılan gözlemler, türbin üreticileri tarafından oluşturulmuş güvenlik talimatları ve literatürden elde edilen bilgiler ışığında bazı çözüm önerileri geliştirilmiştir. Örneğin; kurulum sürecindeki en önemli ikinci risk olarak tespit edilen "Yüksekten Düşme" riskini en az indirmek için geliştirilen çözüm önerileri aşağıda belirtilmiştir:

- Tüm personel yüksekte çalışma konusunda eğitimli olmalı ve düşmeye karşı doğru koruyucu donanımı kullanmalıdır.
- 1,8 m'den daha yüksekte yapılan faaliyetler için KKD ve düşmeye karşı koruyucu ekipman bulundurulmalıdır.
- KKD'ler kullanılmaya başlanmadan önce her gün çalışan tarafından görsel denetime tabi tutulmalı ve işveren tarafından yıllık olarak denetlenmelidir.
- Personel, tüm tırmanma ve çalışma faaliyetleri sırasında düşmeye karşı koruyucu ekipmanlarıyla bağlı olmalıdır.
- Yalnızca yetkili ve eğitimli personelin kule üzerinde çalışma yapma izni olmalıdır.
- Düşmeye karşı koruyucu kişisel ekipman; prosedürlere uygun olarak belirlenen bağlama noktasına bağlanmalıdır.
- 15 m/s 'den hızlı esen rüzgarlarda kule üzerinde kesinlikle çalışma yapılmamalıdır.
- Yapılacak işe göre çalışılabilecek azami rüzgar hızları belirlenmelidir.
- Yapılacak işe göre iş prosedürleri hazırlanmalı ve bunlara uyulmalıdır.
- Olumsuz hava koşullarında mümkün olduğunca kule üzerinde çalışma yapılmamalıdır.
- Çalışma sırasında çevre emniyeti sağlanmalıdır.
- Dikey yaşam hattı bağlantıları kontrol edilmelidir.

Tespit edilen diğer riskler için geliştirilen çözüm önerileri Ek-1'de verilen tabloda gösterilmiştir.

Sonuç olarak bu çalışma ile; literatürdeki iş sağlığı ve güvenliği alanında yapılan risk değerlendirmesi çalışmalarında daha önce uygulanmamış olan bulanık mantık temelli yeni bir risk değerlendirmesi yaklaşımı geliştirilmiş ve bu yöntemin uygulanabilirliği rüzgar enerjisi sektöründe test edilmiştir.

İleride yapılacak bir başka çalışmada bulanık mantık temelli bu risk değerlendirmesi yaklaşımı ile mevcut risk değerlendirmesi yaklaşımlarının sonuçları karşılaştırılarak; bulanık mantık temelli yöntemin bu metotlara göre daha objektif sonuçlar verip vermediği test edilebilir.

KAYNAKLAR

1. İlkılıç, C., Türkiye'de rüzgar enerjisi potansiyeli ve kullanımı, *Mühendis ve Makine Dergisi*, Sayı: 593, Sayfa: 26-32, 2009.
2. Deniz, E., Rüzgâr Enerjisinin Endüstriyel Hikayesi, *Rüzgar Enerjisi Dergisi*, Sayı: 04, Sayfa: 55-59, 2015.
3. Koç, E. ve Şenel, M.C., Yatay Eksenli Rüzgar Türbinlerinde Yer Seçim Esasları-Enerji Üretim Maliyeti, *Rüzgar Enerjisi Dergisi*, Sayı: 04, Sayfa: 35-40, 2015.
4. Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Türkiye Rüzgar Enerjisi Atlası, http://www.mgm.gov.tr/FILES/haberler/2010/rets-seminer/2 _Mustafa_ CALISKAN_ RITM.pdf, (Erişim Tarihi: 13/03/2015).
5. Koç, E. ve Şenel, M.C., Türkiye'de ve Dünya'da Enerji Durumu-Genel Değerlendirme, *Mühendis ve Makine Dergisi*, Sayı: 639, Sayfa: 26-38, 2013.
6. Çanka Kılıç, F., Türkiye'deki Yenilenebilir Enerjilerde Mevcut Durum ve Teşviklerdeki Son Gelişmeler, *Mühendis ve Makine Dergisi*, Sayı: 614, Sayfa: 103-115, 2012
7. Hayli, S., Rüzgâr Enerjisinin Önemi Dünya'da ve Türkiye'deki Durumu, *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, Sayı: 11(1), Sayfa: 1-26, 2001.
8. T.C. Doğu Akdeniz Kalkınma Ajansı, *TR63 Bölgesi Enerji Sektör Raporu*, http://www.dogaka.gov.tr/Icerik/Dosya/www.dogaka.gov.tr_442_CU5U25VC_Enerji-Sektor-Raporu-2014.pdf, (Erişim Tarihi: 18/02/2015).
9. Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, *Enerji Raporu 2013*, Poyraz Ofset, Sayfa: 219-229, Ankara, 2014.
10. The European Wind Energy Association, *Wind In Power 2014 European Statistics*, http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/statistics/EWEA-Annual-Statistics-2014.pdf, (Erişim Tarihi: 18/02/2015).
11. T.C. Çukurova Kalkınma Ajansı, *Yenilebilir Enerji Raporu*, Sayfa: 15-23, http://www.cka.org.tr/dosyalar/enerji.pdf, (Erişim Tarihi: 18/02/2015).
12. Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği, *Türkiye Rüzgar Enerjisi İstatistik Raporu*, http://www.tureb.com.tr/attachments/article/420/T%C3%BCrkiye%20R%C3%BCzgar%20Enerjisi%20%C4%B0statistik%20Raporu_Ocak%202015.pdf, (Erişim Tarihi: 13/03/2015).

13. Şenel, M.C., *Rüzgar Türbinlerinde Güç İletim Mekanizmalarının Tasarım Esasları-Dinamik Davranış*, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun, 2012.
14. The Caithness Windfarm Information Forum, *Summary of Wind Turbine Accident data to 01 January 2015,* http://www.caithnesswindfarms.co.uk/accidents.pdf, (Erişim Tarihi: 17/02/2015).
15. EUOSHA, *Occupational Safety and Health In The Wind Energy Sector*, https://osha.europa.eu/en/tools-and-publications/occupational-safety-and-health-in-the-wind-energy-sector, (Erişim Tarihi: 19/02/2015).
16. EUOSHA, *Hazard Identification Checklist: Occupational Safety and Health In The Wind Energy Sector*, https://osha.europa.eu/en/publications/e-facts/e-fact-79-occupational-safety-and-health-in-the-wind-energy-sector/view, (Erişim Tarihi: 19/02/2015).
17. EUOSHA, *Occupational Safety and Health In The Wind Energy Sector*, https://osha.europa.eu/en/publications/e-facts/e-fact-80-occupational-safety-and-health-in-the-wind-energy-sector/view, (Erişim Tarihi: 19/02/2015).
18. Irish Wind Energy Association, *Health and Safety Guidelines For The Onshore Wind Industry On The Island Of Ireland 2011*, http://www.iwea.com/contentfiles/Onshore%20Wind%20Guidelines.pdf, (Erişim Tarihi: 18/02/2015).
19. Albrechtsen, E., Occupational safety management in the offshore wind industry-status and challenges, *Energy Procedia*, Sayfa: 313–321, 2012.
20. Atkinson, P., Securing the safety of the offshore wind workers, *Renewable Energy Focus*, Sayı: May/June 2010, Sayfa: 34–36, 2010.
21. Clarke, P., Health & safety on wind farms-the PowerGen approach, *PowerGen*, Sayfa: 25–31.
22. Duff, J., Training Wind Energy Workers, *Occupational Health & Safety*, 2010.
23. Galman, D., Cultivating Safety In Wind Farms, *Occupational Health & Safety Journal*, Sayı: Ocak 2010, Sayfa:28, 2010.
24. Chatham-Kent Public Health Unit, *The Health Impact of Wind Turbines: A Review of the Current White, Grey and Published Literature*, 2008, http://www.apho.org.uk/resource/view.aspx?RID=111670, (Erişim Tarihi: 13/03/2015).

25. Ragheb, M., *Safety Of Wind Systems*, 2014, http://www.ragheb.co/NPRE%20475%20Wind%20Power%20Systems/Safety%20of%20Wind%20Systems.pdf, (Erişim Tarihi: 13/05/2015).
26. Özçelik, F., *Metal Boru İmalatında İsg Risklerinin Tespiti ve Çözüm Önerileri*, İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi, T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Sayfa: 21-25, Ankara, 2014.
27. Özgür, M., *Metal Sektöründe Risk Analizi Uygulaması*, İş Müfettişi Yardımcılığı Etüdü, T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Teftiş Kurulu Başkanlığı, Sayfa: 4-11, İzmir, 2013.
28. Dağdeviren, M. ve Yüksel, İ., Developing A Fuzzy Analytic Hierarchy Process (AHP) Model For Behavior-Based Safety Management, *Information Sciences*, Sayı: 178, Sayfa: 1717-1733, 2008.
29. Aminbakhsh, S., Gündüz, M., Sönmez, R., Safety Risk Assessment Using Analytic Hierarchy Process (AHP) During Planning And Budgeting Of Construction Projects, *Journal Of Safety Research*, Sayı: 46, Sayfa: 99-105, 2013.
30. Mahdevari S., Shahriar K., Esfahanipour A., Human Health And Safety Risks Management İn Underground Coal Mines Using Fuzzy TOPSIS, *Science Of The Total Environment*, Sayı: 488-489, Sayfa: 85-99, 2014.
31. Liu, H. ve Tsai, Y., A Fuzzy Risk Assessment Approach For Occupational Hazards In The Construction Industry, *Safety Science*, Sayı: 50, Sayfa: 1067-1078, 2012.
32. Zadeh, L. A., Fuzzy Sets, *Information and Control*, Sayı: 8, Sayfa: 338–353, 1965.
33. Buckley, J. J., Fuzzy Hierarchical Analysis, *Fuzzy Sets and Systems*, Sayı: 17, Sayfa: 233–247, 1985.
34. Kutlu, A.C. ve Ekmekçioğlu M., Fuzzy Failure Modes And Effects Analysis By Using Fuzzy TOPSIS-Based Fuzzy AHP, *Expert Systems With Applications*, Sayı: 39, Sayfa: 61-67, 2012.
35. Öztürk Avcı, B. ve Başkaya Z., Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci İle Bir Ekmek Fabrikasında Un Tedarikçisinin Seçimi, *Business And Economics Research Journal*, Sayfa: 131-159, 2012.
36. Özbek A. ve Eren T., Çok Ölçütlü Karar Verme Teknikleri İle Hizmet Sağlayıcı Seçimi, *Akademik Bakış Dergisi*, Sayı: 36, 2013.

37. Karaatlı M., Ömürbek N., Köse G., Analitik Hiyerarşi Süreci Temelli TOPSIS Ve VIKOR Yöntemleri İle Futbolcu Performanslarının Değerlendirilmesi, *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, Sayı: 1, Sayfa: 25-61, 2014.
38. Mızrak Özfırat, P., Bulanık Önceliklendirme Metodu Ve Hata Türü Ve Etkileri Analizini Birleştiren Yeni Bir Risk Analizi Yöntemi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Sayı: 4, Sayfa: 755-768, 2014.
39. Tzeng, G. ve Huang, J.J., Multiple Attribute Decision Making-Methods And Applications, *CRC Press Taylor and Francis Group*, ABD, 2011.
40. Demir, H.H., *İmalat Sektöründe Bulanık TOPSIS Yöntemiyle Tedarikçi Seçimi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı Üretim Bilim Dalı, İstanbul, 2010.
41. Ecer, F., *Fuzzy Topsis Yöntemiyle İnsan Kaynağı Seçiminde Adayların Değerlemesi Ve Bir Uygulama*, Doktora Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Afyonkarahisar, 2007.
42. Ballı S. ve Korukoğlu S., Operating System Selection Using Fuzzy AHP And TOPSIS Methods, *Mathematical and Computational Applications*, Sayı: 2, Sayfa: 119-130, 2009.
43. Wang, Y.M., Chin K.S., Poon G., Yang J., Risk Evaluation İn Failure Mode And Effects Analysis Using Fuzzy Weighted Geometric Mean, *Expert Systems With Applications*, Sayı: 36, Sayfa: 1195-1207, 2009.
44. Chang, D., Applications Of The Extent Analysis Method On Fuzzy AHP, *European Journal of Operational Research*, Sayı:95, Sayfa: 649-655, 1996.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Tolga MURATDAĞI

Doğum Yeri : Adapazarı

Doğum Tarihi : 12.04.1986

Yabancı Dili : İngilizce (YDS 2010: 80)

Eğitim Durumu

Lise: Sorgun Lisesi (2004)

Lisans: TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü (2010)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar

T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü

(2012 -Halen)

Mesleki İlgi Alanları

Bulanık Mantık, Yöneylem Araştırması, Risk Değerlendirmesi Metotları

Hobiler

Futbol, Sinema

İletişim Bilgileri

E-mail: tolga.muratdagi@csgb.gov.tr

Tel: 0312 296 60 00 / 68 25

EKLER

EK-1: Her bir ana süreç altındaki riskler arasındaki en önemli beş risk için getirilen çözüm önerileri

SEVKİYAT SÜRECİ		
RİSK KODU	**RİSK**	**ÇÖZÜM ÖNERİLERİ**
$R4_{sevkiyat}$	Trafikteki Diğer Araçlarla Çarpışma	Nakliye işlemleri mümkün olduğunca gece yapılmalıdır.
		Eskort araçlar kullanılmalıdır.
$R7_{sevkiyat}$	Sürücü Kaynaklı Trafik Kazaları	Standart trafik kurallarına uyulmalıdır.
		Standart trafik kurallarına ek olarak üretici firmalar tarafından hazırlanan sevkiyat protokollerine uyulmalıdır.
$R6_{sevkiyat}$	Uzun Süreler Boyunca Araç Kullanılması	Uzun seyahatlerde, her 3 – 4 saatte bir düzenli mola verilecek şekilde planlanmalıdır.
		Yorgunluk belirtisinde yoldan çıkılarak güvenli bir yerde durulmalıdır.
		Telefon konuşmaları yalnızca eller serbest ekipman kullanılarak yapılmalıdır.
$R5_{sevkiyat}$	Yoldan Kaynaklı Problemler	Sevkiyat planlaması yapılırken alternatif rotalar belirlenmeli ve mümkünse bu rotalara göre sevkiyat simülasyonu hazırlanmalıdır.
		Arazi yollarının taşınan yükün ağırlığını kaldırabilecek seviyede olup olmadığı test edilmelidir.
		Sevkiyat rotası üzerindeki köprü ve tünellerin taşınacak yüke uygunluğuna dikkat edilmelidir.
$R2_{sevkiyat}$	Yükün Devrilmesi	Araç ve yük üzerindeki bağlantı noktalarının sağlamlığı kontrol edilmelidir.
		Yükün araca dengeli bir şekilde konulup konulmadığı test edilmelidir.
KURULUM SÜRECİ		
RİSK KODU	**RİSK**	**ÇÖZÜM ÖNERİLERİ**
$R5_{kurulum}$	Kaldırma İşlemleri Sırasında Hareket Eden Parçaların Çarpması	Vinç muayene belgesi güncel olmalı ve vinç haftalık olarak operatör tarafından kontrol edilmelidir.
		Vinç operatörü uzman olmalıdır.
		Zeminin yük taşıma testleri yapılmalıdır.
		Kaldırma operasyon alanı kordon altına alınmalı ve yetkisiz girişleri önlenmelidir.
		Halat ve bağlantı noktalarının kontrolü yapılmalıdır.

		Tüm çalışanlar KKD'leri eksiksiz olarak kullanmalıdır.
		Kaldırma alanına bariyerler ve uyarı levhaları yerleştirilmelidir.
		Kaldırma işlemleri sırasında yük mutlaka başka bir yerden dengelenmelidir.
		Rüzgar hızı 12 m/s'nin üzerinde ise kaldırma işlemleri yapılmamalıdır.
$R8_{kurulum}$	Dar ve Kapalı Alanlarda Çalışma	Dar ve kapalı alanlarda yapılan çalışmalarda çalışanlar taşınabilir gaz dedektörü kullanmalıdır.
		Ergonomik olmayan şekillerde uzun süreli çalışma yapılmamalıdır.
		Herhangi bir acil durumda öncelik ortamı terk etmek olmalıdır.
		Dar alanlarda çalışma yaparken ortamdaki hareketli veya sıcak parçalara dikkat edilmelidir.
		Çalışma sırasında ortamın oksijen seviyesine sürekli dikkat edilmelidir.
$R2_{kurulum}$	Yüksekten Düşme	Tüm personel yüksekte çalışma konusunda eğitimli olmalı ve düşmeye karşı doğru koruyucu donanımı kullanmalıdır.
		1,8 m'den daha yüksekte yapılan faaliyetler için KKD ve düşmeye karşı koruyucu ekipman bulundurulmalıdır.
		KKD'ler kullanılmaya başlamadan önce her gün çalışan tarafından görsel denetime tabi tutulmalı ve işveren tarafından yıllık olarak denetlenmelidir.
		Personel, tüm tırmanma ve çalışma faaliyetleri sırasında düşmeye karşı koruyucu ekipmanlarıyla bağlı olmalıdır.
		Yalnızca yetkili ve eğitimli personelin kule üzerinde çalışma yapma izni olmalıdır.
		Düşmeye karşı koruyucu kişisel ekipman; prosedürlere uygun olarak belirlenen bağlama noktasına bağlanmalıdır.
		15 m/s 'den hızlı esen rüzgarlarda kule üzerinde kesinlikle çalışma yapılmamalıdır.
		Yapılacak işe göre çalışılabilecek azami rüzgar hızları belirlenmelidir.
		Yapılacak işe göre iş prosedürleri hazırlanmalı ve bunlara uyulmalıdır.
		Olumsuz hava koşullarında mümkün olduğunca kule üzerinde çalışma yapılmamalıdır.
		Çalışma sırasında çevre emniyeti sağlanmalıdır.
		Dikey yaşam hattı bağlantıları kontrol edilmelidir.

$R7_{kurulum}$	Elektrik Çarpması	Sadece yetkili ve eğitimli personel görevlendirilmelidir.
		Yapılacak işe göre talimatlar hazırlanmalı ve bu talimatlara uyulmalıdır.
		İzolasyon halıları kontrol edilmelidir.
		Topraklama sistemi uygun olmalı ve düzenli olarak kontrol edilmelidir.
		Kazı çalışmaları sırasında elektrik hatlarının geçiş noktalarına dikkat edilmelidir.
		Standart dışı bir elektrikli alet yada başka bir donanım kullanılmamalıdır.
		Uygun KKD'ler kullanılmalıdır.
		Elektrikli el aletleri her kullanımdan önce kontrol edilmelidir.
		Üzerinde çalışılan donanımın elektrik bağlantısı mutlaka kesilmelidir.
$R3_{kurulum}$	Takılma ve Kayma Sonucu Düşme	İşin başlamasından önce tüm yüzeylerin görsel denetimi yapılmalıdır.
		Zeminde bulunan sabit engeller işaretlenmelidir.
		Soğuk hava koşullarında çalışma yapılırken zemindeki buzlanma riskine dikkat edilmelidir.
		Kayma, takılma ve düşme olasılıklarını azaltmak için, tüm yüzeyler engellerden, yağ birikintilerinden ve molozlardan arındırılmış bir şekilde tutulmalıdır.
BAKIM SÜRECİ		
RİSK KODU	**RİSK**	**ÇÖZÜM ÖNERİLERİ**
$R12_{bakım}$	Dikkatsiz Davranışlar	Çalışanların çalışma süreleri günlük 8 saati aşmamalıdır.
		Yüksekte çalışma yapılacağı zaman görevlendirilecek personeli sağlık durumu sorgulanmalıdır.
		Kule üzerindeki uzun süreli çalışmalarda çalışanların besin ihtiyaçlarına dikkat edilmelidir.
		Tüm çalışma boyunca yapılan işe uygun KKD'ler kullanılmalıdır.
		Kule üzerinde yapılan uzun süreli çalışmalarda çalışanların düzenli aralıklarla mola vermesi sağlanmalıdır.
		Çalışanların prosedürler dışında hareket etmesi kesinlikle yasaklanmalıdır.
		Özellikle kule üzerinde yapılan çalışmalar sırasında cep telefonu gibi dikkat dağıtıcı cihazlar kullanılmamalıdır.

$R11_{bakım}$	Acil Durumlardaki Tahliye Zorluğu	Tek bir çalışanın kule üzerinde çalışma yapmasına kesinlikle müsaade edilmemelidir.
		Acil durumlar düşünülerek çalışanların tüm tırmanma ekipmanları her zaman yanlarında bulunmalıdır.
		Kule üzerinde yapılan çalışmalarda sürekli olarak merkezle iletişim halinde olunmalıdır.
		Tüm çalışanlar acil durumlarda nasıl davranılacağı konusunda eğitilmeli ve bu eğitimler düzenli olarak tekrarlanmalıdır.
$R10_{bakım}$	Buzlanma	Türbin üzerinde yapılacak faaliyetlerde buzlanma sebebiyle kayma riskine karşı ek önlemler alınmalı mümkünse çalışma yapılmamalıdır.
		Çalışma ekibini taşıyan aracın türbine yakın bir yere park etmemesi sağlanmalıdır.
		Türbin üzerindeki buzlanma sebebiyle türbine giriş çıkışlarda dikkat edilmelidir.
		Özellikle kış mevsiminde türbin üzerinde oluşan buzlanma düzenli olarak takip edilmelidir.
$R6_{bakım}$	Yıldırım	Şarjlı hava koşullarında türbin çevresine fazla yaklaşılmamalıdır.
		Şarjlı hava koşullarında mümkün olduğunca çalışma yapılmamalıdır.
		Periyodik kontroller düzenli olarak yapılmalıdır.
		Topraklama sistemi kontrol edilmelidir.
$R27_{bakım}$	Türbin Sahasının Yerleşim Alanlarına Uzak Olması	Türbin sahalarına ulaşım için kullanılan yollar sağlık araçlarının kullanabileceği kadar uygun hale getirilmelidir.
		Herhangi bir acil durum anında kullanıma hazır bir sağlık aracı tesiste hazır bulundurulmalıdır.